

STADTKLIMA UND LUFTHYGIENISCHE SITUATION

VON REGENSBURG⁺⁺⁾

von

CHRISTIANE DITTMANN⁺⁾ ZUSAMMENFASSUNG

Die lufthygienische Belastbarkeit des Regensburger Raumes ist wegen der orohydrographischen Situation sehr begrenzt. Trotz der geringen Industrieansiedlung und relativ niedrigen Emissionsraten zählt Regensburg nach Nürnberg, Fürth und Hof zu den am stärksten durch Luftverunreinigungen belasteten Gebieten Bayerns. Dies wird vor allem durch die häufige Bodeninversionsbildung in der Regensburger Bucht hervorgerufen; in der Kaltluftschicht reichern sich dann die Schadstoffe an. Eine weitere Verschlechterung der lufthygienischen Situation erfolgt durch die von Dezember bis Februar vorherrschenden Südostwinde, die die Abgase aus dem Industriegebiet in das Stadtzentrum verfrachten. Die Überlastung des Regensburger Stadtgebietes durch Luftverunreinigungen läßt sich nicht nur an der gelegentlichen Überschreitung der Grenzwerte in den Wintermonaten erkennen; sie wird vor allem an den Gesteinszerstörungen an mittelalterlichen Bauwerken, den Wuchsbeschränkungen von Pflanzen und gesundheitlichen Störungen der Bewohner deutlich.

EINLEITUNG

Den vorliegenden Ausführungen, die sich mit der klimatischen und lufthygienischen Belastung und Belastbarkeit des Regensburger Stadtgebiets befassen, liegt die Dissertation der Verfasserin zum Thema: "Regensburg - Stadtklima und Luftverunreinigung, klimaökologische und lufthygienische Untersuchungen zur Belastung und Belastbarkeit eines städtischen Lebensraumes" zugrunde, die an der Universität Regensburg unter der Leitung von Prof. Dr. H. Klug angefertigt wurde. Anlaß dazu war die Ausweisung des Raumes als Belastungsgebiet (GVBl 29.4.1976). Obwohl durch diese Verordnung auch vom Gesetzgeber anerkannt wurde, daß überhöhte Schadstoffbelastungen und deren Auswirkungen auftreten können, fehlten bislang Unter-

⁺⁾ Christiane Dittmann, Illerstraße 4, 8400 Regensburg
⁺⁺⁾ Manuskript eines Vortrages bei der Kreisgruppe Regensburg des Bundes für Naturschutz am 6. Oktober 1981

suchungen über den lufthygienischen Zustand des Raumes. Es wurde daher ermittelt, welche wechselseitigen Beziehungen zwischen den natürlichen Gegebenheiten im äußersten Westen der Donauebene und den durch den Menschen hervorgerufenen Veränderungen im Regensburger Stadtgebiet bestehen. Es wird nun erläutert, ob und wie sehr die anthropogene Raumgestaltung zu Belastungen, insbesondere zu klimatischen Belastungen und zu einer Verschlechterung der Luftqualität führt. Denn der Mensch kann sich Gegebenheiten der Atmosphäre am wenigsten entziehen und wird von veränderten Bedingungen sehr rasch betroffen.

Die Untersuchung der Belastung und Belastbarkeit eines städtischen Lebensraumes unterliegt aber anderen Bewertungsmaßstäben als die Beurteilung naturnaher Ökosysteme. Denn eine Stadt ist bereits ein äußerst belasteter Raum, der als menschlicher Lebensraum nur funktionsfähig ist, solange er eine bestimmte Größe nicht überschreitet und ökologische Ausgleichsflächen zur Regeneration der Stadtluft oder Grünzonen als Naherholungsgebiete für die Bevölkerung aufweist. Wegen der Besonderheit der Stadt als Raum, den der Mensch vollständig umgestaltet hat, um spezielle Bedürfnisse zu befriedigen, ergeben sich abgewandelte Beurteilungsperspektiven. Wie kein anderer Raum, muß ein städtisches Geosystem von konkreten, menschlichen Zielsetzungen her bewertet werden; der Einordnung der Belastung und Belastbarkeit liegt aus diesem Grund ein anthropozentrischer Ansatz zugrunde. Stadtökologische Untersuchungen müssen die Zerstörung des ursprünglichen Geländes und die Schaffung neuer, vielfach lebensfeindlicher Prozeßabläufe voraussetzen und in gewissem Umfang als notwendig akzeptieren. Die Belastung beginnt erst dort, wo Anforderungen der Bevölkerung an den städtischen Lebensraum, im weitesten Sinne, nicht realisiert sind.

DIE KLIMATISCHE SITUATION IM REGENSBURGER RAUM

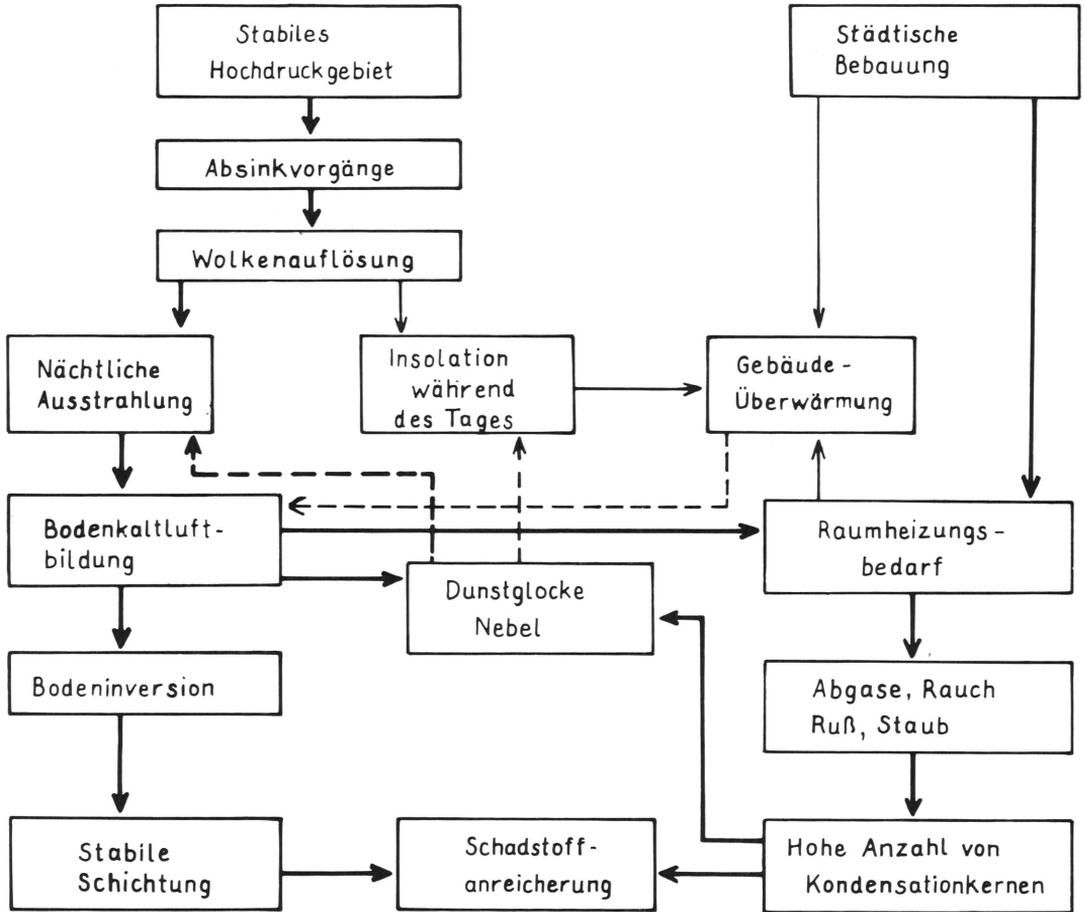
Das Bioklima von Regensburg wird als "teils belastend" eingestuft (FAUST V. 1977). Diese Belastungswirkungen sind vorwiegend auf die naturräumlichen Gegebenheiten zurückzuführen. Aufgrund der geographischen Lage befindet sich der Raum häufig im Einflußbereich stabiler Hochdruckgebiete mit Kern über Osteuropa, die geringe Bewölkungsverhältnisse und schwache Winde verursachen. Dann stellen sich in den Abend- und Nachtstunden stabile Schichtungsverhältnisse ein, denn in klaren Nächten kann die langwellige Wärmestrahlung ungehindert entweichen; in den unteren Luftschichten kühlt die Temperatur rasch ab und von den Hängen fließt kalte Luft, die spezifisch schwerer ist, herunter und sammelt sich in Tälern und Mulden. In der Regensburger Bucht bildet sich daher ein kräftiger Kaltluftsee, während auf den Randhöhen wärmere Temperaturen herrschen. Diese Zunahme der Temperatur mit der Höhe bezeichnet man als Temperaturinversion. Inversionen wirken als Sperrschichten für luftverunreinigende Stoffe, da sie aufgrund der Dichteunterschiede, die zwischen den unterschiedlich temperierten Luftschichten herrschen, den thermischen Aufstieg und die Ausbreitung der Schadgase behindern. Strahlungsnächte mit Bodeninversionen treten in Regensburg sehr häufig auf. Wie die Aufzeichnungen des Deutschen Wet-

terdienstes zeigen, findet in den Abendstunden bei jeder Windrichtung ein kräftiger Wolkenrückgang statt, so daß stabile Austauschbedingungen nicht nur auf Hochdruckwetter, bei dem die Bewölkung generell geringer ist, beschränkt sind. Tiefliegende Bodeninversionen mit vertikalen Temperaturgradienten bis -5°C sind für das Klima in Regensburg charakteristisch. Besonders im Herbst und Winter entstehen unter dem Einfluß stabiler Hochdruckgebiete Absinkinversionen, die ganztägig anhalten können.

Mit einer mittleren Jahrestemperaturschwankung von mehr als 20°C gehört der Regensburger Raum zu den kontinentalsten Klimagebieten in Deutschland. Dies ist jedoch nicht allein durch das Klima des ostbayerischen Raumes, für das wärmere Sommer und kalte Winter charakteristisch sind, bedingt. Die extreme Jahrestemperaturschwankung wird vor allem durch die überdurchschnittlich kalten Winter hervorgerufen; das Wintermittel von $-1,5^{\circ}\text{C}$ in Regensburg liegt etwa um 2°C tiefer als die mitteleuropäische Durchschnittstemperatur. Der durch die Ortslage bedingte, kontinentale Klimacharakter wird also durch die Bodenkaltluftansammlung im Donautal in Strahlungs Nächten verstärkt, die sich, wie bereits ausgeführt, häufig bildet und mehrere Tage anhalten kann. Folgender Vergleich soll verdeutlichen, wie stark der Einfluß der Bewölkung auf die Kaltluftbildung im Stadtgebiet ist. Während im Mittel in klaren Nächten im Januar kurz vor Sonnenaufgang weniger als -10°C verzeichnet werden, herrschen bei bedecktem Himmel zur gleichen Zeit im Mittel nur Lufttemperaturen um -1°C . Aber auch zu anderen Jahreszeiten ist bei geringer Bewölkung ein Kaltluftsee in der Regensburger Bucht deutlich nachweisbar.

In der Bodenkaltluftschicht bildet sich vor allem im Herbst und Winter Nebel, der mehrere Tage anhalten kann. Im Jahrhundertmittel treten in Regensburg etwa 70 Nebeltage auf. Die Nebel bilden sich hauptsächlich vor Sonnenaufgang. Ihre Häufigkeit und Andauer wird durch Luftverunreinigungen jedoch nicht allzusehr vermehrt. Zwar setzt aufgrund der hygroskopisch wirkenden Schadstoffpartikel (vor allem Ruß, SO_2) die Nebelbildung gelegentlich schon bei 91 % relativer Luftfeuchte ein, zumeist beträgt die relative Feuchte bei Nebel jedoch 96 % und mehr. Daraus ist zu schließen, daß die Nebelhäufigkeit in Regensburg vorwiegend durch die natürlichen Bedingungen, die Bodenkaltluftbildung und die Feuchtigkeit durch die Flüsse, verursacht wird. Da die Nebel im Regensburger Raum hauptsächlich durch Ausstrahlung hervorgerufen werden, stehen sie überwiegend im Zusammenhang mit Temperaturinversionen. Die Nebelobergrenze ist aber weitgehend nicht mit der Inversionsobergrenze identisch, die zumeist höher hinaufreicht. Die Nebelobergrenze zeigt nur an, bis zu welcher Höhe das Kondensationsniveau reicht. Auf den Randhöhen herrschen dagegen höhere Temperaturen. Dies ist der Grund, warum auf den Rücken des Bayerischen Vorwaldes oder Fränkischen Jura, die Sonne scheint, während in der Regensburger Bucht der Nebel oft tagelang zäh erhalten bleibt.

Abb. 1 Die Beziehungen zwischen antizyklonalen Wetterlagen und der Schadstoffkonzentration in der Regensburger Bucht



- > positive Rückkopplung
- > positive Rückkopplung - kräftige Wirkung
- - - -> negative Rückkopplung
- - - -> negative Rückkopplung - kräftige Wirkung

Entw. u. Zeichn.
Ch. Dittmann

Die auf natürlichen Ursachen beruhende bioklimatische Belastung der Regensburger Bucht wird somit vor allem im Herbst und Winter durch

- unangenehme Naßkälte in der Bodenkaltluftschicht und die
- Reduzierung des Strahlungsgenusses durch die häufigen Dunst- und Nebellagen

hervorgerufen. Nur die Randhöhen im Norden und Nordosten der Stadt sind bioklimatisch günstiger zu bewerten. Sie gehören dem Bereich der warmen Hangzone an und werden seltener von Nebelsituationen betroffen.

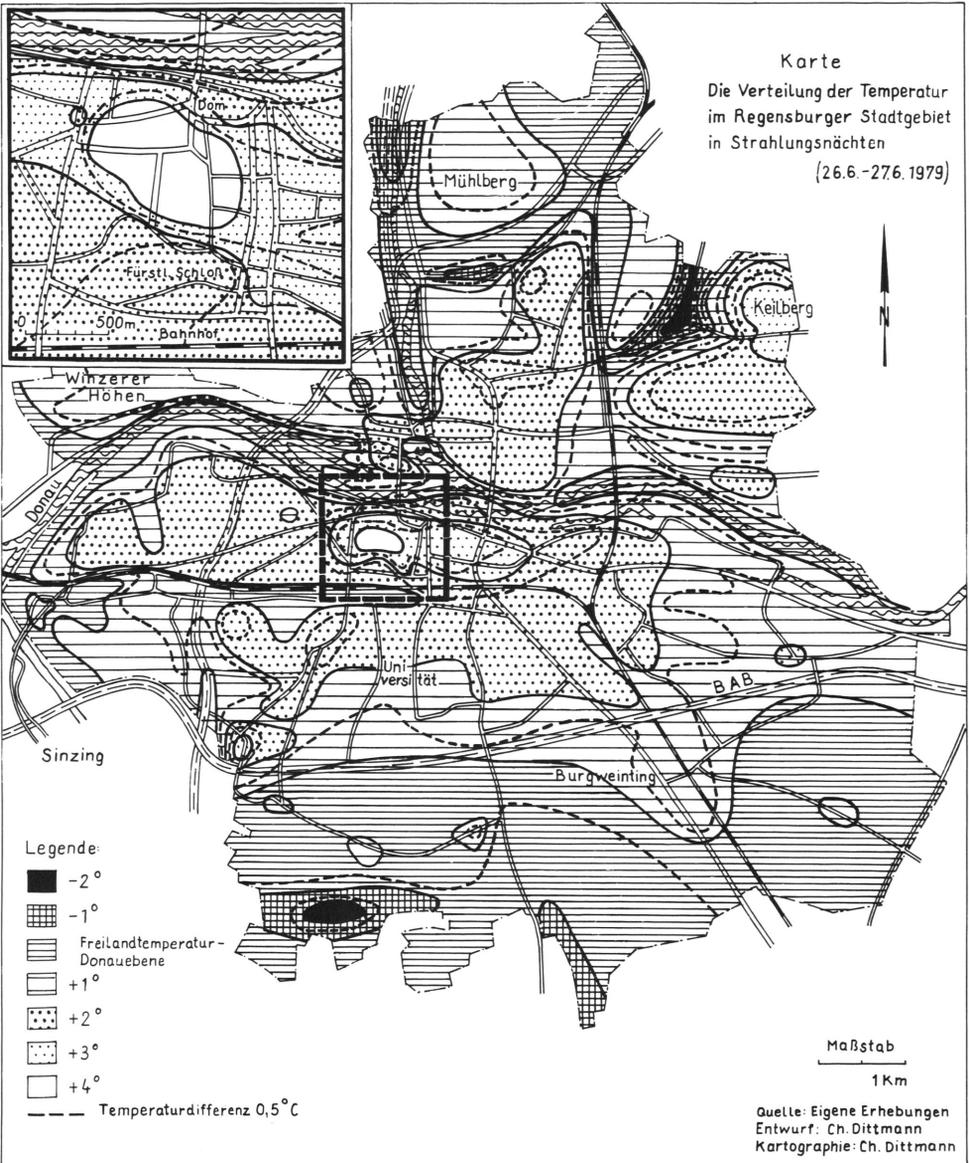
Positive Komponenten des Regensburger Klimas sind die relativ hohe Anzahl von Sonnenscheinstunden (ca. 1700 Stunden pro Jahr) und die geringen Niederschläge. Die Regensburger Bucht ist jedoch keineswegs so trocken, wie ältere Untersuchungen hervorheben (z.B. Klimaatlas von Bayern 1952).

Durch die städtische Bebauung werden die lokalklimatischen Verhältnisse in Regensburg modifiziert. Abbildung 1 verdeutlicht die Beziehungen zwischen Bebauung und Klima.

Besonders charakteristische Komponenten des Stadtklimas sind die Ausbildung einer mehrkernigen Überwärmungszone, die vor allem durch die größere Wärmespeicherkapazität der Baumaterialien, dunkle Wandfarben und Dächer, die Ableitung des Regenwassers in der Kanalisation und fehlende Grünflächen hervorgerufen wird, was zudem eine Reduzierung der relativen Feuchte verursacht; darüber hinaus bewirkt die städtische Bebauung die Entstehung eines lokalen Windsystems und die Trübung der Luft durch anthropogene Verunreinigungen. Eine Erhöhung der Niederschläge ist nur in großen Städten (> 1 Mio. Einwohner) festzustellen (ERIKSEN 1976).

Um die klimatischen Veränderungen durch die Bebauung in Regensburg zu erfassen, führte die Verfasserin 1979 bei unterschiedlichem Wetter mobile Temperaturmessungen durch. Am Gepäckständer eines Pkw war ein ventiliertes Platin-Widerstandsthermometer befestigt. Die Meßwerte wurden durch einen Punktkompensationsschreiber aufgezeichnet, der durch eine Stromquelle betrieben wurde. Durch diese Untersuchungen wurde nachgewiesen, daß in Regensburg bei jedem Wetter, also auch bei gutem Luftaustausch oder bei Nebel und zu jeder Jahreszeit, das städtische Bebauungsgebiet eine Überwärmungszone bildet. Die maximale Temperaturdifferenz zwischen Stadtzentrum und Grünland betrug $6,5^{\circ}\text{C}$ und wurde in einer wolkenlosen Nacht, der ein meteorologischer Sommertag vorausging, registriert.

Tage mit einem Temperaturmaximum von mehr als 25°C treten in der warmen Jahreszeit im Mittel 41-mal auf, schwüle Tage 22-mal. Es muß jedoch in Betracht gezogen werden, daß die Messungen am Stadtrand, in der meteorologischen Hütte, erfolgten.



Im Stadtzentrum erhöht der Einfluß der Bebauung die Lufttemperaturen, was zu einer vergrößerten Hitze- und Schwülebelastung der Anwohner und Berufstätigen führt. Die höchsten Temperaturen im Regensburger Stadtgebiet treten tagsüber auf den sonnigen, innerstädtischen Plätzen oder an der Peripherie der Altstadt in den breiten Ausfallstraßen auf; die engen, schattigen Altstadtgassen sind bis zu 4°C kühler. Nachts ist dagegen der historische Stadtkern das wärmste Gebiet.

Die Karte 1 zeigt die typische Verteilung der Temperatur in Strahlungsnächten im Regensburger Stadtgebiet. In der Donau-ebene und in den Flußtälern bildet sich wegen der Wärmeausstrahlung eine großflächige Kaltluftansammlung. Im Bebauungsgebiet erfolgt ein Temperaturanstieg, der in der eng bebauten Altstadt etwa 4°C beträgt. Die innerstädtische Wärmeinsel wird durch die Donau und das Bahngelände begrenzt. Man erkennt aber auch, daß durch massive Uferverbauung, wie z.B. in der Bäckergasse, der kühlende Einfluß des Regens weitgehend aufgehoben wird. In den Trockentälern im Stadtnorden senken sich die Temperaturen noch unter die Werte in der Donauebene ab, da die Kaltluft hier an den überwiegend kahlen Hängen herunterfließen kann. Im Grünsthaler Tal ist der Kaltluftsee besonders ausgeprägt; zwischen dem Talboden und der Keilberghöhe wurden Temperaturdifferenzen bis zu 6°C gemessen. Aber auch im Stadtsüden sind die feuchten Täler des Aubachs und des Langen Grabens nachts kälter als das Umland, da durch die Verdunstung der Luft Wärme entzogen wird. Charakteristisch für das Klima von Regensburg in Strahlungsnächten ist die Überlagerung von städtischer Überwärmung und Bodeninversionen. Auf den Randhöhen sind die Temperaturen generell höher. Sind die Höhenzüge bebaut, wie auf dem Keilberg oder Ziegetsberg, so verstärkt die Gebäudeüberwärmung den Effekt der warmen Hangzone und es treten dort fast ebenso hohe Temperaturen wie in der überwärmten Innenstadt auf. Zumeist übertreffen die Temperaturen im Stadtzentrum die Werte auf den unbebauten Hängen. Selten sind Bodeninversionen so kräftig, daß es in der Altstadt kühler ist als in Pentling oder auf dem Keilberg. Nachteilig auf das Klima in den Wohngebieten wirkt sich auch die Bebauung der Randhöhen mit Hochhäusern aus, wie z.B. in der Berliner Straße oder in Königswiesen. Da sich im Tal Kaltluft bildet und die großen Gebäudekörper Wärme ausstrahlen, werden Bodeninversionen verschärft u. so eine Behinderung des Luftaustauschs verstärkt. So betrug z.B. in der Nacht vom 29.5.1979 der vertikale Temperaturgradient zwischen dem Gallingkofener Trockental und dem Mühlberg -5,5°C; zwischen der Talsohle und der Hochhaussiedlung an der Berliner Straße aber -14,7°C. Es sollte daher die Bebauung der Kuppen mit Hochhäusern vermieden werden; vorteilhaft wäre eine Zeilenbebauung senkrecht zum Hang, um die Frischluftzufuhr in das tiefer gelegene Gelände nicht zu behindern (BAUMÜLLER 1974/1975).

Die Überwärmung des Stadtzentrums hat zur Folge, daß bei Bodeninversionen der Luftaustausch durch thermische Turbulenz verbessert wird und bei Nebel in der Altstadt größere Sichtweiten auftreten als über Freiland. Somit wirkt die städtische Wärme-

insel der Bildung von stabilen Austauschverhältnissen in klaren Nächten entgegen. Die Verbesserung der Turbulenzsituation in den unteren Luftschichten ist jedoch sehr gering; bei mehrtägigem Hochdruckeinfluß wird dadurch keine verstärkte Frischluftzufuhr oder Schadstoffverdünnung bewirkt.

Da in Regensburg in den meisten Nächten und im Herbst und Winter, nicht selten auch tagsüber, stabile Austauschverhältnisse herrschen, kommt der Frischluftzufuhr in das Stadtgebiet große Bedeutung zu. Die Flüsse, die das Stadtgebiet durchziehen, könnten als wirksame Frischluftbänder dienen. Durch die Uferverbauung, vor allem in der Altstadt, ist der Effekt jedoch gering. Durch Messungen wurde nachgewiesen, daß z.B. an der Alten Wurstkuchl der mäßige Einfluß der Donau nur wenige Meter in das Bebauungsgebiet vordringt.

Aus diesem Grund ist die Betonierung der Ufer sehr nachteilig. Sie verstärkt die städtische Überwärmung und behindert den Luftaustausch zwischen Fluß und Bebauungszone. Abflußbahnen kühler, unverbrauchter Luft bilden die randlichen Hänge; die Frischluftschneisen sind jedoch durch die dichtgedrängte Hangbebauung, z.B. an den Winzerer Höhen, oder am Sallerner Berg, weitgehend blockiert. Am Schelmengraben wird der Kaltluftstrom allein schon durch die Überwärmung der ausgedehnten Asphaltfläche aufgelöst. Die Zufuhr unverbrauchter Luft in den Fluß- und Trockentälern darf nicht überschätzt werden. Wegen des geringen Gefälles bilden sich dort Kaltluftseen. Eine Luftaustauschwirkung kommt nur in den angrenzenden Gebäudezonen durch Zirkulationsströmungen zustande. Im übrigen Stadtgebiet fördern baumbestandene Grünzonen und Gärten den Luftaustausch. Besonders nachweisbar ist die thermische Ausgleichswirkung des Fürstenparks. Rasenflächen mit jungem Baumbestand tragen dagegen nicht zu einer klimatischen Verbesserung der umliegenden Gebäudezonen bei. Es ist daher wichtig, alte Bäume möglichst zu erhalten und bei Neuanpflanzungen schnell wachsende Arten zu bevorzugen.

Die Verteilung der relativen Feuchte im Stadtgebiet ist weitgehend temperaturabhängig. Die tiefsten Werte werden in Strahlungsnächten im überwärmten Stadtzentrum und auf den Kuppen der Randhöhen verzeichnet. Etwa drei Stunden nach Sonnenuntergang gleichen sich die Werte jedoch stark an und liegen zumeist über 90 %. Nur im Stammraum trockener Fichtenwälder beträgt die Feuchte zu dieser Zeit noch etwa 75 %.

Aufgrund der Kaltluftansammlung nähern sich die Temperaturen, besonders im Herbst und Winter, häufig dem Taupunkt. Der Nebel ist im Stadtgebiet aber oft ungleich verteilt. Bei geringer Kaltluftbildung bleiben die oberen Zonen der Randhöhen nebefrei, im Stadtzentrum herrscht wegen der Gebäudeüberwärmung zumeist Dunst. Die Nebelauflösung vollzieht sich einerseits durch Hebung. Im Regensburger Donautal wird dann Hochnebel verzeichnet, während die Hügelkuppen oft im Nebel liegen. Die direkte Nebelauflösung erfolgt zunächst im Stadt-

westen durch turbulente Erwärmung, die bei südöstlichen Winden durch die Wirbelbildung an den Randhöhen verursacht wird. Im Regental und im östlichen Donautal bleiben die Nebel am längsten bestehen.

Die Kenntnis der Windverhältnisse eines Raumes ist für die Beurteilung der lufthygienischen Situation von grundlegender Bedeutung. Es wird allgemein angenommen, daß die Winde vorherrschend von Westen wehen. Für den Regensburger Raum kann dagegen keine Hauptwindrichtung angegeben werden. Im Jahresdurchschnitt treten zu 18,5 % Westwinde, 17,3 % Nordwestwinde und zu 17,2 % Südostwinde, also nahezu gleich häufig, auf. Von Dezember bis Februar, der Zeit mit den ungünstigsten Turbulenzbedingungen und höchsten Immissionsraten, dominieren jedoch Südostwinde, die die Abgase der im Stadtosten angesiedelten Industriebetriebe (Hauptemittent Zuckerfabrik) ins Zentrum verfrachten. Von März bis Oktober kommen zumeist West-, Nordwest- und Südwestwinde vor (Statistik DWD 1961 - 1979). Durch die erhöhte Oberflächenrauigkeit der Bebauungszone werden Windströmungen über dem Stadtgebiet abgebremst. Wie eine vergleichende Auswertung der vom Deutschen Wetterdienst am Stadtrand ermittelten Daten und der Messungen des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz auf dem Dachauplatz ergab, ist die Windgeschwindigkeit im Regensburger Stadtzentrum im Mittel um 0,7 m/sec. verringert, in den Nachmittagsstunden sogar um 1,2 m/sec.. Diese allgemeine Verringerung der dynamischen Turbulenz über der Stadt schränkt die Durchmischungsverhältnisse und die Verdünnung der Schadstoffe ein und fördert stabile Austauschverhältnisse. Andererseits können durch Böen in windparallelen Straßen oder durch Leewirbel an hohen Gebäuden, örtlich sehr hohe Windgeschwindigkeiten auftreten.

In Regensburg kann man auch gleichzeitig unterschiedliche Windrichtungen beobachten. Dieses Phänomen kann durch verschiedene Ursachen hervorgerufen werden: Die Rauigkeit der Stadt verursacht kleinräumige Winddrehungen und Windscherungen. Benachbarte Rauchfahnen, mit unterschiedlicher Quellhöhe, können daher in verschiedene Richtungen wehen. Charakteristisch ist in der Regensburger Bucht auch die Beeinflussung der Windströmungen durch die Randhöhen. Winde aus Ost bis Südost, die über die kahle Donauebene ungebremst in das Stadtgebiet strömen, werden an den westlichen Randhöhen umgelenkt, wobei große Windwirbel entstehen. Die Schadstoffe werden daher langsamer abtransportiert. Unterschiedliche Windrichtungen werden aber auch durch Inversionen hervorgerufen. Oberhalb der Kaltluftschicht erfolgt vor allem bei Absinkinversionen und Südostwind eine sprunghafte Erhöhung der Windgeschwindigkeit, die am Abknicken von Rauchfahnen erkennbar ist. In der Kaltluftschicht herrscht nahezu Windstille.

Durch den Einfluß der städtischen Bebauung werden also in der Regensburger Bucht, über die natürlichen Gegebenheiten hinaus,

noch weitere Belastungswirkungen ausgelöst:

- Hitze- und Schwülebelastung der Anwohner und Berufstätigen im Stadtzentrum an Sommertagen
- Blockierung der Frischluftzufuhr bei stabilen Austauschverhältnissen durch Hang- und Uferverbauung
- Einschränkung der dynamischen Turbulenz durch die Windbremsung in Siedlungszonen und somit Verringerung des Luftaustauschs
- Erhöhung der Nebelhäufigkeit und -dauer durch eine vermehrte Schadstoffanreicherung in den unteren Luftschichten.

Als positive Wirkungen der städtischen Bebauung sind zu nennen:

- Geringe Verbesserung der thermischen Turbulenz bei Bodeninversionen und
- Vergrößerung der Sichtweiten im Stadtzentrum bei Bodennebel.

DIE LUFTHYGIENISCHE SITUATION

Die lufthygienische Belastbarkeit der Regensburger Bucht ist wegen der lokalklimatischen Verhältnisse sehr begrenzt. Trotz der geringen Industrieansiedlung und der wirtschaftlichen Strukturschwäche der Stadt, zählt der Regensburger Raum, nach Nürnberg, Fürth und Hof, zu den am stärksten durch Luftverunreinigungen belasteten Gebieten Bayerns.

Die Belastung durch Kraftfahrzeugabgase

Die Flächenbelastung durch Kraftfahrzeugemissionen im Regensburger Stadtgebiet ist überdurchschnittlich hoch (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 1974). Da die Schadstoffkomponenten der Fahrzeugabgase äußerst vielfältig sind, diente die Kohlenmonoxidkonzentration als Leitsubstanz für die Beurteilung der Immissionsbelastung. Die Kraftfahrzeuge setzen in Regensburg den größten Anteil der Gesamtkohlenmonoxydemission frei, mehr als 10.000 t CO pro Jahr. Da sich CO jedoch sehr rasch verdünnt, kommen erhöhte Konzentrationen nur in Straßennähe vor. Die Emissionsraten des Kraftfahrzeugverkehrs, die neben CO vor allem Kohlenwasserstoffe enthalten, sind von der Verkehrsdichte und der Fahrgeschwindigkeit abhängig. Demzufolge ist die Emissionsmenge auf der dicht befahrenen Nibelungenbrücke die höchste des Regensburger Stadtgebiets.

Die CO-Immission, die Schadstoffkonzentration die auf den Menschen einwirkt, differiert mit der Verkehrsdichte, aber auch mit dem Verkehrsfluß, da bei geringeren Fahrgeschwindigkeiten

höhere Schadstoffraten emittiert werden. Aus diesen Gründen verläuft der Tagesgang der CO-Konzentration in Regensburg werktags zweiphasig, mit den Maxima zu den Berufsverkehrszeiten. Im Jahresgang treten die höchsten Konzentrationen in den Wintermonaten auf. Sie werden durch die unzureichende Verdünnung der Abgase bei häufig vorkommenden stabilen Wetterlagen und durch die CO-Emission des Hausbrands verursacht.

Da die CO-Immission im einzelnen sehr stark von der Bausubstanz und den Wetterverhältnissen abhängig ist, hat die Verfasserin im Regensburger Stadtgebiet mobile Messungen zur Untersuchung der Schadstoffbelastung durch Kraftfahrzeuge durchgeführt. Hierzu diente der Infrarot-Gasspuren-Analysator Unor, der durch eine mobile Stromquelle betrieben wurde. Da das Gerät erschütterungsempfindlich ist, mußte es bei jedem Halt mit Prüfgas neu geeicht werden. Vor das Ansaugrohr war ein Filter aufgesteckt, um Verunreinigungen des Gerätes zu vermeiden. Die Messungen führten zu dem Ergebnis, daß in den engen Durchgangsstraßen der Altstadt, z.B. der Gesandtenstraße, Goliathstraße oder der Weißen-Hahnen-Gasse, bei jedem Wetter die höchsten Immissionen auftreten, da ganztägig zählüssiger Verkehr herrscht und die geschlossene Bauweise die Durchmischung und den Wegtransport der Abgase einschränkt. In den Ausfallstraßen sind die Schadstoffkonzentrationen trotz der erheblich größeren Verkehrsdichte wesentlich geringer. Unabhängig von den baulichen Verhältnissen treten bei Windstille oder schwachen Winden meist die höchsten Immissionswerte auf. Dabei ist kein Unterschied zwischen Nebeltagen und klarem, austauscharem Wetter festzustellen. Bei zyklonaler Witterung kommen in windparallelen Straßen, wie in der Gesandtenstraße oder Ludwigstraße, die in West-Ostrichtung verlaufen, relativ geringe Konzentrationen vor, da die kräftigen Luftströmungen, die durch Böen verstärkt werden, gute Austauschbedingungen bewirken. In quer zur Windrichtung gelegenen Straßen, z.B. der Maximilianstraße, bilden sich dagegen Leewirbel, in denen die Immission sehr hoch ist und die Schadstoffanreicherung bei stabilen Wetterlagen sogar übertreffen kann (vgl. LEISEN 1978).

Von der amtlichen Meßstation auf dem Dachauplatz wurden keine CO-Konzentrationen registriert, die die gesetzlichen Toleranzgrenzen überschreiten. Die von dieser Meßstelle ermittelten Daten sind jedoch für die Beurteilung der Belastung durch Kraftfahrzeugabgase in der Altstadt nicht repräsentativ. Auf dem Dachauplatz herrschen bessere Durchmischungsverhältnisse als in den engen Gassen. Die Station ist mit Büschen umpflanzt, die die Turbulenz vergrößern und der Meßfühler befindet sich etwa in 3 m Höhe. Da sich CO aber sehr rasch mit der Luft verdünnt, sind Fußgänger auf den Gehsteigen, direkt neben der Fahrbahn, von höheren Konzentrationen betroffen. Zur Untersuchung der tatsächlichen Abgasbelastung der Passanten wurden von der Verfasserin mobile Messungen durchgeführt. Die Meßhöhen betragen 0,9 m (Atemhöhe von Kindern) und 1,6 m (Atemhöhe von Erwachsenen) um zu ermitteln ob Kinder, die resistenzschwächer sind, wegen des geringeren Abstands zur Emissionsquelle höheren Schadstoffkonzentrationen ausgesetzt sind.

Die Untersuchungen ergaben, daß der gesetzliche Grenzwert (MIK 30 Min. - von 45 ppm) für die CO-Immission bei austauscharem Wetter, zur Berufsverkehrszeit in einigen stark befahrenen Altstadtstraßen, erreicht oder überschritten wird und zwar häufig dann, wenn sich Fahrzeugstaus gebildet haben. Fließender, aber auch zähflüssiger Verkehr, verursacht dagegen geringere Immissionen. Die höchste Abgasbelastung wurde in der Weißen-Hahnen-Gasse registriert. Kraftfahrzeugemissionen enthalten ferner neben dem für den Menschen wahrnehmbaren Kohlenmonoxyd eine Vielzahl unangenehm riechende, organische Verbindungen, die Übelkeit auslösen können.

Kinder sind wegen der geringeren Atemhöhe in Straßennähe bei jedem Wetter von höheren Schadstoffkonzentrationen betroffen. Bei zähflüssigem, oder stehendem Verkehr, ist die Abgasmenge, die Kinder einatmen, besonders groß. Kurzzeitige Spitzenkonzentrationen von mehr als 50 ppm CO sind keine Seltenheit. Auf Gehwegen, die durch einen Grünstreifen von der Fahrbahn getrennt sind, wirken auf Kinder dagegen keine höheren Schadstoffbelastungen ein als auf Erwachsene.

Zur Untersuchung der Langzeitbelastung durch Kraftfahrzeugabgase wurde die Blei- und Zinkkonzentration in Böden des Regensburger Stadtgebietes analysiert. Hierzu wurden aus dem Stadtgebiet etwa 50 Bodenproben entnommen, die mit der Methode der Röntgenfluoreszenzanalyse untersucht wurden. Blei ist dem Benzin beigemischt und wird durch die Abgase freigesetzt; Zinkanreicherungen entstehen durch Reifenabrieb. Hohe Bleikonzentrationen >300 ppm in straßennahen Böden treten in Regensburg vor allem an den verkehrsreichen Plätzen der Altstadt, z.B. am Alten Kornmarkt, Arnulfsplatz, Neupfarrplatz, oder Kassiansplatz, aber auch in der Thundorfer- und Wittelsbacher Straße, auf. Auch an den dichtbefahrenen Ausfallstraßen, an denen nur mäßige CO-Immissionen gemessen wurden, sind die Bleigehalte stark erhöht, z.B. an der Adolf-Schmetzer-Straße (540 ppm), Nordgaustraße am Einkaufszentrum (435 ppm) oder Frankenstraße (460 ppm). Die Zinkgehalte der Altstadt sind in verkehrsreichen Straßen, in Parkplatznähe, besonders stark angereichert, z.B. in der Gesandtenstraße (980 ppm) oder Arnulfsplatz (750 ppm). Erheblich niedriger liegen die Werte in den Ausfallstraßen, die nur in der Nordgaustraße am Donaueinkaufszentrum und im Hafengebiet Konzentrationen von mehr als 300 ppm erreichen. Ein Vergleich der Schwermetallgehalte in den Böden des Regensburger Stadtgebiets mit anderen Untersuchungen (LAGERWERFF 1970, PAGE 1971, MÜLLER 1978) zeigt, daß die Anreicherungen in der Altstadt und an den stark befahrenen Ausfallstraßen zum Teil sehr hoch sind. So liegen z.B. die Bleikonzentrationen von straßennahen Oberböden in anderen Städten zumeist nur zwischen 150 - 300 ppm.

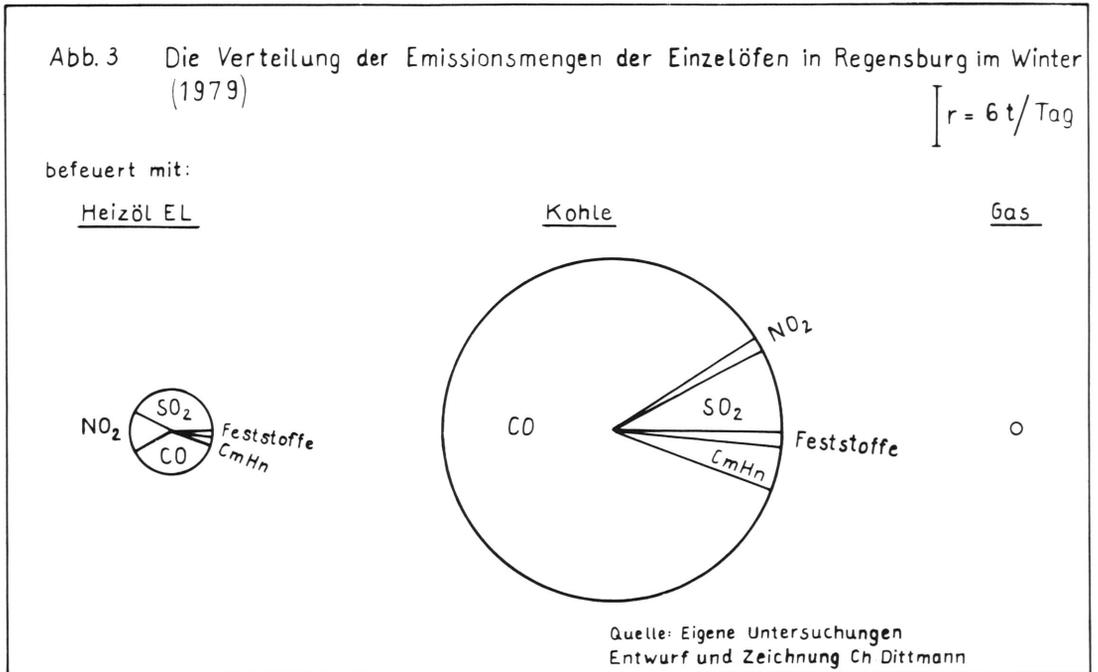
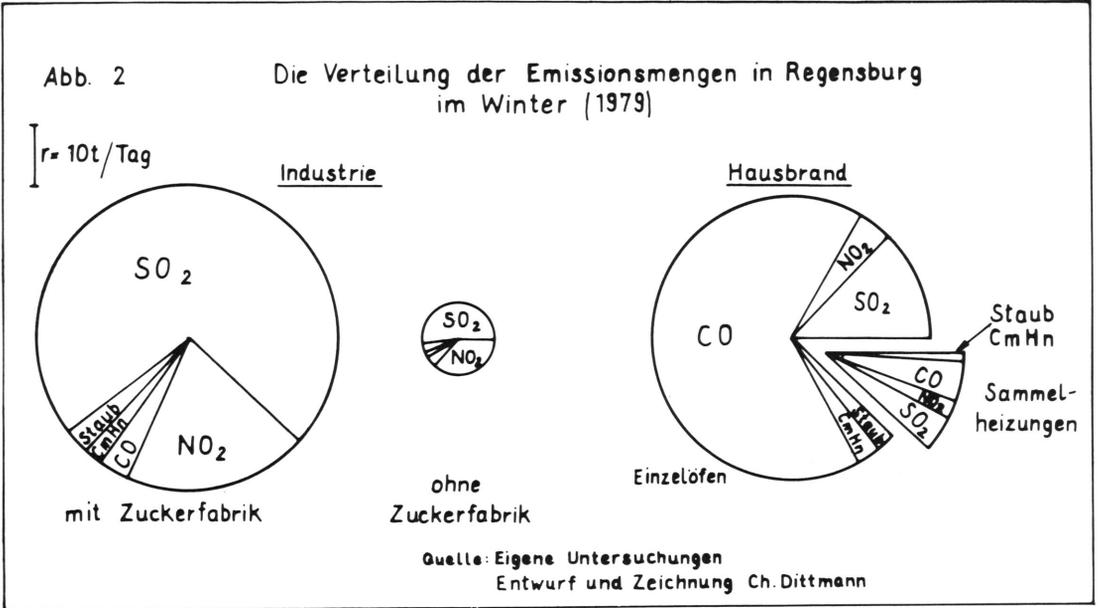
Die Luftbelastung durch Emissionen von Industrie- und Hausbrand

Schwerwiegende Auswirkungen auf die lufthygienische Belastung in Regensburg haben die Emissionen von Industrie- und Hausbrand. Als Leitsubstanz zur Beurteilung der Luftverunreinigung durch Feuerungsanlagen diente in der durchgeführten Untersuchung die

SO₂-Konzentration, da über die Anreicherung dieses Schadstoffs das umfangreichste Datenmaterial zur Verfügung stand. Zur Ergänzung der statistischen Werte hat die Verfasserin zusätzliche Messungen und Analysen durchgeführt. Zur Ermittlung der Belastung und Belastbarkeit des Raumes dienten die gesetzlich festgelegten Immissionswerte als Toleranzschwellen. Da diese Grenzwerte unter praxisfernen Laborbedingungen festgesetzt werden - unberücksichtigt bleibt z.B. die Kombinationswirkung von Gasgemischen -, können sie jedoch nicht sicherstellen, daß eine Schädigung der Bevölkerung bei Konzentrationen unterhalb der vorgeschriebenen Höchstwerte vermieden wird (MOLL 1973/1979; SCHWEGLER 1974). Dennoch sind die Immissionswerte die einzig anwendbaren Richtgrößen, da sie verbindliche Maximalkonzentrationen festlegen und dadurch eine vereinheitlichte Beurteilung der Luftbelastung unterschiedlicher Gebiete erreicht wird.

Für die Beurteilung der lufthygienischen Situation von Regensburg war zunächst eine Untersuchung der Schadstoffemittenten, die in die Quellgruppen: Industrie, Hausbrand und Verkehr gegliedert wurden, erforderlich. Als Berechnungsgrundlagen dienten Daten, die durch Fragebögen an die Bezirkskaminkehrermeister, durch Auskunft des Stadtverkehrsamtes und durch Befragungen in den Industriebetrieben ermittelt wurden. Zur Berechnung der Emissionsmengen fanden die Tabellen der 5. Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz vom 30.1.1979 Anwendung. Daraus ergaben sich folgende Ergebnisse: Die Zuckerfabrik ist der Hauptemittent der Stadt; in der Betriebszeit zwischen Oktober und Dezember werden pro Stunde etwa 1 t Schadstoffe, davon etwa 600 kg SO₂, freigesetzt; mehr als die übrig. Betriebe zusammen ausstoßen (Abbildung 2). Besonders nachteilig wirkt es sich aus, daß während der Kampagne der Zuckerfabrik Südostwinde und stabile Schichtungsverhältnisse vorherrschen, die die Abgase in das Stadtzentrum verfrachten und den Luftaustausch beschränken.

Etwa 80 % der durch den Hausbrand freigesetzten Schadstoffe entfallen auf die Monate von Oktober bis Februar, in denen die Austauschbedingungen am ungünstigsten sind. In den Wintermonaten, in denen die Zuckerfabrik nicht arbeitet, emittiert der Hausbrand den größten Teil der Luftverunreinigungen, wie man aus der Abbildung 2 ersehen kann. Sammelheizungen, an die in Regensburg etwa 32 % der Wohnungen angeschlossen sind, verursachen jedoch nur geringe Schadstoffmengen. Der überwiegende Anteil der durch den Hausbrand bedingten Luftverunreinigungen wird durch die Raumheizung mit Einzelöfen hervorgerufen, die im Vergleich zu ihrer Leistung, die höchsten Emissionsraten freisetzen. Dabei muß jedoch nach der Brennstoffart differenziert werden: Fast emissionsfrei arbeiten gasbeheizte Öfen und auch die Schadstoffmengen der mit leichtem Heizöl betriebenen Öfen sind relativ niedrig. Den größten Anteil an der Gesamtemission haben kohlebeheizte Einzelöfen; aufgrund der unvollständigen Verbrennung setzen sie hohe Kohlemonoxydraten frei (Abbildung 3).



Die Immissionsbelastung aus Feuerungsanlagen kann aber nicht allein anhand der Schadstoffmenge bestimmt werden. Zu berücksichtigen sind ferner die Wirkungen der verschiedenen Abgasbestandteile, ihr Verhalten in der Atmosphäre sowie die unterschiedliche Quellhöhe. Die Emissionen des Hausbrands bestehen zu einem überwiegenden Anteil aus Kohlenmonoxyd, das sich sehr rasch in der Luft verdünnt. Die Industrieabgase enthalten dagegen hauptsächlich Schwefeldioxyd, das sich mit der Luftfeuchte zu der ätzenden und reizerzeugenden schwefligen Säure und Schwefelsäure verbindet. Industrielle Emissionen gefährden daher die Umwelt in stärkerem Maße. Da die Schadgase des Hausbrands jedoch aus niedrigen Quellhöhen emittiert werden, reichern sie sich bei austauscharmen Wetterlagen in den unteren Luftschichten an, während Emissionen aus Turmkaminen oberhalb der Sperrschicht freigesetzt werden. Bei kräftiger Turbulenz gelangen die Abgase des Hausbrands schon nach kurzer Entfernung in Bodennähe; industrielle Schadstoffe werden dagegen stärker verwirbelt und verdünnt. Aus diesen Gründen tragen überwiegend die Hausbrandemissionen zur Immissionsbelastung in der Regensburger Altstadt bei.

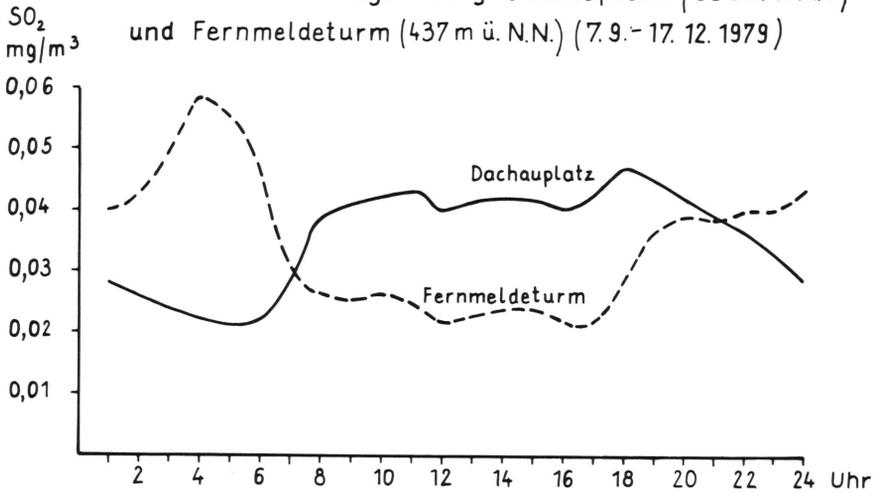
Die Flächenbelastung des Regensburger Stadtgebiets durch feuerungsbedingte Emissionen wurde anhand des Bodenschwefelgehaltes näher bestimmt. Hierzu wurden im Stadtgebiet etwa 50 Bodenproben entnommen, die mit der Methode der Röntgenfluoreszenzanalyse untersucht wurden. In den Randbezirken entsprechen die Schwefelkonzentrationen um 700 ppm etwa den Werten natürlicher, unbeeinflusster Böden. Im Stadtzentrum sind die Konzentrationen des Hausbrands bis um das 10-fache erhöht. Die Untersuchungen ergaben, daß der Maximalwert am Arnulfsplatz auftritt. Im östlichen Industriegebiet liegen die Bodenschwefelwerte dagegen zwar höher als in den übrigen Randbezirken, erreichen jedoch keineswegs die hohen Konzentrationen in der Altstadt und in Stadthof. Die Ursache dafür ist, daß im Stadtzentrum die meisten Wohnungen mit Einzelöfen beheizt werden, die hohe Emissionen bewirken. Wegen der niedrigen Quellhöhe gelangen die Schadstoffe, besonders bei Winden aus westlichen Richtungen, rasch in Bodennähe. Im Stadttosen erfolgt die Abnahme der Schwefelanreicherungen langsamer als in den anderen Randgebieten der Stadt. Dies ist einerseits durch die Lage im Lee der Altstadt und durch dort befindliche Wohnsiedlungen, die ebenfalls Einzelofenheizung aufweisen, andererseits durch die im Osten ansässigen Industriebetriebe, deren Abgasfahnen bei starker Turbulenz zu Boden gedrückt werden, bedingt. Die Untersuchungen der Schwefelkonzentration in den Böden des Regensburger Stadtgebietes führen also zu dem Ergebnis, daß die Flächenbelastung durch SO_2 -Emissionen vorwiegend durch die Emissionen des Hausbrands hervorgerufen wird und deshalb im Stadtzentrum am größten ist.

Die Auswertung der lufthygienischen Messungen, die vom Bayerischen Landesamt für Umweltschutz auf dem Dachauplatz durchgeführt wurden, ergaben, daß in Regensburg hohe Immissionen, vor

allem bei tiefen Lufttemperaturen, auftreten. So wurde z.B. im Januar 1979 der IW_1 -Wert von $0,14 \text{ mg SO}_2/\text{cbm}$, der nach der TA-Luft den Grenzwert für die Langzeitbelastung angibt, an Tagen mit Lufttemperaturen unter -10°C und schwachen Winden überschritten. Bei erhöhten Temperaturen und größeren Windstärken ging dagegen die Immission zurück. Dieses Beispiel bestätigt, daß die Schadstoffkonzentration überwiegend durch den Hausbrand verursacht wird. Die Ausbildung von Kaltluftseen in der Regensburger Bucht bei antizyklonalen Wetterlagen wirkt sich somit in zweifacher Weise ungünstig aus: Einerseits bilden sich tiefliegende Bodeninversionen, die den Luftaustausch stark einschränken, andererseits lösen die niedrigen Temperaturen eine verstärkte Heiztätigkeit aus und die Schadstoffe reichern sich in der flachen Kaltluftschicht an (Abbildung 4).

Die SO_2 -Konzentration hat sich in Regensburg zwischen 1975 ($0,2 \text{ mg SO}_2/\text{cbm}$) und 1978 ($0,5 \text{ mg SO}_2/\text{cbm}$) mehr als verdoppelt. In München sank dagegen die SO_2 -Immission kontinuierlich ab und lag erstmals 1978 unter den in Regensburg ermittelten Werten (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 1979). Die Tatsache, daß die mittlere Schadstoffbelastung in Regensburg größer ist als in München, verdeutlicht die ungünstige, lufthygienische Situation in der Regensburger Bucht. Um die Veränderung der Schadstoffkonzentration in der Höhe zu untersuchen, führte die Verfasserin 1979 komparative Messungen durch. Hierzu diente der Spurengasanalysator Picoflux, der auf der Plattform des Regensburger Fernmeldeturms, 100 m oberhalb des Donaualtes, aufgestellt war. Die Messungen führten zu dem Ergebnis, daß der Tagesgang der SO_2 -Konzentration in Regensburg mit der Meßhöhe variiert, wie ein Vergleich der Werte ergab, die im Donaual (Dachauplatz) und 100 m oberhalb der Regensburger Bucht registriert wurden. In Strahlungsnächten, die besonders häufig im Herbst und Winter auftreten, nimmt die Schadstoffanreicherung mit der Höhe zu. Die Abgase des Hausbrands sammeln sich unterhalb der Inversionsschicht, während die Emissionen aus Turmkaminen aufgrund der Rauchgasüberhöhung in größere Höhen vordringen und sich dort anreichern. Bewohner in den oberen Stockwerken der Hochhäuser und in den Eigenheimen auf den randlichen Höhenzügen können daher nachts größeren Immissionskonzentrationen ausgesetzt sein. In den Morgenstunden gelangen die Schadstoffe infolge der zunehmenden Turbulenz in Bodennähe. Tagsüber herrschen dann in der Höhe bessere Austauschbedingungen und geringere Abgaskonzentrationen (Abbildung 5). In bewölkten Nächten sind die Immissionen allgemein sehr niedrig und nehmen mit der Höhe ab. In Bodennähe im Stadtzentrum (Dachauplatz) steigen dagegen im Tagesgang die Werte in den Vormittagsstunden kurzfristig an, da durch das morgendliche Anheizen der Einzelöfen Schadstoffe emittiert werden und wegen der verstärkten Turbulenz in den Vormittagsstunden die Rauchgase, die sich nachts an der Sperrschicht angereichert hatten, in Bodennähe verfrachtet werden. Um die Mittagszeit gehen dann die Immissionswerte geringfügig zurück und erreichen am späten Nachmittag, wenn die Einzelöfen nachgeheizt werden, das Maximum. In den Abend- und Nachtstunden sinken die Konzentrationen kontinuierlich ab.

Abb. 5 Der Tagesgang der SO_2 -Konzentration in mg/m^3 in Bodennähe und 100m Höhe Regensburg: Dachauplatz (330 m ü. N.N.) und Fernmeldeturm (437 m ü. N.N.) (7.9.-17.12.1979)



Quelle: Eigene Untersuchungen

Bayer. Landesamt f. Umweltschutz: EDV-Auszüge

Entw. u. Zeichn. Ch. Dittmann

Im Jahresgang tritt das Maximum der SO_2 -Konzentration in den Wintermonaten auf, da durch den Hausbrand große Schadstoffmengen emittiert werden und häufig tiefliegende Inversionen und stabile Austauschverhältnisse herrschen.

Punktuell kommen hohe Schadstoffkonzentrationen dort vor, wo die Abgasfahne der Zuckerfabrik niedergeht. Bei austauscharmen Wetterlagen sind die organischen Immissionen, die üble Gerüche hervorrufen, im Stadtzentrum, oder im Westen bei Pfaffenstein oder Prüfening, wahrnehmbar. Bei guten Austauschbedingungen erreichen die Schadstoffe etwa 1 - 2 km östlich der Quelle den Boden; Anlieger beobachten dann auf dunklen Flächen gelben Schwefelniederschlag, der wie Blütenstaub aussieht.

Die Interpretation der Luftbelastung in Regensburg hängt davon ab, welche Grenzwerte zugrunde gelegt werden. Der MIK_k -Wert von $1 \text{ mg SO}_2/\text{cbm}$, der nach der Festsetzung der VDI-Kommission die maximale Halbstundenbelastung angibt, wurde in Regensburg bislang in Bodennähe nicht erreicht. Dagegen wurde der IW_2 -Wert von $0,4 \text{ mg SO}_2/\text{cbm}$, der nach der TA-Luft als Richtwert für die maximale Kurzzeitbelastung bei der Planung von genehmigungsbedürftigen Anlagen gilt, von 1975 - 1979 11-mal überschritten, davon 6-mal allein im Jahr 1979. Der höchste Halbstundenmittelwert von $0,81 \text{ mg SO}_2/\text{cbm}$ wurde am 6.2.1979 erreicht. Tage an denen der MIK_D -Wert von $0,3 \text{ mg SO}_2/\text{cbm}$ überschritten wurde, traten im Beobachtungszeitraum

2-mal, am 18.2.1978 mit 0,38 mg SO₂/cbm und am 6.2.1979 mit 0,32 mg SO₂/cbm, ein. Der IW₁-Wert von 0,14 mg SO₂/cbm, der nach der TA-Luft die höchstzulässige Langzeitbelastung angibt, wurde dagegen im gleichen Zeitraum an 18 Tagen überschritten. Da die Meßstation an der Isarstraße in diesen Zeiträumen ebenfalls erhöhte Konzentrationen registrierte, handelt es sich bei diesen Spitzenwerten nicht um zufällige, örtliche Abgaswirkungen, sondern um überhöhte Flächenbelastungen. Vereinzelt, hohe Schadstoffkonzentrationen schädigen die menschliche Gesundheit jedoch weniger, als eine erhöhte Langzeiteinwirkung. Daher ist es für die Beurteilung der lufthygienischen Situation von Regensburg besonders gravierend, daß der Monatsmittelwert des Januar 1979 mit 0,13 mg SO₂/cbm nur geringfügig unterhalb des IW₁-wertes lag. Der Grenzwert für die mittlere Jahresbelastung von 0,1 mg SO₂/cbm wird in Regensburg dagegen bei weitem nicht erreicht.

Die Ursache der hohen Schadstoffbelastung in Regensburg, trotz der relativ geringen Industrialisierung, ist also die ungünstige orohydrographische Lage der Stadt. Verdichtungsräume, wie München oder Nürnberg, in denen die Immissionskonzentrationen niedriger bzw. geringfügig höher liegen als in Regensburg, setzen erheblich größere Emissionsraten frei. Diese Agglomerationen liegen aber in flachem Gelände; die Schadstoffe werden daher durch Windströmungen stärker verdünnt und wegtransportiert. In Regensburg sammeln sich dagegen die Abgase häufig innerhalb sehr flacher Bodeninversionen, die in klaren Nächten durch die Bucht-lage besonders oft auftreten.

SCHADWIRKUNGEN DER LUFTVERUNREINIGUNGEN IN REGENSBURG

Sichtbarer Ausdruck für die lufthygienische Belastung des Regensburger Raumes ist das Auftreten von Schäden an Sachgütern und Pflanzen sowie die Häufung von Störungen der menschlichen Gesundheit. Die Funktion der Stadt, die ökonomischen, sozialen und kulturellen Bedürfnisse zu erfüllen und die Lebensqualität zu verbessern, ist somit beeinträchtigt.

Die Zerstörung der wertvollen Bausubstanz

Die Zerstörung wertvoller, mittelalterlicher Gebäudefassaden und Kunstwerke durch die Luftverunreinigung in Regensburg ist nicht nur ein kultureller Verlust, sie stellt einen bedeutenden, volkswirtschaftlichen Schaden dar, da für den Versuch, die unschätzbaren Kulturgüter zu erhalten, Geldbeträge in Millionenhöhe benötigt werden.

Figuren und Ornamente des Regensburger Domes und anderer mittelalterlicher Kirchen und Patrizierhäuser unterliegen einer äußerst raschen Verwitterung, die innerhalb weniger Jahre die Konturen vollständig zerstört. So war z.B. das Gesicht eines Fratzenkopfes, der 1936 mittlere Zerstörungen aufwies, 1958

vollständig verwittert. Inzwischen ist der Kopf durch eine Nachbildung ersetzt. Analysen von Gesteinen betroffener Gebäudefasaden bestätigten, daß der Zerfall durch die Einwirkung von Schwefel, der in den Emissionen von Industrie und Hausbrand enthalten ist, verursacht wird. Die hygroskopischen SO_2 -Gase, die mit der Luftfeuchte reagieren, bilden schweflige Säure und Schwefelsäure, die den Kalk in Gips umwandeln. Da Gips im Gegensatz zu Kalk in Wasser leichter löslich ist und eine wesentlich größere Volumenausdehnung besitzt, wird die Verwitterung stark beschleunigt. Im Gegensatz zu Organismen, die eine gewisse Immissionskonzentration ohne Schädigung verkraften können, ist bei Gesteinen auch die geringste Schadstoffmenge auf die Dauer wirksam.

Der Zerfall der mittelalterlichen Skulpturen, Ornamente und Glasfenster begann in Regensburg um 1900, als man anfang, vorwiegend Kohle und später Heizöl zu verfeuern. Im Mittelalter war dagegen Holz der Hauptbrennstoff, das zwar eine erhebliche Rauch- und Rußentwicklung verursachte, aber keinen Schwefel enthält. Durch Messungen der Verfasserin wurde nachgewiesen, daß Sandstein, der weniger fest gebunden ist, bereits bei Gipsgehalten um 40 % zerfällt. Bis vor wenigen Jahren glaubte man, daß Kalkstein der Rauchgasverwitterung widerstehen könne; daher wurden in der Dom-Bauhütte schadhafte Sandsteinskulpturen durch Kalksteinnachbildungen ersetzt. Seit wenigen Jahren zerfallen jedoch auch die Kalksteine. Sie sind fester gebunden und platzen daher erst bei Gipsgehalten von meist 60 % und mehr ab. Dies hat zur Folge, daß Instandsetzungsarbeiten am Dom langfristiger erfolglos sind. Die Rettung der wertvollen mittelalterlichen Bausubstanz ist daher nur durch eine Reduzierung der SO_2 -Emissionen möglich.

Schäden an Pflanzen

Schäden an Pflanzen treten in Regensburg durch mehrere Ursachen auf:

Die Kartierung der Rindenflechten im Stadtgebiet (GOPPEL 1976) ergab, daß mit Annäherung an das Stadtzentrum der Flechtengewuchs immer stärker verkümmert. Flechtenwüsten bestehen in der Altstadt sowie im Stadtosten, in der Nähe der Zuckerfabrik, in Schwabelweis im Einflußbereich eines Chemiewerkes und westlich des Regens bei einer ehemaligen Ziegelei. Die Ursache dieser Wuchsbeschränkungen ist vor allem die Versauerung der Niederschläge in den Wintermonaten durch die Schwefelemissionen sowie punktuell die Einwirkung von Fluorwasserstoffgasen. Besonders schwere Pflanzenschäden traten von 1968 - 1979 in Tegernheim auf. Gartenpflanzen verloren mehrmals im Jahr ihr Laub, ältere Obstbäume trugen keine Früchte mehr, jüngere Laubbäume und Nadelhölzer starben ab. Die Ursache dafür waren Betriebsstörungen bei der Produktion von Flußsäure in einem nahegelegenen Chemiewerk; im August 1979 wurde diese Anlage stillgelegt. Sehr häufig sind Schäden an den Laubbäumen im Stadtzentrum und an Ausfallstraßen festzustellen. Linden, Kastanien und Ahorn-

bäume weisen von Juli an schwere Blattspitzennekrosen auf, zahlreiche Bäume sind fast vollständig entlaubt, Auch bei resistenten Baumarten, z.B. Robinien, treten derartige Schäden auf. Diese Wirkungen werden bei Laubbäumen weniger durch die Luftverunreinigung hervorgerufen. Die Hauptursachen stellen der phytotoxische Einfluß von Streusalzen und der Nährstoffmangel durch Asphaltierung und Bodenverdichtung dar. Infrarotbilder, die im Mai aufgenommen wurden, beweisen, daß es sich um Dauerschädigungen handelt. Bäume die im Verlauf der Vegetationsperiode ihr Laub verlieren, treiben bereits im Frühjahr nur kümmerlich aus; schon der Jungwuchs zeigt auf Infrarotphotos eine violette Färbung. Die durch menschliche Einwirkungen geschwächten Pflanzen sind in erhöhtem Maße für Krankheiten und Schädlingsbefall anfällig.

Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit

Die Belastung der menschlichen Gesundheit hat in Regensburg unterschiedliche Ursachen:

Zum einen beeinträchtigt das Zusammenwirken von Nebel und Schadstoffanreicherungen das menschliche Wohlbefinden. In der Bodeninversionsschicht herrscht unangenehme Naßkälte, mehrtägige Dunst- und Nebelperioden wirken sich nachteilig auf den Stoffwechsel aus. Ärzte diagnostizieren in Regensburg überdurchschnittlich viele Erkrankungen der Atemwege. Bei zahlreichen Patienten verschwanden Bronchialasthma, aber auch rheumatische Erkrankungen und Nervenentzündungen, nachdem sie aus Regensburg weggezogen waren. Die Ursache dieser Beschwerden ist vor allem die reizerzeugende Wirkung von Schwefelsäure, die sich durch die Umwandlung der SO_2 -Emissionen in feuchter Luft bildet. Bei mehrtägigen, austauscharmen Wetterlagen können die Schwefelkonzentrationen die Grenzwerte für die Luftbelastung übersteigen und lösen, besonders bei resistenzschwachen Personen, Kindern und älteren Menschen, akute und chronische Erkrankungen aus.

Zum anderen verursachen überhöhte Schadstoffanreicherungen gesundheitliche Beschwerden oder belästigende Wirkungen. In den engen Durchfahrtsstraßen der Altstadt treten bei austauscharmen Wetterlagen zur Berufsverkehrszeit zum Teil überhöhte Kohlenmonoxydkonzentrationen, die im Zusammenwirken mit unangenehm riechenden, organischen Abgaskomponenten Übelkeit hervorrufen können.

Durch die Emissionen einzelner Industriebetriebe treten zusätzlich örtliche Belastungen auf. Besonders unangenehm wirken die organischen Schadstoffkomponenten der Zuckerfabrik. Bei stabiler Schichtung und östlichen Luftströmungen, die zwischen Oktober und Dezember überwiegen, belästigen häufig üble Gerüche, die bei der Schnitzeltrocknung entstehen, die Bewohner im Zentrum, Westen und Nordwesten der Stadt. Am schlimmsten sind die Anlieger von Irl und Irlmauth betroffen, die durch die Gerüche der Klärschlammteiche der Zuckerfabrik belastet werden. Besonders kritisch ist die lufthygienische Situation dort an warmen Frühlingstagen bei antizyklonalem Wiedereinfluß. In den Abend-

tunden verfrachten dann Zirkulationsströmungen die organischen Abgaskomponenten in die Wohngebiete. Die üblen Gerüche belästigen nicht nur das Wohlbefinden der Anwohner; sie lösen neuro-vegetative Störungen, wie Übelkeit, Kopfschmerzen, Verstimmung und Konzentrationsschwäche aus (GRANDJEAN 1973; SCHLIPKÖTER 1972).

Die Begrünung der Schlammteiche, die 1980 vorgenommen wurde, hat die Situation etwas verbessert.

In Tegernheim gefährdeten ausströmende Fluorwasserstoffgase von einem benachbarten Chemiewerk die Bevölkerung. Menschen, die in eine HF-Wolke gerieten, spürten ätzende Schmerzen im Nasen- und Rachenraum. Für die Beurteilung der Belastung genügt es jedoch nicht, nur die Schadstoffwirkungen zu analysieren. Bis zur Stilllegung der Anlage im August 1979 lebten die Bewohner in Angst vor einer Giftgaskatastrophe. Am 20. November 1975 mußten die Anlieger nach einem Gasausbruch für etwa 2 Stunden evakuiert werden.

Belästigung durch Grobstäube treten im Nordosten der Stadt, in der Nähe der Kalkwerke und des Zementwerks auf. Feinstäube, die nicht wahrgenommen werden, gefährden die menschliche Gesundheit jedoch wesentlich stärker. Sie dringen beim Atmen tief in die Lunge ein und erhöhen in Kombination mit SO₂ die toxische Wirkung von Hausbrand- und Industrieemissionen.

DIE LUFTHYGIENISCHE BELASTUNG UND BELASTBARKEIT DER REGENSBURGER BUCHT

Die Untersuchungen führen zu dem Ergebnis, daß der Regensburger Raum aufgrund der orohydrographischen Situation ein ungünstiges Lokalklima aufweist. Besonders in den Herbst- und Wintermonaten belasten Naßkälte und Nebel das Wohlbefinden der Bevölkerung. Durch die städtische Bebauung kommen weitere Belastungswirkungen hinzu. Aufgrund der natürlichen, lokalklimatischen Verhältnisse ist die Belastbarkeit des Raumes im Hinblick auf Luftverunreinigungen sehr gering. Die hohen Immissionskonzentrationen, die zum Teil auftreten, sind weitgehend eine Folge der ungünstigen Buchtlage der Stadt. In sehr vielen Nächten, im Winter auch oft ganztägig, bestehen tiefliegende Inversionen, die die Schadstoffe von Industrie und Hausbrand in den unteren Luftschichten zurückhalten. Sichtbarer Ausdruck für die lufthygienische Belastung im Regensburger Stadtgebiet sind die Gesteinszerstörungen an mittelalterlichen Kunstwerken, Schäden an Pflanzen und Beeinträchtigungen der Gesundheit der Regensburger Bürger. Es ist daher erforderlich, die lufthygienische Belastung der Stadt zu reduzieren. Da die klimatischen Verhältnisse des Raumes, die Kaltluftbildung im Donautal und die große Inversionshäufigkeit nicht geändert werden können, ist es notwendig, die Schadstoffraten von Industrie und Hausbrand durch eine umfassende Umstellung auf emissionsarme Energieträger sowie den

Einbau von Rauchgasentschwefelungsanlagen bei Großemittenten zu verringern und Gesichtspunkte der Luftreinhaltung bei der Planung in stärkerem Maße zu berücksichtigen.

LITERATURVERZEICHNIS

- BAUBERGER, W. u.a. (1969). Erläuterungen der Geologischen Karte von Bayern 1:25 000 Blatt-Nr. 6938 Regensburg; München
- BAUMÜLLER, J. (1974). Hangbebauung aus der Sicht der Meteorologie und der Luftreinhaltung. - Baupraxis 26,3: 45 - 48, Stuttgart
- (1975) Ein Beitrag der Meteorologie zur Raumplanung. - Baupraxis 27,1: 11 - 14, Stuttgart
- BAYER. LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (1974) Immissionsplan, München
- (1975 - 1979) Lufthygienische Monatsberichte, München
- (1976) Lufthygienischer Jahresbericht 1976. - Schr.-R.: Luftreinhaltung, Heft 12, München
- (1977) Lufthygienischer Jahresbericht 1977. - Schr.-R.: Luftreinhaltung, Heft 14, München
- (1979) Lufthygienischer Jahresbericht 1978. - Schr.-R.: Luftreinhaltung, Heft 15, München
- DEUTSCHER WETTERDIENST IN DER US-ZONE (1952) Klimaatlas von Bayern, Bad Kissingen
- DEUTSCHER WETTERDIENST, WETTERSTATION REGENSBURG (1961 - 1979) Synoptische Klimatagebücher
- DREYHAUPT, F.J. (1971) Luftreinhaltung als Faktor der Stadt- u. Regionalplanung. - TÜV-Rheinland e.V.: Schr.-R. Umweltschutz 1, Köln
- ELLENBERG, H. (1972) Belastung und Belastbarkeit von Ökosystemen. - Steubing, L.: Tagungsbericht der Gesellschaft für Ökologie 19 - 26, Giessen
- ERIKSEN, W. (1976) Die städtische Wärmeinsel. - GR 28,9: 368 - 373, Braunschweig
- FAUST, V. (1977) Biometeorologie, Stuttgart
- GRANDJEAN, E.; GILGEN, A. (1973) Umwelthygiene in der Raumplanung, Thun, München
- GOPPEL, Ch. (1976) Verbreitung und Ökologie von Rindenflechten im Stadtgebiet von Regensburg - ihr Zeigerwert für Stadtklima und Luftverschmutzung, Hoppea-Denkschrift d. Regensb. Botanischen Gesellschaft, Heft 35, Regensburg

- HERB, H. (1964) Nebel und Hochnebel im Raum Regensburg, München
- LAGERWERFF, J.V. u.a. (1970) Contamination of Roadside Soil and Vegetation with Cadmium, Nickel, Lead and Zinc.-Environ Sci. Technol. 4: 583 - 586, Washington D.C.
- LEISEN, P. (1978) Windkanaluntersuchungen zur Simulation von Immissionssituationen in verkehrsreichen Straßenschluchten. - TÜV Rheinland, Abgasimmissionsbelastungen durch den Kraftfahrzeugverkehr: 223 - 249, Köln
- LUCKAT, S. (1973) Die Wirkungen von Luftverunreinigungen beim Steinerfall. - Staub 33: 283 - 285, Düsseldorf
- MOLL, W. (1973) Taschenbuch für Umweltschutz 1, Darmstadt
- (1979) Taschenbuch für Umweltschutz 2, Darmstadt
- MÜLLER, K.H. (1979) Der Bleigehalt innerstädtischer Böden als Maß für die Entsorgung von Kraftfahrzeug-Abgasen. - Hilgardia 41: 1 - 31, Berkeley, Calif.
- DER RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN (1978) Umweltgutachten, Stuttgart
- ROCZNIK, K. (1971) Geschichte und Ergebnisse der meteorologischen Forschung in Regensburg. - Acta Albertina Ratisbonensia 32: 199 - 223, Regensburg
- SCHLIPKÖTER, H.W. (1975) Immissionsgrenzwerte für die gesundheitsgefährdende und belästigende Wirkung von organischen Verbindungen. - TÜV Rheinland: Immissionsprognose 65 - 75, Sankt Augustin
- SCHWEGLER, H. (1974) Immissionsmessungen von Kraftfahrzeugabgasen in Bayern. - Schr.-R. d. Ver. f. Wasser-, Boden- und Lufthygiene 42: 219 - 240, Stuttgart
- VDI-KOMMISSION (1974) Maximale Immissionswerte. - VDI-Richtlinie 2310, Düsseldorf

GESETZLICHE BESTIMMUNGEN

Fünfte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (Emissionskataster in Belastungsgebieten 1979) GMB1 26: 358 - 365, Bonn

Verordnung über die Festsetzung von Belastungsgebieten in Bayern (29.4.1976): Bayer. GVBl 9: 176, München