ACTA ALBERTINA RATISBONENSIA

Band 41 – 1982

ISSN 0515-2712

CHRISTIANE DITTMANN

Regensburg

Stadtklima und Luftverunreinigung

REGENSBURGER NATURWISSENSCHAFTEN

UBR069011456888

HERAUSGEBER: NATURWISSENSCHAFTLICHER VEREIN REGENSBURG E. V.

REDAKTION: HELMUTH ACKERMANN

Die ACTA ALBERTINA RATISBONENSIA werden von dem Naturwissenschaftlichen Verein Regensburg e. V. unter der Schriftleitung von Dr. Helmuth Ackermann herausgegeben.

Sie dienen der naturwissenschaftlichen Forschung durch die Herausgabe von Arbeiten vornehmlich aus dem ostbayerischen Raum.

Es können nur Arbeiten angenommen werden, die noch nicht anderweitig ganz oder teilweise veröffentlicht vorliegen.

Manuskripteinsendungen sind an die Schriftleitung, 8400 Regensburg, Kumpfmühler Str. 2, zu richten.

Bestellungen der Acta Albertina Ratisbonensia sind an die Bibliothek des Naturwissenschaftlichen Vereins, 8400 Regensburg, Haidplatz 8, zu richten.

Alle Rechte vorbehalten.

Jegliche Vervielfältigung ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung durch den Herausgeber erlaubt.

Der vorliegende Band ist eine Dissertation, die von der Verfasserin am Institut für Geographie der Universität Regensburg angefertigt wurde.

Die Arbeit wurde 1981 mit dem Professor-Joseph-Engert-Preis der Stadt Regensburg ausgezeichnet.

Anschrift der Verfasserin:
Dr. Christiane Dittmann, Martin-Ernst-Str. 19, 8400 Regensburg.

Danksagung

Die Herausgabe dieses Bandes der ACTA ALBERTINA war dem Verein nur möglich durch die großzügige finanzielle Unterstützung von seiten des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht und Kultus, des Bezirkstages der Oberpfalz, der Mittelbayerischen Zeitung, der Stadt Regensburg, der Stadtsparkasse Regensburg sowie S. D. Fürst Johannes von Thurn und Taxis.

Wir bedanken uns für diese Spenden sehr herzlich

Werner Grießmeyer

ISSN 0515-2712

Band 41, ausgegeben im November 1982

Druck: Mittelbayerische Druckerei- und Verlagsgesellschaft mbH, Regensburg

Umschlag- und Innentitelgestaltung: W. Kugemann, Regensburg

REGENSBURG

Stadtklima und Luftverunreinigung

Klimaökologische und lufthygienische
Untersuchungen
zur
Belastung und Belastbarkeit
eines
städtischen Lebensraumes

von

CHRISTIANE DITTMANN

GR3/2003

RF. 50633. R333. D61+2

GESAMTVERZEICHNIS

	SEITE
VORWORT	5
INHALTSVERZEICHNIS	7
KURZFASSUNG	13
ABSTRACT	14
AUSFÜHRUNGEN ÜBER ANALYSEN UND UNTERSUCHUNGS-ERGEBNISSE	16
ANHANG	266
VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN	290
LITERATURVERZEICHNIS	293
VERZEICHNIS DER KARTEN	326
VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN	328
VERZEICHNIS DER PHOTOS	332
VERZEICHNIS DER TABELLEN	333

Univ.-Bibliothek Regensburg
6 239 484

VORWORT

Die Aufgabenstellung der Dissertation, das Stadtklima und die lufthygienische Situation Regensburgs zu untersuchen und nach dem gegenwärtigen Stand umfassend darzustellen, ist von Herrn Professor Dr. H. Klug angeregt worden. Er hat mich ermutigt, die vorliegende Arbeit zu beginnen und hat sie durch seinen wohlwollenden Rat bis zu deren Abschluß gefördert. Ich habe ihm dafür besonders herzlich zu danken.

Als Grundlage für diese Arbeit waren lufthygienische Untersuchungen im Raum Regensburg durchzuführen. Ich danke dem leitenden Direktor, Herrn Schwegler, vom Bayerischen Landesamt für Umweltschutz, und den Herren seiner Abteilung für ihr freundliches Entgegenkommen, mit dem sie mir die erforderlichen hochwertigen Meßgeräte

- einen Schwefeldioxid-Gasspurenanalysator "Picoflux" der Firma Hartmann und Braun und
- einen Kohlenmonoxid-Gasspurenanalysator "Unor II" der Firma Maihak

zur Verfügung gestellt und für die Ratschläge, die sie mir in vielen Gesprächen, die ich mit ihnen führen durfte, erteilt haben.

Eine weitere Voraussetzung zur Beurteilung der Luftqualität in Regensburg waren klimatologische Messungen. Ich habe Herrn Professor Dr. A. Hoffmann und seinen Mitarbeitern vom Institut für Meteorologie und Geophysik der Freien Universität Berlin besonders zu danken, daß sie mir folgende Meßgeräte

- ein ventiliertes Platin-Widerstandsthermometer und
- einen Punktkompensationsschreiber "Polycomp" der Firma Hartmann und Braun

für eine Meßanordnung zur mobilen Temperaturmessung überlassen und mich jederzeit hilfsbereit beraten haben.

Herrn Professor Dr. H. Klug habe ich auch dafür zu danken, daß er das Thermohydromeßgerät Thermophil Typ 4451-3 Hygrophil der Firma Ultrakust, das für die Erfassung klein- und mikroklimatischer Unterschiede des Temperatur-Feuchtemilieus notwendig war, beschafft hat.

Ich danke auch den Herren Professoren Dr. A. Forster und Dr. F. Fröhlich und Herrn Dr. H. Ackermann vom Staatlichen Forschungsinstitut f. angewandte Mineralogie, die mir einen Laborplatz zur Analyse von Spurenelementen in Bodenproben zur Verfügung gestellt haben und mich mit freundlichem Entgegenkommen beraten haben.

Mein Dank gilt besonders auch Herrn Professor Dr. Schirmer, Frau Dr. M. Kalb und den Damen und Herren des Deutschen Wetterdienstes, Zentralamt in Offenbach, die mir mit großzügigem

Entgegenkommen Einblick in ihre Arbeit gewährt und mir ihr Archiv mit dem umfangreichen Datenmaterial über das Klima im Regensburger Raum seit 1881 für meine Auswertungen zur Verfügung gestellt haben.

Ich habe auch dem Herrn Präsidenten der Oberpostdirektion Regensburg, Herrn Kronthaler und Herrn Dipl. Ing. Ruhland für die freundliche Erlaubnis zur Durchführung lufthygienischer Messungen auf dem Ziegetsdorfer Fernmeldeturm zu danken und auch den Herren der Funkübetragungs-Betriebsstelle für ihre Hilfsbereitschaft, die sie mir entgegengebracht haben.

Weiterhin habe ich Dank zu sagen den Damen und Herren

- der Regierung der Oberpfalz,
- der Stadtverwaltung Regensburg:
  Amt für Statistik,
  Gewerbeaufsichtsamt,
  Kraftfahrzeug-Zulassungsstelle,
  Ordnungsamt,
  Stadtentwicklungsamt,
  Stadtgartenamt,
  Stadttiefbauamt,
  Verkehrsamt,
- des Deutschen Wetterdienstes, Wetterstation Regensburg,
- des Deutschen Wetterdienstes, Instrumentenamt Oberschleißheim,
- des Wasser- und Schiffahrtsamtes Regensburg,
- der Wasser- und Schiffahrtsdirektion Süd, Regensburg,
- des Wasserwirtschaftsamtes Regensburg,
- dem Planungsbüro Röth, Amberg und
- dem Herrn Dombaumeister Triebe

für die zahlreichen schriftlichen und mündlichen Informationen, die sie mir mit freundlicher Hilfsbereitschaft gewährt und für das Interesse, das sie meiner Arbeit entgegengebracht haben.

Ich danke auch für die bereitwilligen Auskünfte, die ich von den Regensburger Industriebetrieben, den landwirtschaftlichen Betrieben und der Kaminkehrer-Innung der Oberpfalz über die technischen Daten der Großdampfkesselanlagen in Regensburg erhalten habe.

Die vorliegende Arbeit ist von dem Gedanken getragen, einen Beitrag zum besseren Verständnis der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse in Regensburg zu leisten und gegebenenfalls Verbesserungsmaßnahmen anzuregen.

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	Einleitung	16
1.1	Überblick über das Untersuchungsgebiet	17
1.2	Zielsetzung	18
1.3	Arbeitsmethode	20
2.	Methodische Überlegungen zur Untersuchung der Belastung und Belastbarkeit eines städtischen Lebensraumes	23
2.1	Der theoretische Ansatz	23
2.2	Belastung und Belastbarkeit geographischer Räume	24
2.3	Spezifische Methoden ökologischer Stadtuntersuchungen	25
3.	Der geographische Raum Regensburg - Bestandsaufnahme	28
3.1	Naturräumliche Ausstattung und ihre Abwandlung durch die Bebauung	28
3.1.1	Geologische Grundlagen und Relief	28
3.1.2	Allgemeine Klimaeinflüsse	32
3.1.3	Die hydrologischen Verhältnisse	33
3.1.4	Vegetation und Tierwelt	39
3.2	Sozioökonomische Strukturdaten und landesplanerische Zielsetzung	45
3.2.1	Die Flächennutzung im Stadtgebiet	45
3.2.2	Siedlungs- und Bevölkerungsentwicklung	45
3.2.3	Die wirtschaftliche Struktur der Stadt und des Umlandes	45
3.2.4	Die zentralörtliche Bedeutung Regensburgs	54

		Seite
4.	Die Wechselbeziehungen zwischen Klima und städtischer Bebauung in der Regensburger Bucht	56
4.1	Die Interpretation statistischer, klimatologischer Daten des Deutschen Wetterdienstes	56
4.1.1	Sonnenschein und Bewölkung	57
4.1.2	Die Windverhältnisse in der Regensburger Bucht	62
4.1.3	Die Lufttemperatur	64
4.1.4	Die Luftfeuchte	69
4.1.5	Dunst und Nebel	70
4.1.6	Die Niederschlagsverhältnisse	74
4.2	Charakteristik des Stadtklimas	78
4.3	Die Temperaturunterschiede im Regensburger Stadtgebiet	83
4.3.1	Kleinräumige, innerstädtische Temperaturunterschiede	83
4.3.1.1	Grundlagen klimatischer Prozesse in der bodennahen Luftschicht	83
4.3.1.2	Der Einfluß der Bausubstanz auf kleinräumige Temperaturunterschiede	85
4.3.1.3	Der Einfluß von Wasserflächen auf kleinräumige Temperaturunterschiede	88
4.3.1.4	Die Bedeutung von Grünflächen auf das innerstädtische Klima	90
4.3.2	Die Beziehung zwischen städtischer Überwärmung und Temperaturinversionen	93
4.3.2.1	Boden- und Absinkinversionen	93
4.3.2.2	Die Inversionshäufigkeit in Regensburg	96
4.3.2.3	Temperaturprofile bei austauscharmem Wetter im Regensburger Stadtgebiet	101

		Seite
4.3.2.4	Die Lage der Isothermen im Stadtgebiet von Regensburg in Strahlungsnächten	110
4.3.2.5	Die Beeinflussung nächtlicher Bodeninversionen durch Hangbebauung	113
4.4	Die Zufuhr von Frischluft in das Stadtgebiet	118
4.4.1	Die Bedeutung von Frischluftschneisen für das Stadtklima	118
4.4.2	Frischluftbahnen im Regensburger Stadtgebiet	119
4.5	Der Einfluß der Stadt auf die Luftfeuchte	124
4.5.1	Die Reduzierung der relativen Feuchte im Stadtzentrum	124
4.5.2	Die Verteilung der relativen Feuchte im Regensburger Stadtgebiet in Strahlungsnächten	125
4.6	Nebel und Hochnebel im Regensburger Stadtgebiet	127
4.6.1	Bodennebel, Hochnebel und Stadtnebel	127
4.6.2	Die Nebelhäufigkeit und Nebeldauer in Regensburg	130
4.6.2.1	Tages- und Jahresgang der Nebelhäufigkeit	132
4.6.2.3	Wetterlagen und Windverhältnisse bei Nebel und Hochnebel in Regensburg	137
4.6.3	Die Verteilung des Nebels im Stadtgebiet	138
4.7	Die Windverhältnisse in der Regensburger Bucht	140
5.	Die lufthygienische Situation in der Regensburger Bucht	142
5.1	Die Emission luftverunreinigender Substanzen	142

		Seite
5.2	Die Emissionssituation in Regensburg	143
5.2.1	Industrielle Quellen	143
5.2.1.1	Die historische Entwicklung der Industrie in Regensburg	143
5.2.1.2	Die Problematik der Erhebung der Emissionsraten in Regensburg	144
5.2.1.3	Der Brennstoffverbrauch der Industriebetriebe und Heizwerke mit Turmkamin	145
5.2.1.4	Die Emissionen der Regensburger Industriebetriebe und Heizwerke	148
5.2.2	Flächenquellen: Hausbrand und Kleingewerbe	150
5.2.2.1	Die Beheizungsarten in Regensburg in Abhängigkeit von der Bausubstanz	150
5.2.2.2	Der Jahres- und Tagesgang der Hausbrandemissionen	152
5.2.3	Die Emissionsraten der Feuerungsanlagen - Industrie und Hausbrand - in Regensburg	152
5.2.3.1	Berechnungsgrundlagen	153
5.2.3.2	Die Verteilung der Emissionen aus Feuerungsanlagen zu verschiedenen Jahreszeiten	154
5.2.4	Linienquellen: Die Emissionen durch Kraftfahrzeuge	159
5.2.4.1	Die Abhängigkeit der Verkehrssituation von der Bausubstanz	159
5.2.4.2	Die Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs im Regensburger Stadtgebiet	160
5.3	Die Immission luftverunreinigender Substanzen	163
5.3.1	Die Beziehungen zwischen Emission und Immission	163
5.3.2	Die Immissionsmessung	167
5.3.3	Immissionswerte und ihre Problematik	168

		Seite
5.3.4	Die Problematik mathematischer Modelle zur Bestimmung der Immissionskonzentration	173
5.4	Die Immissionssituation in Regensburg	174
5.4.1	Die Immissionsbelastung durch den Kraftfahrzeugverkehr	174
5.4.1.1	Der Tages- und Jahresgang der Immissionskonzentration	174
5.4.1.2	Diskontinuierliche Messungen der CO-Konzentration im Stadtgebiet von Regensburg	177
5.4.1.3	Die Schwermetallgehalte (Pb, Zn) in Böden des Regensburger Stadtgebietes	186
5.4.2	Die Immissionsbelastung durch Feuerungsanlagen von Industrie und Hausbrand	199
5.4.2.1	Die Beziehungen zwischen Immissionskonzentration und Austauschverhältnissen	199
5.4.2.2	Der Tages- und Jahresgang der SO_2-Immission in Regensburg	206
5.4.2.3	Die Überschreitung der gesetzlich festgelegten Immissionswerte in der Regensburger Bucht in Bodennähe	210
5.4.2.4	Die SO_2-Konzentration 100 m oberhalb der Regensburger Bucht	212
5.4.2.5	Die Verteilung der Schwefelkonzentration im Regensburger Stadtgebiet	215
5.4.2.6	Die Wahrscheinlichkeit von Smogsituationen in Regensburg	220
5.4.2.7	Ursachen für die hohe Schadstoffbelastung der Regensburger Bucht	223
5.4.3	Die Immissionsbelastung durch Stäube in Regensburg	229
5.5	Die Wirkung der Luftverunreinigungen in Regensburg	230
5.5.1	Schäden an Bauwerken	230

		Seite
5.5.2	Schädigungen von Pflanzen	235
5.5.3	Belastungen der menschlichen Gesundheit	241
5.6	Möglichkeiten zur Verbesserung der lufthygienischen Situation	244
5.6.1	Die Chancen bei der Gebietsausweisung	244
5.6.2	Die Bedeutung von Grünflächen	245
5.6.3	Die Reduzierung der Immission	246
6.	Belastung und Belastbarkeit des städtischen Wirkungssystems Regensburg	248
6.1	Die klimatische Belastung	248
6.2	Die lufthygienische Belastung	253
6.2.1	Die Belastung durch Kraftfahrzeugabgase	254
6.2.2	Die Belastung durch Emissionen von Industrie und Hausbrand	256
6.3	Schadwirkungen der Luftverunreinigungen in Regensburg	261
6.3.1	Die Zerstörung wertvoller Bausubstanz	262
6.3.2	Schäden an Pflanzen	262
6.3.3	Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit	263
6.4	Die Gesamtbelastung des atmosphärischen Wirkungskomplexes im Raum Regensburg	264

KURZFASSUNG

Die Untersuchungen führen zu dem Ergebnis, daß der Regensburger Raum aufgrund der orohydrographischen Situation ein ungünstiges Lokalklima aufweist. In Strahlungsnächten, die ganzjährig häufig auftreten, bilden sich in der Regensburger Bucht Bodenkaltluftansammlungen mit tiefliegenden Temperaturinversionen, die vor allem im Herbst und Winter die Entstehung von Nebel begünstigen, der oft mehrere Tage erhalten bleibt. Die Naßkälte und Lufttrübung belasten dann das Wohlbefinden der Bevölkerung.

Durch die städtische Bebauung wird das Lokalklima der Regensburger Bucht verändert. Die größere Wärmespeicherkapazität der Gebäude und die Ableitung der Niederschläge bewirken eine Überwärmung der Stadtviertel. Besonders an Sommertagen ist im Zentrum und an den breiten Asphaltflächen der Ausfallstraßen eine erhebliche Temperaturerhöhung zu verzeichnen. In Strahlungsnächten überlagern sich in Regensburg die Wirkungen der städtischen Überwärmung und der Bodeninversion. Während sich im Donautal ein Kaltluftsee bildet, entsprechen die Temperaturen in der erwärmten Altstadt etwa den Werten auf den randlichen Höhenzügen. Die Hangbebauung mit Wohnblocks und Hochhäusern verschärft zusätzlich die wetterbedingten stabilen Schichtungsverhältnisse, da die Gebäudeüberwärmung die Temperaturen im Bereich der warmen Hangzone erhöht.

Die Frischluftzufuhr in die Regensburger Bucht ist durch die städtische Bebauung weitgehend behindert, die klimatische Wirkung der Flüsse durch die Betonierung und Bebauung der Ufer mit geschlossenen, uferparallelen Häuserzeilen sehr gering. Darüberhinaus wird durch die städtische Bebauung die relative Feuchte reduziert, die Windgeschwindigkeit durch die vergrößerte Oberflächenrauhigkeit abgebremst und Luftströmungen werden umgelenkt.

Der klimatische Wirkungskomplex wird auch noch durch die Emissionen von Industrie, Hausbrand und Verkehr beeinflußt. Hauptemittent in Regensburg ist die Zuckerfabrik; die Abgase des Hausbrands, vor allem der kohlebefeuerten Einzelöfen, tragen aber in einem nicht zu unterschätzenden Maße zur Luftverunreinigung bei. In Strahlungsnächten sammeln sich die Emissionen aus niedrigen Quellen unterhalb der Sperrschicht und verursachen z.T. sehr hohe Immissionskonzentrationen. Daß in Regensburg besonders die durch Gebäudebeheizung bedingten Emissionen zur Luftverunreinigung beitragen, zeigt sich auch daran, daß SO_2-Immissionen im Winter mit der Lufttemperatur korrelieren. Die Rauchgase aus industriellen Turmkaminen werden bei stabiler Schichtung dagegen oberhalb der Bodeninversion emittiert und gelangen erst nach Einsetzen der thermischen Turbulenz in Bodennähe. Daß hohe Kamine jedoch auch für die nähere Umgebung keinen ausreichenden Schutz vor Luftverunreinigung bieten, zeigt sich bei guten Durchmischungsverhältnissen. Dann werden die Abgasfahnen schon in kurzer Entfernung zu Boden gedrückt. In Regensburg kommt hinzu, daß besonders im Herbst und Winter Südostwinde vorherrschen, die die Emissionen aus dem Industriegebiet im Südosten der Stadt in das Zentrum verfrachten.

Im Gegensatz zu den flächenhaft belastenden Abgasen von Industrie und Hausbrand wirken die verkehrsbedingten Emissionen vor allem in Straßennähe. Da sich CO sehr rasch verdünnt, sind besonders Fußgänger in den engen Altstadtgassen Regensburgs von erhöhten Immissionen betroffen, die gelegentlich Übelkeit auslösen können, insgesamt aber nicht gesundheitsgefährdend sind.

Obwohl die Stadt Regensburg nur wenige industrielle Großemittenten aufweist, ist das Gebiet durch Luftverunreinigungen deutlich belastet. Dies ist nicht nur an der gelegentlichen Überschreitung der Grenzwerte in den Wintermonaten erkennbar, sondern vor allem an den Gesteinszerstörungen an mittelalterlichen Bauwerken, den Wuchsbeschränkungen von Pflanzen und gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Bewohner. In Verdichtungsräumen wie München oder Nürnberg, in denen erheblich größere Emissionsmengen anfallen, werden dagegen im Mittel kaum höhere Immissionskonzentrationen registriert. Ursache für die relativ ungünstige lufthygienische Situation in Regensburg ist somit hauptsächlich die orohydrographische Lage, die ein Lokalklima hervorruft, das gegenüber Luftverunreinigungen wenig belastbar ist; es treten schon bei nicht übermäßig großen Emissionsmengen erhöhte Immissionen auf.

Aus diesem Grund ist bei der Stadtplanung die Luftreinhaltung besonders zu berücksichtigen. Die Feuerungsanlagen von Industrie und Hausbrand sollten weitgehend auf emissionsarme Energieträger umgestellt und die Ansiedlungen von Betrieben, die hohe Emissionen verursachen, vermieden werden.

ABSTRACT

The investigation reaches the conclusion that the Regensburg area has an unfavourable local climate on account of the orohydrographic situation. On cloudless nights on which temperature can escape (these occur frequently all year round), accumulations of cold air, often not reaching far above ground-level, form in the Regensburg basin with temperature-inversion at a low level. Such accumulations - especially in autumn and winter - favour the formation of fog which often lasts for several days. The cold, damp weather and atmospheric turbidity have, in turn, an adverse effect on the well-being of the population.

The local climate of the Regensburg basin is being changed by municipal development. The relatively large heat-storage-capacity of the buildings and the fact that rainfall is conducted away cause the temperature in the different parts of the city to rise. A considerable rise in temperature can be registrated in the city centre and on the extensive asphalt surface of the arterial roads, especially on summer-days. On cloudless nights, the effects of the rise in temperature in the city and the ground-inversion overlap in Regensburg. While a layer of cold air forms in the Danube valley, the temperatures in the warmer old part of the city correspond approximately to those on the ranges of hills on the outskirts. The building of residential and multistorey buildings on slopes further intensifies the stabilization of the air caused by certain weather conditions, since the fact that furthermore the temperature in the warm slope-zone becomes intensified by the temperature of the buildings.

The influx of fresh air into the Regensburg basin is, to a large extent, impeded by municipal development; and the climatic effect of the revers is negligible on account of the concreting and development of the river-banks with serried rows of houses which run parallel to them. Furthermore, the relative humidity is reduced by municipal development, the windspeed is slowed down by the increased roughniss of the surface and air currents are turned round.

The whole climatic complex is, moreover, affected by the waste-products from industry, domestic fuel and traffic. The main purveyor of waste in Regensburg is the sugar-factory; but the waste gases from domestic fuel, above all from coal-fired domestic stoves, contribute, to an extent that is not to be underestimated, to the overall air-pollution. On cloudless nights, the waste-products emitted from low buildings gather beneath the temperature barrier and may sometimes cause a very considerable infection of the air. That, in Regensburg, it is especially those waste-products which are emitted by the heating in rooms in homes and places of work which contribute to the air-pollution can be seen from the fact that there is a correlation in winter between the concentration of SO_2 air-infection and the air-temperature. Conversely, the fumes from industrial chimneys are emitted when there is no turbulence in the air, above the ground-inversion, and only get down to ground-level after thermic turbulence has set in. But that tall chimneys do not offer sufficient protection against air-pollution to even the immediate surroundings can be seen when the turbulence of the air is favourable. At such times, the trails of waste gas are pressed down to the ground only a short distance away. In Regensburg there is the additional problem that south-east winds are predominant, particularly in autumn and winter, which bundle the waste-products from the industrial area in the south-east of the city into the city centre.

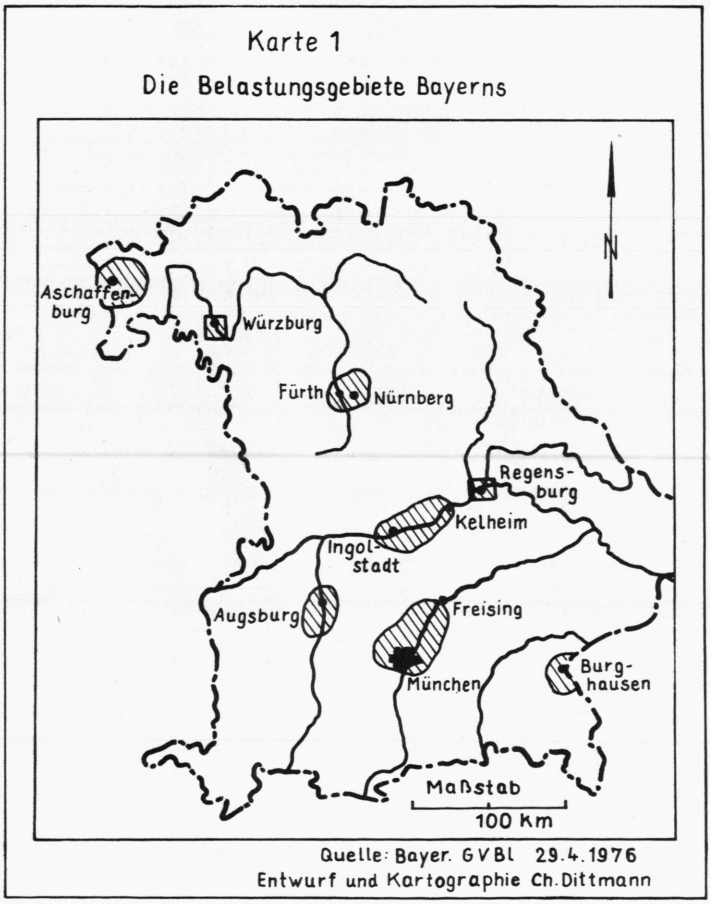
In contrast to the waste gases from industry and domestic fuel, which exercise their detrimental influence by spreading out horizontally, waste-products caused by traffic have their main effect near the streets. Because CO rarefies very quickly, pedestrians in the narrow streets of the old part of Regensburg are especially affected by increased air-infection, which can sometimes cause nausea but which is, on the whole, not injurious to health.

Although the city of Regensburg has only a few major purveyors of industrial waste, the region is clearly encumbered with various forms of air-pollution. This can be seen not only from the occasional exceeding of the recognized limits in the winter-months, but also, and above all, from the damage done to the stonework of medieval edifices, from the impeded growth of plants and from the impaired health of the inhabitants. In conurbations like Munich or Nuremberg, in which significantly greater quantities of waste occur, scarcely higher air-infections are (on average) registered. Thus, the cause o the relatively unfavourable state of air hygiene in Regensburg is, principally, the orohydrographic situation which produces a climate that is sensitive to the various kinds of air-pollution; even when the quantities of waste are not excessively great, increased air-infections are still liable to occur.

For this reason, the prevention of air-pollution should be made special allowance for in city-planning. The firing equipment of both industry and domestic fuel should, to a large extent, be converted to forms of energy which produce less waste-products, and factories which generate high rates of waste should not be allowed to operate.

1. EINLEITUNG

Die vorliegende Arbeit untersucht, inwieweit die Wechselwirkungen zwischen natürlichen und durch den Menschen umgeformten oder neugestalteten Partialkomplexen in der Region Regensburg zu einer klimatischen und lufthygienischen Belastung dieses städtischen Lebensraumes führen. Anlaß dazu war die Ausweisung des Bereiches als Belastungsgebiet (GVBL 29.4.1976) (1) (Karte 1)



(1) "Verordnung über die Festsetzung von Belastungsgebieten in Bayern" auf Grundlage von § 47 BJmSchG (15.3.1974).

Obwohl durch die entsprechende Verordnung auch vom Gesetzgeber anerkannt wurde, daß überhöhte Schadstoffkonzentrationen auftreten können, fehlten bislang Untersuchungen über die lufthygienische Belastung und Belastbarkeit des Raumes. Mit der Anfertigung eines Emissionskatasters, der in Belastungsgebieten nach § 46 BImSchG zu erstellen ist, kann in absehbarer Zeit nicht gerechnet werden. Nach Auskunft der Stadtverwaltung stehen für ein derartiges Vorhaben, das nur aufgrund gesetzlicher Befugnisse und mit Hilfe einer elektronischen Datenverarbeitungsanlage ausgeführt werden kann (DREYHAUPT 1971,111), weder personelle noch finanzielle Mittel zur Verfügung.

Die vorliegende Arbeit ist somit das einzige Projekt, das die Wechselbeziehungen zwischen dem Klima, der übrigen naturräumlichen Ausstattung und der städtischen Bebauung (implizite der relevanten anthropogenen Tätigkeit in Wirtschaft und Verkehr) untersucht sowie die Abhängigkeit der lufthygienischen Situation vom Lokalklima ermittelt (vgl. § 47 BImSchG). Bei der Beurteilung der Belastung und Belastbarkeit des "Geokomplexes" Regensburg ist das Wohlbefinden der Bevölkerung in den Vordergrund gestellt. Der Stadtplanung, bei der in einem Belastungsgebiet das klimatisch-lufthygienische Wirkungsgefüge besonders berücksichtigt werden muß, können die Detailuntersuchungen als Orientierungshilfe dienen.

1.1 Überblick über das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfaßt die Fläche der Stadt Regensburg von 8100 ha in den Grenzen vom 1.1.1978. Das Gelände befindet sich am nördlichsten Punkt der Donau bei 49° nördlicher Breite und 12°6' östlicher Länge. Die Stadt liegt in einer buchtartigen Erweiterung des Donautals und wird im Norden, Westen und Südwesten von etwa 100 m ansteigenden Höhenzügen umschlossen, die von den Flüssen Donau, Schwarze Laaber, Naab, Regen sowie den Trockentälern von Kneiting und Wutzlhofen durchbrochen sind. Im Osten und Südosten weitet sich die Regensburger Bucht zur Niederung des Dungau. Der tiefste Punkt des Stadtgebietes mit 323 m ü. NN befindet sich im Osten, am Donauufer; die größte Erhebung wird mit 470 m ü. NN im Nordosten, auf dem Keilberg, erreicht (GRASSER 1971, 139).

Der Regensburger Raum weist eine außerordentliche landschaftliche Vielfalt auf. Die stark differenzierte physisch-geographische Ausstattung ist durch die Vielfalt der geologischen Einheiten vorgeprägt. Im Nordosten breitet sich das kristalline Grundgebirge aus (Regensburger Wald), das nördlich von Tegernheim entlang einer großräumigen N-S streichenden Bruchzone (Keilberg-Störung) an das mesozoische Deckgebirge (Permotrias - Oberkreide) angrenzt. Im Süden erstreckt sich das Tertiär-Hügelland mit quartären Ablagerungen. Auch die anthropogene Raumgestaltung basiert zum Teil auf den naturräumlichen Gegebenheiten. Von der Vielfalt der Böden, die sehr

unterschiedliche Gütezahlen aufweisen, ist eine differenzierte landwirtschaftliche Nutzung abhängig, die von mageren Schafhutungen an den nordöstlichen Jurahängen bis zum Anbau von Weizen und Zuckerrüben auf den Lößböden der Donauebene reicht. Die natürlichen Grundlagen nutzen einige Abbaubetriebe, die Kalke im Nordosten und tertiäre Tone im Südwesten der Stadt verarbeiten. Mehrere Fabriken der Lebensmittelindustrie basieren auf den günstigen landwirtschaftlichen Erzeugungsbedingungen in der Donauebene; die größte von ihnen ist die Zuckerfabrik. Durch die städtische Bebauung wird die naturräumliche Vielfalt sowohl reduziert (z.B. Zerstörung zahlreicher Feuchtbiotope an Donau und Regen) als auch stärker differenziert (z.B. Veränderung des Reliefs, Ausbildung des Stadtklimas).

Das Regensburger Stadtgebiet gehört einem Übergangsbereich zwischen atlantischem und kontinentalem Klima an. Daher liegt der Raum, häufiger als Nord- und Westdeutschland, im Einflußbereich stabiler Hochdruckgebiete mit Kern über Südosteuropa. Diese verursachen besonders im Herbst und Winter klare Strahlungsnächte mit unzureichenden Austauschverhältnissen, in denen sich häufig Nebel bilden. Durch die orohydrographischen Gegebenheiten werden die großklimatischen Wirkungen verstärkt: Aufgrund der Buchtlage der Stadt ist die lufthygienische Situation im Herbst und Winter nicht unproblematisch, da oft tiefliegende Bodeninversionen die Schadstoffe von Hausbrand und Industrie zurückhalten (vgl. KLUG, H. u.a. 1980). Da ein geographisches System mit seinen Nachbarsystemen wechselseitig verflochten ist, müssen bei der Erforschung der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse auch die Randzonen außerhalb des Stadtgebietes, die westliche Donauebene, die südwestlichen Höhenzüge des Regensburger Waldes, die östlichen Ausläufer des Fränkischen Jura und der nördliche Teil des Tertiär-Hügellandes in die Untersuchung einbezogen werden.

1.2 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist es, die Wirkungen der städtischen Bebauung,die relevanten menschlichen Aktivitäten in Wirtschaft und Verkehr eingeschlossen, auf das Klima, sowie die Korrelationen zwischen Klima und lufthygienischer Situation zu erforschen. Die Ermittlung der Belastung und Belastbarkeit des Geokomplexes Regensburg erfolgt unter besonderer Berücksichtigung des Wohlbefindens der Bevölkerung.

Der menschliche Organismus ist an die Beschaffenheit der Atmosphäre stark angepaßt. Schon geringe Veränderungen der Luftzusammensetzung oder des Temperatur-Feuchte-Milieus können zu gesundheitlichen Schäden führen. Daher kommt der Untersuchung von Veränderungen des Lokalklimas durch die städtische Bebauung, der Schadstoffanreicherung in den unteren Luftschichten und deren Auswirkungen auf die Bevölkerung große Bedeutung zu (GRANDJEAN u.a. 1973, 3; BERNATZKY 1970, 132).

Es soll überprüft werden, wie sehr das Lokalklima der Regensburger Bucht, das sich in Abhängigkeit von den orohydrographischen Verhältnissen und dem Einfluß von Vegetationsflächen unterschiedlicher Artenzusammensetzung ausbildet, durch die städtische Bebauung bei verschiedenartigen Wetterlagen modifiziert wird. Im einzelnen ist das Stadtklima in seiner kleinräumigen Differenzierung herauszuarbeiten. Für die lufthygienische Situation sind die Durchmischungsverhältnisse der unteren Luftschichten von größter Bedeutung. Daher ist es erforderlich, die Inversionshäufigkeit und die Wechselbeziehungen zwischen städtischer Überwärmung und Bodenkaltluftbildung zu untersuchen. Da bei stabiler Schichtung der Luftaustausch eingeschränkt ist, muß ermittelt werden, inwieweit Frischluftströme und Zirkulationsströmungen zwischen bebautem und unbebautem Gelände zu verbesserten lufthygienischen Verhältnissen beitragen. Darüber hinaus werden die Veränderungen der relativen Feuchte im Stadtgebiet in Abhängigkeit von den überwärmten Bebauungszonen, Freiflächen und dem Einfluß der nächtlichen Bodenkaltluftbildung untersucht. Festzustellen sind die Ursachen der Nebelhäufigkeit und die Verteilungsverhältnisse des Nebels im Stadtgebiet. Winde verdünnen Luftverunreinigungen und bewirken den Wegtransport der Schadstoffe. Daher ist zu überprüfen, inwieweit Windströmungen durch das Relief und die städtische Bebauung beeinflußt werden und welche Auswirkungen sich daraus für die lufthygienische Situation ergeben.

Die Verursacher der Schadstoffbelastung sind nur festzustellen, wenn die Gesamtemission nach dem Anteil der Quellgruppen: Industrie, Hausbrand und Verkehr differenziert wird. Da sich die Emittentengruppen in der Quellhöhe und Zusammensetzung der Abgase unterscheiden, muß die Immissionsbelastung durch Verkehr sowie durch Hausbrand und Industrie gesondert untersucht werden. Als Maßstab für die lufthygienische Belastung und Belastbarkeit dienen die gesetzlich festgelegten Immissionswerte, da sie verbindliche Toleranzschwellen angeben. Es ist festzustellen, ob und wie häufig diese Grenzwerte in Regensburg erreicht oder überschritten werden und inwieweit die meteorologische Situation zu überhöhten Schadstoffkonzentrationen beigetragen hat. Die Smogverordnung liegt in Bayern erst im Entwurf vom 20.10.1975 vor, da das Fahrverbot von Kraftfahrzeugen in den Sperrgebieten (§ 6) umstritten ist. Dennoch kann anhand der Basiswerte und Alarmstufen-auslösenden Konzentrationen (§§ 3-6) dieser Verordnung überprüft werden, ob eine Smogsituation bisher aufgetreten ist und wie hoch die Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen des Smogfalls beurteilt werden muß, denn die Basiswerte stimmen mit den Toleranzschwellen in den Smogverordnungen anderer Bundesländer überein. Die Belastung und Belastbarkeit eines Geokomplexes treten durch empfindliche Reaktionen von Einzelelementen zutage. Deshalb wird im Rahmen dieser Arbeit untersucht, ob klimatische Veränderungen auf anthropogene Verursachung zurückgehen und ob dadurch die Bevölkerung der Stadt belastet wird. Es muß ferner ermittelt werden, inwie-

weit Luftverunreinigungen Schäden an Materialien und Pflanzen hervorrufen und das Wohlbefinden sowie die Gesundheit der Bevölkerung beeinträchtigen.

1.3 Arbeitsmethode

Bei der Erforschung eines städtischen Geokomplexes reicht die Methodik herkömmlicher landschaftsökologischer Arbeiten, die sich auf die Betrachtung naturnaher oder agrarischer Systeme beschränken, nicht aus. Die Einbeziehung des Menschen als "Systemelement" erfordert einen erweiterten theoretischen Ansatz, der den bewußten, auf Zielvorstellungen gegründeten Aktionen des Menschen Rechnung trägt. Daher ist es unumgänglich, über die Bestandsaufnahme der physisch-geographischen Systemelemente hinaus, Daten der Bevölkerungs- und Wirtschaftsstruktur sowie der räumlichen Verflechtung der Stadt zu erheben. Die Beurteilung der Belastung und Belastbarkeit des städtischen Geokomplexes ist vornehmlich auf die Bedürfnisse der Bevölkerung ausgerichtet, da die Stadt ein vom Menschen weitgehend umgestalteter Lebensraum ist, der den Zweck hat, soziale Ansprüche zu erfüllen und die Lebensqualität zu erhöhen. Der Arbeit liegt somit ein anthropozentrischer Ansatz zugrunde.

Die Untersuchung der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse erfolgte aufgrund empirischer Analysemethoden. Eine Vielzahl statistischer Daten wurde kritisch ausgewertet und verglichen. Da zur kleinräumigen Differenzierung des Lokalklimas und der Schadstoffverteilung im Stadtgebiet das vorliegende Datenmaterial nicht ausreicht, führte die Verfasserin ergänzende Messungen des Temperatur-Feuchte-Milieus, charakteristischer Schadstoffkomponenten und Analysen von Spurenelementen in städtischen Böden durch. Beobachtungen vervollständigten die Meßergebnisse, die mit den statistischen Werten in Beziehung gesetzt wurden.

Bei den verwendeten Meßgeräten handelt es sich teilweise um ältere, gebrauchte Modelle, die kostenlos zur Verfügung gestellt wurden. Eine Überprüfung der Geräte durch Fachleute vor der Entleihung sicherte die einwandfreie Funktionsweise. Da bei der Durchführung der Arbeit finanzielle Mittel nur in beschränktem Umfang zur Verfügung standen, stellte die Entleihung älterer, funktionstüchtiger Geräte, deren Neuanschaffungspreis mehr als DM 50.000,-- betragen hätte, die einzige Möglichkeit zur Durchführung differenzierter Messungen dar.

Zur Ermittlung der klimatischen Verhältnisse stellte der Deutsche Wetterdienst bislang unveröffentlichtes Datenmaterial zur Verfügung, das zwischen 1951 und 1970 überwiegend von der Wetterwarte Regensburg ermittelt wurde. Die Erhebung der meteorologischen Situation seit 1971 erfolgte durch Auswertung der synoptischen Klimatagebücher der Wetterstation.

Zur Untersuchung der kleinräumigen Differenzierung des Temperatur-Feuchte-Milieus wurden im Jahr 1979 Meßfahrten im Stadtgebiet durchgeführt. Zur Ermittlung der Temperaturunterschiede diente ein ventiliertes Platinwiderstandsthermometer. Die Meßwerte zeichnete ein gegen Erschütterungen unempfindlicher Punktkompensationsschreiber (Polycomp - Hartmann und Braun) auf. Das netzabhängige Gerät wurde mit einer transportablen Stromquelle (Batterie 6 V/180 A mit Wechselrichter) betrieben. Die Meßgenauigkeit beträgt 0,1° C, die Phasenverschiebung etwa 4 Sekunden.

Die Meßfahrten, die tagsüber und nachts durchgeführt wurden, dienten dazu, bei unterschiedlichem Wetter Temperaturprofile zu erstellen. Auf diese Weise konnten Erkenntnisse über

- innerstädtische Temperaturunterschiede und städtische Überwärmung gegenüber dem Umland,
- die Ausprägung nächtlicher Bodeninversionen,
- Wirkungen der städtischen Bebauung auf den Kaltluftzufluß und die Frischluftzufuhr,

gewonnen werden.

Für die Erfassung klein- und mikroklimatischer Unterschiede des Temperatur-Feuchte-Milieus stand das tragbare Thermohydromeßgerät Thermophil Typ 4451-3 Hygrophil der Firma Ultrakust zur Verfügung. Es zeigt digital die Temperatur (trocken und feucht), die relative Feuchte und die Taupunkttemperatur an. Der Meßfühler ist ventiliert, um Verfälschungen der Werte durch den Einfluß des Ansaugrohres zu vermeiden. Die Meßgenauigkeit beträgt 0,1° C bzw. 0,1 % rel. Feuchte. Das Gerät ist batteriebetrieben, mit einer Betriebsdauer von etwa 2 1/2 Stunden. Das handliche Gerät ermöglichte Meßgänge, die zur kleinräumigen Untersuchung der Wirkungen von Grünanlagen, Springbrunnen, Bäumen oder Parkflächen auf das Klima von Straßen und Plätzen im Stadtzentrum dienten. Darüber hinaus wurde das Gerät benutzt, um die Veränderung der relativen Feuchte im Stadtgebiet in Strahlungsnächten festzustellen.

Für die Untersuchung der lufthygienischen Situation erfolgte zunächst die Berechnung der Emissionsraten, getrennt nach den Quellgruppen Industrie, Hausbrand und Verkehr in Abhängigkeit von der Jahreszeit.Die Ergebnisse wurden miteinander verglichen. Zur Ermittlung der grundlegenden Daten dienten Befragungen und Statistiken, die dem Amt für Statistik der Stadt Regensburg vorliegen, die Berechnung erfolgte nach den geltenden Bestimmungen (4. BImSch VwV 1975, 5. BImSch VwV 1975).

Die Untersuchungen der Immissionssituation erstreckten sich vorrangig auf die Quellgruppen Verkehr und Feuerungsanlagen, da sie sehr unterschiedliche Emissionskomponenten freisetzen.

Als Leitsubstanz für die Verkehrsbelastung diente die Kohlenmonoxidkonzentration. Die Ermittlung des Tages- und Jahresganges erfolgte anhand von kontinuierlichen, statistischen Daten des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz, die seit 1975 an der Meßstelle auf dem Dachauplatz aufgezeichnet werden. Zur detaillierten Untersuchung der Schadstoffbelastung in Altstadtgassen, Ausfallstraßen und Wohngebieten war der Infrarot-Spurengas-Analysator Unor II der Firma Maihak eingesetzt. Die Meßgenauigkeit beträgt 1 ppm CO. Die Registrierungen erfolgten im Jahr 1979 bei unterschiedlichem Wetter in Atemhöhe von Erwachsenen (1,6 m) und Kindern (0,9 m), um zu untersuchen, ob Kinder wegen der größeren Nähe zur Emissionsquelle höheren Schadstoffkonzentrationen ausgesetzt sind. Die Interpretation der Werte berücksichtigt die meteorologische Situation, besonders Windrichtung und -stärke sowie die Verkehrsdichte. Zur Ermittlung der Langzeitbelastung durch den Straßenverkehr dienen Untersuchungen des Blei- und Zinkgehalts in Böden des Stadtgebietes, die mit der Röntgen-Fluoreszenz-Analyse durchgeführt wurden.

Für die Erfassung der Immissionsbelastung aus Feuerungsanlagen wurde als Leitsubstanz die SO_2-Konzentration herangezogen. Die Ermittlung des Tages- und Jahresganges erfolgte anhand von kontinuierlichen Registrierungen des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz an den Stationen Dachauplatz (seit 1975) und Isarstraße (seit 1979). Für komparative Messungen war auf der Plattform des Fernmeldeturms, 100 m oberhalb der Regensburger Bucht, der Spurengasanalysator "Picoflux" der Firma Hartmann und Braun von September bis Dezember 1979 aufgestellt. Die Meßwertgrenze des Gerätes liegt bei 0,001 mg SO_2/m^3. Durch den Vergleich der erhaltenen Werte mit den Registrierungen der amtlichen Meßstationen ergaben sich Aufschlüsse über die Veränderung der Schadstoffkonzentration in der Höhe. Besondere Aufmerksamkeit wurde den Beziehungen zwischen der SO_2-Immission und den meteorologischen Verhältnissen gewidmet. Die Analyse des Schwefelgehaltes in städtischen Böden ermöglichte durch das engmaschige Netz der Entnahmestellen detaillierte Aussagen über die unterschiedliche Langzeit-Flächenbelastung in Regensburg. Die quantitative Bestimmung der Schwefelkonzentrationen erfolgte durch die Röntgen-Fluoreszenz-Analyse.

Zur Erfassung der Schadwirkungen an Gebäuden und Pflanzen sowie der Belästigungen von Regensburger Bürgern dienten Befragungen, Beobachtungen, die Kartierung von geschädigten Pflanzen sowie die Analyse von Schadstoffen in Gesteinen wertvoller Gebäudefassaden (KLUG, H. u.a. 1980). Zur Interpretation der lufthygienischen Belastung und Belastbarkeit wurden die gesetzlich festgelegten Richtwerte herangezogen.

2. METHODISCHE ÜBERLEGUNGEN ZUR UNTERSUCHUNG DER BELASTUNG UND BELASTBARKEIT EINES STÄDTISCHEN LEBENSRAUMES

Für die Untersuchung der Belastung und Belastbarkeit eines städtischen Lebensraumes sind Methoden und Arbeitsweisen des geosynergetischen Forschungsansatzes heranzuziehen, der sich in Fortführung des von Troll in die geographische Landschaftsforschung eingeführten landschaftsökologischen Konzepts entwickelte. Hierbei bilden, im Gegensatz zur traditionellen Arbeitsrichtung, nicht mehr die Physiognomie und das Raummuster einer Landschaft den Schwerpunkt der Untersuchungen, sondern "das spezifische Geflecht der raumwirksamen Kräfte, die ihr zugrunde liegen". Forschungsgegenstand ist "ein räumlich abgegrenztes, vernetztes Stoff- und Energiesystem, das Geosystem" (KLUG, H. 1980, S. 7 f.).

Der Anwendung des Geosystem-Konzeptes auf den städtischen Lebensraum Regensburg stehen jedoch in quantitativer Hinsicht zahlreiche Hindernisse im Wege. Aufgrund der Größe und Komplexität des Untersuchungsgebietes müßte eine Datenmenge bearbeitet werden, die weder verfügbar ist noch im Rahmen einer Dissertation ermittelt werden kann. Damit aber scheidet die Quantifizierung wesentlicher Systemelemente - selbst auf "höherer" Stufe der Integration - aus. Die systemtheoretische Arbeitsweise kann nicht konsequent auf die ganze Untersuchung angewendet werden. In Anbetracht dieser Tatsachen erfolgt in der vorliegenden Arbeit die Erfassung und Beurteilung der Belastung und Belastbarkeit des Regensburger Raumes zwar unter Berücksichtigung der geosynergetischen Betrachtungsweise, das Geosystem-Konzept liegt den Forschungen aber nur qualitativ, als theoretischer Ansatz zugrunde. Die Arbeitsweise ist dabei praxisorientiert und beachtet politische und juristische Implikationen, d.h. sie bezieht die zentralen Fragestellungen nach der Funktionsfähigkeit der Stadt und dem Wohlbefinden der Menschen in die Untersuchung ein.

2.1 Der theoretische Ansatz

Nach dem Geosystem-Konzept werden die haushaltlichen Prozesse in einer Landschaft, das Zusammenwirken anorganischer und organischer Geokomponenten bzw. Partialkomplexe untersucht. Jeder beliebige Ausschnitt der Geospäre kann dabei als Geosystem angesehen werden. Diese nicht festgelegte räumliche Begrenzung hat der Geosystem-Begriff mit dem Landschaftsbegriff gemeinsam (vgl. CAROL 1956, 112 ff.; NEEF 1967; FOCHLER-HAUKE 1976, 29). Er kann daher den Landschaftsbegriff, der eine statische Betrachtungsweise beinhaltet, ersetzen, wenn zum Ausdruck gebracht werden soll, daß dynamische Prozesse den Untersuchungsschwerpunkt bilden.

Das Geosystem ist ein offenes System, das mit seinen Nachbarsystemen in wechselseitigen Beziehungen steht. Es ist durch

Elemente bzw. Partialkomplexe und Korrelationen zwischen diesen gekennzeichnet. Die Elemente stehen durch Materie- und Energieaustauschvorgänge miteinander in Verbindung, die sich als Ströme unterschiedlicher Richtung als Input, Throughput und Output beschreiben lassen und ein vielfach verflochtenes Netz von Kreisläufen bilden. Die Fähigkeit zur Selbstregulierung, die Geosysteme zu einem gewissen Grad besitzen, basiert darauf, daß bestimmte Materie- und Energieströme einander kompensieren (negative Rückkopplung) und dadurch eine übermäßige Veränderung bestimmter Elemente (z.B. uneingeschränkte Zunahme bestimmter Lebewesen) auf Kosten des restlichen Systems verhindern.

Diese Regulierungsmechanismen sind jedoch nur in natürlichen oder naturnahen Geosystemen wirksam. In weitgehend anthropogen überprägten Räumen, z.B. Städten, ist die Selbstregulierungsfähigkeit gestört, was zur Belastung dieser Systeme führt.

2.2 Belastung und Belastbarkeit geographischer Räume

Der Begriff "Belastung" wird häufig vieldeutig gebraucht. Man kann zwei methodische Ansätze unterscheiden:

1) Der Geosystem-bezogene-Ansatz:

   Der Belastungsbegriff gilt für Umweltveränderungen, die durch den Menschen verursacht wurden (ELLENBERG 1972). Ein Geosystem gilt dann als belastet, wenn eine Veränderung so rasch und radikal vollzogen wird, daß sich kein neues Gleichgewicht mehr einstellen kann, weil die Regulierungsfähigkeit der Elemente und Materie- oder Energieströme mit den Neuerungen nicht mehr schritthält (STEUBING 1973).

   Die Grenze der Gesamtbelastung eines Geosystems ist nur schwer zu ermitteln, da die Belastung keine konstante Größe ist, sondern in Kombination und Ausmaß der einzelnen Belastungsfaktoren ständig wechselt. "Es sind daher auch kaum allgemein gültige Grenzwerte für die Belastung von Geosystemen zu erwarten" (OLSCHOWY 1978, 33).

2) Der anthropozentrische Ansatz:

   Dieser Standpunkt herrscht in der Literatur vor. "Wertmaßstab sind die menschlichen Bedürfnisse" (BÜRGER in OLSCHOWY 1978, 356 ff., HEIDMANN 1975). Nach Schemel (1978) ist Belastung ein "unbefriedigender Zustand", die Diskrepanz zwischen dem, was ist und dem, was sein soll. Für G. Müller (1977) kann "nur im Hinblick auf Beeinträchtigung konkreter menschlicher Raumansprüche - im weitesten Sinne - von Belastungen des Naturpotentials (gesprochen werden); nur aus dieser Sicht ergeben sich Maßstäbe für eine Bewertung". Der Rat der Sachverständigen für Umweltfragen (1978, 17/21) mißt die Belastung von Geosystemen ausschließlich an materiellen, ökonomischen Werten, "an der Schadwirkung an der Ertragshöhe und an der Qualität der Erzeugnisse". Die Erhaltung des Wohl-

befindens im Sinne eines Schutzes vor "Belästigungen ohne direkte Gesundheitsgefährdung (hat) nur zweiten Rang in einer Prioritätsskala...". "Auch der Schutz anderer Lebewesen und von Ökosystemen ist im wesentlichen auf den Schutz des Menschen ausgerichtet".

Aufgrund dieser unterschiedlichen Standpunkte ergeben sich verschiedene Bewertungsansätze. Während nach dem geosystembezogenen Ansatz eine Belastung bereits besteht, wenn die Fähigkeit zur Selbstregulierung eines Systems bedroht ist, ist nach dem anthropozentrischen Ansatz eine Belastung erst dann gegeben, wenn durch den Verlust der Regulierungsfähigkeit eines Systems menschliche Interessen berührt werden.

Auch der Begriff der "Belastbarkeit" unterliegt der unterschiedlichen Betrachtungsweise. So versteht man einerseits darunter die Tragfähigkeit oder Empfindlichkeit eines Geosystems für belastende Faktoren. Die Belastbarkeit eines Systems hängt von der Selbstregulierungs- und Regenerationsfähigkeit ab.

Die Empfindlichkeit eines Geosystems richtet sich nach:

1) der Störbarkeit (Labilität). Diese ist von dem Ausmaß und der Schnelligkeit der Veränderung abhängig.

2) der Anfälligkeit (Disposition). Sie bezeichnet die Exponiertheit eines Geosystems gegenüber Veränderungen. (Z.B.: Ein Steilhang ist gegen Schadstoffimmissionen empfindlicher als eine Ebene.)

Die Belastbarkeit von Geosystemen kann im Einzelfall also sehr unterschiedlich sein. Sie hängt von der Anfälligkeit, Störbarkeit und Regenerationsfähigkeit ab (ELLENBERG, 1972).

Andererseits wird die Belastbarkeit von Geosystemen an Beeinträchtigungen menschlicher Bedürfnisse (im weitesten Sinne) gemessen.

2.3 Spezifische Methoden ökologischer Stadtuntersuchungen

In der Gegenwart, in der die Frage nach der umweltgerechten Gestaltung eines Lebensraums durch den Menschen zum zentralen Problem geworden ist, sind die am meisten belasteten Bereiche, die Städte und Industriegebiete, ein wesentlicher Bestandteil der geosynergetischen Forschung. Die Regulierungsfähigkeit des Geokomplexes Stadt hängt von naturgesetzlichen Prozessen ab, auch wenn noch so viele, vom Menschen geschaffene Faktoren beteiligt sind. Für städtische Geosysteme gilt daher ebenso wie für naturnahe Systeme, daß:

- sich die Kreisläufe mit begrenzter Fähigkeit zur Selbstregulierung vollziehen,

- ihre Umgestaltung möglich ist, ohne das ökologische Gleichgewicht zu stören; es können aber gefährliche Nebenwirkungen auftreten, die zunächst nicht bemerkt werden, da Verzögerungszeiten zur internen Dynamik der Systeme gehören,

- Ausmaß und Art der äußeren Einwirkungen räumlich und zeitlich schwanken.

Mit rein naturwissenschaftlichen Betrachtungsweisen (vgl. z.B. LESER 1978) kann jedoch die Stadt als Geosystem nicht erfaßt werden. Landschaftsökologische Ansätze und Arbeitsweisen, die für die Erforschung von Ökosystemen und naturnahen Geosystemen entwickelt wurden, ermöglichen allenfalls Untersuchungen über den Schilf- und Lurchbestand in städtischen Wasserflächen oder über die Population von Höhlenbrütern in Parkanlagen. Die naturwissenschaftliche Erforschung der Elemente und Prozesse im städtischen Geosystem stellt zwar einen wesentlichen Aspekt der Untersuchungen dar, eine Beschränkung darauf ginge jedoch am Wesentlichsten vorbei: der direkt auf den Menschen bezogenen Funktionsfähigkeit der Stadt als Wirtschaftsraum.

Domrös (1977, 189) und Müller P. (1972, 121) bezeichnen den Menschen im städtischen Ökosystem als "Schlüsselart". Dieser Vergleich ist jedoch nicht zutreffend. Als Schlüsselart wird in der Biologie die dominante Organismusart definiert, von der zahlreiche andere Lebewesen abhängen (TISCHLER 1975, 98). Der Mensch bevölkert die Stadtlandschaft jedoch nicht nur als dominierendes Lebewesen, sondern er hat die Stadt bewußt geschaffen und verändert sie nach ständig wechselnden Bedürfnissen. Auch die Agrarlandschaften werden vom Menschen nach den ökonomischen Bedürfnissen und technischen Möglichkeiten gestaltet. Es gibt auf der Erde kaum noch Räume, die nicht vom Menschen beeinflußt sind, weshalb die traditionelle Trennung zwischen Natur- und Kulturlandschaften weitgehend überflüssig geworden ist (MÜLLER, P. 1972, 123). Aber die naturräumlichen Verhältnisse entscheiden letztlich über Art und Umfang der Landnutzung. Für die Existenz, Größe und Bedeutung einer Stadt ist dagegen die naturräumliche Ausstattung weniger entscheidend als das funktionale Wirkungsgefüge, die sozialen, wirtschaftlichen und politischen Prozesse eines Raumes. Daher unterscheiden sich stadtökologische Untersuchungen von den herkömmlichen landschaftsökologischen Arbeiten in vier wesentlichen Aspekten:

1) Eine Stadt existiert durch die ökonomischen, politischen, sozialen Bedürfnisse der Bevölkerung. Gründung, Wachstum, Verfall sind von naturräumlichen Verhältnissen häufig unabhängig. Entscheidend sind die Wirtschafts- und Handelsbeziehungen, die politische Raumgliederung (1), sowie die

(1) Anm.: Vgl. Stadtentwicklung von Regensburg (HERMES 1979, 206/210/218)

Versorgung der Bevölkerung mit höherrangigen Gütern. Daher wird der Belastung und Belastbarkeit städtischer Geosysteme wenig Aufmerksamkeit geschenkt, solange die Veränderungen des Landschaftshaushalts nicht den sozioökonomischen Zweck der Stadt beeinträchtigen. Durch die industrielle Entwicklung, den Bauboom und die Ausweitung des Individualverkehrs ist in vielen Städten diese Grenze weit überschritten. Luftverschmutzung, Lärm und Dichtestreß bedrohen die wirtschaftliche und soziale Funktionsfähigkeit. Darum ist es ein Ziel stadtökologischer Arbeiten, herauszufinden, wie diese Beeinträchtigungen verhindert werden können, um die Funktionsfähigkeit der Städte zu verbessern.

2) Stadtökologische Arbeiten untersuchen die Funktionsfähigkeit der städtischen Geosysteme im Hinblick auf die Bedürfnisse, die der Mensch an urbane Räume als Knotenpunkte des wirtschaftlichen, politischen und sozialen Lebens stellt.

   So geht es z.B. bei einer Flechtenkartierung nicht darum, Standorte unterschiedlicher Flechtenarten aufzuzeigen. Die Flechten, die auf Luftverunreinigungen sehr empfindlich reagieren, werden als Indikator benutzt, um die Belastung der Stadtbevölkerung zu erforschen.

3) Die Stadt ist ein vom Menschen neu gestalteter Lebens- und Wirtschaftsraum und steht daher mit menschlichen Bedürfnissen und Zielvorstellungen in direktem Zusammenhang. So sind städtische Geosysteme in vielen Bereichen lebensfeindliche Extremräume (z.B. Bodenabdichtung, Überbauung), die zur Erhaltung ihrer Funktionsfähigkeit unbebaute, naturnähere Nachbarsysteme als Ausgleichsräume benötigen (z.B. zur Reinigung der Luft, Erholung der Stadtbevölkerung). Stadtökologische Arbeiten erfordern daher wegen der besonderen Funktionen des städtischen Raumes einen auf den Menschen bezogenen Ansatz (vgl. 2.2) zur Beurteilung der Belastung und Belastbarkeit. Sie müssen einen gewissen Grad der Lebensfeindlichkeit (z.B. asphaltierte Straßen) akzeptieren. Die Belastung beginnt erst dort, wo menschliche Anforderungen, die an den städtischen Lebensraum gestellt werden, gefährdet oder nicht realisiert sind. Somit ist die Belastung des städtischen Lebensraums nicht allein eine naturwissenschaftlich erfaßbare Größe; sie variiert auch mit den Ansprüchen der Bevölkerung. Deshalb müssen die Erwartungen und Bedürfnisse der Bevölkerung in die Untersuchung einbezogen werden.

4) Anders als im Ökosystem oder naturnahen Geosystem lassen sich im städtischen Geosystem nicht alle Korrelationen zwischen den Teilelementen kausallogisch als Input, Throughput oder Output beschreiben. Nur die biologische Komponente des Menschen unterliegt naturwissenschaftlich beschreibbaren Beziehungen zu anderen Systemelementen. Aber auch die menschlichen Bedürfnisse und Zielvorstellungen verändern sich angesichts der zunehmenden Belastung des Lebensraumes, was sich wiederum auf die Gestaltung der Umwelt auswirkt. Diese raum-

wirksamen Korrelationen zwischen den menschlichen Ansprüchen und den organischen und anorganischen Teilsystemen sind nicht in einer Folge-Wirkung-Beziehung darstellbar.

Stadtökologische Arbeiten sind ein Bestandteil der landschaftsökologischen Forschung, weil sie raumbezogen die Leben-Umwelt-Beziehungen untersuchen. Wegen der Sonderstellung der Stadt als Raum, den sich der Mensch bewußt geschaffen hat, um einen Teil seiner Bedürfnisse zu befriedigen und deren Entwicklung vom funktionalen Wirkungsgefüge wesentlich stärker beeinflußt wird als durch das anorganische und organische Prozeßfeld, sind über die Bestandsaufnahme der naturwissenschaftlich erfaßbaren Elemente hinaus noch weitere Erhebungen durchzuführen. Zusätzlich müssen ermittelt werden:

- die (geplante) Flächennutzung,
- die Dynamik und die Interessen der Bevölkerung,
- die politische, ökonomische und soziale Bedeutung der Stadt (z.B. Verwaltungs- oder Industriestadt),
- die derzeitige und angestrebte wirtschaftliche Entwicklung,
- die Stellung der Stadt im funktionalen Raumgefüge,
- die staatlich geplante Entwicklung.

Der Gefahr, daß stadtökologische Untersuchungen durch die Hinzunahme von Forschungsgebieten geisteswissenschaftlicher Fachrichtungen zu einer Hyperwissenschaft ausufern (LESER 1976, 5 f.), wird dadurch begegnet, daß politische, ökonomische, soziale oder rechtliche Inhalte nur herangezogen werden, soweit sie direkte Wirkungen im Raum hervorrufen.

3. DER GEOGRAPHISCHE RAUM REGENSBURG-BESTANDSAUFNAHME

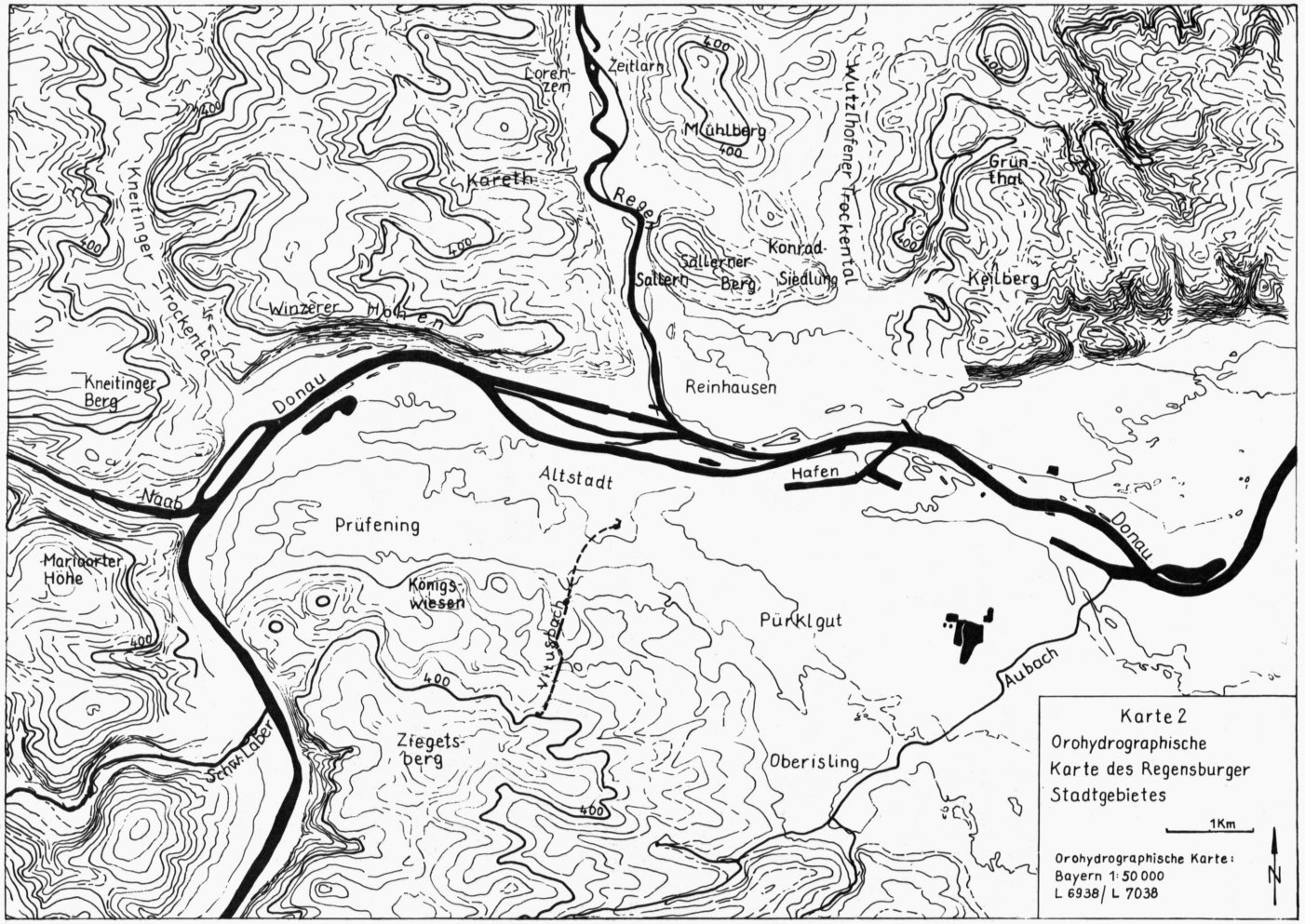
3.1 Naturräumliche Ausstattung und ihre Abwandlung durch die Bebauung

Im Geokomplex Regensburg überlagert sich das Raummuster der naturräumlichen Einheiten, das in diesem Gebiet äußerst vielfältig ist, mit dem Gestaltmosaik der Stadt.

3.1.1 Geologische Grundlagen und Relief

Die topographische Lage Regensburgs hat einen entscheidenden Einfluß auf die klimaökologischen und lufthygienischen Verhältnisse.

Die Stadt wird von drei Seiten, im Norden, Westen und Südwesten von Höhenzügen umschlossen, die etwa 100 m, zumeist steil ansteigen. Im Osten und Südosten weitet sich der flache Talbereich, die Regensburger Bucht, zur Niederung des Dungau (Karte 2).


Lorenzen
Zeitlarn
Mühlberg
400
Wutzlhofener Trockental
Grünthal
Kareth
Regen
Sallerner Berg
Konrad-Siedlung
Keilberg
Winzerer Höhen
Kneitinger Trockental
Kneitinger Berg
Donau
Reinhausen
Hafen
Altstadt
Naab
Prüfening
Marxloher Höhe
Königswiesen
Virusbach
Pürklgut
Aubach
Ziegetsberg
Schwabelweiser Graben
Oberisling
Karte 2
Orohydrographische Karte des Regensburger Stadtgebietes
1Km
Orohydrographische Karte:
Bayern 1:50 000
L 6938/ L 7038
N

Der geologische Aufbau, der im Regensburger Stadtgebiet äußerst vielfältig ist, bildet die Grundlage für das Muster der naturräumlichen Einheiten. Grundwasserhaushalt, Bodenqualität, Vegetation, die Agrarwirtschaft und die Abbauindustrie werden entscheidend durch die geologischen Voraussetzungen geprägt.

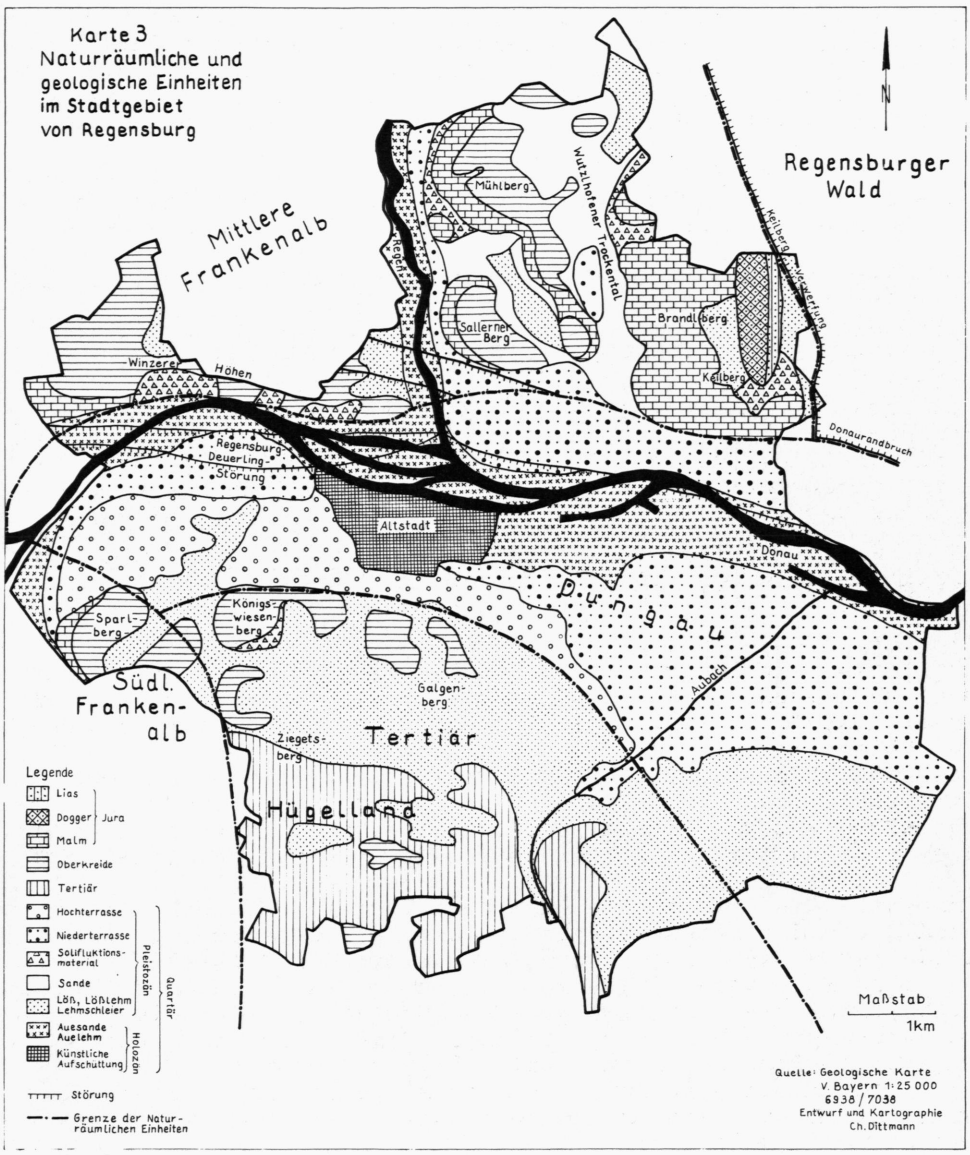
Im Regensburger Stadtgebiet verzahnen sich Gesteinsserien des Paläozoikums (ostbayerisches Grundgebirge), Mesozoikums (Fränkische Alb) und Neozoikums (Tertiär-Hügelland) (Karte 3).

Im äußersten Nordosten befinden sich kristalline Gesteine (präkambrische Gneise) des Regensburger Waldes, die im Westen durch die Keilbergverwerfung, in der sich der Donaurandbruch rechtwinklig nach Norden fortsetzt, scharf begrenzt werden (vgl. BAUBERGER u.a. 1969, 21/224 ff.). Daran schließen sich nördlich der Donau und im Westen des Stadtgebietes Teile des Jura-Oberkreide-Komplexes der Frankenalb an. Die Höhenzüge im Südwesten sind Ausläufer des Tertiärhügellandes. Nahezu die gesamte Ebene der Regensburger Bucht ist durch Reste der mittelpleistozänen Hochterrassen und durch Kiese und Sande der Niederterrassen von Donau und Regen ausgefüllt, die weitgehend von Löß überdeckt sind (BAUBERGER u.a. 1969, 13 ff./219 ff.; GEOLOGISCHE KARTE V. BAYERN 1:25000; Nr. 6938, Nr. 7038).

Die Kuppen der randlichen Höhenzüge, die die Regensburger Bucht abgrenzen, sind trotz des geologisch sehr unterschiedlichen Aufbaus annähernd gleich hoch, da sie auf eine Rumpffläche zurückgehen (BAUBERGER u.a. 1969, 9). Im Norden und Westen werden die Randhöhen von den Flußtälern der Donau, Schwarzen Laaber, Naab, des Regen sowie von den Trockentälern von Kneiting und Wutzlhofen durchbrochen. Die Trockentäler und Mulden, die den Jura-Oberkreide-Komplex durchlaufen, gehören einem tertiären Talsystem an, das durch das quartäre Flußsystem zerschnitten ist.

Innerhalb des Fränkischen Jura sind die Täler abwechselnd steilwandig und flach ansteigend, teilweise auch asymmetrisch ausgebildet (z.B. Kneitinger Trockental). Auf den Hochflächen füllen Solifluktionsmassen die flachen, ehemaligen Talmulden. Es treten Kleinformen des Karstes, Dolinen, Höhlen oder Felsnischen auf. Im Stadtwesten, bei Großprüfening, verläßt die Donau die Frankenalb in einem Durchbruchstal. Die Steilhänge der Mariaorter Höhe, des Kneitinger Berges und der Winzerer Höhen sind Prallhänge der Donau. Sie schließen im Westen und Norden die Regensburger Bucht scharf ab.

Der Regen durchschneidet bei Zeitlarn, Lorenzen und Sallern die Malmkalksteinplatte in einem epigenetischen Durchbruchstal (BAUBERGER u.a. 1969, 31) und tritt bei Reinhausen in die Regensburger Bucht ein. Die gesamte Altstadt und große Teile des Bebauungsgebietes liegen auf den flachen Flußterrassen von Donau und Regen. Daher sind die ufernahen Siedlungsflächen häufig hochwassergefährdet, und vor allem in den donaunahen Altstadtbereichen ist der Untergrund wegen eingelagerter Holzpartikel (Reste des Auwaldes) instabil (Information: Stadttiefbauamt).


Karte 3
Naturräumliche und geologische Einheiten im Stadtgebiet von Regensburg
N
Regensburger Wald
Mittlere Frankenalb
Mühlberg
Wutzlhofener Trockental
Hellberg-Wasserleitung
Sallerner Berg
Brandlberg
Kellberg
Winzerer Höhen
Donaurandbruch
Regensburg Deuerling Störung
Altstadt
Donau
Donautal
Sparlberg
Königswiesenberg
Südl. Frankenalb
Galgenberg
Ziegetsberg
Tertiär Hügelland
Abbach
Maßstab
1km
Legende
Lias
Dogger
Malm
Jura
Oberkreide
Tertiär
Hochterrasse
Niederterrasse
Solifluktionsmaterial
Sande
Löß, Lößlehm Lehmschleier
Auesande Auelehm
Künstliche Aufschüttung
Pleistozän
Holozän
Quartär
Störung
Grenze der naturräumlichen Einheiten
Quelle: Geologische Karte V. Bayern 1:25 000 6938 / 7038
Entwurf und Kartographie Ch. Dittmann

Das natürliche Relief ist durch die städtische Bebauung überprägt: Nahezu der gesamte Talbereich und große Flächen der Randhänge sind besiedelt. Im Zentrum haben die Gebäude nicht mehr als 4 - 5 Stockwerke und in den Randzonen überwiegt Ein-Zweifamilienhaus-Bebauung. In einigen Stadtteilen (Königswiesen, der nördlichen Konradsiedlung oder am westlichen Donauufer) wurden Hochhäuser bis zu vierzehn Stockwerken errichtet. Durch Gesteinsabbau ist der westliche Teil des Keilbergs abgetragen. Das natürliche Großrelief des Raumes, die buchtartige Talweitung mit den angrenzenden Höhenzügen, bleibt jedoch trotz der städtischen Bebauung weitgehend dominant.

3.1.2 Allgemeine Klimaeinflüsse

Regensburg hat nach seiner geographischen Lage Anteil an einem Übergangsklima zwischen dem atlantischen Klima im Westen und dem Kontinentalklima im Osten Europas. Feuchte Luft vom Atlantik, Polarluft, subtropische Luft aus dem Mittelmeerraum und trockene Festlandsluft aus dem Osten gestalten an über 300 Tagen im Jahr das Wetter. An den restlichen etwa 60 Tagen kann sich Festlandsluft mitteleuropäischen Ursprungs ausprägen. Durch die rasche Aufeinanderfolge der unterschiedlichen Luftströmungen, die wiederum durch die Variationen der großräumigen Luftdruckverteilung ausgelöst wird, ist das Wetter in Regensburg recht wechselhaft (ROCZNIK 1971, 199).

Die Wetterlagenhäufigkeit in Regensburg

Antizyklonale Lagen, die das Auftreten von Inversionen und Nebel begünstigen und zyklonale Lagen, die in der Regel eine Durchmischung der unteren Luftschichten fördern, verhalten sich im langjährigen Mittel in Regensburg etwa 50:50. Besonders polare Luftmassen sind durch gute Durchmischungsverhältnisse und geringe Feuchte gekennzeichnet, während subtropische Warmluft stabile Schichtung und hohe Feuchte verursacht (V. EIMERN 1971, 80). Ausgesprochene Hochdrucklagen, wie das Zentralhoch oder die Hochdruckbrücke über Mitteleuropa, kommen im Jahr zwar nur etwa an 60 Tagen vor, doch treten noch an etwa 120 weiteren Tagen Hochdruckrandlagen auf, die dem Wetterablauf in Regensburg ein antizyklonales Gepräge geben. Sie sind charakterisiert durch wolkenarmen Himmel, Sonnenschein und gute Sicht auf den Randhöhen, während es in der Regensburger Bucht dann, v.a. in den Morgenstunden, nebelig oder dunstig ist (TENTER 1976).

"Schlechtwetterzentren", wie Trog oder Tief über Mitteleuropa, lassen sich an durchschnittlich 25 Tagen nachweisen. Tiefdruckrandlagen, die das Wetter ebenfalls zyklonal beeinflussen, wirken sich noch an 160 weiteren Tagen aus (ROCZNIK 1971, 199 f.; vgl. HEYER 1975, 49/52) (vgl. Anhang Tab. 23).

In nassen Monaten überwiegen Westlagen, ist das Hoch über Mitteleuropa unterrepräsentiert. In warmen, trockenen Monaten ist die Häufigkeit ihres Auftretens umgekehrt (CAPPEL 1975).

Da Frontendurchzüge, bei denen Kaltfronten überwiegen, in Norddeutschland wesentlich häufiger vorkommen als in Süddeutschland, liegt Regensburg relativ selten in ihrem Einflußbereich. Frontendurchzüge werden in Regensburg am häufigsten im Sommer (26 - 30 Fälle), am wenigsten im Herbst (20 - 24 Fälle) registriert (ERIKSEN 1971).

Der Alpensüdföhn, der nördlich von Deggendorf noch Bereiche des Bayerischen Waldes beeinflußt, dringt in die Regensburger Bucht nicht vor.

3.1.3 Die hydrologischen Verhältnisse

Das Stadtgebiet von Regensburg ist nicht sehr wasserreich. Nur 3,3 % des Raumes werden von Oberflächengewässern eingenommen. Durch bauliche Maßnahmen wird der Anteil von Wasserflächen, Sumpf- und Feuchtwiesen ständig reduziert, was vor allem die städtische Überwärmung begünstigt und die Frischluftversorgung bei stabilen Wetterlagen behindert.

Oberflächengewässer

Der Vorfluter des Gebietes, die Donau, weist ein Gefälle von etwa 0,04 % auf. Ihr Wasser ist ebenso wie das Wasser von Schwarzer Laaber und Naab sehr kalkreich, da diese Flüsse Teile des fränkischen Jura entwässern. Dagegen stammt der Regen aus dem Kristallin und durchschneidet nur im untersten Laufabschnitt den Weißjura. Daher ist sein Wasser kieselsäurereich und kaum kalkhaltig, die Sedimente sind grusig.

Die Gewässergüte der Flüsse ist nach der Bewertungsskala unzureichend. Schwarze Laaber und Donau weisen die Güteklasse III (stark verschmutzt) auf. "Hierzu zählen Gewässer mit stark organischer Verschmutzung und meist niedrigem Sauerstoffgehalt", in denen Mikroorganismen übermäßig auftreten (BAYER. LANDESAMT F. WASSERVERSORGUNG U. GEWÄSSERSCHUTZ 1972, 15/70 ff.).

Die Donau, die oberhalb von Kelheim nur mäßig belastet ist, wird durch die ungeklärten Abwasser der Zellstoffindustrie z. Zt. noch sehr stark verschmutzt und erreicht bereits vorbelastet den Regensburger Raum. Eine biologische Kläranlage mit Abwasserrecycling ist jedoch in Bau. Die kommunalen Abwasser, die bis 1978 ungeklärt in die Donau eingeleitet wurden, verursachten eine weitere starke Schmutzbelastung. Durch die Inbetriebnahme der mechanisch-biologischen Kläranlage der Stadt wird sich die Wasserqualität unterhalb Regensburgs verbessern.

Seit Fertigstellung der Staustufe Pfaffenstein wird die Donau in zwei Abschnitte mit unterschiedlicher Gewässergüte geteilt. Oberhalb der Staustufe ist der Fluß durch kommunale Abwasser, v.a. aber durch die organischen Einleitungen der Industriebetriebe von Kelheim und Saal, stark eutrophiert und von Schlammablagerungen des Kelheimer Zellstoffwerks belastet (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ 1974 k, Blatt 10/5). Bis 1981 war der Fischbestand daher nur sehr gering; es kamen nur

wenige Lauben und Rotaugen vor. Seit der probeweisen Inbetriebnahme der biologischen Kläranlage der Fa. Höchst in Saal ist jedoch eine Verbesserung der Wasserqualität festzustellen; der Fischbestand nimmt zu. Unterhalb des Wehres findet man bessere Wasserverhältnisse vor. Daher werden im Wehrbereich sogar Regenbogenforellen gefangen, und weiter unterhalb, wo die Donau wieder ihre natürliche Fließgeschwindigkeit aufweist, leben noch etwa 10 - 15 Fischarten, deren Bestand jedoch von Jahr zu Jahr stark schwankt. Durch die Veränderung der Abflußverhältnisse nach Fertigstellung des Rhein-Main-Donau-Kanals wird eine Verschlechterung der Wasserqualität erwartet (Information: Planungsbüro Röth).

Die Wärmebelastung der Donau, die durch die Kraftwerke Großmehring und Irsching verursacht wird, setzen die Nebenflüsse, die im Stadtgebiet münden, herab. Sie ist in Regensburg nicht als kritisch zu bezeichnen (BAYER. LANDESAMT F. WASSERVERSORGUNG U. GEWÄSSERSCHUTZ 1973).

Die Flüsse Regen und Naab sind durch Abwässer, die im Oberlauf eingeleitet werden, kritisch belastet (Güteklasse II - III).

Die Wasserstände der Flüsse schwanken stark (extreme Pegelschwankungen Donau: ca. 7 m / Regen: ca. 4,5 m / Naab: ca. 5 m) (BAUBERGER u.a. 1969, 227). Aus diesem Grund sind die Talbereiche des Regensburger Gebietes sehr hochwassergefährdet.

Durch den Bau des Rhein-Main-Donau-Kanals ist die Sicherung des Ufergeländes vor Hochwasser in Regensburg besonders akut geworden, da sich die Abflußverhältnisse im gesamten Raum verändern werden. Nach Fertigstellung der Staustufe Geisling, die ca. 20 km östlich der Stadt liegt, erhält die Donau in diesem Laufabschnitt eine neue Erosionsbasis. Der Fluß wird gestaut, und die Tiefenerosion, die derzeit im Regensburger Gebiet noch wirksam ist, hört auf. Nebenflüsse und Grundwasserspiegel müssen sich auf eine erhöhte Erosionsbasis umstellen. Die Hochwassergefahr vergrößert sich.

Daher planen das Wasserwirtschaftsamt und die Oberste Baubehörde die Eindeichung wichtiger Wohngebiete und landschaftlicher Nutzflächen, wodurch jedoch naturnahe Ufersäume, die als klimaökologische Ausgleichsflächen wirksam sind, zerstört werden. Vorgesehen ist die Anlegung von Poldern, aus denen Pumpwerke das bei Hochwasser ansteigende Grundwasser abschöpfen sollen.

Beim Bau der Regentalautobahn (Baubeginn 1979) wurde gegen Einwände der Bevölkerung eine Trassierung durchgesetzt (FORUM REGENSBURG 1972/1977/1978), die eine Verlegung des Flußbettes erforderlich machte. Durch diese Baumaßnahmen werden die Regenwiesen, die in der Biotopkartierung von Bayern als "Stadtökologisch wichtige Fläche" ausgewiesen sind, zerstört (BAYER.

LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ 1974, Biotopkartierung Bayern: Topogr. Karte 6938/Beschreibungen Nr. 139) und die ökologischen Verhältnisse des Raumes schwer geschädigt (1).

Zum einen verstärkt diese Planungsmaßnahme die Hochwassergefahr im Stadtgebiet: Da mit dem Straßenbau eine Laufverkürzung verbunden ist, kommt es zu einer Änderung der Abflußverhältnisse des Regens; die Transportkraft des Flusses wird verstärkt. Bei Niedrigwasser (1971) konnte beobachtet werden, daß Granitgrusmengen in der Donau mehrere 100 m unterhalb der Regenmündung Sandbänke bilden. Es ist nun damit zu rechnen, daß bis zur Fertigstellung der Staustufe Geisling verstärkt Sedimente an der Regenmündung abgelagert werden. Schwerwiegendere Folgen hat die Zerstörung der Regenwiesen bei Lappersdorf, die bei Hochwasser als bedeutsames Auffangbecken wirksam waren und die Überflutung im Stadtbereich verminderten. Nach Fertigstellung des Regenkanals können nun die Wassermassen im eingeengten Flußbett verstärkt in das Stadtzentrum vordringen.

Die Regenwiesen, die durch die Baumaßnahmen zerstört werden, bildeten eine wichtige klimaökologische Ausgleichsfläche. Durch Verbauung der naturnahen Regenufer im Stadtbereich werden die Frischluftzufuhr durch das Regental eingeschränkt und lokale Zirkulationsströmungen bei stabilen Wetterlagen reduziert.

Bei der Bevölkerung war das Gelände als Naherholungsgebiet sehr beliebt. Es wies außerdem Standorte von schutzwürdigen Pflanzen (z.B. Teichrose) und gefährdeten Tierarten (z.B. Gelbbauchunke) auf.

Auch für die Trinkwasserversorgung der Stadt ist die Wahl dieser Autobahntrasse problematisch, da die Brunnen nur etwa 200 bis 250 m entfernt liegen (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ 1974, 1; Karte 10,4).

Der Karstwasserspeicher, aus dem das Trinkwasser für Regensburg gewonnen wird, ist nur in den Mulden des tertiären Talsystems (vgl. 3.1.1) durch Deckschichten abgedichtet. In den quartären Durchbruchstalstrecken, in denen der Regen die Malm-

(1) Anm.: Die Kartierung der schutzwürdigen Biotope wurde im Regensburger Gebiet 1974 durchgeführt. Ihr Ziel ist es, die Vielfalt der Naturausstattung ausreichend zu sichern und ökologische Ausgleichsflächen zu mehren. "Die konkrete und möglichst effektive Anwendung der Biotopkartierung im Rahmen der Fachplanungen des Straßenbaus und der Wasserwirtschaft hat die Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern mit Schreiben vom 13.3.1978 an alle nachgeordneten Behörden geregelt".

(Vgl. MAYERL 1979, KAULE 1976).

kalke zerschneidet, stehen dagegen Karstwasser und Oberflächenwasser in Verbindung. Es besteht daher die Gefahr, daß die Trinkwasserbrunnen durch verschmutztes Oberflächenwasser, z.B. Ölrückstände von der benachbarten Autobahn, verunreinigt werden. Den Planungsbehörden war dieses Problem durchaus bewußt. Die abgeschnittenen Regenmäander, die als ökologische Ausgleichsfläche die lokalen Durchmischungsverhältnisse bei stabilen Wetterlagen verbessern und Lebensraum für die zurückgedrängte Tier- und Pflanzenwelt bieten könnten, müssen zugeschüttet werden. Auf diese Weise soll die Gefährdung des Trinkwassers durch die Verkehrsader gemindert werden (AUTOBAHNDIREKTION MÜNCHEN 3.5.1977 Az 3311-7/8-A 93 Reg. Pfr., 35) (1).

Das Regensburger Gebiet ist sehr quellreich. Aufgrund der Verschiedenheit der geologischen Struktur treten unterschiedliche hydrologische Einheiten auf (siehe dazu: BAUBERGER 1969 257 ff.; BAYER. LANDESAMT F. WASSERWIRTSCHAFT 1974). Das Stadtgebiet wird von mehreren Wasserscheiden (Ordnungsstufen II - IV) durchzogen (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ 1976 b).

Die Bäche, die im Stadtgebiet entspringen, sind heute weitgehend kanalisiert oder überbaut. Der Aubach mit seinen Seitenarmen, dem Augraben, dem Islinger Mühlbach und zahlreichen Entwässerungsgräben, verläuft im Südosten des Stadtgebiets und stammt aus dem Tertiär-Hügelland. Sein Unterlauf ist begradigt und übermäßig verschmutzt. Er mündet im Osthafenbereich. An den Ufern des Aubachs und Augrabens, die noch in naturnahem Zustand erhalten sind, befinden sich Standorte von

(1) Anm.: Die engere Schutzzone des Wasserschutzgebiets wurde nur östlich des Regen ausgewiesen, obwohl das Grundwasser vor allem aus Zonen westlich und nordwestlich des Regen den Trinkwasserquellen zuströmt und durch die stellenweise starke Wasserdurchlässigkeit der Gesteinsschichten eine knappe Begrenzung der Schutzzone nicht möglich ist. Aufgrund dieser unvollständigen Schutzgebietsausweisung durchschneidet die Autobahn das Wasserschutzgebiet nicht, obwohl sie nur wenige 100 m an den Trinkwasserbrunnen vorbeiführt und erfüllt somit die gesetzlichen Auflagen. Eine alternative Autobahntrasse durch das mit tertiären Schichten sicher abgedichtete Wutzlhofener Trockental, die vom Bayer. Landesamt f. Umweltschutz, dem Bund Naturschutz und dem Forum Regensburg vorgeschlagen wurde, lehnten die Planungsbehörden ab.

In den Gerichtsverhandlungen, in denen Anwohner die Zerstörung dieses Flußabschnitts verhindern wollten, konnten nur Probleme der Lärmbelästigung, die angesichts der schwerwiegenden ökologischen Auswirkungen sekundär sind, erörtert werden (BAYER. VERWALTUNGSGERICHT REGENSBURG 28.11.1977; BAYER. VERWALTUNGSGERICHTSHOF MÜNCHEN 9.5.1978). Da nach geltendem Recht nur über persönliche, direkte Beeinträchtigungen des Klägers verhandelt werden kann, ist eine sachliche Abwägung und Beurteilung der politischen und ökonomischen Interessen einerseits und der ökologischen Gefährdung andererseits vor Gericht nicht möglich.

Feuchtbiotopen (Erlenbruchwald, Weidengehölze, Feuchtwiesen), die die Temperatur- und Feuchteverteilung im Stadtgebiet beeinflussen (vgl. Karten 9 - 11).

Aus dem Stadtbild verschwunden ist der Vitusbach, der unterhalb der Klosterkirche Karthaus, im Süden der Stadt entspringt (vgl. Karte 2). In prähistorischer Zeit bildete er im Gebiet der heutigen Gesandtenstraße einen See oder ein Moor, wo früheste Siedler ein Pfahldorf errichteten (V. WALDERDORFF 1866, 68 IV). Im Mittelalter durchfloß der Vitusbach, der sich in drei Arme gabelte, die Altstadt, was Merian 1644 auf dem Kupferstich "Die Vogelschau" dargestellt hat. Das Wasser des Baches speiste am Emmeramsplatz und am Arnulfsplatz Viehtränken (Hülling genannt), diente zur Reinigung der Stadt und des Schlachthauses am Fischmarkt und wurde bei Stadtbränden als Löschwasser benötigt (BAUER 1970, 86 ff./74/118/581/598). Heute verläuft der Vitusbach kanalisiert und weitgehend unterirdisch. Er speist die Teiche im Garten des Karmelitenklosters Kumpfmühl und im Fürstenpark und verschwindet am Petersweg in der Abwasserkanalisation. Im Stadtplanungsamt wird überlegt, wie das saubere Wasser des Baches dem Grundwasser zugeführt werden kann (Information: Stadtentwicklungsamt). Die Überbauung des Baches, an den noch zahlreiche Straßennamen (z.B. An der Hülling, Obere und Untere Bachgasse, Weißgerbergraben, Am Stärzenbach) erinnern, verstärkte die Überwärmung und Trokkenheit des innerstädtischen Klimas. Aus verkehrstechnischen Gründen war diese Baumaßnahme jedoch unvermeidbar.

Vom Lohgrabenbach, der in Königswiesen einer Tertiärmulde entspringt, früher nach Prebrunn lief, wo er Fischteiche speiste, ist nur noch der von alten Bäumen umsäumte Quellteich erhalten, an dem die Autobahn vorbeiführt. Ebenfalls verschwunden ist der Pürkelgutgrabenbach, der im Osten der Stadt am Fuß der pleistozänen Hochterrasse entsprang und nach Alt-St. Niklas (Straubinger Straße) floß (BAUER 1970, 360/449; BRUNHUBER 1917, 82 ff.; vgl. HERMES 1979, 204 Abb. 1). Auch die Überbauung dieser Bäche verstärkt stadtklimatische Effekte.

Das Regensburger Gebiet weist kaum stehende Wasserflächen auf. Am äußersten Nordostrand der Stadt, in der Tegernheimer Schlucht, sind zwei Weiher auf Opalinustonen des mittleren Keuper gestaut. Als weitere Wasserflächen sind der Prüfeninger Baggersee, die Zierteiche, z.B. im Stadtpark oder Fürstenpark sowie die Klärschlammteiche der Zuckerfabrik westlich von Irl zu nennen.

Grundwasser

Auch die Untersuchung der Grundwasserverhältnisse in der Innenstadt ist für die vorliegende Arbeit notwendig, da sich der Bau von Tiefgaragen und unterirdischen Fahrwegen als Möglichkeit zur Reduzierung verkehrsbedingter Luftverunreinigungen anbietet, ohne das Stadtbild zu zerstören und die Lebensgewohnheiten der Bevölkerung zu mißachten.

Die Donau steuert den Grundwasserspiegel zu beiden Seiten in einem etwa 2 km breiten Gürtel durch Rückstau (BAUBERGER u.a. 1969, 270 ff.). Die Fließgeschwindigkeit des zuströmenden Grundwassers und die Spiegelhöhe hängen einerseits vom Wasserstand der Donau und der Abflußspende ab. Andererseits fließt in den quartären Kiesen und Sanden ein Grundwasserstrom parallel zur Donau, der mit dem Flußwasser in Verbindung steht (BAYER. LANDESAMT F. WASSERVERSORGUNG 1970, 78). Besonders nach Regenfällen treten bei Hochwasser beachtliche Grundwasserströmungen auf.

Werden in die Grundwasserströme größere Tiefbauten gesetzt, so entstehen unterirdische Staukörper, die das Gleichgewicht der Zu- und Abflüsse stören oder verändern können. Es besteht dann die Gefahr, daß Hausfundamente unterspült oder trockengelegt werden, was Setzungen, Rissebildung oder Einsturz zur Folge haben kann (RUF 1976). Zwar liegt die gesamte Regensburger Altstadt im Grundwassereinflußbereich der Donau, die Grundwasser- und Untergrundverhältnisse sind aber nur an den Stellen bekannt, an denen in den letzten Jahren Baugruben ausgeschachtet wurden. Den Aufzeichnungen in den Akten des Stadttiefbauamtes ist zu entnehmen, daß unter der Regensburger Altstadt zwei Grundwasserspiegel liegen:

1. Unterhalb der Kulturschuttschicht in 3 - 6 m Tiefe staut sich Niederschlagswasser in einer Schicht, die Sand, Kies, Schluff und Holzbestandteile enthält (Auwaldschicht). Das Wasser ist verunreinigt, kann stehend oder fließend sein. Diese Schicht ist äußerst instabil, da die Holzpartikel bei höheren Grundwasserständen aufquellen. Gebäude, deren Fundamente dort gegründet sind, heben und senken sich bis zu 1 cm, was starke Rissebildungen in den Mauern zur Folge hat (z.B. Häuser am Fischmarkt - ihre Renovierung gehörte zu den teuersten Projekten der Regensburger Altstadtsanierung, da die Mauern durch die Hebungs- und Senkungsbewegungen schwach waren und die Fundamente bis zum Grünsandstein vertieft werden mußten).
2. Oberhalb des Grünsandsteins (6,5 - 7 m Tiefe) fließt in den Sanden und Kiesen der Niederterrasse in 6 - 7 m Tiefe klares Grundwasser.

Vom Stadtbauamt wurde bislang eine Erkundung der Grundwasserverhältnisse, die vom Wasserwirtschaftsamt und Stadttiefbauamt angeregt wurde, aus Kostengründen abgelehnt (1).

(1) Anm.: Die Erfahrungen, die in Landshut gemacht wurden, zeigen auf, welche katastrophalen Folgen unbedachte Tiefbauarbeiten haben können (Information: Dombaumeister): Vor einigen Jahren war der Turm der gotischen Martinskirche einsturzgefährdet. Man stellte fest, daß der Grundwasserspiegel plötzlich stark abgesunken war, und die Fundamente aus Eichenpfählen deshalb im Trockenen standen und vermoderten. Sie mußten durch Betonpfähle ersetzt werden. Etwa ein Jahr später hatte der Grundwasserspiegel sein ursprüngliches Niveau wieder erreicht. Man stellte fest, daß die Grundwasserabsenkung durch den Bau eines Kaufhauses in etwa 600 m Entfernung verursacht worden war. Um die tiefen Fundamente zu errichten, war das Grundwasser in der Baugrube mehrere Wochen hindurch ständig abgepumpt worden. Aus welchem Material die Fundamente des Regensburger Doms und anderer mittelalterlicher Bauten bestehen, ist nicht bekannt.

Es ist daher nicht auszuschließen, daß Tiefbauarbeiten im unbekannten Untergrund der Altstadt an der mittelalterlichen Bausubstanz schwere Schäden verursachen.

Als weiteres Problem kommt hinzu, daß durch den Bau des Rhein-Main-Donau-Kanals nach Fertigstellung der Staustufe Geisling der Grundwasserspiegel in Donaunähe ansteigen wird. Tiefbauten, die derzeit den Grundwasserstrom nicht behindern, könnten dann zu Staukörpern werden.

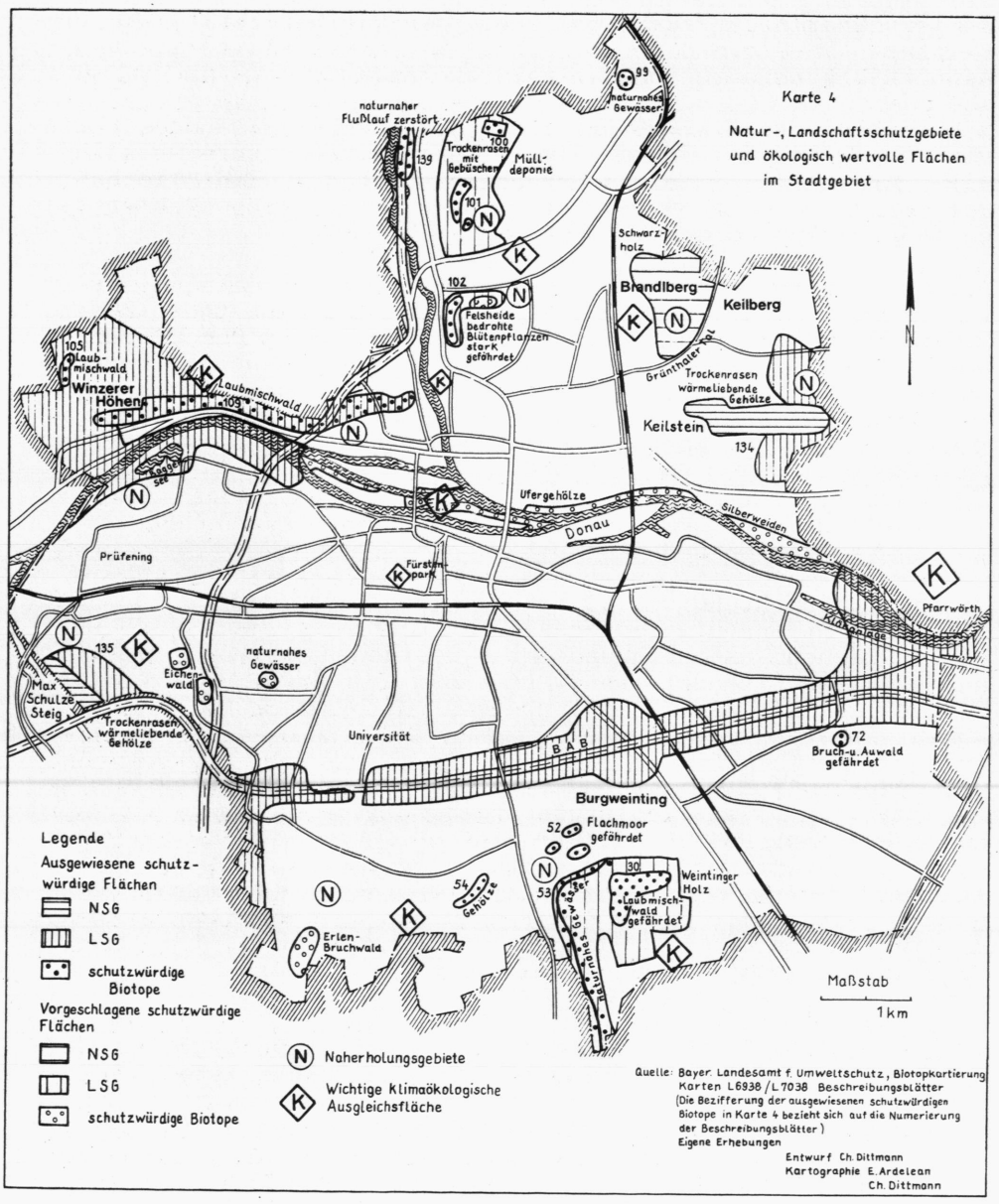
Schäden durch Grundwasserstau traten bisher bereits in Niederwinzer auf: Wegen der Verdichtung des Donauflußbettes an der Staustufe Pfaffenstein kann das Grundwasser von den Winzerer Höhen nicht mehr durch die Schotter in die Donau einfließen. Es staut sich und dringt in die Keller der Häuser. Maßnahmen zur Beseitigung der Grundwassergefahr und der Entschädigung sind zwischen den betroffenen Anwohnern und Planungsbehörden umstritten.

3.1.4 Vegetation und Tierwelt

Bei der Betrachtung der klimaökologischen und lufthygienischen Situation Regensburgs interessieren nicht nur ökologisch wertvolle Flächen, die aufgrund ihres Bestandes an bedrohten Tier- und Pflanzenarten schützenswert sind, sondern alle Vegetationsflächen, da sie als klimatische und lufthygienische Ausgleichszonen wirken.

Das ursprünglich weitgehend bewaldete Untersuchungsgebiet, das der collinen Vegetationsstufe angehört (vgl. SEIBERT 1968) ist heute etwa zur Hälfte bebaut; große Flächen unterliegen intensiver landwirtschaftlicher Nutzung (vgl. Tab. 1/Karte 5). Nur an steilen Hängen und Magerstandorten, oder in feuchtem wassernahen Gelände sind Reste einer naturnahen Vegetation erhalten. Dort befinden sich eine Reihe wertvoller Ökotope, die als erhaltenswerte Flächen ausgewiesen sind (Karte 4).

Im Stadtgebiet von Regensburg gibt es zwei Naturschutzgebiete (NSG) (vgl. BNatSchG: 1976 § 13): Im Nordosten liegt das NSG-Keilstein von 45,4 ha Größe, das 1939 auf unbefristete Zeit ausgewiesen wurde. Geschützt ist hier der Rest einer Kalkscholle (Weißjura), die nach Süden, zum Donautal steil 80 - 100 m abfällt. Aus dem Steilhang ragen durch Erosion entstandene Kalkpfeiler heraus. Im Osten, an der Tegernheimer Schlucht, treten noch Brauner und Schwarzer Jura zutage. Das wegen seiner geologischen und geomorphologischen Besonderheiten geschützte Gebiet weist außerdem Standorte seltener Pflanzen, die dem pontisch-mediterranen Raum angehören und seltene Tiere auf (z.B. Gemeine Küchenschelle, Eidechsen- und Schlangenarten) (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ 1974 i, 1976 d). Das NSG-Keilstein begrenzt den Abbau eines Kalkwerks im Osten. Am Hangfuß befinden sich Gärten.


Karte 4
Natur-, Landschaftsschutzgebiete und ökologisch wertvolle Flächen im Stadtgebiet
naturnaher Flußlauf zerstört
99
naturnahes Gewässer
100
Trockenrasen mit Gebüschen
Müll-deponie
139
101
102
Felsheide bedrohte Blütenpflanzen stark gefährdet
Schwarzholz
Brandlberg
Keilberg
Grünthaler Tal
Trockenrasen wärmeliebende Gehölze
Keilstein
134
105
Laubmischwald
Winzerer Höhen
Laubmischwald
103
Ufergehölze
Silberweiden
Donau
Prüfening
Fürstenpark
Pfarrwörth
135
Max Schultze Steig
Eichenwald
naturnahes Gewässer
Trockenrasen wärmeliebende Gehölze
Universität
BAB
72
Bruch- u. Auwald gefährdet
Burgweinting
52
Flachmoor gefährdet
53
30
Weintinger Holz
Laubmischwald gefährdet
54
Gehölze
Erlen-Bruchwald
Maßstab
1 km
Legende
Ausgewiesene schutzwürdige Flächen
NSG
LSG
schutzwürdige Biotope
Vorgeschlagene schutzwürdige Flächen
NSG
LSG
schutzwürdige Biotope
Naherholungsgebiete
Wichtige klimaökologische Ausgleichsfläche
Quelle: Bayer. Landesamt f. Umweltschutz, Biotopkartierung Karten L6938/L7038 Beschreibungsblätter (Die Bezifferung der ausgewiesenen schutzwürdigen Biotope in Karte 4 bezieht sich auf die Numerierung der Beschreibungsblätter)
Eigene Erhebungen
Entwurf Ch. Dittmann
Kartographie E. Ardelean
Ch. Dittmann

Das zweite NSG des Stadtgebietes, der "Max-Schulze-Steig", liegt im Südwesten. Es umfaßt 12,2 ha und wurde 1939 auf unbestimmte Zeit ausgewiesen. Geschützt sind hier ein Steilhang des oberen Malm mit Aufschlüssen im Kreide-Grünsandstein. Die artenreiche Kalkflora setzt sich aus Trockenrasen, wärmeliebenden Gebüschen und mesophilem Wald zusammen; es kommen seltene, geschützte Orchideenarten vor.Das Gelände ist durch einen Fußsteig erschlossen. Wegen seiner Beliebtheit als Naherholungsgebiet wird das NSG stark beansprucht.

Seit 1973 sind die Winzerer Höhen und ein Teil des nordwestlichen Donautals (415 ha Größe) auf unbefristete Zeit als Landschaftsschutzgebiet (LSG) ausgewiesen (vgl. BNatSchG: 1976 § 15).

Der südexponierte Steilhang der Winzerer Höhen weist Trockenrasen, unterwuchsreichen Laubwald mit einer ausgeprägten Strauchschicht (Flieder, Goldregen) auf. Bedeutsam ist vor allem der Naherholungswert des Geländes, in dem Spazierwege angelegt sind und das vor Bebauung geschützt werden soll. Durch das im Donautal gelegene Teilstück dieses LSG führen die vierspurige Frankenstraße und die Staustufe Pfaffenstein.

Nach Untersuchungen von Rocznik (ROCZNIK 1978) sollen sich die stadtklimatischen Verhältnisse im Stadtwesten durch den Bau des Rhein-Main-Donau-Kanals wesentlich verbessert haben, da sich seit der Fertigstellung der Staustufe in diesem Abschnitt die Breite der Donau verdoppelt hat, was eine Milderung des lokalen Klimas zur Folge habe. Dem ist entgegenzuhalten, daß durch die Baumaßnahmen der breite südliche Uferstreifen, der mit großen Weiden und Pyramidenpappeln bewachsen war, die Schatten spendeten und deren Kronen die Verdunstung förderten, zerstört wurde. Die ehemals grünen Ufer sind nun gepflastert und in der neu entstandenen Grünanlage um den Prüfeninger Baggersee wurden vereinzelt Ahornbäume und Ziersträucher angepflanzt; der Zustand des vormaligen naturnahen Feuchtökotops wurde nicht wieder hergestellt.

Als weiteres LSG ist das "Donautal mit Seitentälern" seit 1966, auf 20 Jahre befristet, ausgewiesen (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ 1975 b). Das Gelände soll wegen seiner kulturhistorischen Bedeutung und wegen des Fremdenverkehrs vor Gesteins- und Bodenabbau sowie vor Bebauung geschützt werden. In dieser Schutzzone befindet sich die Kläranlage der Stadt Regensburg. Der Bau des Rhein-Main-Donau-Kanals steht ebenfalls dem Schutzzweck entgegen. Denn dadurch werden die ökologisch wertvollen Donaualtwasser, Pfarrwörth und Donaustaufer Weiher, zerstört. Diese Feuchtökotope sind Standorte bedrohter und geschützter Pflanzen (z.B. Wasserschwertlilie, Schwalbenwurzenzian) gefährdeter Säugetiere (z.B. Iltis) und Brutreviere seltener Wasservogelarten, z.B. für Löffelente und Kiebitz (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ 1974 i; Ders. 1976 d).

Nur statistischen Wert besitzt das LSG, das sich als schmaler Geländestreifen längs der Bundesautobahn (A 3) erstreckt (1). Es umfaßt im Stadtgebiet eine Größe von etwa 300 ha und wurde 1966 für 20 Jahre ausgewiesen. In diesem Fall wurde kein ökologisch wertvolles Gelände, sondern die Straßentrasse vor Gesteins- und Bodenabbau geschützt (vgl. BFStrG: 1974 § 9 Abs. 2 Satz 1). Natur- und Landschaftsschutzgebiete nehmen im Regensburger Stadtgebiet eine Fläche von etwa 1 % ein (vgl. BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ 1975 b).

Die Biotopkartierung (2), die das Bayerische Landesamt für Umweltschutz 1974 im Regensburger Raum durchführte, weist im Stadtgebiet 14 schutzwürdige Flächen auf (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ, Biotopkartierung: topogr. Karte 6938 - Beschreibungsblätter: 99/100/101/102/127/134/135/139; topogr. Karte 7138 - Beschreibungsblätter: 05/30/52/53/54/72). Es handelt sich dabei vorwiegend um Feuchtbiotope in den Flußtälern und um trockene Standorte mit Trockenrasen und wärmeliebender Vegetation, die sich zumeist im nördlichen Stadtgebiet befinden (vgl. Karte 4). Diese Flächen sind vor allem wegen des Vorkommens schutzwürdiger Tier- und Pflanzenarten ausgewiesen. Nicht berücksichtigt wurde ein Ökotop auf einer Sekundärfläche (ehemaliger Sportplatz am nördlichen Sallerner Berg (Karte 4 bei Nr. 102).

Dort befinden sich zahlreiche Standorte der bedrohten geschützten Pflanzen: Silberdistel, Nestwurz, Gemeine Küchenschelle und Gefranster Enzian (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ 1974 i, 15 ff.). Dieses erhaltenswerte Ökotop ist durch die Bebauung des Sallerner Berges, das Abladen von Bauschutt und durch das rücksichtslose Abpflücken der geschützten Pflanzen bedroht.

Klimaökologisch und lufthygienisch wirksame Ausgleichsflächen sind aber nicht nur die Gebiete, die als schutzwürdige Biotope ausgewiesen sind, sondern alle nicht bebauten, vegetationsreichen Areale. Waldflächen fördern verstärkt den Luftaustausch und tragen zur Reinigung der Luft bei. Hänge und Täler bilden Frischluftabgleitbahnen und Gewässer gleichen die städtische Überwärmung und Trockenheit aus. Die klimatische Wirksamkeit von Ackerflächen, besonders in einer bereinigten Feldflur, ist dagegen geringer, da sie im Gegensatz zu Wald und Wiesen nur über eine eingeschränkte Verdunstungsoberfläche verfügen.

---

(1) Anm.: Die Gemeinden erhalten flächenanteilig Zuschüsse für ausgewiesene Natur- und Landschaftsschutzgebiete.

(2) Anm.: Zur Einengung des Biotopbegriffs vgl. SUKOPP u.a. 1979.

Im Nordosten der Stadt sind die flachgründigen und skelettreichen Malmhochflächen, Brandlberg und Schwarzholz stellenweise mit trockenem Kiefernwald bestanden, in dem die Strauchschicht nur gering ausgeprägt ist. An wärmebegünstigten Waldrandlagen treten Strauchsäume von größerer Artenvielfalt auf, die mit Laubbäumen durchsetzt sind. Am Brandlberg befindet sich der einzige Standort der Weidenblättrigen Wolfsmilch von Deutschland (BRESINSKY 1980, 62). Er ist durch die geplante Erweiterung des Steinbruchgeländes, in das das Grünthaler Trockental und Teile des Brandlbergs einbezogen werden sollen, äußerst bedroht. Zum Schutz dieser aussterbenden Pflanzenart, aber auch zur Sicherung von klimaökologischen Ausgleichs- und Naherholungsflächen sowie zum Schutz der umliegenden Wohngebiete vor Erschütterungen, Staubemissionen und Lärm durch den Abbaubetrieb ist anzustreben, die nördlichen Keilberghänge und den Brandlberg als Naturschutzgebiet auszuweisen.

An den sehr flachgründigen Hängen des Grünthaler Tals, des Keilsteins, der Winzerer Höhen und am Max-Schulze-Steig findet man Halbtrocken- und Trockenrasen, auf denen in Strahlungsnächten die Kaltluft sehr rasch in die Regensburger Bucht strömt. Durch Beweidung verändert sich die Artenzusammensetzung der Jurarasen. Je weniger sie genutzt werden, desto höher ist der Anteil an thermophilen Saumgesellschaften und Gehölzkeimlingen, die die Trockenrasen stellenweise verbuschen und dadurch den Kaltluftabfluß bremsen. Auf den freien Felsterrassen mit flachgründigen Kalk- und Dolomitböden in klimatisch extremer Süd- bis Südwestexposition befinden sich offene Felsheidegesellschaften, z.B. die Pfingstnelkenflur. In den Verwitterungshalden zwischen den Felswänden, aber auch auf flach geneigten Hängen wachsen Berg-Gamander und Berg-Blaugras; in Schattenlagen moosreiche Blaugrasfluren. In den Felspartien der Malmsteilhänge tritt ein kleinräumiges Mosaik unterschiedlicher Pflanzengesellschaften auf. Dieser rasche Wechsel veranschaulicht die ökologisch unterschiedlichen Bedingungen dieser Standorte (KILLERMANN 1972, 92 ff.).

Die Bebauung der Jura-Rasenflächen schränkt nicht nur die Frischluftzufuhr ein; sie bedroht auch den Bestand der stark gefährdeten Schmetterlingsarten: Großer Fuchs, Apollofalter und Großer Eisvogel, die bis vor wenigen Jahren noch häufig vorkamen. Durch die Ausweitung der Siedlungsflächen und Zurückdrängen ihrer Futterpflanzen, den forstlich unrentablen Birken, Weiden und Zitterpappeln nahm ihr Vorkommen sehr stark ab (Information: Planungsbüro Röth).

Im Bereich des Tertiär-Hügellandes sind ökologische Ausgleichsflächen auf Gelände mit bewegtem Relief und ungünstigen landwirtschaftlichen Ertragsbedingungen zurückgedrängt. Die Waldstandorte des Weintinger Holzes im Südosten der Stadt kommen der potentiellen natürlichen Vegetation sehr nahe. Es sind hier Elemente des trockenen Eichen-Hainbuchenwaldes anzutreffen, der eine Übergangsform vom typischen Eichen-Hainbuchenwald zum wärmeliebenden Eichenmischwald darstellt. Wegen seiner Artenvielfalt und dem durchmischten

Wuchs ist das Weintinger Holz eine Besonderheit, da die übrigen Wälder des Regensburger Raumes weitgehend als monokulturelle Fichtenforste (z.B. Keilbergforst) angelegt sind. Die geschützten und bedrohten Arten Türkenbund und Breitblättriger Sumpfwurz sind hier zu finden (Information: Planungsbüro Röth). Klimaökologisch ist dieses Waldstück besonders wertvoll, da es der baum- und strauchlosen Donauebene benachbart ist. An das Weintinger Holz schließen sich westlich das Brandlholz und Ammerholz an, in denen wegen der größeren Waldnutzung die Artenvielfalt der Pflanzen wesentlich geringer ist.

Die Feuchtbiotope im Stadtsüden, die Aubachaue, Tallagen des Islinger Mühlbachs und des Langen Grabens beeinflussen deutlich das Lokalklima. Im Ammerholz befindet sich am Langen Graben ein erhaltenswertes Erlenbruchwaldrelikt.

Der Dungau im Südosten wird wegen der äußerst fruchtbaren Lößböden vollständig landwirtschaftlich genutzt. Außer einigen Straßenbäumen, wenigen lückenhaften Feldhecken und Vegetationsresten entlang des begradigten Aubachs sind in der fast gänzlich umgestalteten Landschaft keine Gehölze zu finden. Das Gebiet ist ökologisch äußerst labil (Information: Planungsbüro Röth). Die ufernahen Vegetationszonen innerhalb des Bebauungsgebiets, die die Wirksamkeit der Flüsse als Frischluftschneisen vergrößern, sind z.T. bereits zerstört und stark gefährdet. Durch die Kanalbauarbeiten im Stadtwesten und den Bau der Regentalautobahn verschwanden Weiden, Pappeln, Schilfzonen und Standorte von Teichrosen. Die noch erhaltenen Silberweiden und Pappelsäume in der Innenstadt und am östlichen Donauabschnitt bei Schwabelweis sind durch die Maßnahmen des Hochwasserschutzes bedroht. Für Amphibien und Wasservögel (Lachmöve, Höckerschwan, Bleßhuhn, Stockente, Zwergtaucher, Eisvogel) geeignete Standorte gehen durch die Uferverbauung ebenfalls stark zurück.

Die Parkanlagen der Innenstadt, vor allem aber der Fürstenpark, der mit alten Bäumen dicht bestanden ist, mäßigen die klimatischen Veränderungen, die durch die städtische Bebauung hervorgerufen werden. Da der Fürstenpark nicht öffentlich zugänglich ist, stellt er eine wichtige innerstädtische Schutzzone für Vogelarten wie die Kulturfolger Amsel, Buchfink, Grünfink, Kohlmeise, aber auch für gefährdete und seltene Arten wie den Gartenrotschwanz, Neuntöter, Pirol oder Spechtarten dar (vgl. VIDAL 1976).

3.2 Sozioökonomische Strukturdaten und landesplanerische Zielsetzung

3.2.1 Die Flächennutzung im Stadtgebiet

Einen Überblick über die Flächennutzung im Stadtgebiet gibt Tab. 1. Daraus geht hervor, daß etwa 37 % der Gesamtfläche, die 80,964 km^2 umfaßt, von Gebäude- oder Verkehrsflächen überbaut sind. Wohngebiete nehmen nur einen Anteil von 12,4 % ein und liegen zum großen Teil südlich der Donau. Industrie- und Gewerbeflächen befinden sich überwiegend im Osten und Nordosten der Stadt. Dort ist auch die Ansiedlung von weiteren Betrieben geplant. Aber auch im Stadtwesten, auf dem ehemaligen Werksgelände der Firma Messerschmitt, entstanden nach dem II. Weltkrieg Industriebetriebe (Karte 5).

Die Altstadt wird gemischt genutzt. Es wohnen dort etwa 10 % der Regensburger Bevölkerung. Außerdem befinden sich in der Altstadt ein Großteil der Ämter, Behörden, privaten Dienstleistungsbetriebe, Warenhäuser, Spezialgeschäfte sowie zahlreiche produzierende Gewerbebetriebe (STADT REGENSBURG 1977, IV - 5).

Annähernd 50 % des Stadtgebietes werden land- oder forstwirtschaftlich genutzt. Größere Grünflächen innerhalb der Bebauungszone befinden sich dort, wo früher die mittelalterliche Stadtmauer (von 1300) verlief, die Ende des vorigen Jahrhunderts abgetragen wurde. Auch an den Flußufern von Donau und Regen sind noch Grünstreifen mit Gehölzen erhalten. In einigen Stadtteilen sind kleinere Parkanlagen angelegt (Karte 5).

Nach den Plänen des Stadtentwicklungsamtes sollen nur noch kleinere Areale für die Errichtung von Wohngebieten ausgewiesen werden; größere Flächen sind zur Ansiedlung von Industriebetrieben vorgesehen (Karte 5).

3.2.2 Siedlungs- und Bevölkerungsentwicklung

Die Besiedlung des Regensburger Raumes reicht bis in prähistorische Zeit zurück. Die Stadtgründungsurkunde aus dem Jahr 179 n. Chr. verweist lediglich auf den Bau des römischen Castells.

In der Blütezeit Regensburgs als Kaiserstadt und Handelsknotenpunkt im frühen Mittelalter dürfte die Einwohnerzahl nicht mehr als 20.000 betragen haben (KELLENBENZ 1962, 107 ff.). Mit dem wirtschaftlichen Niedergang der Stadt, der durch Veränderungen der politischen Verhältnisse und durch die Konkurrenz anderer Handelsstädte bewirkt wurde, sank die Bevölkerungszahl nach 1300 ab. Um 1800 zählte Regensburg wieder etwa 20.000 Einwohner.

Tab. 1: Die Flächennutzung in Regensburg (Stand 1979)

	Flächenart	ha	%
Wohn-, Gewerbe-, Industrieflächen	Wohngebiet	1 006,8	12,4
	Mischgebiet	213,6	2,6
	Gewerbegebiet	259,2	3,2
	Industriegebiet	253,3	3,1
	Sonderbaufläche	188,4	2,3
	Baustelle, Baulücke	176,2	2,2
	Gemeindebedarfsfläche	191,9	2,4
	Gesamt	2 289,4	28,2
Verkehrsflächen	Bundesautobahnen	96,3	1,2
	Bundesstraßen	61,2	0,8
	sonstige Straßen	418,3	5,2
	Parkplatzanlagen	10,9	0,1
	Fußgängerzonen	0,4	0,0
	Bahnanlagen	157,0	1,9
	Gesamt	744,1	9,2
Wasserflächen	Flüsse	215,6	2,7
	Kanäle	0,5	0,0
	Seen, Teiche	8,8	0,1
	Hafenbecken	40,1	0,5
	Gesamt	265,0	3,3
Land- u. forstw. Flächen	Acker	3 173,7	39,2
	Grünland	417,3	5,2
	Sonderkulturen	37,5	0,5
	Wald	339,5	4,2
	Schonungen	33,6	0,4
	Gesamt	4 001,6	49,5
Grün- u. Freizeitflächen	Grünanlagen, Parks	118,6	1,5
	Sport- u. Spielanlagen	96,1	1,2
	Kleingartenanlagen	72,0	0,9
	Campingplätze	1,9	0,0
	Friedhöfe	31,7	0,4
	Gesamt	320,3	4,0
sonst. Flächen	Aufschüttungen	31,0	0,4
	Abgrabungen	112,4	1,4
	Moor, Heide und Ödland	275,3	3,4
	Ver- und Entsorgungsfl.	57,1	0,7
	Gesamt	475,8	5,9
	Gesamtes Stadtgebiet	8 096,4	100,0

Quelle: STADTENTWICKLUNGSAMT REGENSBURG

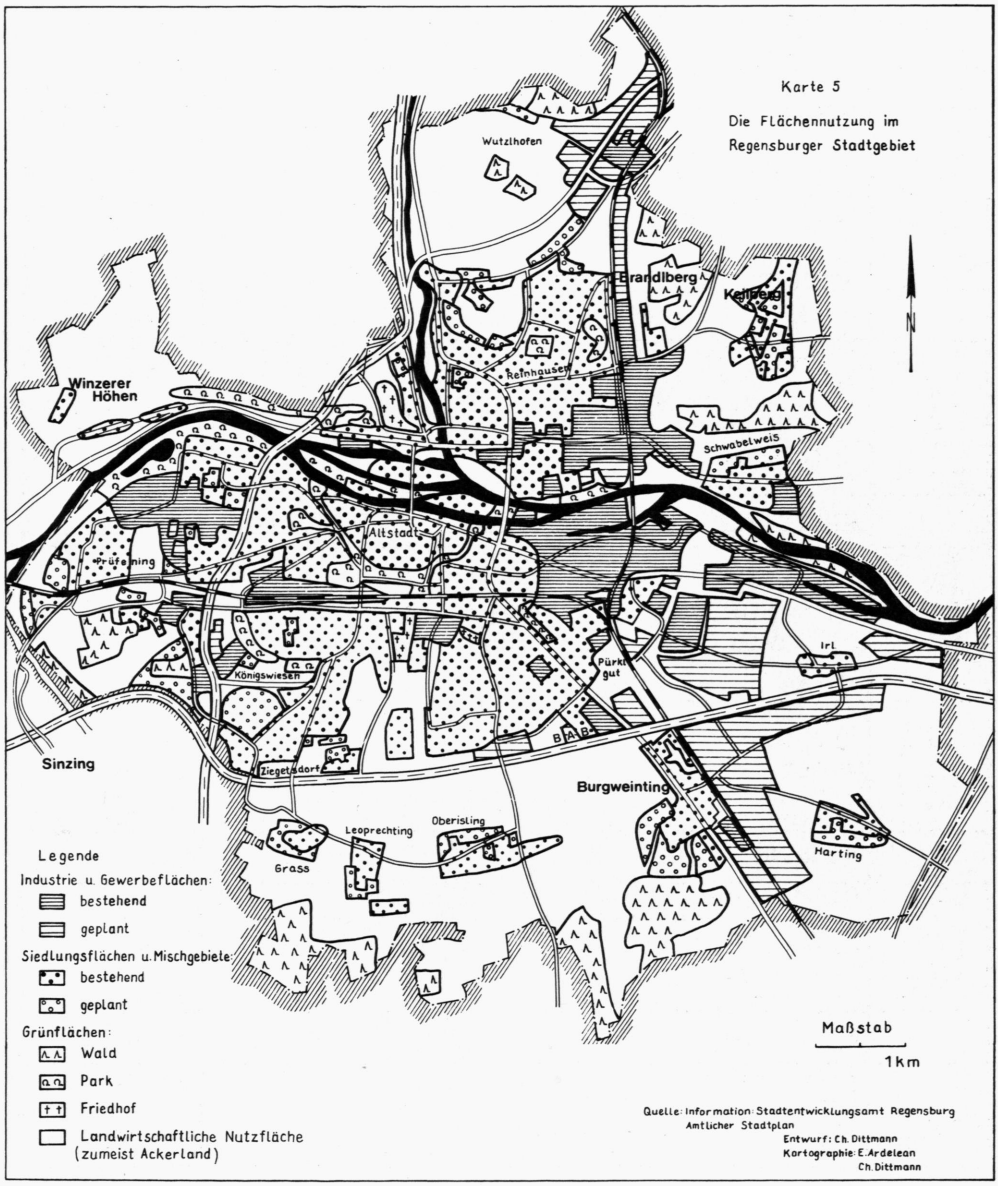
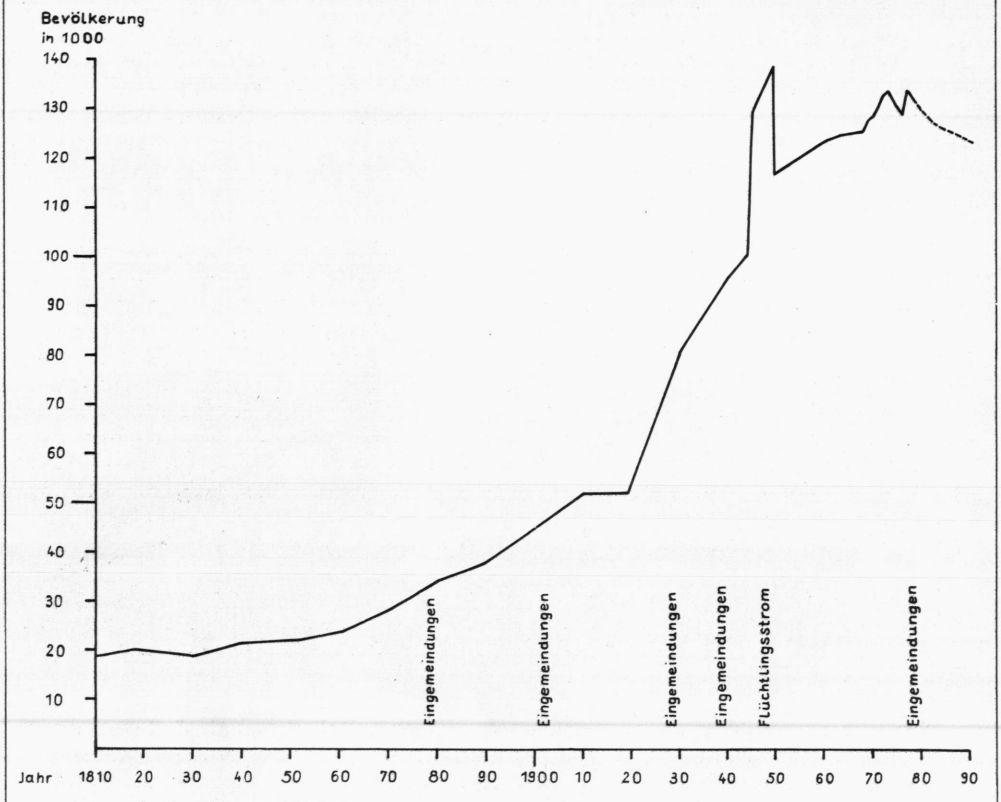

Karte 5
Die Flächennutzung im
Regensburger Stadtgebiet
Wutzlhofen
Brandlberg
Keilberg
Reinhausen
Winzerer Höhen
Schwabelweis
Altstadt
Prüfening
Königswiesen
Pürkelgut
Irl
Sinzing
Ziegetsdorf
Burgweinting
Leoprechting
Oberisling
Grass
Harting
N
Maßstab
1 km
Legende
Industrie u. Gewerbeflächen:
bestehend
geplant
Siedlungsflächen u. Mischgebiete:
bestehend
geplant
Grünflächen:
Wald
Park
Friedhof
Landwirtschaftliche Nutzfläche
(zumeist Ackerland)
Quelle: Information Stadtentwicklungsamt Regensburg
Amtlicher Stadtplan
Entwurf: Ch. Dittmann
Kartographie: E. Ardelean
Ch. Dittmann

Abb. 1 Die Bevölkerungsentwicklung in Regensburg seit 1810



Quellen: Kreuzer 1972, 16f
Bayer. Statistisches Landesamt: Statistisches Jahrbuch 1975, 12;
Ders. Regionale Bevölkerungsvorausschätzung 1977, 45
(Anm. Die Werte wurden wegen der Eingemeindungen abgewandelt)

Entw.u.Zeichn.Ch.Dittmann

Nach 1830 stiegen die Einwohnerzahlen in Regensburg nur langsam an, obwohl mit dem Ausbau der Stadt als ostbayerischer Eisenbahnknotenpunkt (seit 1859) und mit der Gründung des Deutschen Reiches (1871) die Stadt eine wirtschaftliche Wiederbelebung erfuhr (Abb. 1).

Die Weltkriege veränderten die Bevölkerungsentwicklung entscheidend: Während im I. Weltkrieg die Einwohnerzahl stagnierte, verursachte im Jahre 1949 der Zustrom der Flüchtlinge die höchste Einwohnerzahl der Stadtgeschichte (138.542 Personen).

Bis in die Mitte der sechziger Jahre wächst die Stadt durch Geburten-, vor allem aber durch Wanderungsüberschüsse. Das Geburtendefizit, das sich schon 1969 einstellt, wird zunächst noch durch Wanderungsgewinne überdeckt. Durch Eingemeindungen (1977/1978), die wegen der fehlenden Ausdehnungsmöglichkeit innerhalb der Stadtgrenzen notwendig waren, stieg die Bevölkerung nochmals um 5.250 Neubürger. Der Trend des Bevölkerungs-

rückgangs hält aber seit 1973 an. Die vorwiegenden Ursachen hierfür sind:

Der Geburtenrückgang ist sehr stark. Regensburg erreichte im Jahr 1978 mit 7,4 die niedrigste Geburtenziffer aller bayerischen Großstädte. Dies läßt sich nicht allein durch einen relativ hohen Anteil junger, lediger Frauen (Studentinnen, Dienstleistungsberufe) und durch den Rückgang der Eheschließungen erklären, da diese Symptome auch auf die übrigen Großstädte zutreffen.

Der Geburtenrückgang steht mit den Wanderungsverlusten in Zusammenhang. Die Abwanderungsquoten sind besonders bei jungen Menschen sehr hoch, die einerseits den Regensburger Raum verlassen, da zu wenig hochqualifizierte Arbeitsplätze zur Verfügung stehen (v.a. Universitätsabsolventen). Andererseits bevorzugen die meisten jungen Paare das Eigenheim als Wohnform und wandern in den Landkreis ab, wo niedrigere Baulandpreise verlangt werden. Deshalb sind die Wanderungsgewinne in den Regensburger Randgemeinden sehr hoch (1961 - 74; Bevölkerungszunahme 61,8 %), während die Stadt nur eine Zunahme von 4,8 % verzeichnen konnte. Der Geburtenrückgang ist in den Randgemeinden wesentlich geringer.

Da Regensburg nur einen sehr geringen Ausländeranteil aufweist (1979: 4 %), wird das Geburtendefizit der deutschen Bevölkerung nicht wie in anderen Städten durch die Anzahl der Ausländergeburten gemindert.

Die Geburten- und Wanderungsraten sind in den Stadtteilen sehr unterschiedlich. Sie sind hauptsächlich von der Bausubstanz, in zweiter Linie erst von der Wohnqualität der Umgebung abhängig. So verloren die Altstadt und Stadtamhof, in denen schlecht ausgestattete Altbauwohnungen überwiegen, in den vergangenen zehn Jahren mehr als 1/4 ihrer Wohnbevölkerung. Der Anteil niedriger Einkommensschichten (alte Menschen, Ausländer, Studenten) ist hier sehr hoch. Die sanierten Wohnungen sind dagegen bei jüngeren Paaren gehobener Einkommensschichten äußerst begehrt. In Prüfening, Königswiesen oder im Westenviertel ist dagegen ein größerer Bevölkerungszuwachs zu verzeichnen, da hier weiträumige Neubausiedlungen entstanden.

Die Fläche des Regensburger Stadtgebiets wurde durch die Eingemeindungen (1977/1978) von 52,127 km^2 auf 80,964 km^2 vergrößert. Dadurch sank die Besiedlungsdichte von 2.525 Ew/km^2 (1975) auf 1.633 Ew/km^2 (1979). Da die unbebauten Flächen aber mehr als 50 % des Stadtgebietes einnehmen, beträgt die Bevölkerungsdichte in den Wohn- und Mischgebieten 10.242 Ew/km^2 (1979).

Obwohl die Bevölkerungsziffer rückläufig ist, steigt die Nachfrage nach Baugrund, da die Ansprüche an den Wohnraum ständig steigen und das Eigenheim die bevorzugte Wohnform ist. Von den 14.478 Wohngebäuden der Stadt sind fast 61 % Ein- oder Zweifa-

Univ.-Bibliothek Regensburg

milienhäuser, die aber nur 21 % der Wohneinheiten enthalten (I. Quartal 1979). Obwohl rechnerisch keine Wohnraumnot herrscht, fehlen preisgünstige, größere Wohneinheiten. Die Neubaugebiete, die zur Ausweisung vorgesehen sind, liegen vor allem südlich der Donau (vgl. Karte 5), damit während des Berufsverkehrs die Brücken der Stadt nicht zusätzlich belastet werden (STADT REGENSBURG 1977, I/II/XII; Ders.: Amt für Statistik 1977 - 79; BAYER. STAATSREGIERUNG 1978, 26 ff.; HERMES 1979).

3.2.3 Die wirtschaftliche Struktur der Stadt und des Umlands

Die Bedeutung der Wirtschaftsbereiche in Regensburg verteilt sich wie folgt:

Tab. 2: Die Anzahl der Beschäftigten in den Wirtschaftsbereichen (1976)

Wirtschaftsbereich		Beschäftigte Anzahl	%	Anteil am BIP in %
I.	Land- u. Forstwirtschaft	437	0,6	0,1
II.	Produzierendes Gewerbe	28.255	42,0	40,6
III.	Dienstleistungen	38.602	57,4	59,3
	Gesamt	67.294	100,0	100,0

Quelle: BAYER. STATIST. LANDESAMT 1977 a, 47 f

Dienstleistungen

Der tertiäre Bereich ist der bedeutendste Wirtschaftssektor in Regensburg. Als einziges Oberzentrum des ostbayerischen Raumes (Ausbildungs-, Verwaltungszentrum) hat die Stadt einen großen Einzugsbereich zu versorgen, der über die Verwaltungsbezirksgrenzen und die Grenze der Planungsregion 11 hinausgeht.

Der Zuwachs an Arbeitsstellen seit 1974 betrifft ausschließlich den Tertiären Sektor, während die Beschäftigtenzahl in den anderen Wirtschaftsbereichen rückläufig ist.

Den größten Anteil am Dienstleistungsgewerbe umfaßt der Handel. Danach folgen Gebietskörperschaften sowie Verkehrs- und Nachrichtenwesen. Die größte Steigerungsrate der letzten Jahre verzeichneten Kredit- und Versicherungsinstitute (STADT REGENSBURG 1977, IV) (vgl. Anhang Tab. 45).

Industrie- und Gewerbebetriebe

Die Industrie- und Gewerbebetriebe in Regensburg lassen sich in rohstofforientierte Branchen (Abbau von Steinen und Erden, Holzverarbeitung, Nahrungs- und Genußmittelherstellung) und arbeitsmarktorientierte Branchen (Betriebe der Elektrotechnik, Textil- und Bekleidung, Metallverarbeitung) unterteilen. Gewerbe- und Industriebetriebe nehmen derzeit nur eine Fläche von 512 ha (= 3,3 %) ein. Sie befinden sich hauptsächlich im Südosten, Norden und Westen der Stadt (Karte 5).

Bodenschätze wurden in früheren Zeiten an vielen Stellen gefördert: Kaolin in der Tegernheimer Schlucht, Roteisenerze und Farberde auf dem Keilberg (Fe-Gehalt 4,9 - 42,7 %), Braunkohle bei Dechbetten, Kneiting, Kumpfmühl und Wutzlhofen. Wirtschaftlich bedeutend ist derzeit nur der Abbau von Malmmassenkalken am Keilberg, die einen Reinheitsgrad von 86 - 99 % $CaCO_3$ aufweisen. In zwei Betrieben werden Mauer-, Dünge-, Putzkalk und Zement hergestellt. Ein Kalk- und Zementwerk plant die Erweiterung des Abbaus nach Norden unter Einbeziehung des Grünthaler Tals und Bereichen des Brandlbergs. Im Südosten der Stadt fördert eine Ziegelei im Tagebau pleistozäne Lößlehme und tertiäre Tone (BAUBERGER u.a. 1969, 293 ff.).

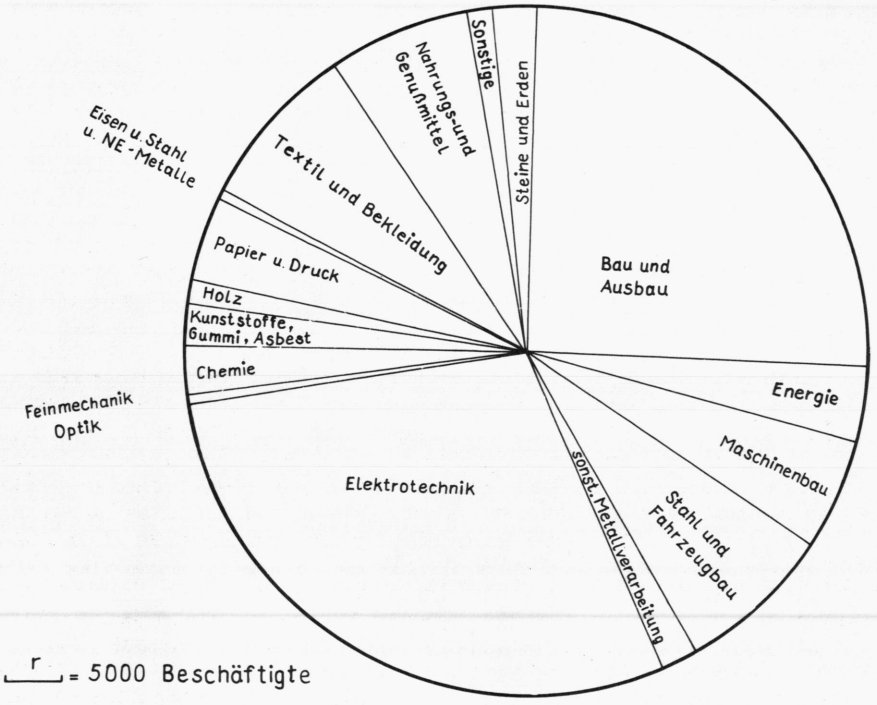
Die vorwiegend rohstofforientierten Betriebe der Nahrungs- und Genußmittelherstellung befinden sich schwerpunktmäßig im Stadtzentrum und im Osten. Der größte Betrieb dieser Art ist die Zuckerfabrik, deren Standort auf die Gründung aus dem Jahr 1898 zurückgeht. Durch das Wachstum der Stadt wurde die Fabrik von Wohnsiedlungen umschlossen, was lufthygienische Probleme hervorruft.

Neu angesiedelte, arbeitsmarktorientierte Branchen der Textil- und elektronischen Industrie konzentrieren sich vor allem im Stadtwesten und Südosten. Die Branchen Elektrotechnik und Baugewerbe weisen innerhalb des Sekundären Sektors das größte Arbeitsplatzangebot auf (Abb. 2).

Die Branchenstruktur Regensburgs ist gegenüber konjunkturellen Schwankungen sehr anfällig. Ein beträchtlicher Teil der Industriebetriebe sind Zweigwerke, bei denen das Management nicht hier ansässig ist. In vielen Fabriken der elektrotechnischen Industrie und Textilindustrie sind vor allem weibliche Arbeitskräfte beschäftigt, die weitgehend in niedrigen Lohngruppen arbeiten (KLASEN 1977, 17 ff.). Von 1970 - 74 büßte die Industrie 2.250 Arbeitsplätze ein (BAYER. STAATSMINISTERIUM F. ARBEIT U. SOZIALORDNUNG 1977, 113). Hohe Arbeitslosenquoten (1978: 8 % / 1979: 5,9 %), die mit Abstand die höchsten Werte der bayerischen

Abb. 2

Die Verteilung der Beschäftigten im II. Sektor in Regensburg



Quelle: Bayer. Staatsministerium f. Wirtschaft u. Verkehr (1977) Bayern-Wirtschaftsraum mit Zukunft - Standortatlas S 13

Großstädte erreichen, verdeutlichen die wirtschaftliche Strukturschwäche der Stadt (STADT REGENSBURG, Amt f. Statistik 1979 I). Den stabilisierenden Faktor im Beschäftigungsgefüge bildet somit nicht die Industrie, sondern das Handwerk, in dem 14 % der Berufstätigen arbeiten (BAYER. STATIST. LANDESAMT 1978). Aus wirtschaftlichen Gründen ist daher die Ansiedlung alternativer Industrie- und Gewerbezweige anzustreben. Dabei muß aber die lufthygienische Situation in der Regensburger Bucht im Winter bei stabilen Wetterlagen berücksichtigt werden (vgl. 5.4.2.7).

Die Schwerpunkte der Gebietsausweisung für Gewerbeflächen liegen vor allem im Südosten, bei Burgweinting und Harting sowie im Norden bei Wutzlhofen (Karte 5). Es treten somit Nutzungskonkurrenzen zwischen Industriezonen und landwirtschaftlichen Nutzflächen auf, denn die Industrieansiedlung ist vorwiegend auf Lößböden geplant, die mit Bodenwertzahlen bis 85 zu den ertragreichsten Böden Bayerns zählen. Es ist vorgesehen, daß im Stadtnorden (Industriegebiet Haslbach) wie bisher nur emissionsarme Betriebe angesiedelt werden. Über die Gestaltung des Industriegebietes im Südosten liegen noch keine konkreten Pläne vor (Information: Stadtentwicklungsamt Regensburg und Planungsbüro Röth).

Land- und Forstwirtschaft

Durch die Eingemeindungen wurde der Anteil der land- und forstwirtschaftlichen Nutzfläche im Stadtgebiet auf etwa 50 % erhöht (Tab. 1). Durch den ständigen Bedarf an Bau- und Verkehrsflächen ist er jedoch stetig rückläufig. Die landwirtschaftliche Nutzfläche (1979: 3.632 ha) verteilt sich auf 276 Betriebe, bei denen die ausschließliche Acker- und Grünlandnutzung dominiert; nur wenige Höfe weisen Viehbestand auf (BAYER. STATIST. LANDESAMT 1976, 68/77/80/86). Es überwiegen Kleinbetriebe (<5 ha), die weitgehend im Neben- oder Zuerwerb bewirtschaftet werden. Nur auf den äußerst fruchtbaren Lößböden im Südosten des Stadtgebietes dominieren Vollerwerbsbetriebe. Überdurchschnittliche Ertragsbedingungen (Bodengütezahlen 60 - 80) weisen die humushaltigen, feinsandigen Lößböden auf, die sich im Südosten, im Stadtnorden bei Wutzlhofen, im Nordwesten auf der Hochfläche von Kager und in Teilbereichen des Donautals befinden. Hier werden überwiegend Weizen, Gerste und Zuckerrüben angebaut. Sonderkulturen auf Donauschwemmland sind die Gartenbauflächen (Gemüse) von Weichs und Winzer, die durch den Straßenbau in den letzten Jahren erheblich verkleinert wurden.

Durchschnittliche Erzeugungsbedingungen (Bodengüte 40 - 60) findet man auf den steileren, flachgründigen Jura-Kreidehängen im Norden und in feuchteren oder steileren Lagen im Süden. Auf diesen leichteren Böden dominiert der Kartoffel-, Roggen- und Gersteanbau.

Dauergrünland ist auf die grundwasserbeeinflußten Talbereiche und die flachgründigen, ertragsarmen Malmhänge am Brandlberg und Keilberg (Bodengüte 20 - 40) beschränkt. Der Erdbeeranbau auf dem Keilberg wird durch die rasche Erwärmung der trockenen Malmhänge begünstigt (WITTMANN 1975, 94 ff. / Kartenbeilagen; BAYER. STATIST. LANDESAMT 1979).

Die forstwirtschaftlich genutzte Fläche ist klein (Tab. 1). Es überwiegt privater Großgrundbesitz. Im Nordosten berührt das größte geschlossene Waldgelände des Vorderen Bayerischen Waldes das Stadtgebiet (vgl. BODECHTEL u.a. 1978 - Donauraum). Es besteht überwiegend aus Fichtenmonokulturen.

Obwohl Land- und Forstwirtschaft im Stadtgebiet eine sehr große Fläche einnehmen, ist ihr Anteil am Bruttoinlandsprodukt und an den Arbeitsplätzen von Regensburg mit je weniger als 1 % ökonomisch unbedeutend (STADT REGENSBURG 1977, IV; BAUBERGER u.a. 1969, 313; Information Planungsbüro Röth). Für die Lebensqualität im Stadtgebiet sind die Wald- und Grünlandzonen jedoch sehr wichtig, da sie der Naherholung dienen und klimaökologische und lufthygienische Ausgleichsflächen bilden.

Die Verteilung der Arbeitsplätze im Stadtgebiet

85 % der Arbeitsplätze sowie die Mehrzahl der Ausbildungsstätten liegen südlich der Donau. Im Stadtnorden leben aber etwa 30 % der Wohnbevölkerung, und der größte Teil des Pendlereinzugsgebiets liegt nördlich der Donau. Daher sind während des Berufsverkehrs die wenigen Donaubrücken völlig überlastet.

Daten über die Verteilung der Arbeitsplätze in den Stadtbezirken liegen nur bis etwa 1970 vor. Danach weist die Innenstadt die meisten Arbeitsplätze auf, die überwiegend vom Dienstleistungsgewerbe gestellt werden. Ihre Anzahl ist aber durch die Schließung von Einzelhandels-, aber auch Handwerksbetrieben rückläufig. An zweiter Stelle folgt das Westenviertel. In den hier angesiedelten Betrieben der elektrotechnischen, Textil-, Bekleidungs- sowie Metallindustrie finden etwa 5000 Beschäftigte einen Arbeitsplatz, von denen ca. 68 % aus dem Umland westlich und nördlich der Donau einpendeln (KLASEN 2977, 17 ff.). Bei der Verteilung der Arbeitsplätze im Stadtgebiet steht das Industriegebiet im Stadtosten erst an dritter Stelle (vgl. Anhang Tab. 48) (STADT REGENSBURG 1977, IV; Ders.: Organisationsamt 1972, Bd. 1, 80 f./Bd. II, 20 ff.).

3.2.4 Die zentralörtliche Bedeutung Regensburgs

Dem zentralörtlichen Gliederungsprinzip liegt die Vorstellung einer ausgeglichenen Raumorganisation in Bayern zugrunde, deren Gerüst ein flächendeckendes Netz zentraler Orte bildet (BAYER. STAATSREGIERUNG 30.4.1976, 26 ff.). Räumliche Unterschiede und Entwicklungstendenzen sind aber die Auswirkungen wirtschaftlicher und politischer Rahmenbedingungen. Die Ungleichheiten einer räumlichen Wachstumsdynamik, die über Angebot und Nachfrage gesteuert wird, können durch die zentralörtliche Gliederung gemildert, aber nicht ausgeglichen werden (WÖHL 1979, 216 ff; MÜLLER, G. 1977, 18). Die ungleiche Verteilung der acht Oberzentren in Bayern verdeutlicht die bevölkerungs- und wirtschaftsdynamischen Schwerpunkte. Es ist daher geplant, Regensburg als Ausgleichsraum für die überlasteten Verdichtungsgebiete München und Nürnberg auszubauen (BAYER. STAATSREGIERUNG (30.4.1976) 216; vgl. WEHLING 1975).

Der Verdichtungsraum Regensburg umfaßt 53 Gemeinden, von denen 44 dem Landkreis Regensburg und 9 dem Landkreis Kelheim angehören.

Die Verflechtung der Stadt mit dem Umland erhöhte sich in den letzten Jahren wesentlich, da die wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Bedürfnisse der Bevölkerung weitgehend von den zentralen Einrichtungen der Stadt befriedigt werden, während das Wohnbedürfnis zunehmend im Umland wahrgenommen wird. Aber nur eine knappe Mehrheit der Berufspendler (56 %) stammt aus dem Verdichtungsraum (= 70 % der nicht in der Landwirtschaft Berufstätigen), was die überregionale Bedeutung der Stadt verdeutlicht. Neben der Konzentration von Arbeitsplätzen besitzt die Stadt Zentralitätsfunktionen als Verwaltungs- und Ausbildungszentrum. Weitreichend ist auch die Versorgung mit Konsumgütern, vor allem für die nördlichen Gebiete. Als Ver- und Entsorgungszentrum (Gas- und Wasserversorgung, Müll- und Abwasserentsorgung) reicht das Einzugsgebiet der Stadt nur in die nähere Umgebung. Die meisten sozialen Einrichtungen sind auf Bedürfnisse im Stadtgebiet beschränkt (STADT REGENSBURG 1977 XII; Information: Planungsbüro Röth).

Von den Verkehrsverbindungen können nur die Schienenwege als gut bezeichnet werden. Die Stadt liegt im Schnittpunkt der Hauptstrecken

- München-Hof
- Wien-Passau-Nürnberg-Frankfurt.

Eine weitere Strecke führt über Ingolstadt nach Westen. Die Stillegung einer Nebenstrecke nach Falkenstein wird seit Jahren diskutiert.

Die Abwicklung des Güterverkehrs erfolgt auf zwei Rangierbahnhöfen. Täglich werden 89 Güterzüge aufgelöst oder neu gebildet. Dazu kommen noch 25 Güterzüge in Richtung Nürnberg und Passau, die Waggons abstellen und ankoppeln. Der Gütertransport erfolgt schwerpunktmäßig in die Richtungen Nürnberg und östlicher Donauraum (Information: DB - Güterabfertigung Regensburg).

Regensburg ist im Vergleich zu den übrigen Großstädten Bayerns am schlechtesten an das Straßenverkehrsnetz angeschlossen (BAYER. STAATSREGIERUNG 1975, Kartenteil-Karte 15). Zwar kreuzen hier die Bundesstraßen B 8, B 15, B 16, aber sie sind bisher weitgehend schlecht ausgebaut, streckenweise völlig überlastet und besonders unfallträchtig (B 8 nach O / B 16 nach SW). Die Fertigstellung der Autobahnen Regensburg-Weiden, Regensburg-Passau und München-Regensburg wird die Anbindung der Einzugs- und Verflechtungsgebiete wesentlich verbessern.

Der Lagevorteil der Stadt an der Donau, die als einziger Fluß Deutschlands in das Schwarze Meer fließt, kann wegen der politischen Verhältnisse nur unzureichend ausgeschöpft werden. Daher ist eine Belebung des Wirtschaftsraumes Regensburgs durch die Fertigstellung des Rhein-Main-Donau-Kanals, dessen Bau schwerwiegende ökologische Schäden im Stadtgebiet verursacht, nicht zu erwarten. Die Wirtschaftlichkeit des Kanalprojekts

ist in den Gutachten des Bundesrechnungshofes negativ beurteilt worden (SCHROEDER 1977).

4. DIE WECHSELBEZIEHUNGEN ZWISCHEN KLIMA UND STÄDTISCHER BEBAUUNG IN DER REGENSBURGER BUCHT

Nach der Bestandsaufnahme der Teilelemente erfolgt die Untersuchung der Wirkungen zwischen städtischer Bebauung und Klima. Die Auswertung der Daten, die vom Deutschen Wetterdienst ermittelt werden, liefert detaillierte Angaben über die lokalklimatische Situation, die auch bei der Interpretation der lufthygienischen Situation heranzuziehen sind. Für die Bestimmung der kleinklimatischen Verhältnisse und Beziehungen zwischen Klima und Stadt reichen diese Daten jedoch nicht aus. Es mußte auf differenziertere eigene Beobachtungen und Messungen zurückgegriffen werden.

4.1 Die Interpretation statistischer, klimatologischer Daten des Deutschen Wetterdienstes

Der Untersuchung des Klimas von Regensburg werden die amtlichen statistischen Daten des Deutschen Wetterdienstes zugrundegelegt, die für die Zeiträume 1951 - 60 / 1961 - 70 EDV-gerecht verarbeitet vorliegen (1).Topographie und Bebauung beeinflussen aber die Messungen. Daher mußte bei der Auswertung der Daten, vor allem bei der Betrachtung der Windgeschwindigkeit und Windrichtung, der Standort der Wetterstation berücksichtigt werden.

Die synoptische Station wurde seit Kriegsende in Regensburg dreimal verlegt:

1.1.1946 - 31. 3.1960	Ehemaliger Flugplatz Messerschmitt
1.4.1960 - 12. 6.1962	Hochweg 95, DJK-Platz
13.6.1962 - 17.10.1978	Königswiesen, Friedrich-Ebert-Straße
seit 18.10.1978	Riesengebirgsstraße 95.

Auf dem ehemaligen Flugplatz Messerschmitt war das Gelände eben und frei. Die zunehmende Bebauung beeinflußte Ende der 50-er Jahre die Meßwerte. In Königswiesen stand die Station auf einer Anhöhe im Windschatten des Königswiesenparks. Die Hochhausbebauung des Berges machte die Verlegung notwendig.

(1) Anm.: Die neue Normalperiode von 1951 - 80 wird zu Beginn der 80-er Jahre herausgegeben.

In der Riesengebirgsstraße liegt die Station nun an der Ostseite des Regentals. Der Standort ist nicht günstig, da. z.B. durch den Sallerner Berg die SO-Winde zu S-Winden umgelenkt werden und die Nebelhäufigkeit im Regental größer ist (vgl. Karte 12).

4.1.1 Sonnenschein und Bewölkung

Die astronomische Sonnenscheindauer, die Zeit, die die Sonne in Abhängigkeit von der Breitenlage und den Reliefverhältnissen maximal scheinen könnte, wird durch die Lufttrübung und Bewölkung verkürzt. In Regensburg beträgt die astronomische Sonnenscheindauer 4.475 Std./Jahr (berechnet für die Wetterstation Königswiesen) (1). Die wirkliche mittlere Sonnenscheindauer beträgt dagegen 1.689 Std./Jahr, das sind 38 % der astronomischen Sonnenscheindauer (2).

Im Beobachtungszeitraum 1951 - 70 waren die Jahre 1953 und 1959 mit mehr als 1.900 Stunden besonders sonnenscheinreich. 1970 wurden dagegen nur 1.468 Sonnenstunden verzeichnet. Im Jahresmittel scheint die Sonne im Juli am häufigsten (238 Std. = 49 %) und im Dezember am wenigsten (37 Std. = 14 %) (Abb. 3- vgl. Anhang Tab. 24, 25).

Die Bewölkungsmenge, die für die Interpretation von Strahlungs- und Beleuchtungsverhältnissen äußerst wichtig ist, muß geschätzt werden (CAPPEL u.a. 1976, 20 ff.).

In Regensburg sind heitere Tage (Bewölkungsmittel $< 2/10$) durchschnittlich nicht sehr häufig (38 Tage = 10 %). Im September treten sie, wegen der herbstlichen Hochdrucklagen, am häufigsten auf (zu 20 %), während im November, bedingt durch die häufigen zähen Nebellagen, heitere Tage sehr selten sind (4 %).

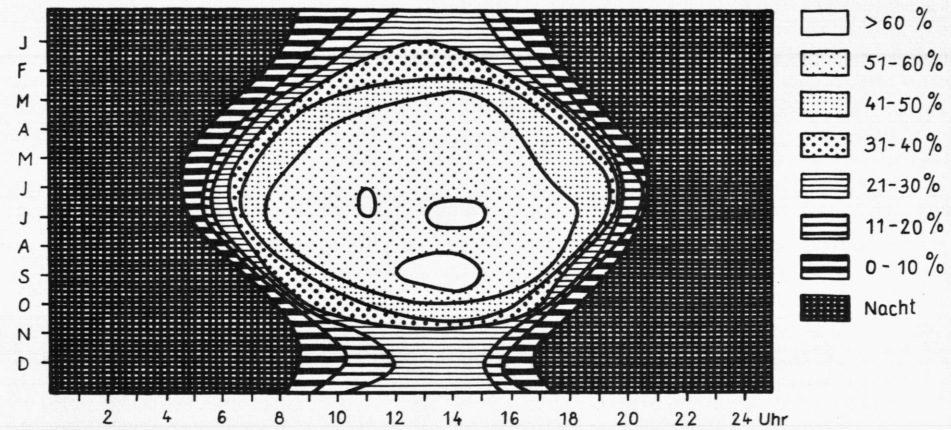
Trübe Tage (Tagesmittel der Bewölkung $> 8/10$) kommen wesentlich häufiger vor. Ihr Maximum liegt mit 20 - 21 Tagen im November und Dezember (67 %); dagegen werden von Mai bis September weniger als 10 trübe Tage/Monat verzeichnet. Die Bewölkung ist von September bis Februar in den Morgenstunden am stärksten und nimmt dann im Laufe des Tages ab. Von März bis August findet dagegen eine Bewölkungszunahme in den Mittagsstunden statt. Ganzjährig ist abends die Bewölkung am geringsten, wodurch die nächtliche Ausstrahlung und die Bodeninversionsbildung gefördert wird.

---

(1) Anm.: Von ROCZNIK (1967, 142) wird die astronomische Sonnenscheindauer mit 4.330 Stunden angegeben.

(2) Anm.: In älteren Meßperioden wurde eine höhere Sonnenscheindauer verzeichnet (ROCZNIK 1960, 136; Ders. 1967, 143).

Abb. 3 Die mittlere Verteilung der Sonnenscheinstunden im Tages- und Jahresgang in % (1951-70)



(Quelle: Statistik DWD K1-3712 46)

Entw. u. Zeich. Ch. Dittmann

Abb. 4 zeigt den Tagesgang der Bewölkungswindrosen im Mai und Oktober; in diesen Monaten sind die Beziehungen zwischen Windrichtung und Bewölkung besonders deutlich zu erkennen. Charakteristisch ist einmal, daß bei Winden aus westlichen Richtungen ein wesentlich stärkeres Wolkenaufkommen herrscht als bei östlichen Winden. Nur im Herbst weisen Winde aus Nordost bis Süd in den Morgenstunden eine hohe Bewölkungsintensität auf, was durch die häufigen Morgennebel bedingt ist. Bei Südwest- bis Nordwinden verstärkt sich die Bewölkung in den Mittagsstunden, bei Nordost- bis Südwinden geht sie dagegen deutlich zurück.

Sehr wichtig für die Beurteilung der stadtklimatischen und lufthygienischen Verhältnisse ist die Tatsache, daß in den Abendstunden ein deutlicher Wolkenrückgang stattfindet. Klare Strahlungsnächte mit stabilen Austauschverhältnissen sind daher recht häufig. Die relativ hohen Bewölkungswerte in den herbstlichen Abendstunden sind durch die Strahlungsnebel zu erklären, die sich um diese Zeit bereits wieder gebildet haben.

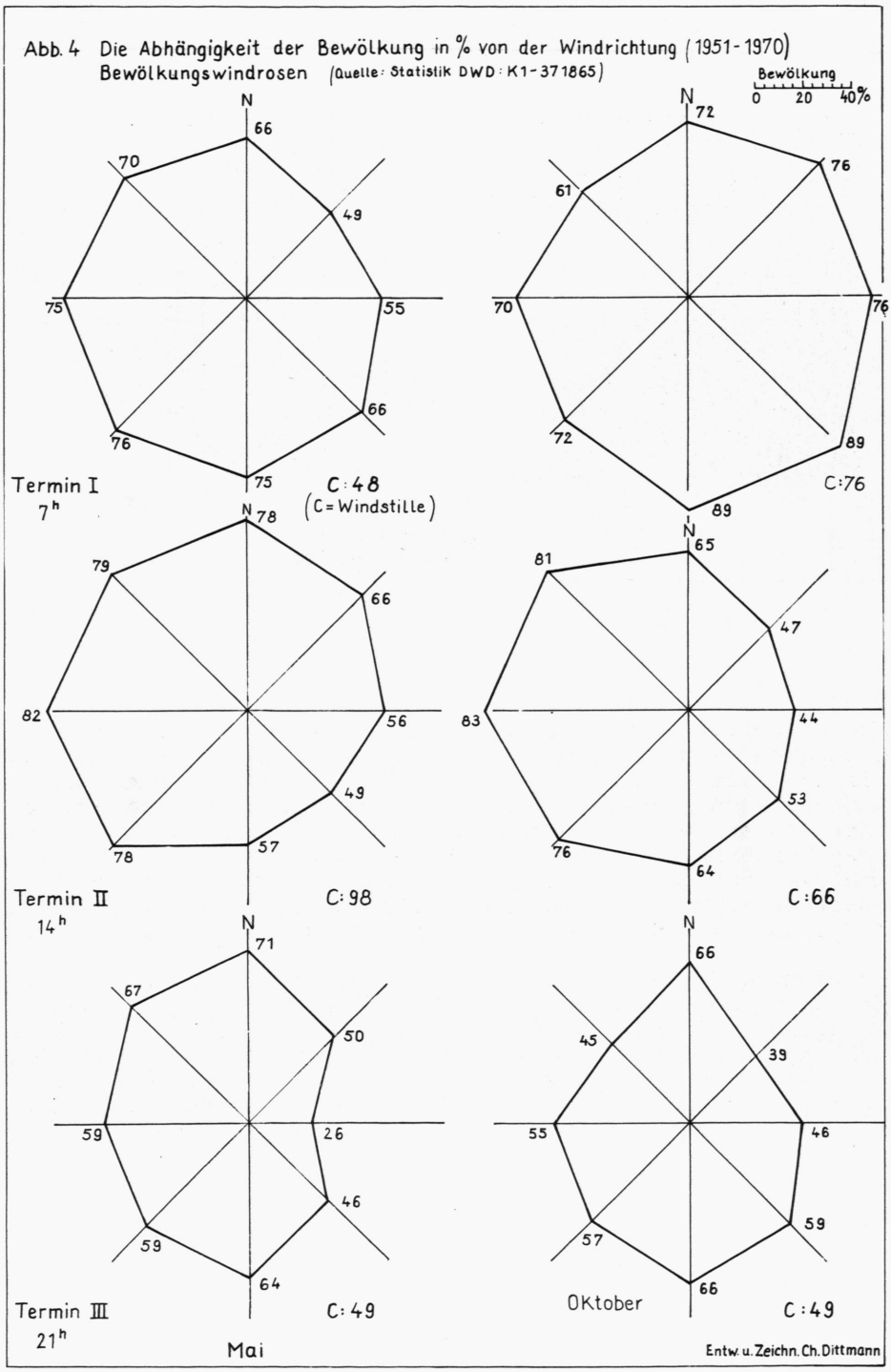


Abb. 4 Die Abhängigkeit der Bewölkung in % von der Windrichtung (1951-1970)
Bewölkungswindrosen (Quelle: Statistik DWD: K1-371865)
Bewölkung
0 20 40%
N
66
70
49
75
55
66
76
75
Termin I
7h
C: 48
(C = Windstille)
N
72
76
61
70
76
72
89
89
C: 76
N
78
79
66
82
56
49
78
57
Termin II
14h
C: 98
N
65
81
47
83
44
53
76
64
C: 66
N
71
67
50
59
26
46
59
64
Termin III
21h
C: 49
Mai
N
66
45
39
55
46
59
57
66
OKtober
C: 49
Entw. u. Zeichn. Ch. Dittmann

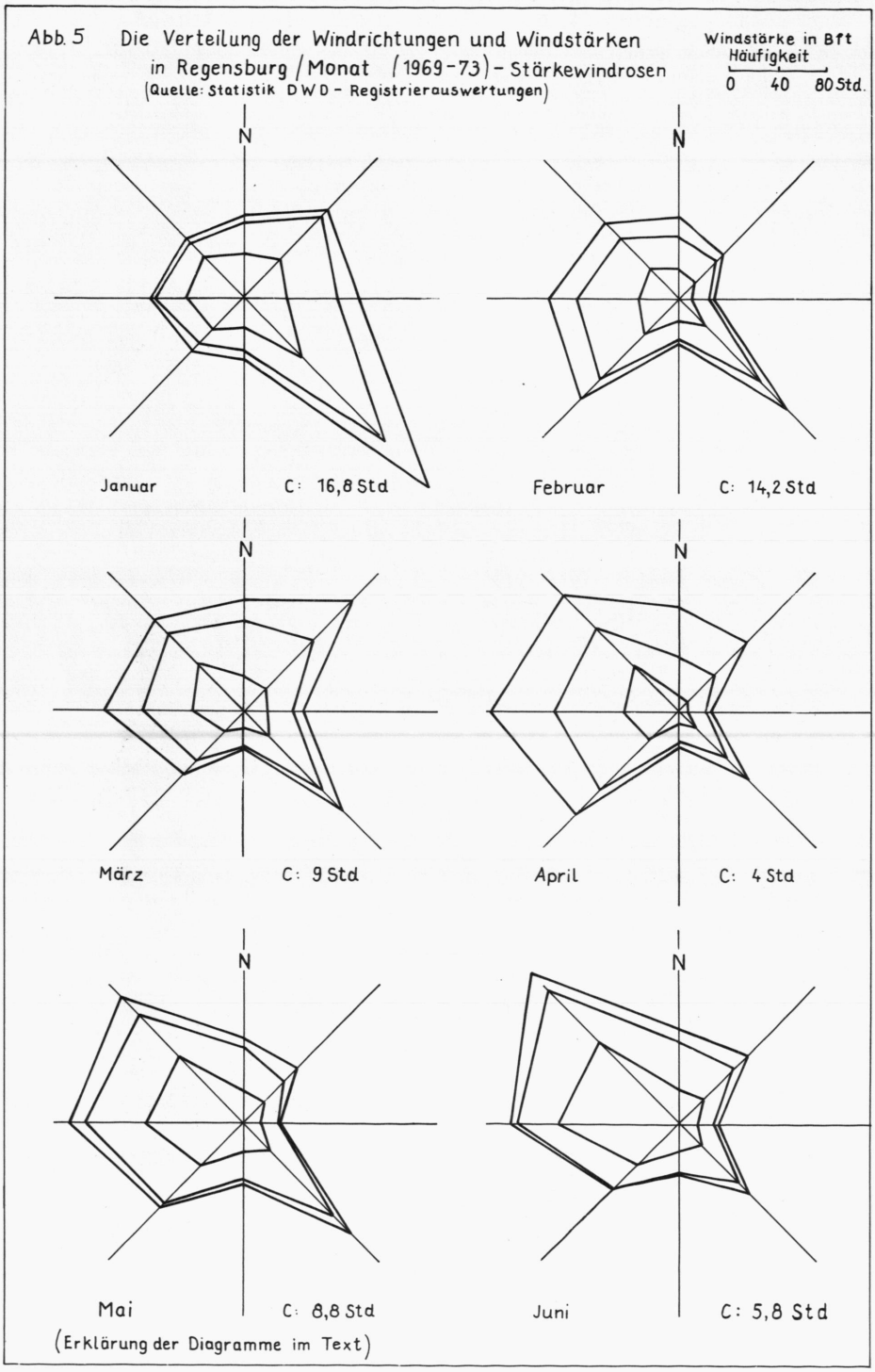


Abb. 5 Die Verteilung der Windrichtungen und Windstärken in Regensburg / Monat (1969-73) - Stärkewindrosen
(Quelle: Statistik DWD - Registrierauswertungen)
Windstärke in Bft
Häufigkeit
0 40 80 Std.
N
Januar C: 16,8 Std
Februar C: 14,2 Std
März C: 9 Std
April C: 4 Std
Mai C: 8,8 Std
Juni C: 5,8 Std
(Erklärung der Diagramme im Text)

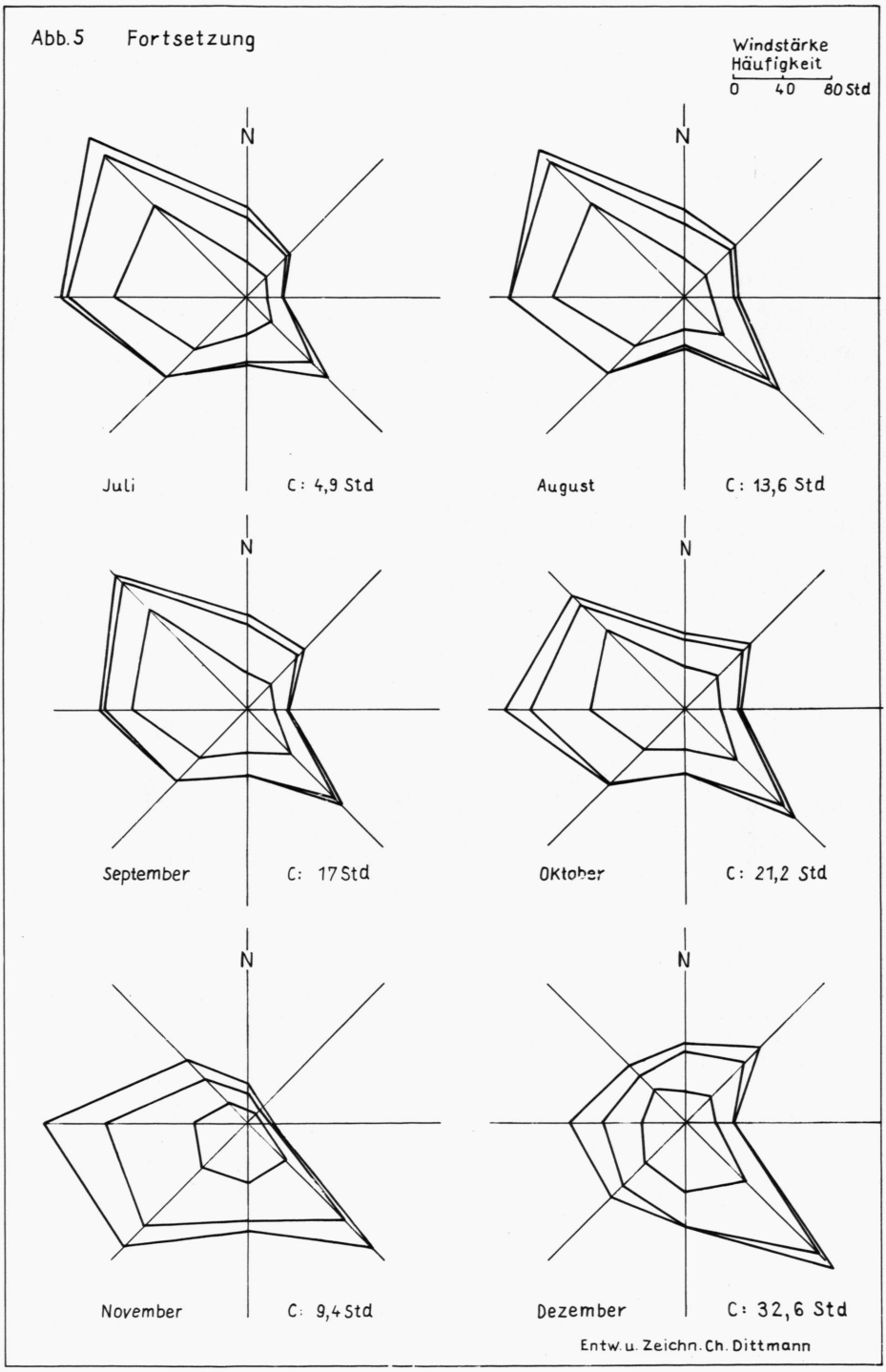


Abb. 5 Fortsetzung
Windstärke
Häufigkeit
0 40 80 Std
N
Juli
C: 4,9 Std
August
C: 13,6 Std
September
C: 17 Std
Oktober
C: 21,2 Std
November
C: 9,4 Std
Dezember
C: 32,6 Std
Entw. u. Zeichn. Ch. Dittmann

4.1.2 Die Windverhältnisse in der Regensburger Bucht

Die Kenntnis der Windverhältnisse eines Raumes ist für die Beurteilung der lufthygienischen Situation von grundlegender Bedeutung. Für die Windverhältnisse im Untersuchungsgebiet liegen aber sehr verschiedene Daten vor (1). Die Ursache hierfür sind einerseits die äußerst unterschiedlichen Strömungsverhältnisse in der Regensburger Bucht, die durch die Randhöhen und die städtische Bebauung hervorgerufen werden. Andererseits werden die Meßergebnisse durch kleinräumige Strömungsveränderungen beeinflußt. Deshalb ist der Standort der synoptischen Station für die Meßergebnisse bedeutsam (2).

So wurden anfangs auf dem Gelände des Flugplatzes Messerschmitt hohe Windstärken (>8 Bft) verzeichnet. Durch die dichter werdende Bebauung ging der Anteil hoher Windstärken drastisch zurück (vgl. Anhang Tab. 30). In Königswiesen lag die Station im Windschatten des Königswiesenparks. West- und Nordwestwinde, die in der Regel höhere Windgeschwindigkeiten aufweisen, wurden dadurch abgebremst. Bei der Interpretation der Stärkewindrosen (Abb. 5) muß dies berücksichtigt werden.

Der hohe Anteil der Windstillen (13 - 19 %), der in früheren Arbeiten angegeben wird, kann durch die höhere Anlaufzeit älterer Anemometer bedingt sein. Man definiert aber auch Luftbewegungen<0,5 m/sec als Windstillen. Nach den neuesten Messungen des Deutschen Wetterdienstes werden im Jahresmittel dagegen nur 1,8 % "echte" Windstillen registriert.

Nach den amtlichen Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes (1968 - 73) gibt es in Regensburg keine eindeutige Hauptwindrichtung. Zwar sind Westwinde mit 18,5 % im Jahresdurchschnitt am häufigsten; aber Nordwest- und Südostwinde treten mit 17,3 bzw. 17,2 % fast ebenso oft auf. Ostwinde kommen am seltensten vor (5,4 %) (vgl. Anhang Tab. 31).

---

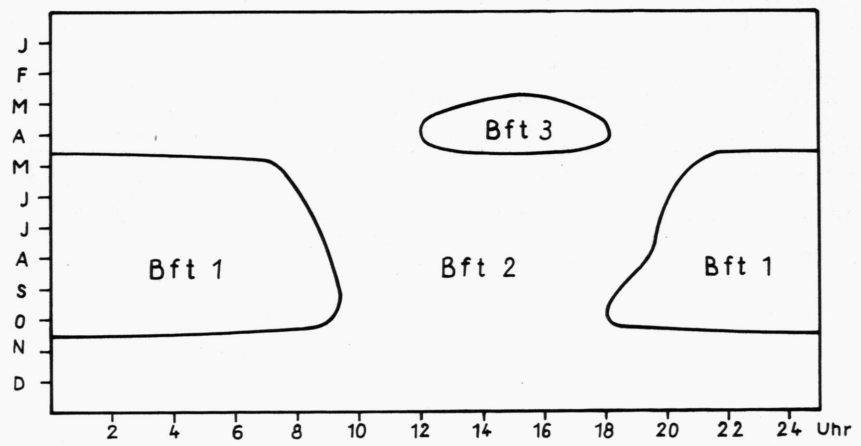
(1) Anm.: Die Häufigkeit der Windrichtungen wird angegeben mit:
W: 17 % SW: 17 % SE: 13 % NE: 7 % C: 19 %
(DEUTSCHER WETTERDIENST IN DER US-ZONE 1952, 5)
W: 22 % SW: 16 % SE: 11 % NE: 11 % C: 13 %
(ROCZNIK 1971, 212)
W: 15,8 % SW: 11 % NE: 7,7 % C: 18,5 %
(HERB 1964 c, 30; V. EIMERN in WITTMANN 1975, 17).

(2) Anm.: Die unterschiedlichen Meßergebnisse lassen sich nicht allein durch veränderliche Windverhältnisse erklären (vgl. ROCZNIK 1965, 149 Tab. 1).

In Abb. 5 sind die monatlichen Stärkewindrosen dargestellt. Der innerste der drei Bereiche jedes Diagramms zeigt die Häufigkeit der Windstärke 1 (nach Bft.) in Abhängigkeit von der Windrichtung auf. Nach außen daran anschließend ist das Auftreten von Windstärke 2 und 3 eingetragen. Diese Abbildung verdeutlicht, daß die Verteilung der Windrichtungen und die Windstärke in den einzelnen Monaten sehr unterschiedlich ist (vgl. Anhang Tab. 33/34). Westwinde sind im November (24,6 %) und April (22,9 %) besonders häufig, während sie im Januar nur einen Anteil von 9,9 % erreichen. Südostwinde treten vor allem in den Wintermonaten auf und weisen mehrfach größere Windstärken auf. Windstillen kommen am meisten im Dezember (4,4 %) und Oktober (2,8 %) vor und sind im April nur zu 0,5 % vertreten.

Aus Abb. 6 geht hervor, daß besonders von Mai bis Oktober die Nacht-, Morgen- und Abendstunden windschwach sind, was bedeutet, daß zu diesen Tageszeiten häufig schlechte Luftaustauschverhältnisse herrschen. Nur in den Mittags- und Nachmittagsstunden im März und April frischen stärkere Winde (im Mittel Bft. 3) auf (vgl. Anhang Tab. 34).

Abb. 6 Die Tages-und Jahreshäufigkeit der Windgeschwindigkeit (1951-1970)



(Quelle: Statistik DWD K1 - 371638)
Entw. u. Zeichn. Ch. Dittmann

Zur Beurteilung der lufthygienischen Situation sind auch die Dauer und Häufigkeit windschwacher Perioden äußerst bedeutsam (Anhang Tab. 37). Zeiträume von mehr als 24 Stunden Dauer, in denen die Windgeschwindigkeit weniger als 3 m/sec betrug, wurden in Regensburg zwischen 1969 - 74 423-mal verzeichnet. Von August bis Januar muß mehrfach mit windschwachen Perioden gerechnet werden, die länger als vier Tage anhalten (1969 - 74: 66 Fälle). Der längste Zeitraum mit anhaltend geringen Luftbewegungen trat vom 29.9. bis 19.10.1974 (487 Std.) auf. Wettersituationen mit schwachen Winden, die mehr als 200 Stunden andauern, wurden 8-mal verzeichnet: Im Dezember 1970 / Januar und September 1971 / Oktober 1972 / September 1973 / Februar und Juli 1974 (Statistik DWD K 1-371303). Windschwache Perioden treten in der Regensburger Bucht also häufig auf und halten besonders während der Heizperiode lange an (1). Schadstoffe werden bei diesem Wetter nur unzureichend verdünnt und abtransportiert.

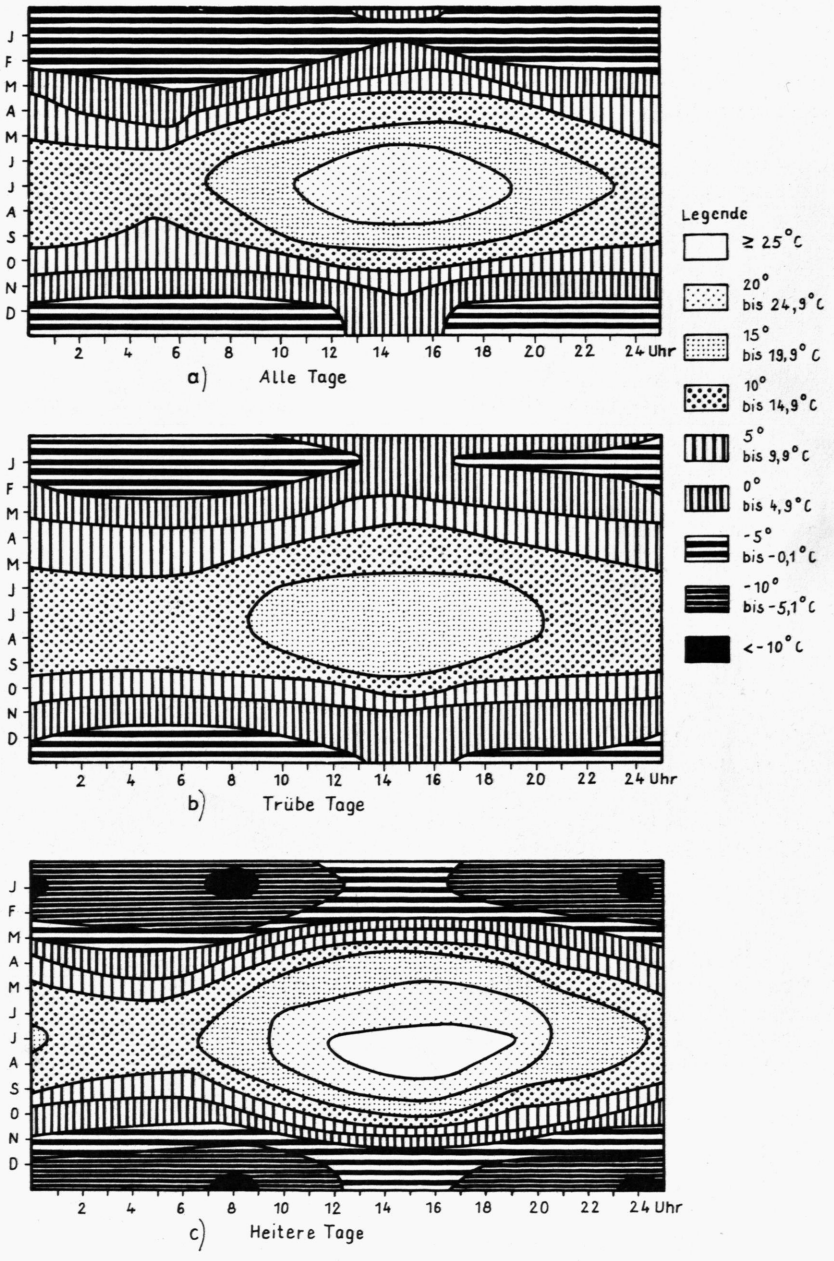
4.1.3 Die Lufttemperatur

Das Jahresmittel der Lufttemperatur in Regensburg beträgt 7,9° C. Es liegt damit etwa 1° C tiefer als die mitteleuropäische Normtemperatur. Die Ursache dafür sind hauptsächlich die kalten Winter, deren mittlere Temperatur von - 1,5° C etwa um 2° C geringer ist als die mitteleuropäische Durchschnittstemperatur (ROCZNIK 1971, 200 f.). Mit einer mittleren Jahrestemperaturschwankung von 20,2° C (Januar: - 2,5° C / Juli: 17,7° C) gehört die Regensburger Bucht zu den kontinentalsten Klimagebieten in Deutschland. Nur im Donautal bei Straubing und Deggendorf wird mit mehr als 21° C eine noch größere Amplitude erreicht (vgl. SCHIRMER 1969, Karte 15). Die Temperaturdifferenz der mittleren Extremwerte (1951 - 70) beträgt 47° C (mittlere Maxima Juli: 31,5° C / mittlere Minima Januar: - 15,3° C) (STATISTIK DWD - K 1 RUE Nr. 53 - Klimabeobachtungen). Der absolut größte Temperaturunterschied, der in Regensburg auftrat (1951 - 70), betrug 61° C (absolutes Minimum: - 25° C (2-mal registriert) / absolutes Maximum 36° C (1-mal registriert) (STATISTIK DWD - K 1 - 371625 - Klimabeobachtungen).

Frosttage werden durchschnittlich 112-mal im Jahr verzeichnet: Bodenfrost kommt noch an 20 weiteren Tagen vor. Heiztage (Temperaturmittel 12° C) können das ganze Jahr hindurch auftreten. Sommertage werden im Mittel 36-mal registriert (Anhang: Tab. 36).

(1) Anm.: Im Meßzeitraum 1969 - 74 lag die Regensburger Wetterstation in Königswiesen. Durch den Königswiesenpark wurden vor allem Winde aus westlichen Richtungen abgebremst. Die Reduzierung der Windgeschwindigkeit durch die Parkbäume kann bei der Betrachtung von windschwachen Perioden aber vernachlässigt werden, da dadurch keine mehrtägige Dauerwirkung hervorgerufen wird.

Abb.7 Die mittlere Temperatur in Regensburg in Abhängigkeit von der Bewölkung – Thermoisoplethen (1951-70)



(Quelle: Statistik DWD K1-371658/371658A) Entw. u. Zeichn. Ch. Dittmann

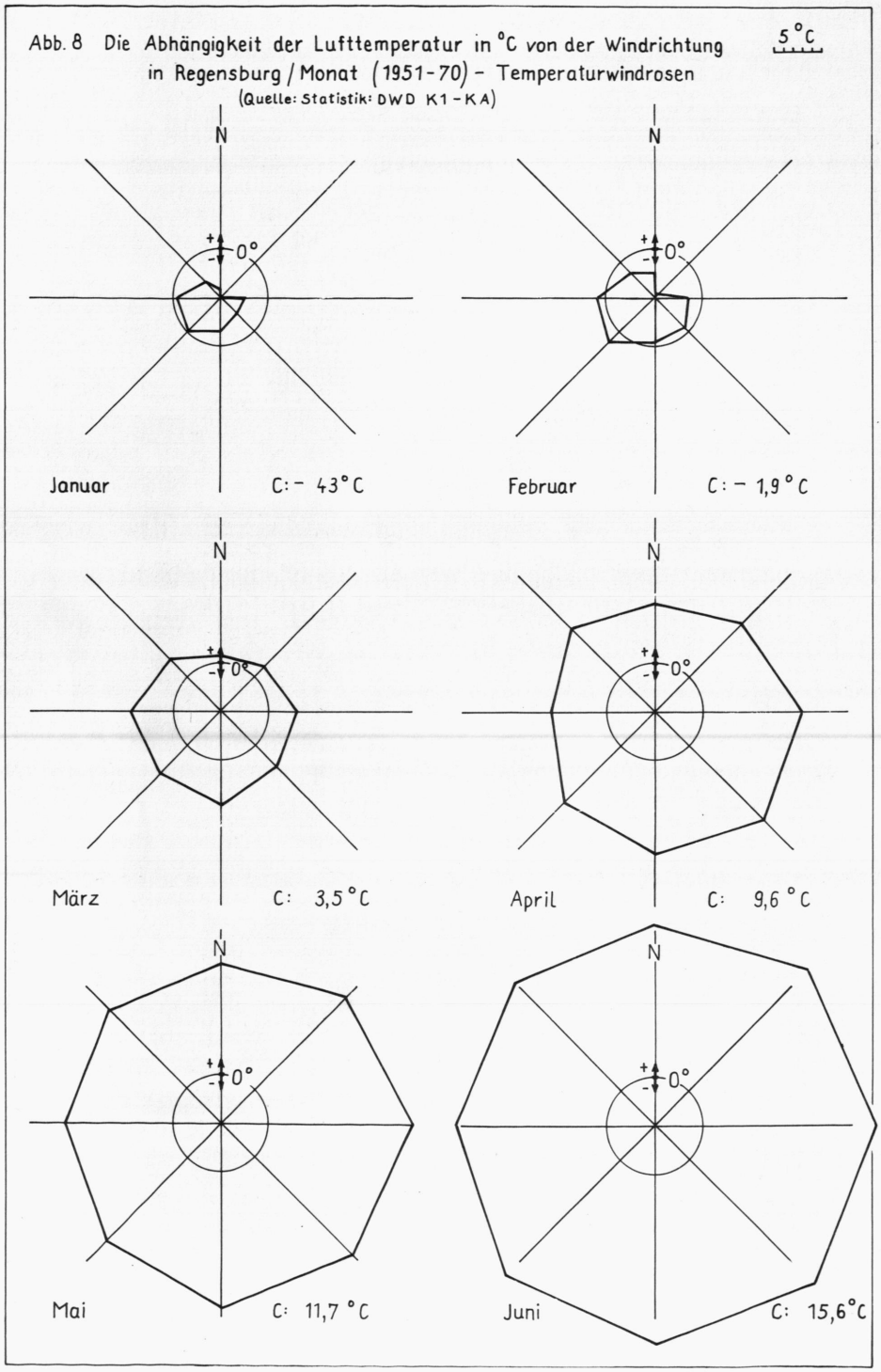


Abb. 8 Die Abhängigkeit der Lufttemperatur in °C von der Windrichtung in Regensburg / Monat (1951-70) - Temperaturwindrosen
(Quelle: Statistik: DWD K1-KA)
5 °C
N
0°
Januar
C: - 4,3 °C
Februar
C: - 1,9 °C
März
C: 3,5 °C
April
C: 9,6 °C
Mai
C: 11,7 °C
Juni
C: 15,6 °C

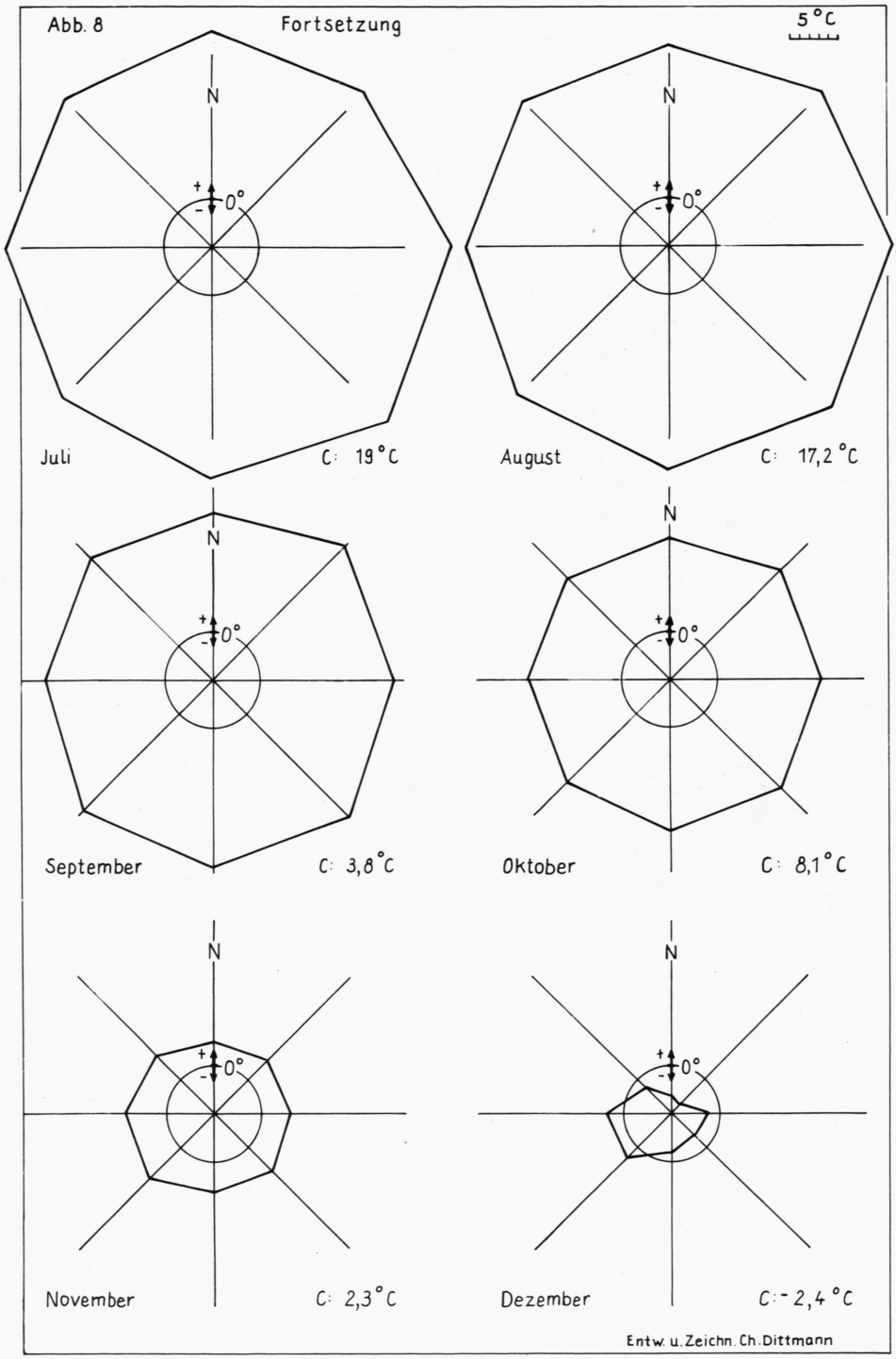


Abb. 8
Fortsetzung
5 °C
N
0°
Juli
C: 19 °C
August
C: 17,2 °C
September
C: 3,8 °C
Oktober
C: 8,1 °C
November
C: 2,3 °C
Dezember
C: - 2,4 °C
Entw. u. Zeichn. Ch. Dittmann

Die Ursache der kalten Winter und starken Temperaturschwankungen ist die Ausbildung von Kaltluftseen im Donautal, die sich in klaren Nächten ansammeln und durch die Reliefverhältnisse des Regensburger Raumes besonders begünstigt werden. Dadurch wird der kontinentale Klimacharakter des Gebietes verstärkt.

Abb. 7 verdeutlicht die Abhängigkeit der Lufttemperatur vom Sonnenstand und der Bewölkung. Man erkennt, daß die Tagesschwankung der Temperatur im Mittel aller Tage im Winter geringer ist (Dezember 2,3° C) als im Sommer (Juli 9,2° C). Im Jahresmittel beträgt sie 6,7° C (vgl. Anhang Tab. 40). An heiteren Tagen wird dagegen eine mittlere Jahresamplitude von 12,8° C, an trüben Tagen von nur 3,5° C erreicht, da Wolken tagsüber die Einstrahlung reduzieren und nachts die Abkühlung, die durch Ausstrahlung erfolgt, vermindern.

Der Einfluß der Bewölkung auf die Ausstrahlungsverhältnisse und Kaltluftbildung in der Regensburger Bucht wird besonders deutlich, wenn man die Temperaturverhältnisse kurz vor Sonnenaufgang vergleicht: Im Januar werden bei geringer Bewölkung zu diesem Zeitpunkt - 10,3° C ermittelt, bei bedecktem Himmel nur - 1,6° C (Temperaturdifferenz 8,7° C!) (vgl. Anhang Tab. 37.1 / 37.2; Abb. 7). An heiteren Tagen ist die Abkühlung nach Sonnenuntergang wesentlich stärker als in den Nachmittagsstunden. Dagegen sinkt die Temperatur in trüben Nächten kaum ab.

Abb. 8 zeigt deutliche Zusammenhänge zwischen Windrichtung und Temperatur auf. In den Diagrammen ist die mittlere Lufttemperatur in Abhängigkeit von der Windrichtung für jeden Monat eingetragen. Die Null-Grad-Grenze ist als Kreis verzeichnet; außerhalb davon werden positive Temperaturen, innerhalb die negativen Werte abgetragen.

Man erkennt, daß Westwinde in den Sommermonaten dem Regensburger Raum kühle, in den Wintermonaten milde maritime Luft bringen. Die Temperaturen, die bei Westwinden auftreten, weisen nur eine mittlere Jahresschwankung von 17,2° C auf. Nordostwinde verursachen im Winter strenge Kälte, im Sommer dagegen hohe Temperaturen. Sie bewirken die größte Jahrestemperaturschwankung von 27,7° C. Die höchsten Sommertemperaturen treten bei Ost- und Südostwinden auf; im Winter verursachen diese Luftströmungen tiefe Temperaturen (Anhang Tab. 39).

Für die Beurteilung der lufthygienischen Situation von Regensburg sind diese Temperaturwindrosen von großer Wichtigkeit. Bei der Auswertung der SO_2-Windrose ergaben sich deutliche Zusammenhänge zwischen Lufttemperatur, Schadstoffkonzentration und Windrichtung (vgl. 5.4.2.7).

4.1.4 Die Luftfeuchte

Der Wert der relativen Feuchte ist temperaturabhängig, da warme Luft mehr Feuchte aufnehmen kann als kältere. Deshalb ist im Mittel der Wert der relativen Feuchte in den Nacht- und Morgenstunden sowie in den Wintermonaten größer als zu wärmeren Tages- und Jahreszeiten (vgl. Anhang Tab. 40). Die Höchstwerte der relativen Feuchte korrelieren aber in Regensburg im Jahresgang nicht mit den tiefsten Temperaturen (Abb. 9).

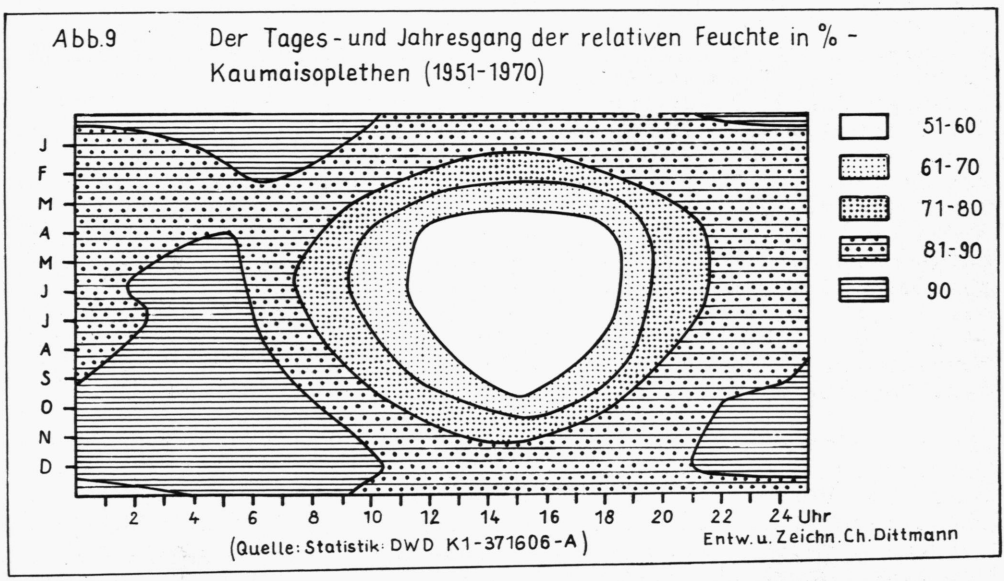


Abb. 9 Der Tages- und Jahresgang der relativen Feuchte in % - Kaumaisoplethen (1951-1970)

Die höchsten Feuchtewerte werden von September bis November in den frühen Morgenstunden verzeichnet; das mittlere Maximum (93,6 %) wird im Oktober, kurz vor Sonnenaufgang erreicht (Anhang Tab. 41). Die Ursache für die Abweichung der Feuchtemaxima von den Temperaturminima sind die wolkenarmen, herbstlichen Hochdrucklagen, die häufig auftreten. Da in den sonnigen warmen Tagesstunden der Luft durch Verdunstung Feuchte zugeführt wird, kann in den Ausstrahlungsnächten der Taupunkt rasch erreicht werden; es bilden sich Morgennebel. Die tiefen Wintertemperaturen werden durch das Einfließen östlicher kalter Festlandsluft verursacht (vgl. Abb. 8).

Schwüle Tage kommen im Mittel in Regensburg um 14 Uhr MOZ zwischen Mai und September 22,4-mal vor. Das Maximum liegt im Juli mit 8,2 Tagen. Im Jahr 1970 wurde mit 32 Tagen die größte Schwülehäufigkeit des Meßzeitraums (1951 - 70) erreicht. In den Morgenstunden (7 Uhr MOZ) ist Schwüle selten; abends (21 Uhr MOZ) wird im Mittel noch 6-mal Schwüle verzeichnet (STATISTIK DWD - Klimabeobachtungen). Die Schwülehäufigkeit

ist also am Stadtrand von Regensburg (Standort der Wetterstation) nicht übermäßig hoch.

4.1.5 Dunst und Nebel

Die Sichtweite ist von der Trübung der Luft, der in ihr enthaltenen Feuchtemenge abhängig. Gute Sicht (Sichtweite >10 km) tritt in Regensburg im Mai und Juni am häufigsten auf (90 %); im November (35 %) und Dezember (25 %) am seltensten (ROCZNIK 1971, 207 f.; Ders. 1952).

Durch Regentropfen wird die Sichtweite kurzfristig sehr stark getrübt (CZERWINSKY 1973). Sie ist jedoch bei bewölktem, zyklonalen Wetter im Frühjahr und Sommer zumeist gut. Durch schwebende Wassertröpfchen - bei Sichtweiten von 1 - 4 km als Dunst, unter 1 km als Nebel bezeichnet - wird die Sicht für längere Zeit herabgesetzt. Die Nebelhäufigkeit in der Regensburger Bucht beträgt im Mittel etwa 72 Tage (Anhang Tab. 42).

Im Klimaatlas von Bayern ist dagegen eine Nebelhäufigkeit von weniger als 50 Tagen verzeichnet (DEUTSCHER WETTERDIENST IN DER US-ZONE 1952, 35). Diese Angabe bezieht sich auf die Meßperiode von 1921 - 40, die unvollständig ist (4 Jahre fehlen) und in der zufällig das niedrigste Dekademittel des Jahrhunderts, mit 47,2 Nebeltagen erreicht wurde (Abb. 27). Da die Sichtweite anhand von Sichtmarken geschätzt wird, können subjektive Beobachtungsfehler vorkommen. Um die Richtigkeit der Daten von Regensburg zu überprüfen, wurden diese mit Aufzeichnungen der Station Metten verglichen. Dieser Ort ist ebenso wie Regensburg in der Donauebene gelegen, und es sind seit 1881 Daten vorhanden. Die Häufigkeit der Nebeltage in Regensburg und Metten stimmt deutlich überein; die Dekade von 1891 - 1900 erweist sich als die nebelreichste, die Dekade von 1931 - 1940 als die nebelärmste der letzten 100 Jahre.

Karte 6 (Ausschnitt eines Kartenentwurfs zum neuen Klimaatlas von Bayern) zeigt die Nebelhäufigkeit im Ostbayerischen Raum. Besonders nebelgefährdet ist die Donauebene mit 70 bis mehr als 100 Nebeltagen/Jahr; in den engen Flußtälern des Fränkischen Jura und Bayerischen Waldes werden weniger Nebeltage verzeichnet (50 bis 70 Nebeltage/Jahr). Die Höhenzüge sind nebelarm. Die Nebelgefährdung des Donauraumes verdeutlichen die Satellitenphotos (1 - 2). Ein kräftiges Zentralhoch über Mitteleuropa, das noch in der 100 mb-Fläche in 16.000 m Höhe erkennbar war, brachte dem Donauraum langanhaltende Dunst- und Nebelperioden. Vom 28.10. - 17.11.1978 schien in Regensburg kein einziges Mal die Sonne.

Die Photos 1 und 2 wurden vom Satelliten Meteosat, der oberhalb des Schnittpunktes von Äquator und Null-Meridian stationiert ist, aufgenommen. Sie zeigen einen Abschnitt der Nordhalbkugel, etwa zwischen 36° und 65° nördlicher Breite sowie 0° und 22° (im Süden) bis 45° (im Norden) östlicher Länge.

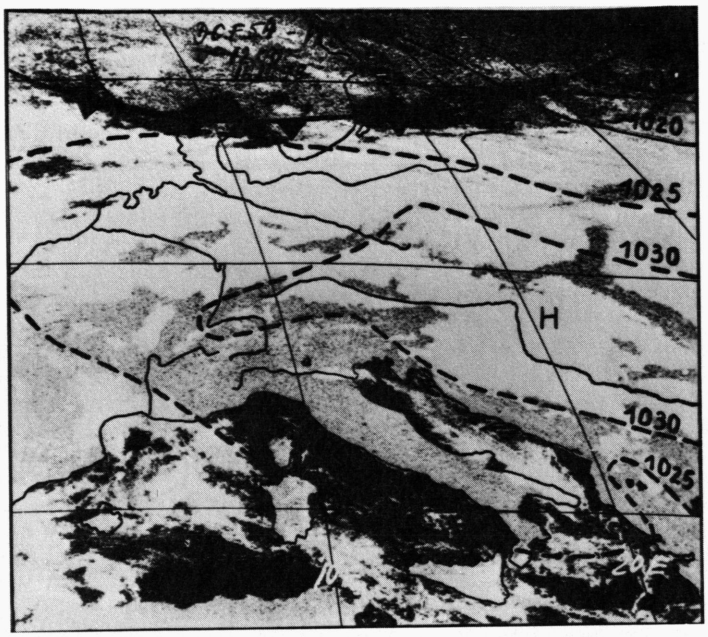


Foto 1: (11. 11. 1978).

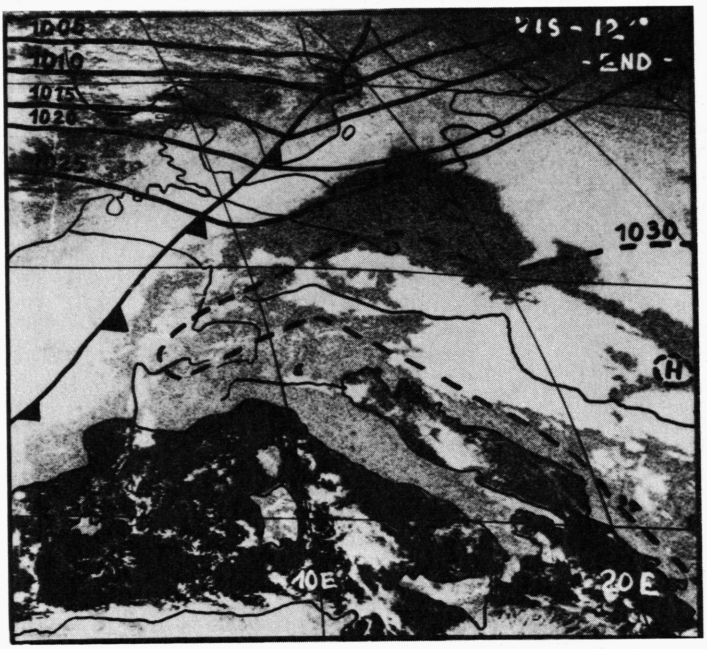
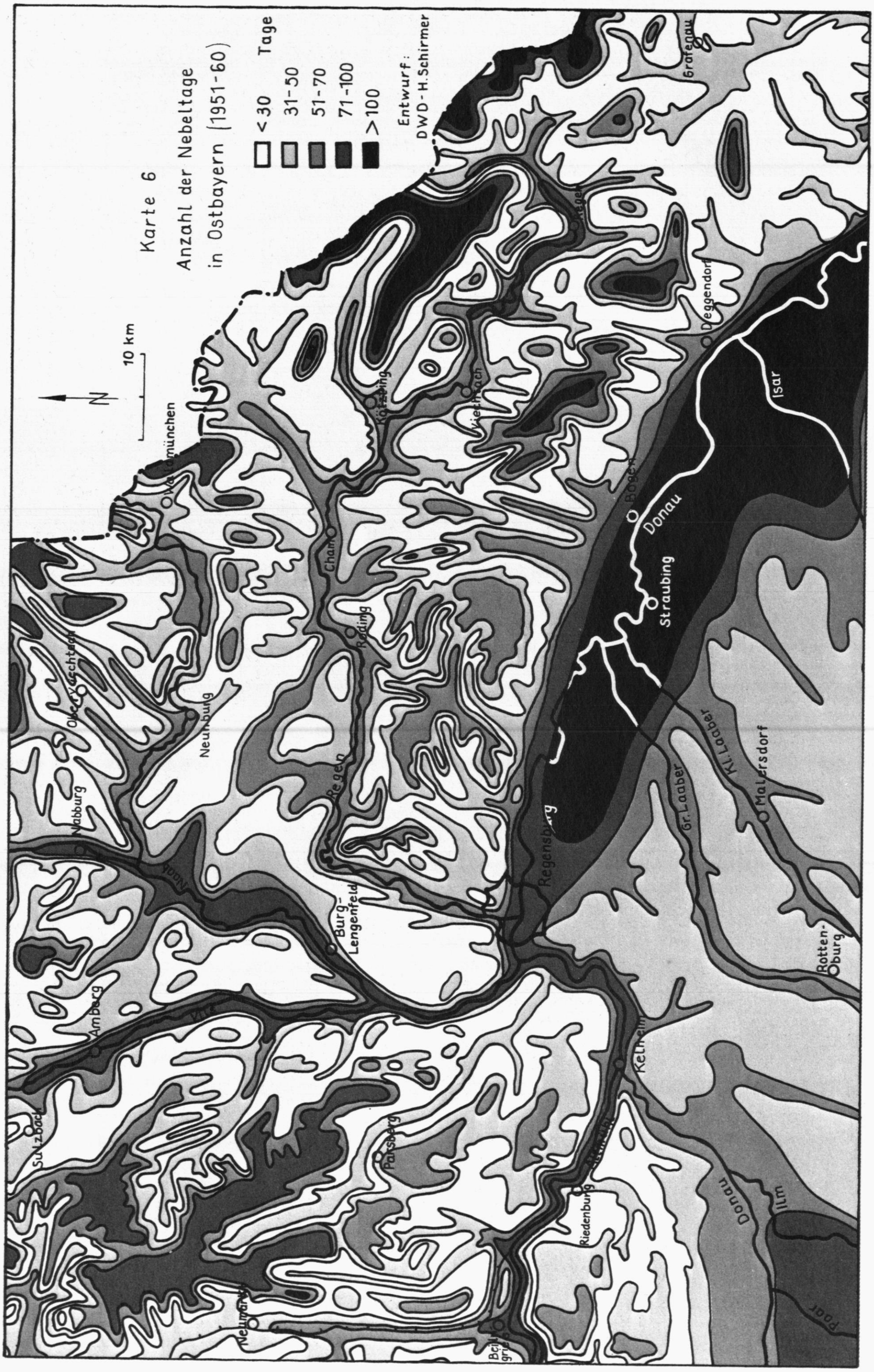
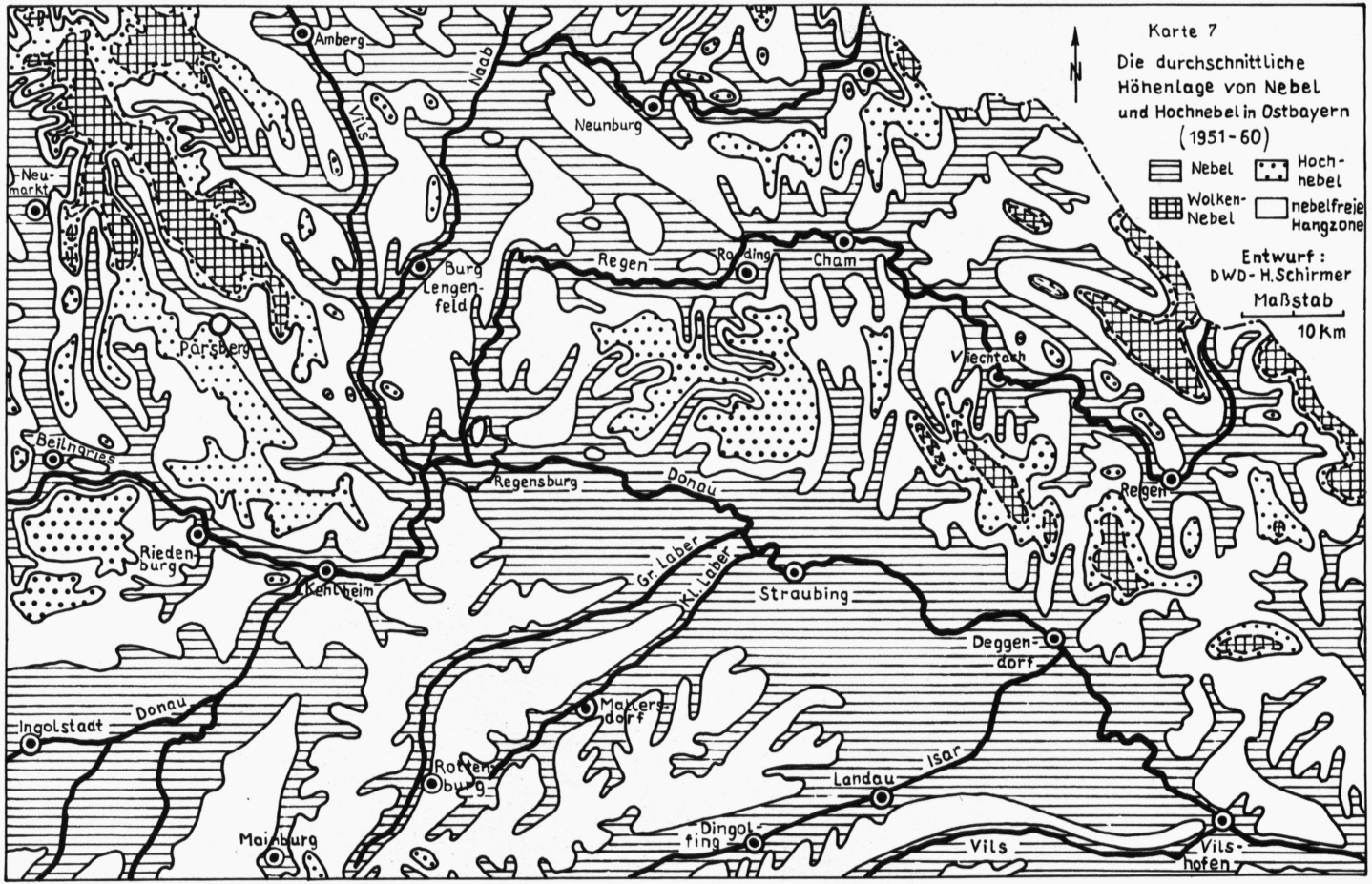


Foto 2: (13. 11. 1978).

Die Wetterverhältnisse in Mitteleuropa bei stabilem Hochdruckeinfluß (Archiv DWD Zentralamt, Aufnahmen: Satellit Meteosat).


Karte 6
Anzahl der Nebeltage
in Ostbayern (1951-60)
< 30
31-50
51-70
71-100
>100
Tage
Entwurf:
DWD-H.Schirmer
10 km
N
Waldmünchen
Kötzting
Viechtach
Regen
Grafenau
Deggendorf
Bogen
Donau
Isar
Straubing
Cham
Roding
Regen
Oberviechtach
Neunburg
Nabburg
Naab
Burg-
Lengenfeld
Regensburg
Gr. Laaber
Kl. Laaber
Mallersdorf
Rotten-
burg
Amberg
Vils
Sulzbach
Kelheim
Parsberg
Riedenburg
Neumarkt
Ilm
Donau
Paar


Karte 7
Die durchschnittliche Höhenlage von Nebel und Hochnebel in Ostbayern (1951-60)
Nebel
Hochnebel
Wolken-Nebel
nebelfreie Hangzone
Entwurf: DWD-H. Schirmer
Maßstab
10 Km
N
Amberg
Naab
Vils
Neunburg
Neumarkt
Burg Lengenfeld
Regen
Roding
Cham
Parsberg
Viechtach
Beilngries
Regensburg
Donau
Regen
Riedenburg
Kelheim
Gr. Laber
Kl. Laber
Straubing
Deggendorf
Ingolstadt
Donau
Mallersdorf
Rottenburg
Isar
Landau
Mainburg
Dingolfing
Vils
Vilshofen

Die Nord-Süd-Erstreckung des Bildausschnitts beträgt etwa 3200 km, die West-Ost-Erstreckung im Süden ca. 1800 km, im Norden ca. 2100 km.

Photo 1 vom 11.11.1978 zeigt, daß große Teile Deutschlands mit Nebel bedeckt sind, der sich unter einer kräftigen Absinkinversion ausgebildet hat. Nur die Kuppen der Mittelgebirge und das Alpenvorland waren nebelfrei. Am 13.11.1978 (Photo 2) wurde der Hochdruckeinfluß über Deutschland durch den Ausläufer eines Islandtiefs beeinträchtigt. Die Westeuropa überquerende Kaltfront bewirkte die Auflösung der Absinkinversion und der weitflächigen Nebelfelder. Nur im Main-Naab-Donauraum sowie in der Po- und Rhoneebene blieb der Nebel zäh erhalten (DEUTSCHER WETTERDIENST 1978, 1.11. - 14.11.; Ders. Wetterstation Regensburg, 1.10. - 30.11.1978). Diese Satellitenbilder verdeutlichen das Zusammenwirken von Großwetterlage und Ortslage: Bei einer sehr kräftigen, länger anhaltenden antizyklonalen Wetterlage sind weite Gebiete vom Einfluß großräumiger Absinkinversionen betroffen, unter denen sich Nebel bilden kann. Bei schwächerem Hochdruckeinfluß ist dagegen die orohydrographische Situation für die Nebelentstehung ausschlaggebend.

Karte 7 zeigt die Lage von Nebel und Hochnebel in Ostbayern. Die Flußtäler und Niederungen werden von Bodennebel ausgefüllt, Hochnebel bedeckt die Kuppen des Mittelgebirges. Dazwischen erstreckt sich eine nebelfreie Hangzone. Im Regensburger Stadtgebiet gehören die nördlichen und südlichen Randhöhen dieser nebelfreien Hangzone an. Der überwiegende Teil der Stadt liegt jedoch im Einflußbereich der Donau-Bodennebel.

4.1.6 Die Niederschlagsverhältnisse

In der Regensburger Bucht werden im Mittel (1951 - 70) 652 mm Jahresniederschlag verzeichnet. In diesem Zeitraum trat die geringste Niederschlagshöhe 1953 (375 mm), die größte 1970 (842 mm) auf (DWD K 1 - Klimabeobachtungen). Diese Angaben stimmen nicht mit den Meßergebnissen früherer Zeiträume und der Niederschlagskarte im Klimaatlas von Bayern überein (vgl. DEUTSCHER WETTERDIENST IN DER US-ZONE 1952, 47; ROCZNIK 1965, 150). Dort ist die Regensburger Bucht und das untere Regental mit einer jährlichen Niederschlagsmenge von 550 bis 600 mm verzeichnet und gehört zu den sehr trockenen Gebieten in Bayern (1). Auch wurde bisher der Juli als niederschlagsreichster Monat angegeben, während nach neuesten Auswertungen die höchsten Monatsmittel der Niederschläge im August (80,2 mm) (vgl. ROCZNIK 1952, 17), die geringsten im März (39,9 mm) fallen (vgl. Anhang Tab. 43).

---

(1) Anm.: Bei KERN (1954) nur im unteren Regental Niederschläge unter 600 mm/Jahr.

Seit 1891 werden in Regensburg steigende Niederschlagshöhen gemessen: Betrug das Jahresmittel zwischen 1891 bis 1930 nur 591 mm, so wurden von 1946 - 65 bereits 642 mm (ROCZNIK 1967, 144), von 1951 - 70 sogar 652 mm verzeichnet.

Die vorliegenden Meßergebnisse reichen jedoch nicht aus, um festzustellen, ob eine Klimaveränderung stattfindet. Dazu müßten die Schwankungen der Niederschlagshöhen mit den Werten anderer Stationen über einen möglichst langen Zeitraum verglichen werden (vgl. ROCZNIK 1962 a, b). Die Regensburger Bucht kann nach den neuesten Ergebnissen jedoch nicht mehr als äußerst trocken und niederschlagsarm bezeichnet werden.

Starkregen sind relativ selten und treten nur von Juni bis August mehrmals pro Monat auf. Die größte Tagesmenge fiel mit 70,1 l/m^2 im Juli 1954 (STATISTIK DWD K 1 RUE Nr. 53). Niederschlagsmengen unter 5 l/m^2/Tag treten ganzjährig am häufigsten auf. Durch Nebelniederschläge, die sich an Vegetationsflächen und am Boden absetzen, wird die Niederschlagsmenge zusätzlich erhöht (vgl. GEIGER 1956, 57). Es gibt hierfür jedoch noch kein objektives Meßverfahren. Die Regensburger Bucht liegt abseits von Gewitterzugbahnen und wird auch nur selten von Hagel betroffen. Schäden wurden nicht verzeichnet (TRAUTMANN 1963).

Das Gebiet ist schneearm. Im Mittel dauert die Schneefallperiode 113 Tage, von Mitte November bis Mitte März. Die Höhe der Schneedecke ist gering und beträgt im Februar durchschnittlich nur 14,2 cm. Im Mittel liegt eine geschlossene Schneedecke nur 33 Tage, von Anfang Januar bis Anfang Februar. Die längste Periode mit geschlossener Schneedecke wurde im Winter 1939/40 mit 93 Tagen verzeichnet (HERB 1973; CASPAR 1962).

Für die regionale Niederschlagsverteilung ist die Windrichtung bedeutsam. Abb. 10 zeigt die Abhängigkeit der Niederschlagshöhe von der Windrichtung. Winde aus westlichen Richtungen (SW/W/NW) verursachen, besonders in den Sommermonaten, den überwiegenden Teil der Niederschläge. Von November bis Februar werden auch noch bei Südostwind größere Niederschlagsmengen verzeichnet. Die geringsten Niederschlagshöhen (13,4 mm Jahresmittel) treten bei Ostwind auf. Auch Süd- und Nordostwinde verursachen wenig Niederschläge (Anhang Tab. 44).

Durch die Auswertung der Daten des Deutschen Wetterdienstes wurden differenzierte Kenntnisse über die lokalklimatischen Verhältnisse gewonnen. In den Bebauungszonen ist das Lokalklima jedoch verändert. Zunächst muß bei der Untersuchung der Beziehungen zwischen Klima und Stadt ein Überblick über die charakteristischen Wirkungen der Überbauung auf die meteorologischen Parameter gewonnen werden. Anschließend ist anhand von Messungen und Beobachtungen zu ermitteln, in welchem Ausmaß in Regensburg die lokalklimatische Situation durch die Bebauung beeinflußt wird.

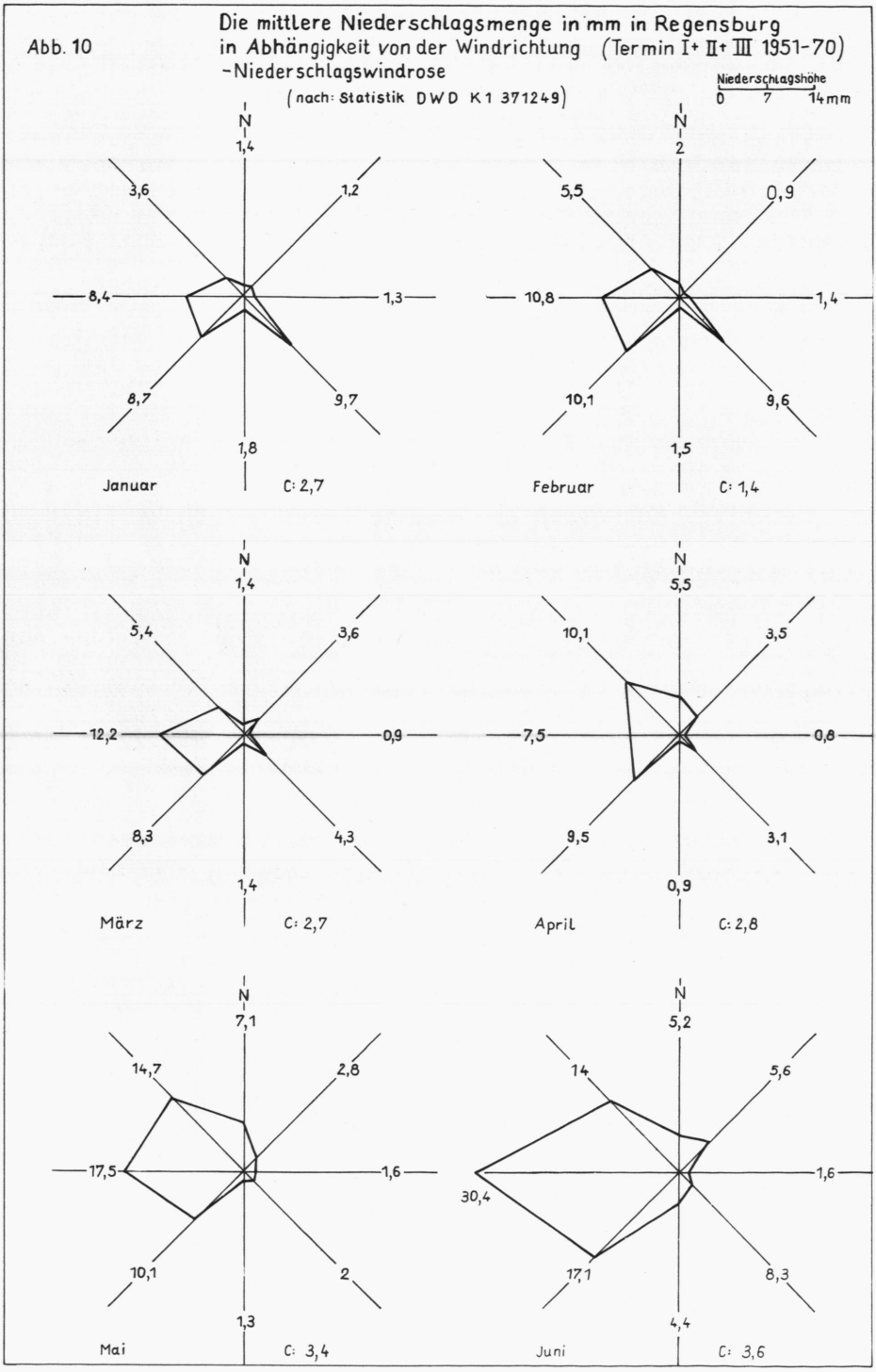


Abb. 10
Die mittlere Niederschlagsmenge in mm in Regensburg
in Abhängigkeit von der Windrichtung (Termin I+ II+ III 1951-70)
-Niederschlagswindrose
(nach: Statistik DWD K1 371249)
Niederschlagshöhe
0 7 14mm
N 1,4
3,6
1,2
8,4
1,3
8,7
9,7
1,8
Januar
C: 2,7
N 2
5,5
0,9
10,8
1,4
10,1
9,6
1,5
Februar
C: 1,4
N 1,4
5,4
3,6
12,2
0,9
8,3
4,3
1,4
März
C: 2,7
N 5,5
10,1
3,5
7,5
0,8
9,5
3,1
0,9
April
C: 2,8
N 7,1
14,7
2,8
17,5
1,6
10,1
2
1,3
Mai
C: 3,4
N 5,2
14
5,6
30,4
1,6
17,1
8,3
4,4
Juni
C: 3,6

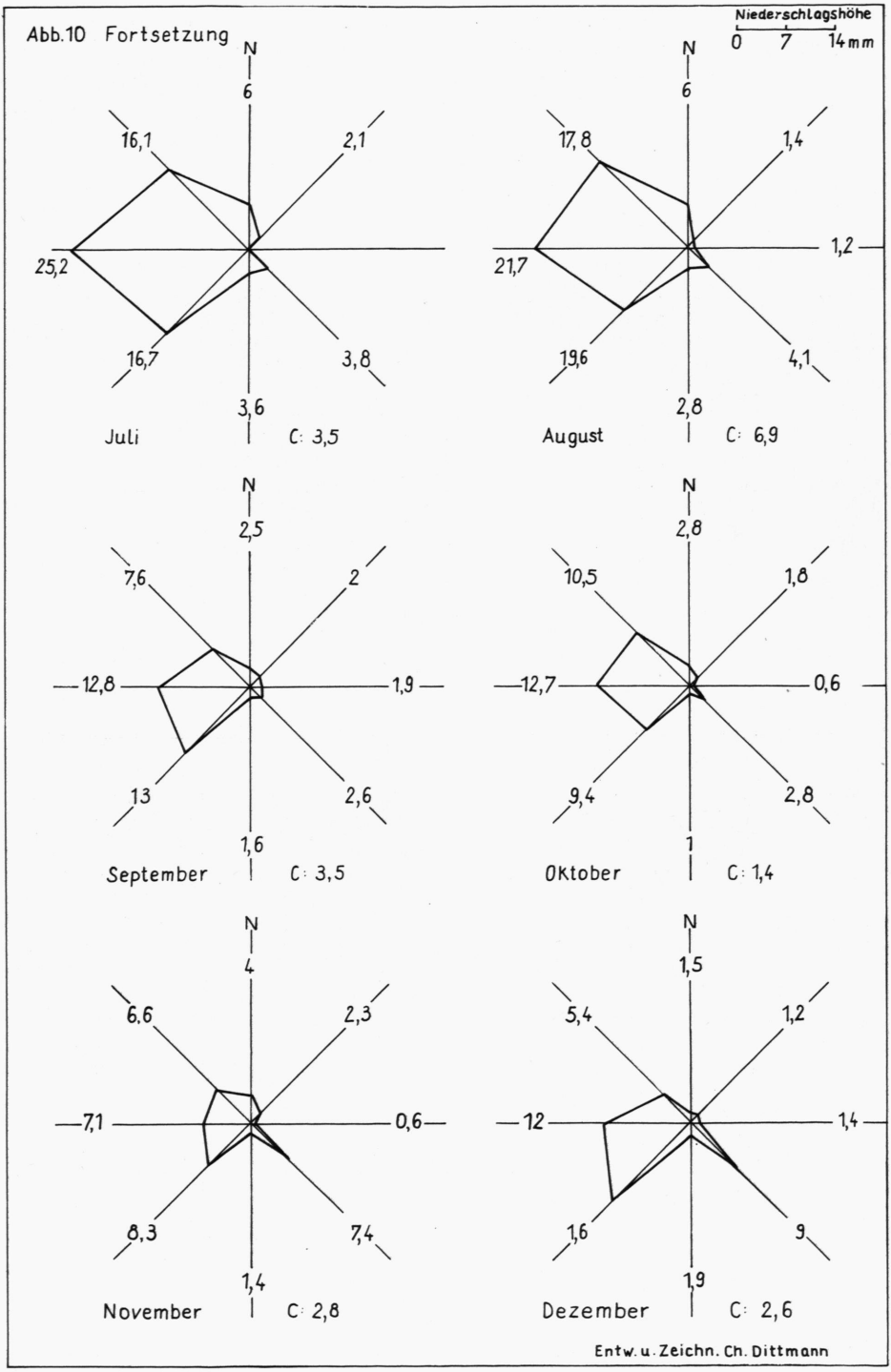


Abb.10 Fortsetzung
Niederschlagshöhe
0 7 14mm
N
6
16,1
2,1
25,2
16,7
3,8
3,6
Juli
C: 3,5
N
6
17,8
1,4
1,2
21,7
19,6
4,1
2,8
August
C: 6,9
N
2,5
7,6
2
12,8
1,9
13
2,6
1,6
September
C: 3,5
N
2,8
10,5
1,8
12,7
0,6
9,4
2,8
1
Oktober
C: 1,4
N
4
6,6
2,3
7,1
0,6
8,3
7,4
1,4
November
C: 2,8
N
1,5
5,4
1,2
12
1,4
1,6
9
1,9
Dezember
C: 2,6
Entw. u. Zeichn. Ch. Dittmann

4.2 Charakteristik des Stadtklimas

In der Klimatologie gibt es bislang keine eindeutige Begriffsbildung für Klimate mittelgroßer Räume. Davon ist auch die Definition des Begriffs "Stadtklima" betroffen, die einerseits die Abgrenzung eines regionalen Gebietes, andererseits eine qualitative Bestimmung eines Geländes, nämlich seine Gestaltung durch städtische Bebauung, beinhaltet.

Stadtklima wird als Mesoklima verstanden, das durch die städtische Bebauung auf charakteristische Weise in den unteren Schichten der Troposphäre, einschließlich der bodennahen Luftschicht, geprägt wird und sich deshalb vom Klima des umliegenden Freilands unterscheidet. Die Klimabereiche des Makro- und Mikroklimas sind bei der Ausprägung des Stadtklimas aufs engste verzahnt.

Daher sind die amtlichen Messungen des Deutschen Wetterdienstes und die Auswertung der klimatologischen Mittelwerte für die klimatische Einordnung eines städtischen Raumes zwar notwendig, aber nicht ausreichend. Zur Untersuchung des Stadtklimas sind zusätzlich kleinräumige Messungen erforderlich (ERIKSEN 1975, 3 - 11; BAUMÜLLER 1975).

Das Stadtklima prägt sich bei jedem Wetter, jedoch in unterschiedlicher Intensität und Art aus (ERIKSEN 1975, 55). Die städtische Wärmeinsel gilt als dessen wesentlichstes Merkmal. Sie ist besonders bei windschwachen, antizyklonalen Wetterlagen ausgebildet. Für ihre Existenz gibt es mehrere Ursachen, die in wechselseitigem Zusammenhang stehen:

Die Besonnung gilt als grundlegender Faktor für die Ausbildung lokaler Klimate. Die bloße Existenz der dreidimensional gestalteten Stadt reicht aus, um die städtische Überwärmung hervorzurufen: Denn einerseits ist die Geländeoberfläche durch die Bebauung vergrößert. Andererseits absorbieren Gebäude aufgrund des Strahlungswinkels und der Exposition ein mehrfaches der Energie im Vergleich zum Freiland (ERIKSEN 1975, 40/60). Hinzu kommt, daß Baumaterialien andere Reflexions- und Absorptionskonstanten besitzen als unbebaute, zumeist begrünte Oberflächen. Dadurch erhöht sich die Absorption in Städten um etwa 10 %, was bedeutet, daß allein durch die Baumaterialien der Stadt mehr Wärmeenergie zugeführt wird (EDMONDS in OLSCHOWY 1978, 225 ff.). Durch unterschiedliche Baustoffe und deren Farben kann die Absorption im Einzelnen stark beeinflußt werden (vgl. GEIGER 1942, 122 - 144; BAUMÜLLER 1974, 46) (vgl. Abb. 13).

Die nächtliche Ausstrahlung ist von der Oberflächentemperatur und der Wärmeleitfähigkeit strahlender Körper abhängig. Wegen der Wärmespeicherung und der Brechung der langwelligen Strahlung zwischen den Gebäuden vollzieht sich die Ausstrahlung langsamer und die Stadt tritt besonders in klaren, windstillen Nächten als Wärmeinsel in Erscheinung (ROBEL 1975, 30 f.).

Der Wärmeinhalt der Luft setzt sich aus der fühlbaren Wärme, derjenigen Energiemenge, die zur Erwärmung der trockenen Luft erforderlich ist und aus der latenten Wärme, derjenigen Energiemenge, die zur Verdunstung des in der Luft vorhandenen Wasserdampfs benötigt wird, zusammen.

Über Grünland wird ein großer Teil der Wärmeenergie zur Verdunstung verbraucht. In den Städten jedoch wird nahezu der gesamte Niederschlag durch die Kanalisation abgeführt; es gibt kaum Grünflächen, die als wirksame Verdunstungsoberflächen in Erscheinung treten. Deshalb wird der Großteil der Wärmeenergie in Städten gespeichert. Dies ist eine weitere Ursache für die städtische Überwärmung.

Die anthropogene Energiezufuhr macht sich besonders im Winter bemerkbar, in einer Zeit, in der in unserem Klima die Strahlungsbilanz negativ ist.

Das Mittel der jährlichen Strahlungsbilanz beträgt 100 Ly/Tag (= 1 Ly (Langly) = 1 gcal/cm^2). Die anthropogene Energiezufuhr beträgt im Ruhrgebiet 35 Ly/Tag, in den städtischen Agglomerationen Nordamerikas kann sie sogar bis auf 400 Ly/Tag ansteigen (FLOHN 1970).

Einerseits wird die Luft durch heiße Abgase aus Verbrennungsanlagen erwärmt. Daher können in der Nähe von starken Wärmeemittenten innerhalb der städtischen Wärmeinsel besonders erhöhte Temperaturen auftreten ("heat islands") (ERIKSEN 1975, 66 ff.; FORTAK in VOGL u.a. 1977 - 79, T. 2.8.). Andererseits ist die Wärmeabgabe schlecht isolierter Gebäude beachtlich. Sie ist z.B. im Winter am raschen Abschmelzen des Schnees auf den Dächern erkennbar. Auffallend ist auch, daß ältere Gebäude wesentlich besser isoliert sind und ihre Dächer daher eine geschlossene Schneedecke aufweisen. Photo 3 verdeutlicht den Energieverlust durch Leichtbauweise. Vom Dach des Hauses rechts im Bild ist der Schnee fast vollständig abgeschmolzen, nur über der unbeheizten Garage blieb er wie auch auf dem gut isolierten Nachbarhaus erhalten.

Diese Beispiele zeigen, daß die anthropogene Energiezufuhr als stadtklimatisch wirksamer Faktor beachtet werden muß. Sie verdeutlichen aber auch, auf welche Weise in einer Zeit der immer knapper werdenden Energie gespart werden kann. Gebäudeisolierung und die Nutzung von Restwärme helfen, den Energieverbrauch auf umweltfreundliche Weise zu reduzieren (1).

---

(1) Anm.: In Saarbrücken wurde im Herbst 1979 begonnen, einen Wärmeemissionsatlas zu erstellen. Mit speziellen Infrarotkameras wird jedes Gebäude aufgenommen. Die Sachbearbeiter besprechen dann mit den Eigentümern, wie sich Wärmequellen an Hauswänden kostengünstig beseitigen lassen.
Es wäre zu begrüßen, wenn andere Städte diesem Beispiel folgen würden; auch für die Universitäten erschließt sich hier ein Forschungsgebiet, das zur Sicherung der Energieversorgung in der Bundesrepublik von großer Bedeutung ist.

Durch die Emissionen der Verbrennungsanlagen bildet sich bei austauscharmem Wetter eine Dunstglocke. Der Anstieg von CO_2 durch die Verbrennung fossiler Energieträger bewirkt, daß die UV-Strahlung teilweise reduziert und die nächtliche, langwellige Wärmeausstrahlung behindert wird (Glashauseffekt) (ERIKSEN 1975, 44).

Während in älteren Arbeiten die Stadt noch als einkernige Wärmeinsel aufgefaßt wurde (vgl. KRATZER 1956), wies Eriksen starke Temperaturdifferenzen innerhalb einer Stadt nach. Wasser- und Grünflächen bilden Kälteinseln, während in dicht bebauten Stadtteilen und Industriegebieten Wärmeinseln auftreten.

Diese Wärmeinseln können wandern, was durch Expositionsveränderungen bei wechselndem Sonnenstand hervorgerufen wird. Sie treten tagsüber und nachts örtlich sehr unterschiedlich auf (WEISCHET u.a. in FRANKE 1977, 43 ff.; BAUMÜLLER 1974, 46 Tab. 3). Daher bezeichnet man die Stadt als mehrkernige Wärmeinsel (ERIKSEN 1976; Ders. 1978, 256).

Die Ausprägung dieser innerstädtischen Temperaturunterschiede beweist, daß dem "Glashauseffekt" nur ein untergeordneter Anteil an der städtischen Überwärmung zukommt.

Ein weiteres Charakteristikum des Stadtklimas ist die Reduzierung der relativen Feuchte. Diese Erniedrigung wird einerseits durch die städtische Überwärmung, vor allem aber durch die unterirdische Ableitung des Niederschlagswassers und durch fehlende Grünflächen verursacht. Die städtische Trockenheit wird durch den anthropogenen Wasserverbrauch und die Erzeugung von Wasserdampf etwas gemildert (EMONDS in OLSCHOWY 1978, 225 ff.).

Trotz der reduzierten relativen Feuchte ist Stadtluft häufig dunstig, und es treten vermehrt Nebel auf. Dies wird durch die hohe Anzahl hygroskopischer Aerosole, die zumeist durch die Verbrennungsprozesse freigesetzt werden, verursacht, die bereits bei 80 % Luftfeuchte Kondensation bewirken können (KRATZER 1956, 108).

Über größeren Städten kann die Niederschlagsintensität z.T. inselhaft erhöht sein. Die Ursachen dafür sind: die große Anzahl hygroskopischer Aerosole, die durch die Oberflächenrauhigkeit gesteigerte dynamische Turbulenz und die thermische Konvektion (ERIKSEN 1975, 75 ff.; HAGEL 1976, 58).

Ein weiteres wesentliches Merkmal des Stadtklimas ist die Veränderung der Luftströmungen. Im allgemeinen wird die Windgeschwindigkeit durch die städtische Bebauung in den untersten Luftschichten reduziert und zwar um so mehr, je höher die Bebauung reicht (FRANKE 1977, 15; vgl. Aufsätze von: FEZER; HOFFMANN; STIEMER in FRANKE 1977, 27 ff.; 97 ff.)

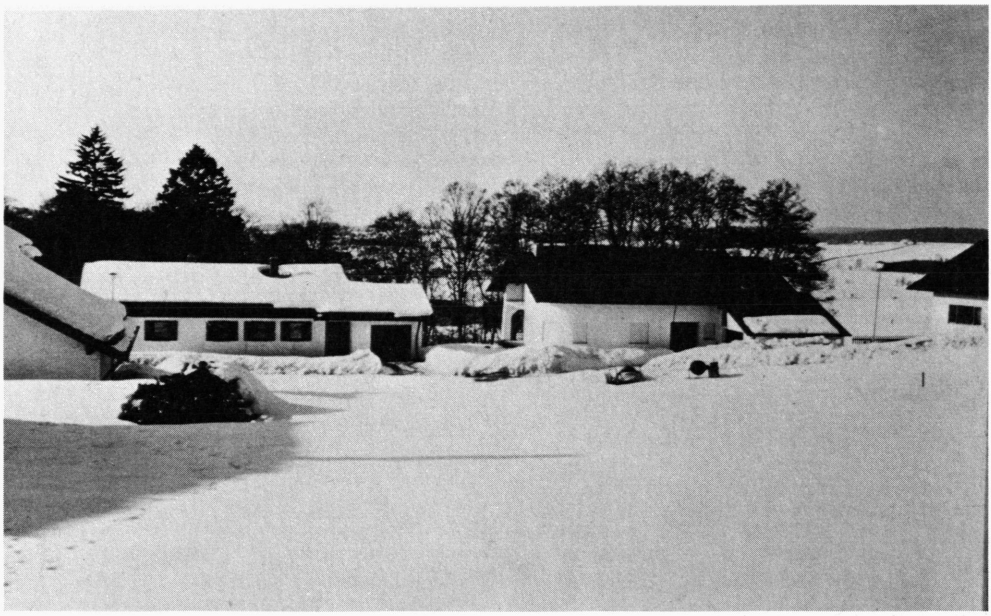


Foto 3:
Die Wärmeabgabe eines schlecht isolierten Gebäudes, erkennbar am Abschmelzen des Schnees vom Dach (aufgenommen in Wiesenfelden, Januar 1980).

Foto 4:
Von den Hängen abfließende Kaltluft sammelt sich im Tal. Der Kaltluftabfluß ist sichtbar, da in den bodennahen Luftschichten Kondensation eingetreten ist (aufgenommen in Siegenstein November 1978).

Durch die Rauhigkeit der Stadt bilden sich aber örtlich Wirbel, durch die die Windströmungen umgelenkt werden und in denen die Windgeschwindigkeit z.T. erheblich erhöht ist. Bekannt ist das Phänomen der Leewirbel an hochreichenden Gebäuden, die orkanartige Böen und schwere Schäden verursachen können (DIETRICH 1976). In windparallelen Straßen treten durch Siphoneffekt häufig erhöhte Windgeschwindigkeiten auf.

Nur bei windschwachem, antizyklonalen Wetter kann sich im städtischen Bereich ein eigenes Zirkulationssystem entwickeln, das durch die innerstädtischen Temperaturunterschiede sowie durch die Temperaturdifferenzen zwischen Stadt und Freiland hervorgerufen wird (Flurwind). Kühle frische Luft wird - in der Theorie - von der überwärmten Innenstadt angesaugt; warme, mit Schmutzpartikeln belastete Luft wird weggeführt (DOMRÖS 1977, 196).

Die Reinigungskraft dieses Windsystems darf jedoch nicht überschätzt werden. Flurwinde bilden sich nur in größeren Städten bei Temperaturunterschieden von mehr als 5° C und Druckunterschieden von mehr als 0,07 mb. Sie sind daher sehr selten, weisen nur sehr schwache Strömungsgeschwindigkeiten bis 0,3 m/sec auf und sind in den Straßen der Stadt nicht wahrnehmbar (THEVES 1978).

Deshalb erwärmt sich der Flurwind bereits auf dem Weg in die Stadt und steigt schon vor dem Stadtkern wieder auf. Seine Reinigungskraft ist gering, da er in den Randbezirken Aerosole aufnimmt. Die vertikale Erstreckung beträgt nur 30 - 60 m. Daher werden Flurwinde häufig von kräftigeren Regionalströmungen überlagert (ERIKSEN 1976).

Die thermische Konvektion erreicht über Städten auch noch höhere Luftschichten und ermöglicht bei stabiler Schichtung einen geringen Luftaustausch (ROBEL 1975, 29). Ob Wind behaglich oder belastend empfunden wird, hängt neben der Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit von der Bekleidung und Bewegungsintensität der Menschen ab (FRANKE 1977, 104 ff.).

Die Einflüsse des Stadtklimas sind nicht durchwegs negativ zu bewerten. Die städtische Überwärmung mildert kalte Winter, reduziert die Frosthäufigkeit und die Zeit, in der eine geschlossene Schneedecke liegt. Dadurch verlängert sich die Vegetationsperiode um mehrere Tage. Außerdem entkräftet die Überwärmung Bodeninversionen.

Es überwiegen jedoch die Nachteile: Im Sommer erhöht die Überwärmung die Schwülehäufigkeit, führt die nächtliche Hitze zu Schlafstörungen. Besonders gesundheitsgefährdend wirkt sich aber die Reduzierung der UV-Strahlung und die Schadstoffbelastung der Luft aus.

Die wechselseitigen Zusammenhänge zwischen Klima und Städtebau sind in der Praxis bisher kaum beachtet worden. Zwar ist nach § 1 BBauG bei der Aufstellung von Bauleitplänen auch das Klima

zu berücksichtigen, aber verbindliche Maßnahmen sind nicht vorgesehen. Dies liegt daran, daß in der Stadtklimatologie gegenwärtig noch keine Schwellen- und Grenzwerte existieren, um Belastungen festzustellen. Da das Stadtklima auch von den örtlichen Gegebenheiten abhängt, ist die Aufstellung allgemeiner Planungsrichtlinien kaum möglich (FRANKE 1977, 84/113/127/135) (1).

4.3 Die Temperaturunterschiede im Regensburger Stadtgebiet

4.3.1 Kleinräumige, innerstädtische Temperaturunterschiede

4.3.1.1 Grundlagen klimatischer Prozesse in der bodennahen Luftschicht

Der Wärmehaushalt der bodennahen Luftschichten wird durch das Großklima, die Jahreszeit, die Wetterlage, durch das Mikroklima, die Beschaffenheit der Oberflächen und ihrem Zustand sowie von der Tageszeit und dem augenblicklichen Wetter beeinflußt. Auf die Temperaturunterschiede kleinerer Raumeinheiten wirken sich die Energieumsätze, die von der Oberflächenbeschaffenheit und Exposition abhängig sind, besonders aus.

Die Sonneneinstrahlung, die direkt oder diffus auftritt, wird teilweise reflektiert oder absorbiert. Die Reflexzahl (Albedo) der Materialien ist in den verschiedenen Spektralbereichen unterschiedlich. Im ultravioletten Bereich (Wellenlängen $<0{,}36\ \mu m$) besitzen die Oberflächen ein geringes Reflexionsvermögen. Nur Schnee weist eine Reflexzahl von 80 - 85 % auf. Im Bereich des sichtbaren Lichts (0,36 - 0,76 μm) ist die Albedo sehr unterschiedlich (frischer Schnee: 80 - 100 % / Humus, Wasser: 8 - 10 %); bei feuchten Oberflächen jedoch allgemein geringer als bei trockenen. Im infraroten Spektralbereich (0,76 - 100 μm) absorbieren die meisten Substanzen nahezu die gesamte Strahlung (Albedo 10 %). Eine Ausnahme bilden grüne Pflanzen, die ihr größtes Reflexionsvermögen im Infrarotbereich aufweisen (43 %) (GEIGER 1942, 122 ff.) und das bei jungen Trieben besonders hoch ist, bei absterbenden Pflanzenteilen dagegen zurückgeht.

---

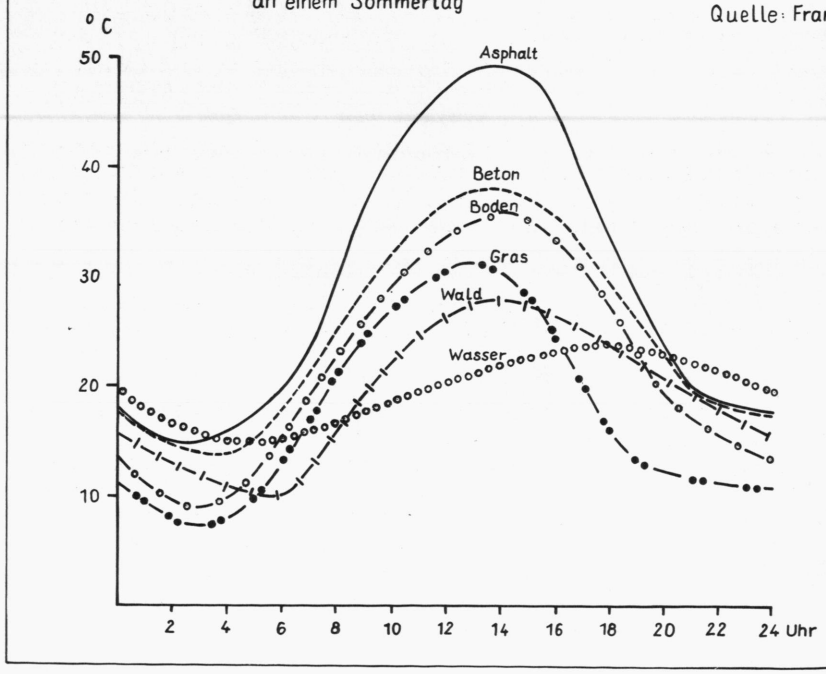
(1) Anm.: Ebenso kann das Stadtklima durch neue Technologien verändert werden. So entzieht z.B. die Wärmepumpe der Außenluft Wärme zur Raumheizung, wodurch der Heizölverbrauch erheblich eingeschränkt wird. Bei einer allgemeinen Verwendung dieser Beheizungsart würden sich überwärmte Stadtgebiete zu Kälteinseln entwickeln.

Die nächtliche Abkühlung erfolgt durch langwellige Ausstrahlung im Spektralbereich von 3 - 100 µm und erreicht die größte Intensität bei Wellenlängen um 3 µm (= Wärmestrahlung). Sie läßt sich nach dem Stefan-Bolzmannschen Gesetz berechnen. Wasserdampf und CO_2 absorbieren selektiv bestimmte Bereiche der Infrarotstrahlung. Dadurch wird der nächtliche Wärmeverlust der Erdoberfläche reduziert; nur etwa 12 % der langwelligen Ausstrahlung verliert sich im Weltraum. Die Wärmeausstrahlung eines Körpers ist um so größer, je höher seine Temperatur ist. Deshalb ist die Ausstrahlung im Sommer bis um das Sechsfache größer als im Winter. In den langen Winternächten wirkt sie sich jedoch stärker aus. Die langwellige Ausstrahlung findet Tag und Nacht statt. Tagsüber wird sie aber von der Solarstrahlung überdeckt. Kurz nach Sonnenuntergang erreicht sie ihre größte Intensität (BAUMÜLLER 1974, 46; GEIGER 1942, 17).

Mikroklimatische Temperaturunterschiede sind außerdem von der materialspezifischen Wärmeleitfähigkeit und dem Wärmespeicherungsvermögen abhängig (FRANKE 1977, 97) Abb. 11 (vgl. ROBEL

Abb. 11 Tagesgang der Temperatur an Oberflächen verschiedener Materialien an einem Sommertag

Quelle: Franke 1977, 11



1975, 31). Je geringer die Wärmeleitfähigkeit, um so stärker erhitzt sich tagsüber die Oberfläche und um so größer ist der nächtliche Wärmeverlust (z.B. Asphalt) (GEIGER 1942, 127 ff.). Eine hohe Wärmeleitfähigkeit und Speicherkapazität besitzen Metalle, Fels, Baustoffe wie Beton und Mauerwerk, vor allem Wasser. Sie erwärmen sich tagsüber daher nicht so stark und kühlen nachts nur langsam ab (GEIGER 1942, 30/146/155; GERTIS u.a. 1976, 3/8; - EMONDS in OLSCHOWY 1978, 225).

Messungen in Regensburg (1) bestätigen, daß die Luft in Körperhöhe an heißen Tagen über Betonsteinplatten, wie sie zur Pflasterung von Gehwegen verwendet werden, weniger erhitzt war als über Asphalt. Die Asphaltierung von Fußgängerwegen (z.B. in der Ostenallee) ist deshalb zu vermeiden.

4.3.1.2 Der Einfluß der Bausubstanz auf kleinräumige Temperaturunterschiede

Die Wirkungen der Bausubstanz auf das Kleinklima im Regensburger Stadtzentrum ermittelte die Verfasserin mit dem Meßgerät Thermophil Typ 4451 - 3 Hygrophil. Das handliche Gerät, das batteriebetrieben arbeitet, zeigt digital die Werte der Trokken-, Feucht- und Taupunkttemperatur sowie die relative Feuchte an. Durch ein ventiliertes Rohr wird die Meßluft angesaugt, um Verfälschungen durch den Strahlungseinfluß des Gerätes auszuschließen. Die Meßgenauigkeit beträgt 0,1° C bzw. 0,1 % rh; der Meßbereich reicht von - 99° C bis + 99° C und von 0 - 100 % rh. Die maximale Einsatzdauer liegt bei 2 1/2 Stunden.

Die Untersuchungen führten zu dem Ergebnis, daß die Lufttemperaturen in der Stadt nicht mit der Bebauungsdichte ansteigen. An meteorologischen Sommertagen (Max. >25° C) treten die höchsten Temperaturen außerhalb des Stadtzentrums in den breiten Ausfallstraßen auf.

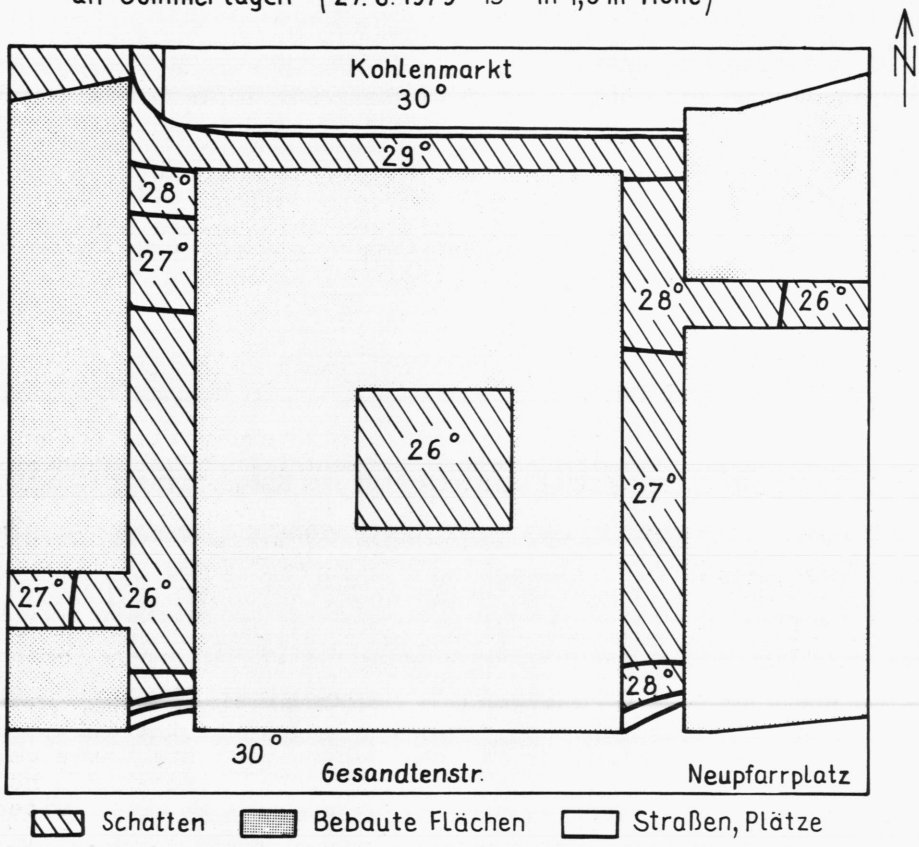
Abb. 12 veranschaulicht die Isothermen in der Altstadt von Regensburg zwischen Kohlenmarkt und Neupfarrplatz an Sommertagen (1).

In den engen, schattigen Gassen und Innenhöfen liegen die Temperaturen erheblich tiefer als auf den freien Plätzen. Stellenweise beträgt die Temperaturdifferenz auf wenigen Metern 4° C. Denn in eng bebautem Gelände bilden die Dächer die Strahlungsoberflächen. Diese erhitzen sich tagsüber stark, während die Gassen von der direkten Einstrahlung kaum erreicht werden. Auf offenen Plätzen bildet dagegen der Boden die Aufheizungsfläche, was durch die Wirkung von Beton und Asphalt verstärkt wird (FRANKE 1977, 44 ff.).

---

(1) Anm.: gemessen mit dem Gerät Thermophil Typ 4451-3 Hygrophil

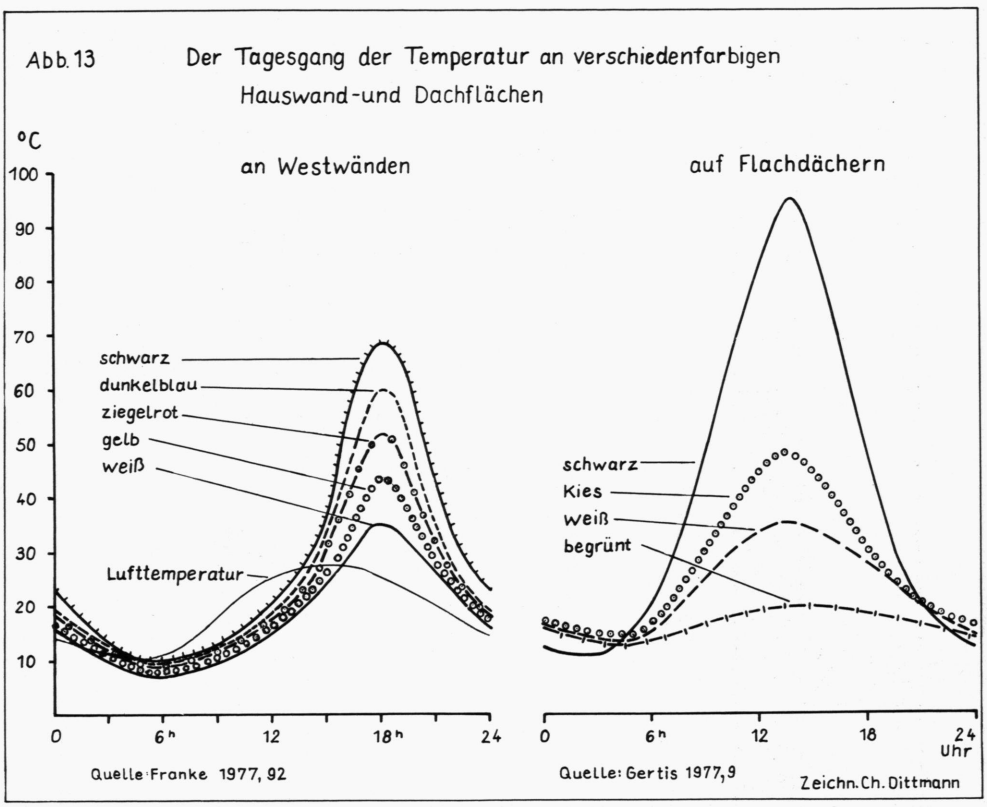
Abb.12 Kleinräumige Temperaturunterschiede in der Regensburger Altstadt an Sommertagen (27.6.1979 15 h in 1,5 m Höhe)



Quelle: Eigene Messungen
Entwurf und Zeichnung Ch. Dittmann

Eine Bepflanzung mit Bäumen könnte die Aufheizung der Plätze mindern. Stattdessen verstärken die größeren Parkflächen auf dem Kohlenmarkt und Neupfarrplatz die Überhitzung.

Hochhausgebiete weisen starke Tagestemperaturschwankungen auf, wenn der Baumbestand gering ist. Tagsüber erhitzen sich die großen Wandflächen, die Betonwege, aber auch die kahlen Rasenflächen. Nachts vollzieht sich die Abkühlung rascher als in der Innenstadt, da die Platten ihre Wärme schneller abgeben als kompaktes Mauerwerk und die langwellige Ausstrahlung an den weitständigen Gebäuden kaum reflektiert wird (ROBEL 1975, 30 Abb. 5; FRANKE 1977, 60). In Strahlungsnächten treten Hochhaussiedlungen aber trotzdem als Wärmeinseln in Erscheinung (vgl. 4.3.2.5).



Die Gestaltung der Gebäude erweist sich ebenfalls als klimawirksam. Schwarze oder dunkle Gebäudefassaden, die sich tagsüber sehr stark aufheizen, sind gegenwärtig in Regensburg sehr modern (z.B. Königswiesen / Schule am Napoleonstein) (vgl. Abb. 13). Äußerst beliebt sind außerdem dunkle Schrägdächer oder bekieste Flachdächer.

Aber über anthrazitfarbenen Ziegeln oder schwarzer Bitumenpappe steigen die Tagestemperaturen bis zu 90° C an und tragen in Wohnsiedlungen zur Temperaturerhöhung bei. Auch wohnraumklimatisch sind dunkle Dächer überaus unpraktisch, da Mansardenzimmer stark aufgeheizt werden. Bekieste Flachdächer weisen dagegen eine geringere Absorption und Erhitzung auf (Abb. 13). Sie sind aber aus (semi-)ariden Klimaten übernommen und daher für unseren Klimabereich wenig geeignet. Regen und geschmolzener Schnee können auf Flachdächern nicht ablaufen, zwischen den Kieseln bleibt die Feuchte lange erhalten und greift häufig

den Dachbelag an. Die Erkennung von Schäden ist schwierig, die Reparaturen sind sehr teuer (1).

Begrünte Dächer gleichen hohe Temperaturen aus. Da Wurzeln auf die Dauer eine sehr große Sprengkraft ausüben und die Bodenfeuchte langfristig das Mauerwerk schädigt, ist diese Lösung skeptisch zu beurteilen.

Es muß festgestellt werden, daß die traditionelle Bauweise klimatische Gesichtspunkte wesentlich besser berücksichtigte als die moderne Architektur.

4.3.1.3 Der Einfluß von Wasserflächen auf kleinräumige Temperaturunterschiede

Wasserflächen wirken temperaturausgleichend, weil Wasser einerseits eine hohe Wärmeleit- und -speicherkapazität besitzt, andererseits tagsüber durch die Verdunstung Energie verbraucht wird. Ihr Einfluß ist aber um so geringer, je kleiner sie sind (GEIGER 1942, 148 ff.).

Nachfolgend wird untersucht, wie sich Wasserflächen auf kleinräumige innerstädtische Temperaturunterschiede an Sommertagen auswirken (2).

Der Einfluß der Donau

Die Donau tritt bei jedem Wetter und zu jeder Tageszeit als Kälteinsel in Erscheinung (vgl. Profil A, B / Karte 9). Abb. 14 a zeigt die Lage der Isothermen für den Geländeausschnitt an der Alten Wurstkuchl.

In Donaunähe ist die Lufttemperatur in Körperhöhe über dem besonnten Pflaster mit 27° C um 3 - 4° kühler als auf den besonnten Plätzen der Innenstadt (vgl. Abb. 12). Im Schatten der großen Bäume werden mit 25° C die kühlsten Werte der Innenstadt erreicht. Sehr weit wirkt der mildernde Einfluß der Donau jedoch nicht. In der Thundorfer Str. werden bereits 28° C gemessen und in der Weißen-Hahnen-Gasse steigen die Temperaturen rasch auf 29° und 30° C an.

---

(1) Anm.: An der Universität Regensburg (Flachdachbau) tropft in manchen Gängen schon seit Jahren das Wasser von den Wänden, es wuchsen stellenweise an der Decke schon Pilze, und es bildeten sich Stalaktiten.

(2) Anm.: Die Messungen wurden mit dem Gerät Thermophil Typ 4451 - 3 Hygrophil durchgeführt (vgl. 4.3.1.1).

Der Einfluß von Wasserflächen auf die Lufttemperatur in der Regensburger Innenstadt an heißen Tagen (in 1,5m Höhe)

Abb. 14a Die Temperaturverhältnisse an der Alten Wurstkuchl (27.6.79 14^h)

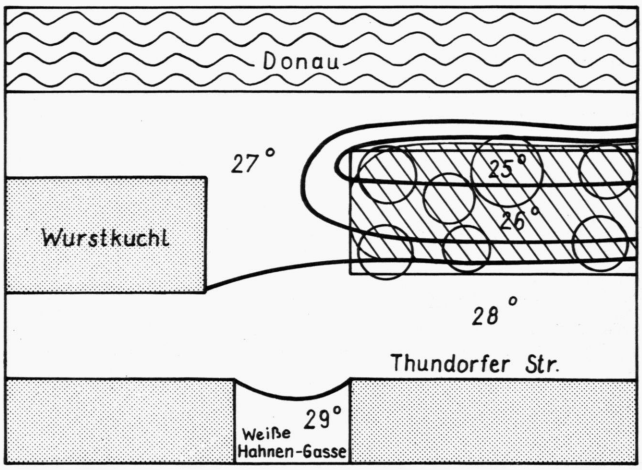
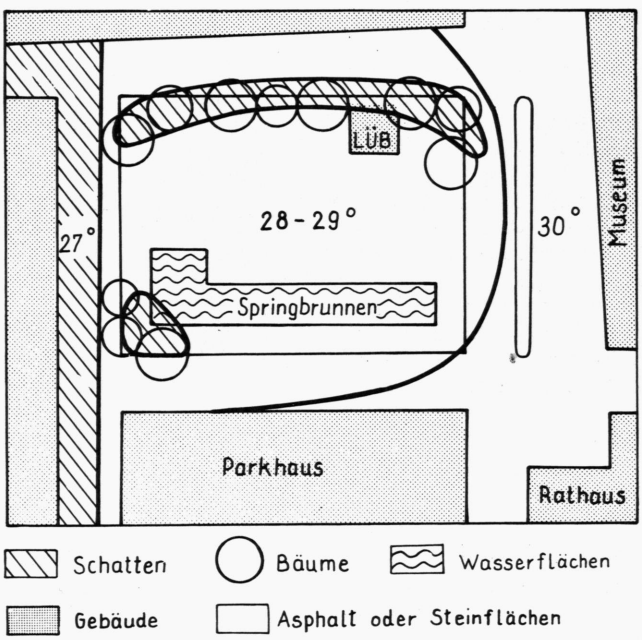


Abb. 14b Die Temperaturverhältnisse auf dem Dachauplatz



Quelle: Eigene Untersuchungen
Entw. u. Zeichn. Ch. Dittmann

Der Einfluß von Springbrunnen

Im Regensburger Stadtkern gibt es mit Ausnahme des Springbrunnens auf dem Dachauplatz keine künstlichen Wasserflächen. Abb. 14 b zeigt, daß der Brunnen, der fast vollständig in der Sonne liegt, die Lufttemperatur nicht einmal oberhalb des Wasserbeckens reduziert. Nur die Schattenflächen des Platzes, die durch Gebäude oder junge Bäume gebildet werden, weisen niedrigere Temperaturen auf. Die höchsten Werte des Platzes treten oberhalb der Asphaltflächen vor dem Städtischen Museum auf. Zum Vergleich wurden die Temperaturverhältnisse des Springbrunnens in der Ostenallee untersucht, der etwas größer ist, aber vor allem höher zerstäubende Fontänen besitzt. Hier konnte noch in 2 m Höhe oberhalb des Wasserbeckens eine Reduzierung der Lufttemperatur um 2° C gegenüber der Umgebung nachgewiesen werden. Da der Springbrunnen jedoch von einem breiten Betonplattengürtel eingefaßt ist, der stark erhitzt wird, kann sich der mildernde Einfluß des Brunnens nicht weiter auswirken. Die umliegenden Bänke stehen ganz im Strahlungseinfluß der Pflastersteine. Es erwies sich, daß für die klimatische Wirkung von Springbrunnen vor allem die Wasserzerstäubungsintensität der Fontänen ausschlaggebend ist. Ein Beispiel hierfür ist der Brunnen auf dem Karlsplatz in München, der die Lufttemperatur der Umgebung deutlich reduziert.

4.3.1.4 Die Bedeutung von Grünflächen auf das innerstädtische Klima

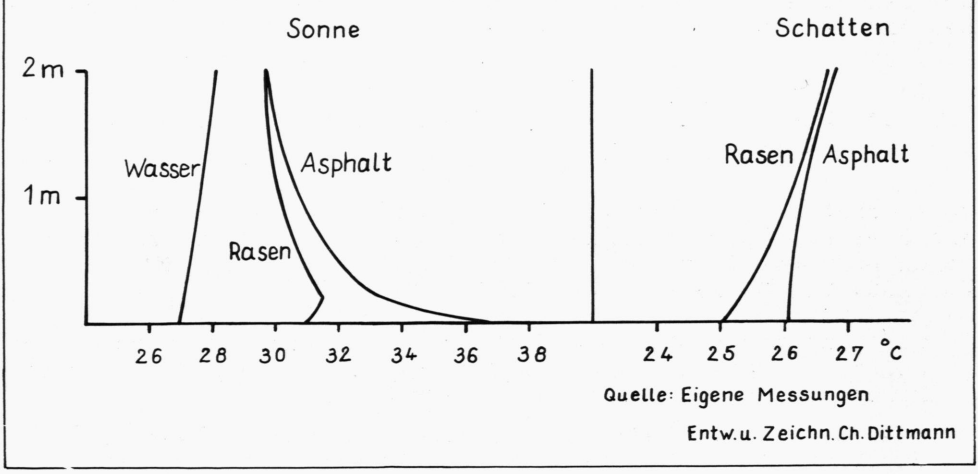
Über Grünflächen herrscht ein ausgeglicheneres (Mikro-) Klima als über unbewachsenen Oberflächen, was durch verschiedene Faktoren hervorgerufen wird (GEIGER 1942, 123/153 ff. /166/173/251 f. /266; THEVES 1978; FINKE 1976):

1) Die Einstrahlung, die auf ebenen Oberflächen zweidimensional auftritt, verteilt sich im Pflanzenbestand auf einen vertikalen Raum und schwächt sich dadurch ab.
2) Eine zu starke Erwärmung lebender, gesunder Pflanzen wird durch die Beschaffenheit der Blattoberfläche, die Blattstellung und die hohe Reflexion infraroter Strahlung verhindert.
3) Die Verdunstung über Vegetationsflächen beschränkt die Erwärmung der Oberflächen- und Lufttemperatur.
4) Die direkte Einstrahlung auf die Bodenfläche wird durch Pflanzenschatten reduziert (Pflanzenschatten weist eine andere spektrale Zusammensetzung als Gebäudeschatten auf).
5) Die Windgeschwindigkeit wird im Vegetationsbestand abgebremst, was vom Menschen an kühlen Tagen angenehm empfunden wird.

Es stellt sich nun die Frage, inwieweit Grünanlagen das Stadtklima beeinflussen und wie sie gestaltet werden müssen, um das Klima der Umgebung zu verbessern.

Die Klimawirksamkeit von Rasenflächen muß vom Einfluß von Parkanlagen mit dichtem alten Baumbestand deutlich unterschieden werden. Eigene Messungen bestätigen, daß der thermische Ausgleichseffekt gepflegter, kurzgeschnittener Rasenflächen äußerst gering ist (1) (vgl. FRANKE 1977, 51). Zwar ist an heißen Tagen der Aufenthalt auf einer Rasenfläche angenehmer, denn das Gras erwärmt sich nicht so stark wie Asphalt oder Beton, so daß der menschliche Körper einem schwächeren vertikalen Temperaturgradienten ausgesetzt ist (Abb. 15). Aber bereits in Kopfhöhe besteht an meteorologischen Sommertagen kein wesentlicher Temperaturunterschied zwischen besonnten Asphaltflächen und Rasenflächen.

Abb15 Vertikale Temperaturgradienten in der bodennahen Luftschicht über Asphalt-Rasen-und Wasserflächen an Sommertagen



Quelle: Eigene Messungen

Entw.u. Zeichn. Ch. Dittmann

Nachts kühlen sich Rasenflächen stark ab und bilden Kälteinseln innerhalb der Bebauungszone. Die Untersuchungen ergaben, daß sowohl tagsüber wie auch nachts größere Rasenflächen keine Auswirkungen auf die Temperaturen der benachbarten, überbauten Flächen

(1) Anm.: Die Messungen wurden mit dem Gerät Thermophil Typ 4451 - 3 Hygrophil durchgeführt (vgl. 4.3.1.1).

haben. Im Gegenteil: Die Randzonen der Rasenflächen werden von der überwärmten Bebauungszone beeinflußt (Abb. 16); ein Warmluftkissen überschiebt die rasennahe Kaltluft.

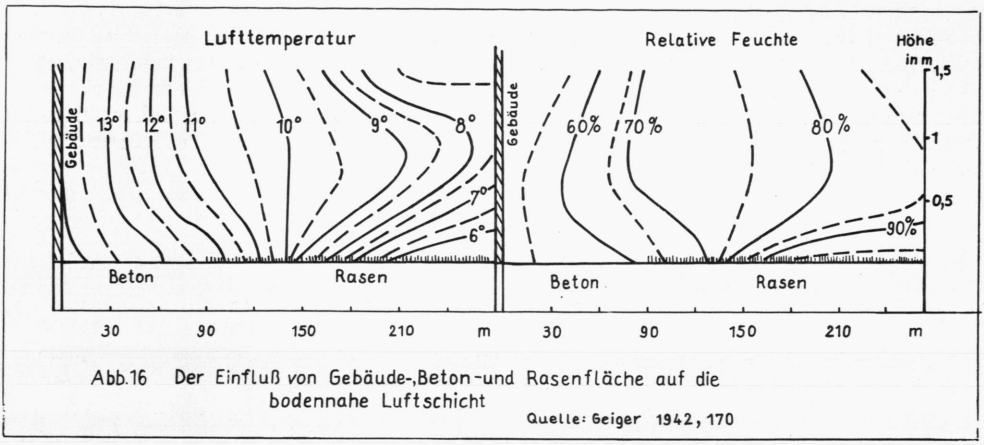


Abb.16 Der Einfluß von Gebäude-,Beton-und Rasenfläche auf die bodennahe Luftschicht

Quelle: Geiger 1942, 170

Rasenflächen bewirken somit keinen aktiven Temperaturausgleich. Aber Gelände, das durch Grünanlagen genutzt wird, schränkt die Bebauungsfläche ein und trägt somit indirekt zur Verminderung der städtischen Überwärmung bei.

Parkanlagen mit altem Baumbestand beeinflussen dagegen das Klima der randlichen Bebauungszonen, wie durch Messungen in Regensburg nachgewiesen werden konnte. Denn die Baumkronen bilden eine sehr große Verdunstungsoberfläche, die wirksam die Tageserwärmung reduziert und in Sommernächten die Abkühlung der überhitzten Straßen fördert: In der Vegetationsperiode werden von Laubwald pro Quadratmeter Bodenfläche etwa 240.000 kcal, von Wiesen etwa 210.000 kcal Wärmeenergie zur Verdunstung verbraucht. Nach Regenschauern sinkt die Temperatur über Grünland weiter ab, während sich Bauflächen (z.B. Mauerwerk, Asphalt) sofort wieder erwärmen (ROBEL 1975, 30 f.).

Die klimaökologische Wirkung des Fürstenparks, die in Strahlungsnächten weit in die Altstadt reicht, ist besonders deutlich nachweisbar (vgl. Abb. 19 - Profil A). Sie wird durch den dichten alten Baumbestand hervorgerufen und kommt durch die innerstädtische Lage besonders zum Ausdruck.

Der schmale Alleegürtel entlang des ehemaligen Stadtgrabens beeinflußt dagegen das Klima der benachbarten Gebäudezonen nur in unmittelbarer Nähe.

Daraus folgt, daß die klimaökologische Bedeutung von Grünanlagen von der Größe, vor allem aber vom Baumbestand abhängig ist. Junge, frisch gepflanzte Bäume benötigen viele Jahre, um klimatisch wirksam zu werden. Daher müssen alte Bäume in den Bebauungsplänen geschützt und in neuen Anlagen schnell wachsende Arten bevorzugt werden.

Die Berwertung von Stadtgrün darf sich jedoch nicht auf klimatisch meßbare Wirkungen beschränken. Die soziale und physiologische Funktion städtischer Grünflächen ist äußerst bedeutsam. Kleine Rasenflächen mit Ruhebänken und Blumenrabatten sind klimaökologisch von geringem Wert. Sie erhöhen jedoch erheblich die Wohnqualität (vgl. GRANDJEAN 1973, 99 ff. /228 ff.; MATHÉ 1975; BERNATZKY 1970, 134).

4.3.2 Die Beziehungen zwischen städtischer Überwärmung und Temperaturinversionen

Die städtische Wärmeinsel prägt sich am deutlichsten in windschwachen Strahlungsnächten aus. Gleichzeitig bilden sich bei solchem Wetter Bodeninversionen. Da die Stadt Regensburg in einer kesselartigen Talweitung liegt, ist zu prüfen, wie stark sich die Einflüsse von Bodeninversionen und städtischer Überwärmung überlagern.

4.3.2.1 Boden- und Absinkinversionen

Die Austauschverhältnisse in den unteren Luftschichten werden anhand d.vertikalen Temperaturgradienten γ bestimmt (t = 1° C Temperaturabnahme auf 100 m Höhe):

T.G. positiv	$\gamma > t$	überadiabatischer Gradient	labile Schichtung
	$\gamma = t$	trockenadiabatischer "	indifferente "
	$\gamma < t$	unteradiabatischer "	stabile "
neutral	$\gamma = 0$	Isothermie	stabile "
negativ	$\gamma < 0$	Inversion	stabile "

(HEYER 1975, 20 f. /67/111 ff.; SCHERHAG 1969, 19; KEIL 1969; GEIGER 1942, 12).

Der Tagesgang des vertikalen Temperaturgradienten der unteren Luftschichten ist von der Tageszeit, der Bewölkung und der Windstärke abhängig. Tagsüber treten zumeist positive Gradienten auf. Nachts überwiegen negative Gradienten; bei bewölktem, windigem Wetter können aber auch nachts positive Gradienten vorkommen (RINK 1953, 11 ff.).

Bei den Inversionen, die im Regensburger Raum auftreten, handelt es sich weitgehend um Boden- und um Absinkinversionen. Der Tagesgang des vertikalen Temperaturgradienten, die Wind- und Austauschverhältnisse sind bei diesen Inversionstypen sehr unterschiedlich (vgl. Abb. 17).

Bodeninversionen bilden sich bei klarem Wetter oft schon am späten Nachmittag durch die rasche Auskühlung des Bodens, die sich auf die unteren Luftschichten auswirkt. Die Höhe der Bodeninversionsschicht kann wenige Meter bis mehrere 100 m betragen. Nächtliche Bodeninversionen sind nicht an bestimmte Jahreszeiten gebunden und lösen sich durch die morgendliche Einstrahlung rasch auf (SCHERHAG 1969, 126). Im Winter bilden sich Bodeninversionen auch durch das Zufließen kontinentaler Kaltluft. Wegen der geringen Einstrahlung bleiben sie dann auch tagsüber erhalten.

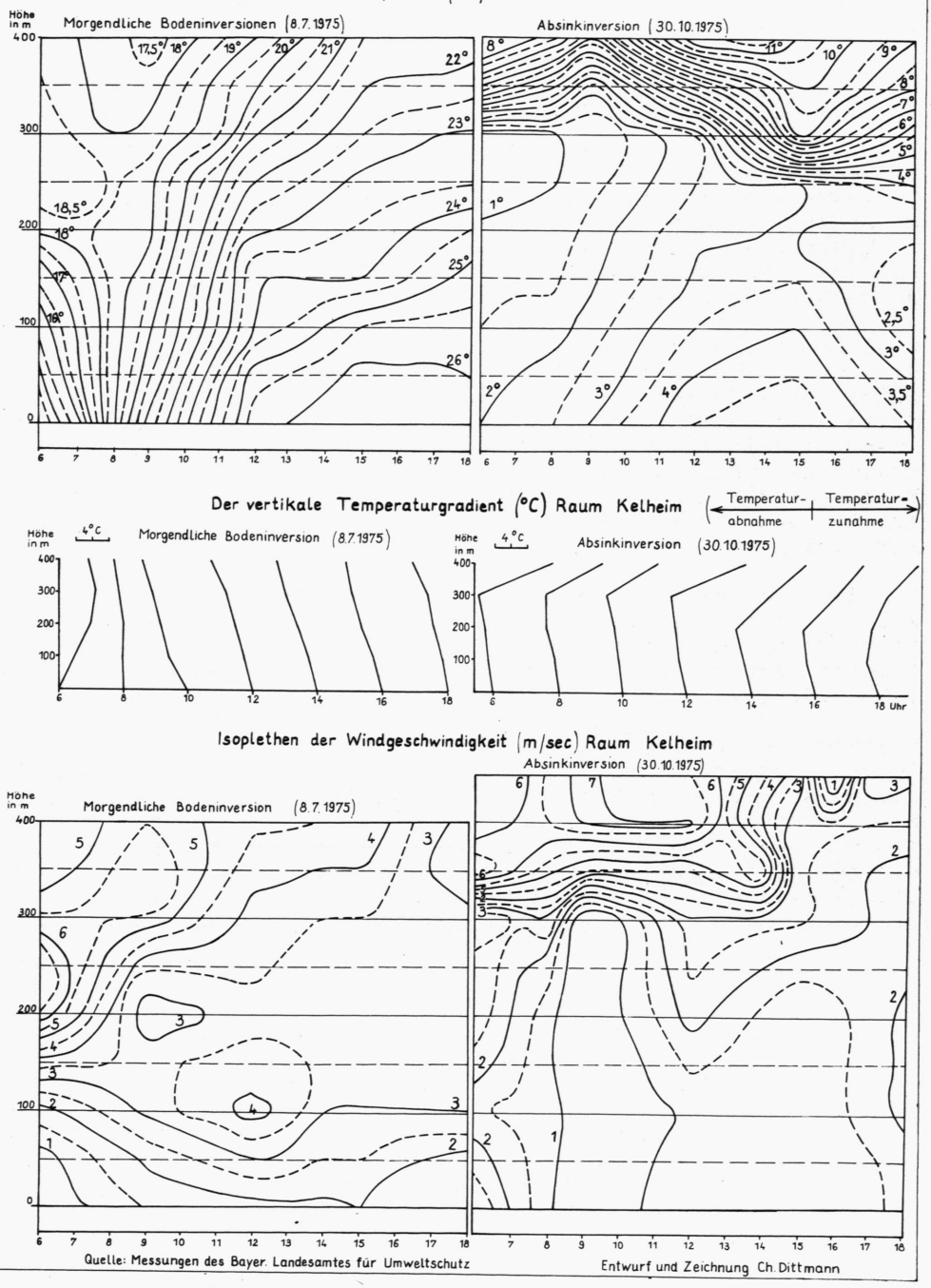
Absinkinversionen gehören zur Gruppe der Höheninversionen. Sie entstehen durch Absinkbewegungen (freier Föhn) im Kernbereich stabiler Hochdruckgebiete. Die abwärts strömenden Luftmassen können die Bodenkaltluft nicht durchdringen und streichen oberhalb ab, was zur Stabilisierung der Inversion beiträgt. Es treten starke Gegensätze zwischen Temperatur- und Feuchteverteilung in der Kaltluft- und Inversionsschicht auf (FLOHN 1942, 57 f./71; ASSMANN 1963, 71/83; ROCZNIK 1960, 23; RINK 1953, 36).

Für die Beurteilung der lufthygienischen Situation ist es wichtig, die Schichtungsverhältnisse, die bei Boden- und Absinkinversionen herrschen und die sich anhand des vertikalen Temperaturgradienten bestimmen lassen, genauer zu betrachten (Abb. 17) (1).

Die Bodeninversion, die am 8.7.1975 aufgezeichnet wurde, ist in den Morgenstunden einige 100 m mächtig und löst sich durch die Einstrahlung am Vormittag auf. Zunächst tritt Isothermie ein. Danach nimmt die Temperatur der unteren Luftschichten rasch zu; die Schichtung ist gegen Mittag labil. Am Nachmittag verursacht die Abkühlung des Bodens in den unteren Luftschichten bereits adiabatische Gradienten, oberhalb von 300 m blei-

(1) Anm.: In der Regensburger Bucht werden keine Messungen zur Untersuchung der Temperaturverteilung in einer vertikalen Luftschicht durchgeführt. Seit einigen Jahren nimmt das Bayerische Landesamt für Umweltschutz in Kelheim diskontinuierliche Temperaturaufstiege mit Hilfe eines Fesselballons (bis 400 m Höhe ü. Gr.) und mit Radiosonden vor. Wegen der geringen Entfernung Kelheims zu Regensburg und der ähnlichen topographischen Situation können diese Meßergebnisse auf die Verhältnisse in der Regensburger Bucht übertragen werden.

Abb. 17 Temperatur- und Windprofil bei Boden- und Absinkinversionen



ben noch überadiabatische Gradienten erhalten. Während des Bestehens der nächtlichen Bodeninversionen ist die Windgeschwindigkeit gering; tagsüber herrschen gute Durchmischungsverhältnisse.

Im Bereich von Absinkinversionen, die in Kelheim in Höhen unter 400 m nur zwischen Oktober und Februar verzeichnet wurden (1974 - 79), ergeben sich völlig andere Schichtungsverhältnisse. Unterhalb der Warmluft können die Gradienten negativ oder positiv sein. Innerhalb der Absinkinversionen findet dann ein beträchtlicher Temperaturanstieg statt (z.B. 30.10.1975: Erwärmung zwischen 300 u. 400m ü. Gr. um 7° C = Temperaturgradient - 7° C).

In Absinkinversionen treten also wesentlich kleinere Gradienten auf (bis - 12° C) als in Bodeninversionen. Sie bilden daher schärfere Sperrschichten für luftverunreinigende Substanzen.

Innerhalb der Bodenkaltluftschicht herrschen Windstille oder schwache Luftbewegungen (<3 m/sec) (RINK 1953, 23). An der Untergrenze der Absinkinversionen erfolgt dann zumeist eine sprunghafte Zunahme der Windgeschwindigkeit (Abb. 17; vgl. Photo 8). Durch die starken Windströmungen, die innerhalb der Warmluftschicht herrschen, wird die thermische Sperrwirkung verstärkt. Die Windrichtungen in der Bodenkaltluft und in der Inversionsschicht divergieren häufig (Photo 9). Bei labiler Schichtung, stärkerer Turbulenz und guter Durchmischung der unteren Luftschichten nimmt dagegen die Windgeschwindigkeit mit der Höhe etwa gleichmäßig zu (HEYER 1975, 133).

4.3.2.2 Die Inversionshäufigkeit in Regensburg

Die Inversionshäufigkeit und -andauer ist für die Beurteilung des Stadtklimas und der lufthygienischen Situation von großer Bedeutung. Inversionen reduzieren den Luftaustausch, sie wirken als Sperrschichten, da warme, spezifisch leichte Luft über kalter, spezifisch schwerer Luft liegt. Adiabatisch aufsteigende Gase und Kerne innerhalb der bodennahen Kaltluft können nicht in die wärmere, leichte Luft eindringen, sie sammeln sich unterhalb der Inversion. Andererseits dringen Gase aus den wärmeren Luftschichten nicht in die Kaltluft ein. Schadstoffe, die von höheren Kaminen oberhalb der Inversionsuntergrenze emittiert werden, erreichen daher den Boden nicht; sie werden innerhalb der Inversionsschicht angereichert (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ 1974 d, 7; VESTER 1972, 137; TIETZE u.a. 1970 III, 539).

Durch seine topographische Lage ist Regensburg besonders inversionsgefährdet (Bodeninversionen). Kalte Luft verhält sich ähnlich wie Wasser; sie sinkt ab und fließt am Boden entlang des natürlichen Gefälles, sammelt sich in Mulden und staut sich an Hindernissen. Es bilden sich Kaltluftkissen (Photo 4) (GEIGER 1942, 181 ff. / 197; BAUMÜLLER 1974, 47).

Die Regensburger Bucht wird von der Donau durchzogen, in die die Flußtäler Naab und Regen sowie zwei Trockentäler einmünden. In ihnen fließt dem Raum nachts Kaltluft zu, die jedoch durch die Bebauung z.T. behindert wird. Da sich die Stadt abends langsamer abkühlt als das Umland, können nächtliche Tal- und Hangwinde Kaltluft zuführen und Temperaturinversionen begünstigen.

Morgens erwärmt sich die Stadt wegen der Beschaffenheit der Bausubstanz, der Ableitung des Niederschlagswassers und der Verhinderung von Taubildung, bei geringer Bewölkung und schwachen Winden stärker als das Grünland; die warme Luft steigt auf und vom Freiland wird kühlere Luft angesaugt, die nun unter der Warmluftschicht liegt (VESTER 1972, 137). Unterhalb der Inversionsschicht bildet sich eine Dunsthaube, die mit Schmutzpartikeln aus zahlreichen Emissionsquellen angereichert ist. Durch die große Anzahl der Kerne verringert sich das Kondensationsniveau (vgl. Stadtnebel). Dunstglocken, die das Sonnenlicht und die UV-Strahlung teilweise absorbieren, sind über Regensburg häufig zu beobachten.

Nachteilig ist weiterhin, daß die Regensburger Bucht an drei Seiten von etwa gleich hohen Hügelketten umschlossen wird. Deshalb können Süd-, Südwest, Nord- und Nordostwinde in der Höhe über die Talweitung hinwegströmen. Bei Inversionen behindern diese Luftströmungen die Auflösung der Sperrschichten und die Entwicklung turbulenter Luftbewegungen.

Da in Regensburg keine Temperaturaufstiege durchgeführt werden, können keine quantitativen Angaben über die Häufigkeit, Dauer und Höhenlage der Inversionen gemacht werden. Sie müssen aus der Häufigkeit von Nebel, wolkenarmen Nächten und der Nachttemperatur geschätzt werden (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ 1974 d, 7). Mehrjährige Beobachtungen der Wettersituation sind für eine solche Abschätzung der Inversionshäufigkeit in Regensburg erforderlich.

Anhand von Untersuchungsergebnissen aus verschiedenen Gebieten soll zunächst gezeigt werden, wie oft mit Inversionen zu rechnen ist und wie ihr Jahres- und Tagesgang verläuft. Detaillierte Untersuchungen über das Auftreten von Inversionen wurden von Herb in München (1953 - 60) und Erlangen (1949 - 56) durchgeführt. In den achtjährigen Beobachtungsperioden, die nicht identisch sind, wurden folgende Jahreshäufigkeiten festgestellt:

Tab. 3: Die Inversionshäufigkeit/Jahr in München und Erlangen (bis 1.500 m Höhe)

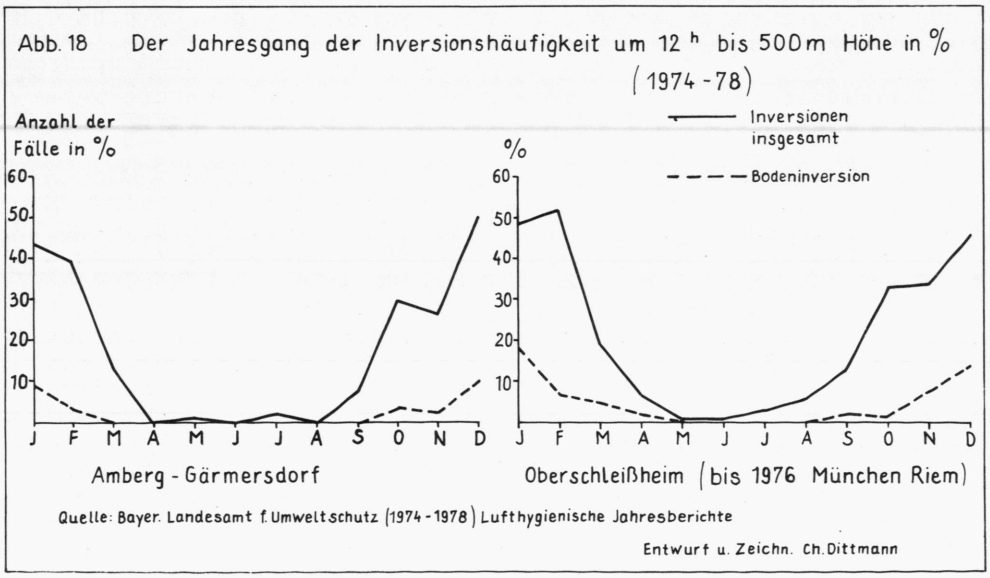
Jahreswerte	Mittel		Maximum		Minimum	
Termin	Mü.	Erl.	Mü.	Erl.	Mü.	Erl.
3 Uhr	285	318	337	357	235	268
15 Uhr	137	162	219	244	76	92

Quelle: HERB 1964 b, 10; 1964 c, 11

Im inversionsärmsten Jahr treten in München zu 64,4 % nächtliche Inversionen auf, in Erlangen 73,4 %. Im Jahr mit den meisten Inversionen sind es in München 92,3 %, in Erlangen 97,8 %! Obwohl beide Städte in flachem Gelände liegen, weist Erlangen eine deutlich höhere Inversionshäufigkeit auf als die Millionenstadt München (HERB 1964 b, 10; Ders. 1964 c, 11) (1).

Abb. 18 zeigt den Jahresgang der Inversionshäufigkeit um 12 Uhr am Stadtrand von München und in Amberg-Gärmersdorf. Da die Temperaturverhältnisse nur bis 500 m Höhe ü. Gr. aufgezeichnet wurden, sind Höheninversionen unvollständig erfaßt. Deshalb weichen die Ergebnisse dieser Messungen von den Untersuchungen Herbs ab; die Inversionshäufigkeit, vor allem in den Mittagsstunden, ist wesentlich geringer.

In Amberg-Gärmersdorf werden die Temperaturaufstiege von einer ackerbaulich genutzten Ebene aus vorgenommen. Auch am nördlichen Stadtrand von München ist das Gelände frei und eben. In Regensburg muß wegen der klimatologisch ungünstigen topographischen Lage in einer kesselartigen Weitung des Donautals mit einer erheblich größeren Inversionshäufigkeit gerechnet werden als über einem flachen Gebiet.



(1) Anm.: Das Meßergebnis der Inversionshäufigkeit wird durch den Standort der Meßstation wesentlich beeinflußt. Werden Temperaturaufstiege von den Randhöhen aus durchgeführt, z.B. in Stuttgart, so werden die Bodeninversionen im Becken nicht erfaßt; die Inversionshäufigkeit erscheint wesentlich geringer (KLEISS 1963, 11).

Bei windschwachem Wetter sind in Regensburg sehr häufig Bodeninversionen zu beobachten, auch wenn der Himmel teilweise bewölkt ist. Sie bilden sich bereits in den Nachmittagsstunden, weisen nur eine sehr geringe Höhe auf und verhindern den Rauchabzug von Gartenfeuern oder aus Einzelhauskaminen.

In Regensburg bleiben Sperrschichten im Herbst und Winter häufig ganztägig erhalten, was an der Begrenzung der Dunstschicht oder an der Ausbreitungsform von Rauchfahnen zu erkennen ist (vgl. z.B. Photo 8, 9). Sogar an Augustnachmittagen konnten 1978 tiefliegende Inversionen in etwa 100 m Höhe im Stadtnorden beobachtet werden.

Die Veränderung der Inversionsschicht im Tages- und Jahresgang

Zur späteren Beurteilung der lufthygienischen Situation in Regensburg ist nicht nur die Inversionshäufigkeit, sondern auch die Höhenlage der Sperrschicht und ihre Schwankungen wichtig.

Das Auftreten nächtlicher Bodeninversionen ist von der Jahreszeit unabhängig. Im Sommer sind sie besonders häufig (vgl. MAYER 1972, 157) und nach heißen Tagen kräftig ausgeprägt.

So betrug z.B. die größte Temperaturdifferenz zwischen Keilberg und Grünthaler Tal im Frühjahr 4° C, im Sommer mehr als 6° C. Die Inversionsandauer nimmt im April, bedingt durch die vorherrschenden West- und Nordwestlagen, stark ab und erreicht im Mai das Minimum. Von September bis Dezember erfolgt wieder eine Zunahme (HERB 1964 b, 10; Ders. 1964 c, 16).

Absinkinversionen haben keinen spezifischen Jahresgang, sondern treten bei antizyklonalen Wetterlagen, besonders bei einem Hoch über Mitteleuropa (HM), auf (HAVLIK 1970) (vgl. Anhang Tab. 23). Diese Wetterlage ist mit 23,3 % im Oktober am häufigsten und mit 9,5 % im Mai am seltensten. Im Sommer liegen die Untergrenzen dieser Höheninversionen zumeist zwischen 500 - 1.000 m. Im Herbst und Winter können sie sich bis auf 200 m absenken (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ 27.11.1975 - Ballonaufstiege in Kelheim).

In den nachfolgenden Ausführungen werden zur Veranschaulichung der Inversionssituation von Regensburg vor allem die Beobachtungen von Erlangen angeführt. Da Erlangen auch dem nordbayerischen Klimabereich angehört, in einem Flußtal liegt und von der Größe her mit Regensburg vergleichbar ist, sind die Werte Erlangens für den Regensburger Raum übertragbarer als die Werte von München. Da die orohydrographische Situation Regensburgs jedoch ungünstiger zu beurteilen ist, muß mit höheren Werten für Bodeninversionen, tiefe Inversionsuntergrenzen und Inversionsandauer gerechnet werden.

Die Höhe der Inversionsuntergrenzen ist für die lufthygienische Situation besonders bedeutsam.

Tab. 4: Höhe und Häufigkeit der Inversionsuntergrenzen in % (in Erlangen)

Anzahl der Inversionen in %	Höhe der Inversionsuntergrenzen in m ü. Gr.								
	-50	-75	-100	-125	-150	-175	-200	-250	-300
um 3h	75,1	0,3	0,8	0,6	0,9	0,7	0,7	1,6	1,5
um 15h	8,6	0,2	0,2	0,5	0,0	0,8	0,9	2,4	3,5

	Höhe der Inversionsuntergrenzen in m ü. Gr.		
	-400	-500	500
um 3h	3,8	3,1	10,9
um 15h	7,5	9,0	66,4

Quelle: HERB 1964 c, 20

Die Untergrenze der nächtlichen Inversionen liegt zu 75 % unter 50 m. Das bedeutet, daß in 3/4 aller Inversionsnächte Hausbrandemissionen unterhalb der Sperrschicht zurückgehalten werden und sich in den unteren Luftschichten sammeln (vgl. HENTSCHEL u.a. 1960, 355). Emissionen aus Turmkaminen gelangen dagegen in die Inversionsschicht und belasten erst nach deren Auflösung den Luftraum am Boden.

Oberhalb von 400 m nehmen Höheninversionen zu. Am Nachmittag haben sich die Bodeninversionen überwiegend aufgelöst. Höheninversionen bleiben dagegen häufig ganztägig erhalten, ihre Untergrenze liegt im Jahresmittel zumeist über 500 m. Hierbei handelt es sich weitgehend um Absink- oder Hebungsinversionen, seltener um Aufgleitinversionen (Tab. 5).

Im Dezember und Januar, den Monaten mit den höchsten Emissionsraten, sind hohe Inversionsgrenzen am seltensten und nachmittägliche Bodeninversionen am häufigsten. Der hohe Anteil der Bodeninversionen an Juli- und Augustnachmittagen steht im Widerspruch zu anderen Untersuchungen z.B. von Rink (1953) oder Havlik (1970).

Die Höhenlage von Inversionsuntergrenzen verändert sich während des Tages. Etwa 80 % der Inversionen steigen tagsüber an, nur 14 % sinken ab. Die Tendenz, die Höhenlage der Untergrenze beizubehalten oder abzusenken, ist von November bis Januar (Maximum: Dezember) am größten (HERB 1964 c, 17).

Im Winter, der Jahreszeit in der durch die verstärkte Heiztätigkeit der überwiegende Anteil der Schadstoffe emittiert wird, sind die Durchmischungsverhältnisse daher besonders ungünstig.

Tab. 5: Der Jahresgang der Inversionsuntergrenzen am Nachmittag in % (in Erlangen)

	Boden	bis 200 m	über 200 m	über 500 m
Januar	15,5	17,1	82,9	58,4
Februar	8,2	10,4	89,6	71,5
März	4,7	3,5	96,5	82,2
April	2,9	5,7	94,3	72,8
Mai	1,8	5,4	94,6	69,6
Juni	3,1	6,3	93,7	69,6
Juli	7,2	14,5	85,5	75,3
August	11,9	14,3	85,7	70,3
September	4,6	4,6	95,4	86,0
Oktober	2,7	3,3	96,7	80,7
November	7,1	9,4	90,6	51,9
Dezember	16,7	22,5	77,5	46,7
Jahr	8,6	11,3	90,2	70,0

Quelle: HERB 1964 c, 22

4.3.2.3 Temperaturprofile bei austauscharmem Wetter im Regensburger Stadtgebiet

Um die innerstädtischen Temperaturunterschiede in Strahlungsnächten und ihre Modifizierung durch Bodeninversionen zu untersuchen, hat die Verfasserin im Regensburger Stadtgebiet Meßfahrten durchgeführt.

Die Meßanordnung bestand aus einem ventilierten Platinwiderstandsthermometer, das in einem weiß gestrichenen Gehäuse in zwei Meter Höhe am Dach eines PKW befestigt war. Als Aufzeich-

nungsgerät diente ein Punktkompensationsschreiber, der gegen Erschütterungen unempfindlich ist, und der durch eine tragbare Stromquelle (Batterie 6 V / 180 A mit Wechselrichter) betrieben wurde. Die Belüftung des Thermometers ist erforderlich, um Temperaturschwankungen, die durch den Wechsel von Fahrt- und Haltezeiten auftreten, auszugleichen; der weiße Anstrich des Meßgehäuses verhindert eine Verfälschung der Ergebnisse, die durch den Strahlungseinfluß des Gerätes entstehen könnte. Die Meßgenauigkeit beträgt 0,1° C; die Meßbereiche können unterschiedlich programmiert werden. Bei den vorgenommenen Untersuchungen kamen Meßbereiche von - 20° bis 20° C und 0° bis 40° C zur Anwendung (Photo 11).

Da im Verlauf der mobilen Messungen nicht alle bedeutsamen Geländepunkte angesteuert werden konnten, wurden zunächst drei Meßrouten ausgewählt, um möglichst viele charkteristische Teilräume zu erfassen (Karte 8).

Die Meßrouten verlaufen von:

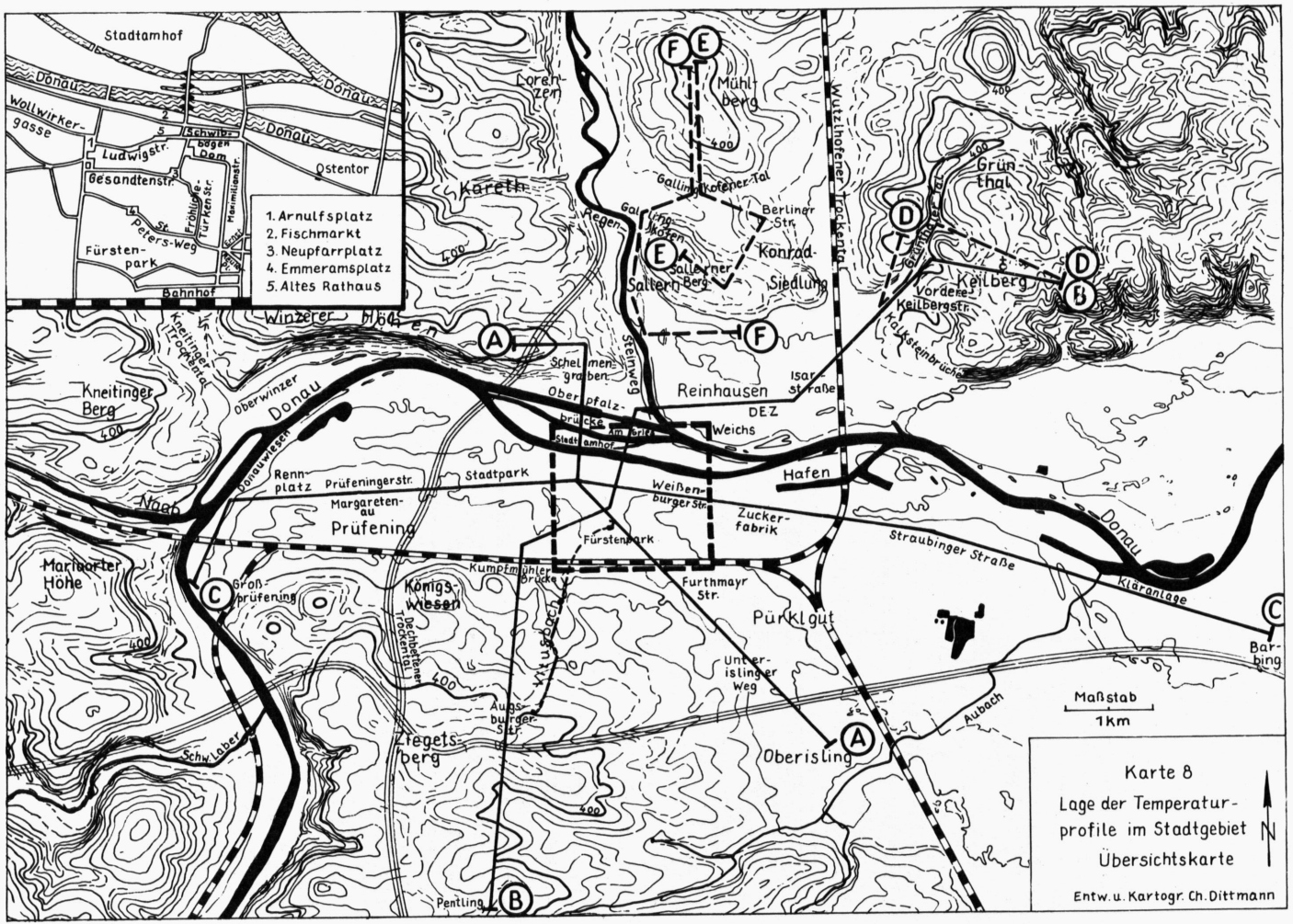
A: Winzerer Höhen - Oberisling	10 km
B: Pentling - Keilberg	15 km
C: Großprüfening - Barbing	12 km

Auf diesen Routen konnten die Temperaturunterschiede zwischen bebauten oder unbebauten Randhöhen zur Innenstadt sowie zwischen bebauter oder unbebauter Ebene zur Innenstadt erfaßt werden. Die Strecken wurden ferner so gelegt, daß sie sich in der Innenstadt überkreuzen. Auf diese Weise war es möglich, die Veränderungen der Temperatur während des mehrstündigen Meßzeitraums zu erfassen. Die Meßfahrten erfolgten am frühen Nachmittag und nachts. Vor jeder Fahrt wurden in der Wetterstation die Werte von Windstärke, Bewölkungsgrad und Lufttemperatur erfragt. Die Abbildungen 19 - 21 zeigen Temperaturprofile durch das Stadtgebiet von Regensburg bei austauscharmen Wetterlagen, bei Nebel und Strahlungswetter.

Route A

Die Meßroute A verläuft in Nord-Südrichtung von den Winzerer Höhen nach Oberisling und weist eine Höhendifferenz von 90 m auf. Die auf dieser Strecke gemessene maximale Temperaturdifferenz zwischen Stadtkern und den freien Feldern im Süden betrug 6,2°. Bei klarem Wetter treten nachts größere Temperaturdifferenzen auf; bei Nebel wurden dagegen tagsüber größere Temperaturschwankungen verzeichnet (vgl. Abb. 19).

Die innerstädtische Wärmeinsel ist zwar in unterschiedlicher Intensität, aber bei jedem Wetter tagsüber und nachts ausgeprägt. Sie reicht von der Gesandtenstraße bis zur Fröhlichen-Türken-Straße und wird durch die Kälteinseln Donau und Fürsten-


Stadtamhof
Donau
Wallwirkergasse
Ludwigstr.
Schwibbogen
Dom
Ostentor
Gesandtenstr.
Fürstenpark
St. Peters-Weg
Frühlingstr.
Türkenstr.
Maximiliansstr.
Bahnhof
1. Arnulfsplatz
2. Fischmarkt
3. Neupfarrplatz
4. Emmeramsplatz
5. Altes Rathaus
Winzerer Höhen
Kneitinger Berg
Kneitinger Trockental
Oberwinzer Donau
Donauwiesen
Renn-platz
Prüfeninger Str.
Stadtpark
Margareten-au
Prüfening
Naab
Marxloher Höhe
Groß-prüfening
Königs-Wiesen
Dechbettener Trockental
Schwabelweiser Graben
Ziegetsberg
Augsburger Str.
Pentling
Schwabelweis
Lorenzen
Karett
Mühlberg
Gallingkofener Tal
Berliner Str.
Konrad-Siedlung
Saltern
Saltenner Berg
Regen-
Frohnhofen
Wutzlhofener Trockental
Grünthal
Keilberg
Vordere Keilbergstr.
Kalksteinbrüche
Schellmengraben
Steinweg
Reinhausen
Isarstraße
Oberpfalzbrücke
Stadtamhof
Am Harfen
DEZ
Weichs
Hafen
Weißenburger Str.
Zuckerfabrik
Fürstenpark
Kumpfmühler Brücke
Furthmayr Str.
Pürklgut
Straubinger Straße
Kläranlage
Barbing
Unterislinger Weg
Oberisling
Aubach
Maßstab
1 km
Karte 8
Lage der Temperaturprofile im Stadtgebiet
Übersichtskarte
N
Entw. u. Kartogr. Ch. Dittmann

park begrenzt. Es zeigt sich, daß der kühlende Einfluß der Donau besonders am Weißgerbergraben relativ weit in das Bebauungsgebiet vordringt, da er hier nicht durch Uferbebauung blockiert wird. Sehr wirksam ist auch der Einfluß des Fürstenparks, der bei jedem Wetter wahrnehmbar ist. Er reicht relativ weit in die Fröhliche-Türken-Straße hinein, in der in Strahlungsnächten Temperaturdifferenzen bis zu 2° C gemessen werden können.

An heißen Sommertagen tritt das Temperaturmaximum nicht immer im Stadtkern auf, da die Abschattung der engen Straßen eine weitere Überwärmung verhindert. Die höchsten Temperaturen werden dann in den sonnigen, breiten Ausfallstraßen gemessen (29.5.1979 - Furthmayrstraße).

Sekundäre Wärmeinseln befinden sich in Stadtamhof und im Gebiet der Furthmayrstraße, das mit mehrspurigen Asphaltstraßen und Wohnblocks mit wenig Grünflächen bebaut ist. Auch der Betonkörper der Oberpfalzbrücke und die ausgedehnten Teerflächen der vierspurigen Zubringerstraßen bilden eine überwärmte Zone. Dadurch wird der Kaltluftstrom aus dem Schelmengraben blockiert. Im Stadtsüden (Unterislinger Weg) nimmt die Temperatur entsprechend der geringer werdenden Bebauungsdichte langsam ab. Sehr deutlich ist bei Strahlungswetter der Temperatursprung am Bebauungsrand, obwohl hier Einzelhäuser mit Gärten an die Felder der Donauebene grenzen. Als kräftige Wärmeinsel tritt der Stadteil Oberisling in Erscheinung, was von der Bausubstanz und geringen Flächenausdehnung her überrascht. Die Temperaturen in Oberisling entsprechen aber weitgehend denjenigen am Bebauungsrand an der Bajuwarenstraße. Am Ortsende von Oberisling sinkt die Temperatur wieder auf die Freilandwerte.

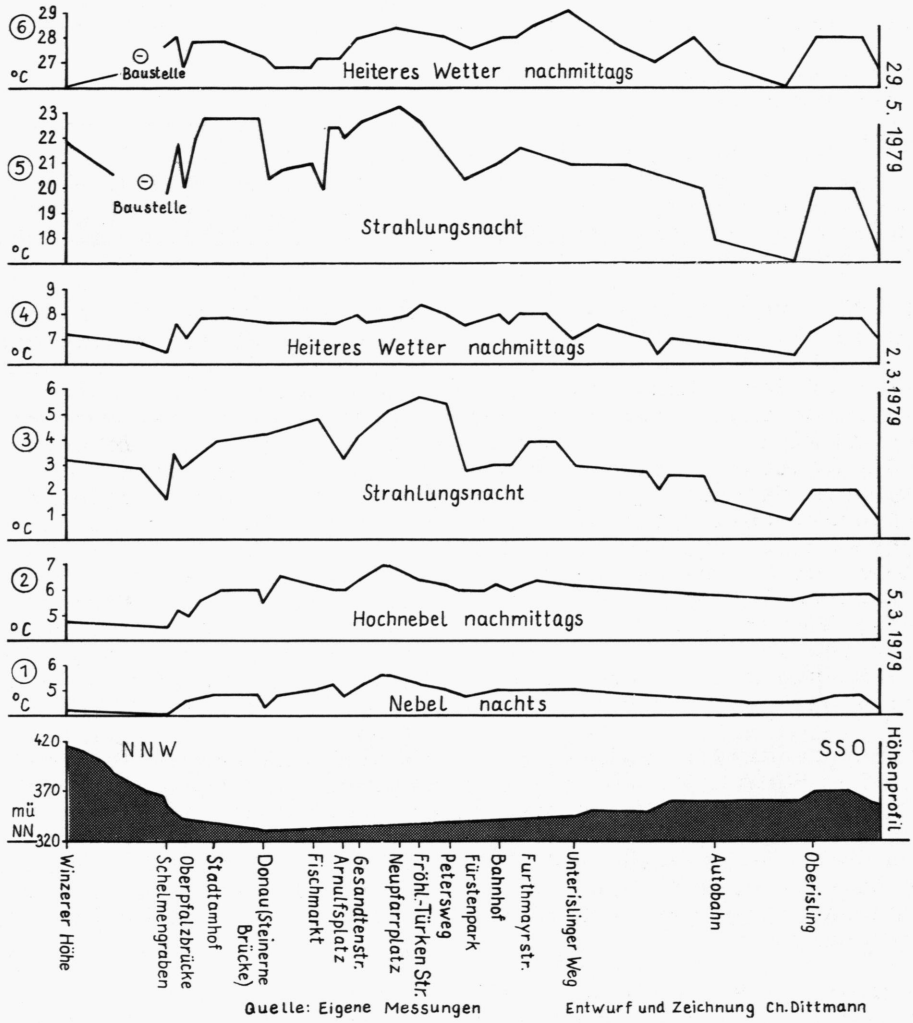
Vergleicht man die Temperaturen in Strahlungsnächten auf den Winzerer Höhen mit den Temperaturen im Dungau, so zeigt sich deutlich, daß sich Bodeninversionen ausgebildet haben. In der Nacht vom 29.5.1979 beträgt die Temperaturdifferenz auf etwa 60 m Höhenunterschied 5° C! Im Stadtkern wirkt die Überwärmung der Kaltluftbildung entgegen; aber bereits in den weniger dicht bebauten Siedlungen am Stadtrand tritt isotherme oder inverse Schichtung auf.

Bei mehrtägigem Nebel unterhalb von Absinkinversionen kann sich dagegen nachts keine Bondeninversion ausbilden, da die Lufttrübung die Ausstrahlung behindert. Tagsüber sind die vertikalen Temperaturgradienten bei jedem Wetter positiv.

Route B

Die Meßroute B weist mit etwa 150 m die größte Höhendifferenz auf. Sie verläuft von den südwestlichen Randhöhen durch das Regensburger Becken auf den Keilberg im Nordosten. Auf dieser Route wird die Wärmeinsel des Stadtkerns nachts durch die Gleisanlagen der Bundesbahn im Süden und die Donau im Norden begrenzt.

Abb.19 Die Temperaturunterschiede im Stadtgebiet von Regensburg (Profil A)



Quelle: Eigene Messungen Entwurf und Zeichnung Ch. Dittmann

Der Stadtteil Ziegetsdorf befindet sich in einer Übergangszone zwischen Kaltluftbildung und städtischer Überwärmung. Die höher gelegenen Randbezirke des Stadtteils stehen noch im Einflußbereich der Bodeninversion. Im Verlauf der Augsburger Straße, die steil abwärts in die Regensburger Bucht führt, sinkt die Temperatur zunächst ab. Auf halber Höhe wird dann der Überwärmungseffekt wirksam, der zunächst Isothermie, dann einen Temperaturanstieg verursacht. Weitere Wärmezonen bilden die Stadtteile Weichs, Reinhausen und Konradsiedlung nördlich der Donau. Als Kaltflächen erweisen sich nachts das Bundesbahngelände und die Donau, in deren Einflußbereich der Stadteil Am Gries liegt. Besonders ausgeprägt ist in Strahlungsnächten der Kaltluftsee im Grünthaler Tal; zur Höhe des Keilberges erfolgt dann eine rasche Temperaturzunahme.

Der Einfluß nächtlicher Bodeninversionen auf die innerstädtischen Temperaturunterschiede zeigt sich bei Meßroute B besonders deutlich (Abb. 20). In den meisten Strahlungsnächten verhindert die innerstädtische Überwärmung die Bildung von negativen Temperaturgradienten in den unteren Luftschichten oberhalb des Stadtkerns (1). In Regensburg ist die Tendenz zur Bodeninversionsbildung jedoch so stark, daß die Temperatur in Strahlungsnächten auf den unbebauten Randhöhen größer sein kann als in der überwärmten Innenstadt (Abb. 20,5: Felder bei Pentling (430 m ü. NN): 21,3° C / Stadtkern (330 m ü. NN): 20,4° C). Das bedeutet, daß in extremen Strahlungsnächten auch im Stadtkern negative Gradienten auftreten, die sich zu den Randbezirken hin verschärfen.

Tagsüber weist das Temperaturprofil geringere Schwankungen auf und zeigt teilweise veränderte Wärme- und Kälteinseln: Anders als die Donau, die tagsüber und nachts abkühlend wirkt, tritt das Bundesbahngelände an heißen Tagen als Wärmeinsel heraus. In der schattigen Innenstadt, die nachts eine geschlossene Wärmeinsel bildet, sind tagsüber geringere Temperaturen zu verzeichnen als in den sonnigen Straßen und Plätzen.

Das Temperaturprofil ist in Nebelnächten sehr ausgeglichen, da die Ausstrahlung behindert wird. Es treten positive Temperaturgradienten auf.

Route C

Die Meßroute C verläuft in West-Ost Richtung nach Barbing mit einer Höhendifferenz von etwa 25 m. Auf dieser Strecke wurden die geringsten Temperaturunterschiede zwischen Stadtkern und Umland gemessen; die maximale Temperaturdifferenz betrug 5,6° C (Abb. 21).

(1) Anm.: Häufig treten über Städten überadiabatische Gradienten auf, wenn über Freiland stabile Schichtung herrscht (vgl. MC CORMIC u.a. 1969, 97/Fig. 26).

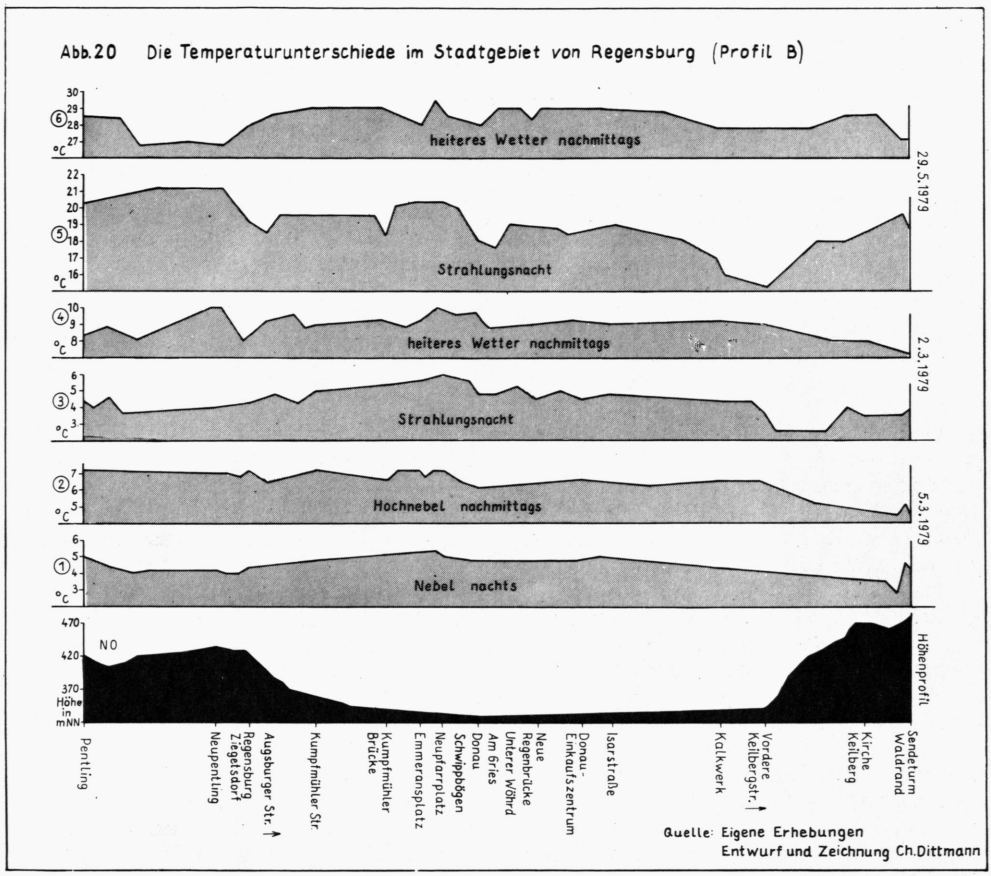


Abb.20 Die Temperaturunterschiede im Stadtgebiet von Regensburg (Profil B)
heiteres Wetter nachmittags
29.5.1979
Strahlungsnacht
heiteres Wetter nachmittags
2.3.1979
Strahlungsnacht
Hochnebel nachmittags
5.3.1979
Nebel nachts
°C
NO
Höhe in mNN
Höhenprofil
Pentling
Neupentling
Regensburg Ziegetsdorf
Augsburger Str.
Kumpfmühler Str.
Kumpfmühler Brücke
Emmeransplatz
Neupfarrplatz
Schwippbögen
Donau
Am Gries
Unterer Wöhrd
Neue Regenbrücke
Donau-Einkaufszentrum
Isarstraße
Kalkwerk
Vordere Keilbergstr.
Kirche Keilberg
Sendeturm Waldrand
Quelle: Eigene Erhebungen
Entwurf und Zeichnung Ch.Dittmann

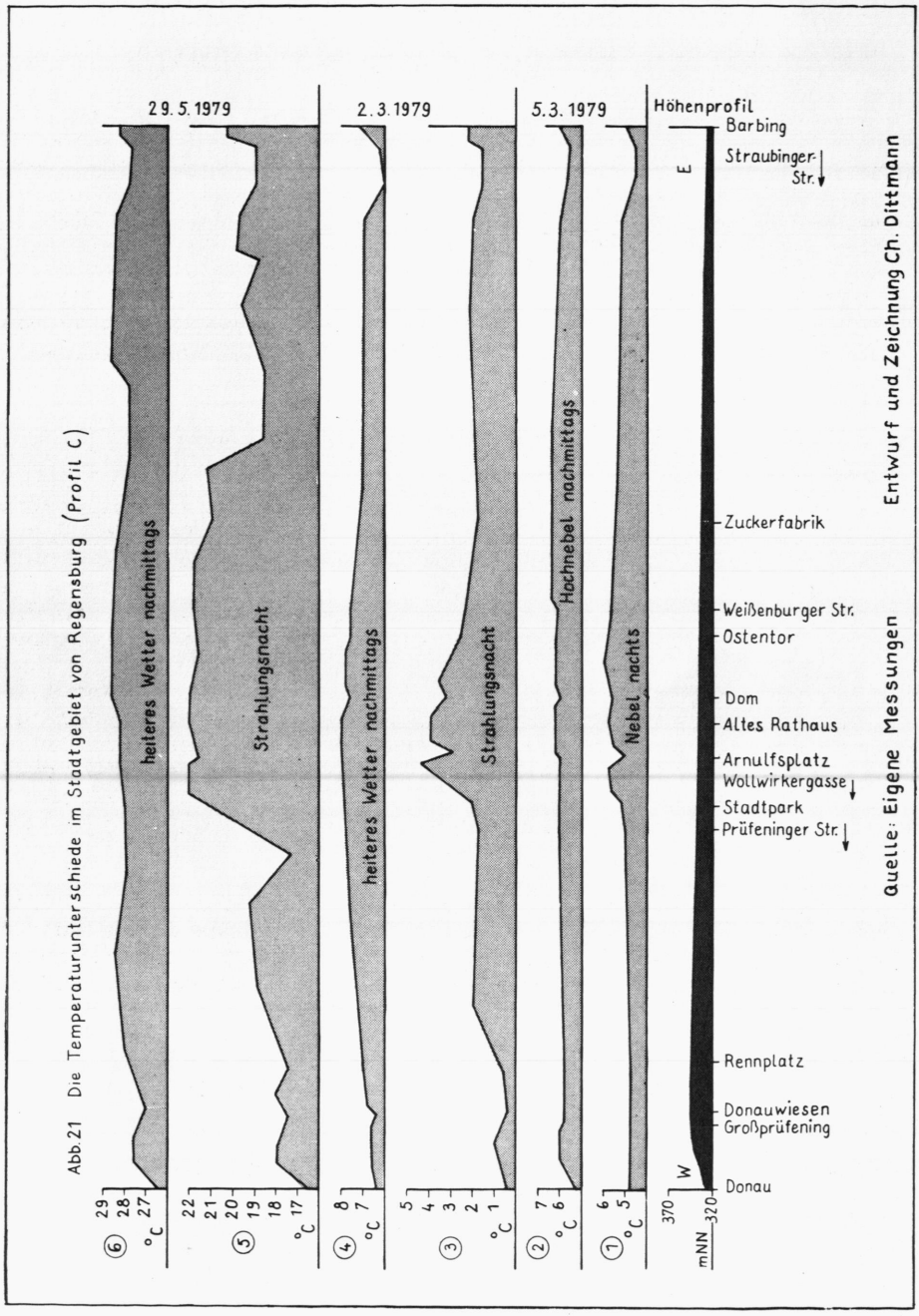


Abb. 21 Die Temperaturunterschiede im Stadtgebiet von Regensburg (Profil C)

Die innerstädtische Wärmeinsel ist nachts deutlich ausgeprägt. Im Westen wird sie scharf durch den Einfluß des Stadtparks, der durch den Alleegürtel und die Hausgärten verstärkt wird, begrenzt. In Margaretenau, einem Geländeabschnitt, in dem Wohnblocks ohne Vorgärten überwiegen, erhöht sich die Temperatur wieder. In Großprüfening bildet sich eine schwache sekundäre Wärmeinsel aus. Die niedrigsten Temperaturen werden am Donauufer gemessen. Im Osten breitet sich entlang der Straubinger Straße das Industriegebiet der Stadt aus. Die Temperaturen schwanken in Abhängigkeit von der Bebauungsdichte und Höhe der Gebäude. Eine kleine sekundäre Wärmeinsel ist häufig in der Nähe der Kläranlage festzustellen. Als Ursache hierfür wird die Strahlungswirkung der beiden großen Metallbehälter, in denen Methan erzeugt und gespeichert werden soll, angenommen. Am Ortsrand von Barbing steigt die Temperatur wieder an.

Tagsüber ist auf dieser Meßroute die Überwärmung der Kernstadt am wenigsten erkennbar. Die Hauptursache dafür ist, daß bei Route C die Donau nicht überquert wird, die auf den anderen Meßstrecken eine deutliche Abgrenzung des Kernstadttemperaturbereichs bewirkt. Der abkühlende Einfluß des Stadtparks ist nur nachts spürbar; tagsüber ist im Gegensatz zum Fürstenpark keine klimaökologische Wirkung auf das umliegende Bebauungsgebiet nachweisbar. Auch bei Route C werden an heißen Tagen die höchsten Temperaturen in den breiten Verkehrsstraßen gemessen.

Temperaturunterschiede zwischen Innenstadt und Stadtrand treten also bei jeder Wetterlage auf, und nicht immer werden nachts größere Temperaturdifferenzen verzeichnet als tagsüber. In Strahlungsnächten ist nach heißen Nachmittagen die Differenz zwischen Innenstadt und Umland ausgeprägter als nach kühlen Nachmittagen. Daher ist der Temperaturunterschied in klaren Sommernächten in der Regel größer.

Der Wärmeinseleffekt ist aber nur zum Teil mit dem Logarithmus der Einwohnerzahl korrelierbar. Eine wesentliche Rolle spielt die orohydrographische Lage der Stadt. So betrug die maximal gemessene Überwärmung in (ERIKSEN 1978, 256; EMONDS in OLSCHOWY 1978, 225 f.):

Hannover	4,5° C	ca.	543.000 Ew
Regensburg	6,5° C	ca.	132.000 Ew
Karlsruhe	7,0° C	ca.	271.000 Ew
München	7,0° C	ca.	1.300.000 Ew
Berlin	9,5° C	fast	5.000.000 Ew
London	9,5° C	fast	10.000.000 Ew

Städte wie Regensburg oder Karlsruhe, die in Flußtälern liegen und von Randhöhen umsäumt sind, weisen eine wesentlich stärkere Überwärmung auf als von der Einwohnerzahl her zu erwarten wäre. Die Ursache hierfür sind Bodeninversionen, die sich in klaren Nächten ausbilden und eine stärkere Abkühlung des Umlands bewirken. Dagegen ist die Temperaturdifferenz in Städten, die in gut durchlüfteten Ebenen liegen, gemessen an der Einwohnerzahl, wesentlich geringer. So weist München, das etwa zehnmal so groß ist wie Regensburg, nur eine geringfügig höhere maximale Überwärmung auf; und in London schwächt der maritime Einfluß den Wärmeinseleffekt ab.

4.3.2.4 Die Lage der Isothermen im Stadtgebiet von Regensburg in Strahlungsnächten

Karte 9 gibt einen Überblick über die Verteilung der Temperatur im gesamten Stadtgebiet in Strahlungsnächten. Zur Anfertigung dieser Karte wurde in der Nacht vom 26.6. - 27.6.1979 im Stadtgebiet eine Meßstrecke von etwa 200 km zurückgelegt (1).

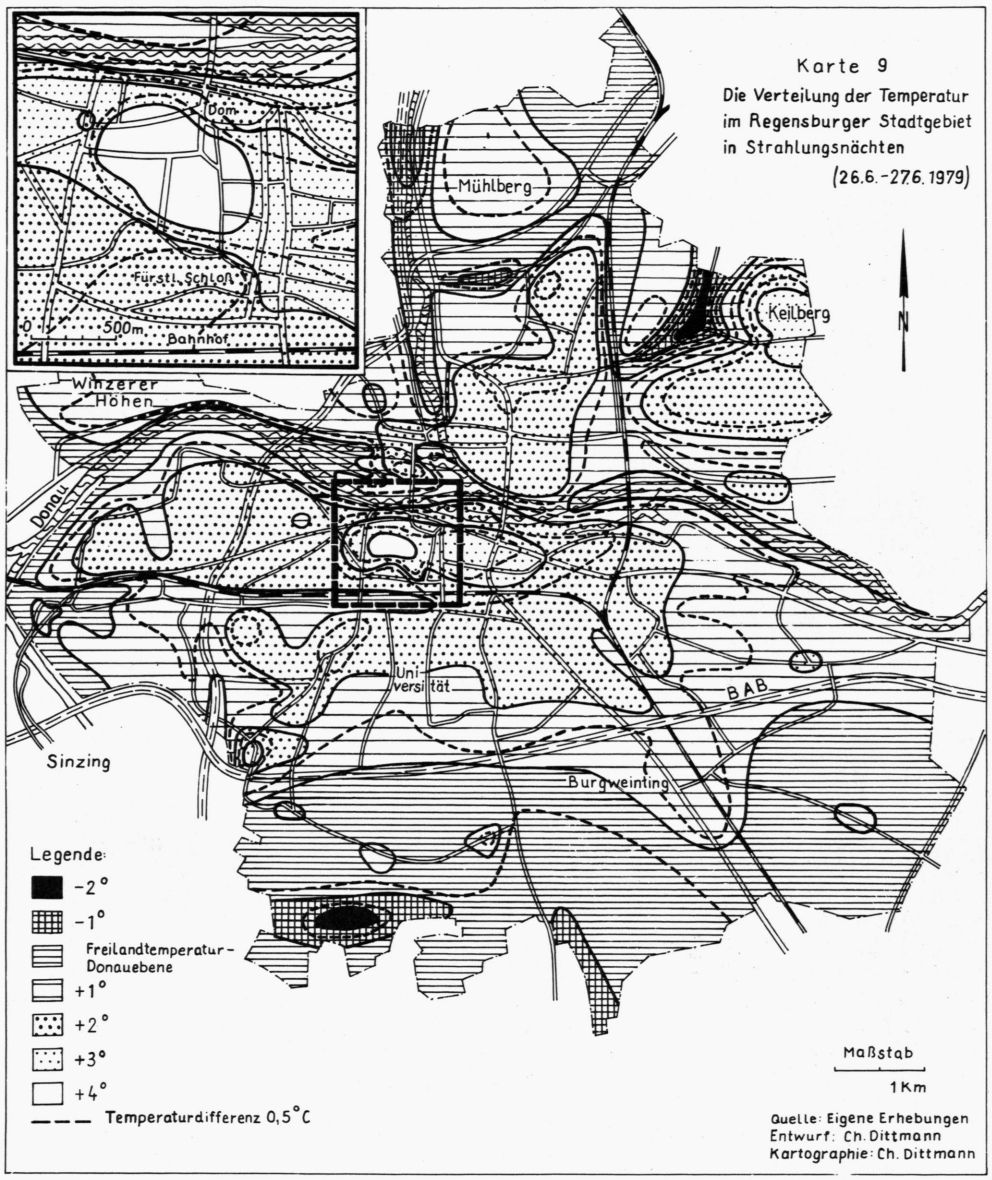
Um die Temperaturabsenkung, die zwischen 22 Uhr und 4 Uhr insgesamt 4° C betrug, zu berücksichtigen, überschnitt sich die Meßstrecke an vielen Punkten. Die Lage der Isothermen wurde auf 24 Uhr MEZ bezogen.

Der Einwand von Eriksen (1975, 19 f.), es sei problematisch, die fehlenden Meßpunkte über Häuserblocks hinweg zu interpolieren, ist berechtigt. Aber eine lückenlose Erfassung städtischer Temperaturunterschiede ist nur mit Hilfe des Infrarotluftbilds möglich. Eine Befliegung der Regensburger Bucht würde aber mehr als DM 10.000,-- kosten. Deshalb ist die mobile Temperaturmessung in vielen Fällen die einzige, praktikable Lösung, um innerstädtische Temperaturunterschiede zu untersuchen.Durch die sorgfältige Auswahl der Meßroute und die Erfassung möglichst vieler Punkte wurde das Risiko, wesentliche Temperaturdifferenzen zu übersehen, vermindert. Da bei stärkerer Lufttrübung eine Luftbildkartierung nicht möglich ist, stellt die mobile Temperaturmessung darüber hinaus die einzige Methode dar, die bei jedem Wetter durchgeführt werden kann.

Karte 9 veranschaulicht die Wärme- und Kältezonen im Regensburger Stadtgebiet in Strahlungsnächten. Es überlagert sich der Einfluß der Bodeninversionen im Donautal mit der Wirkung der städtischen Überwärmung.

Die höchsten Temperaturen treten in der Altstadt zwischen Gesandtenstraße und Maximilianstraße, Donauufer und Fürstenpark auf. Im Osten schwächt sich die Temperatur langsam ab, da hier die Bebauungsdichte langsam zurückgeht. Im Westen ist die Wärmeinsel scharf begrenzt, was auf den Einfluß des Stadtparks, der

(1) Meßanordnung: vgl. 4.3.2.3


Karte 9
Die Verteilung der Temperatur im Regensburger Stadtgebiet in Strahlungsnächten
(26.6.-27.6.1979)
Dom
Fürstl. Schloß
0
500m
Bahnhof
Mühlberg
Keilberg
N
Winzerer Höhen
Donau
Universität
BAB
Sinzing
Burgweinting
Legende:
-2°
-1°
Freilandtemperatur-Donauebene
+1°
+2°
+3°
+4°
Temperaturdifferenz 0,5°C
Maßstab
1 Km
Quelle: Eigene Erhebungen
Entwurf: Ch. Dittmann
Kartographie: Ch. Dittmann

durch die Gartensiedlung intensiviert wird, zurückzuführen ist (vgl. Profil C). Als weitere Wärmeinseln treten die auf den Randhöhen gelegenen Stadtteile Ziegetsdorf und Keilberg heraus (vgl. Profil B). Die Überwärmung wird hier nur zum geringen Teil durch den Einfluß der Bausubstanz hervorgerufen. Die Randhöhen der Regensburger Bucht (Winzerer Höhen, Sallerner Berg, Mühlberg, Brandlberg, Keilberg, Ziegetsberg) liegen in Strahlungsnächten im Bereich der warmen Hangzone, während im Donautal Bodenkaltluft aufliegt. Weitere sekundäre Wärmeinseln bilden der Stadtbezirk Kumpfmühl sowie die Hochhaussiedlungen von Königswiesen und an der Berliner Straße, die auf kleinen Anhöhen liegen. In diesen Neubaugebieten überlagern sich die Wirkungen der warmen Hangzone und Überwärmung durch die Bausubstanz.

Die tiefsten Temperaturen im Stadtgebiet treten in den Trockentälern und feuchten Mulden am Stadtrand auf. Im Grünthaler Tal, im Nordosten, bildet sich in Strahlungsnächten eine besonders kräftige Bodeninversion aus, denn die Kaltluft kann an den steilen, mit Trockenrasen bewachsenen Hängen des Keilbergs und Brandlbergs nahezu ungehindert abfließen. Temperaturgradienten zwischen Talsohle und Keilberg von -3° C bis -4° C treten in Strahlungsnächten häufig auf. Der Kaltluftsee dieses Trockentals umschließt die Ortschaft Grünthal und fließt hauptsächlich über Irlbach ins Wenzenbachtal ab. Auch im Gallingkofener Trockental sammelt sich ein Kaltluftsee. Wegen der breiteren Talsohle und den mäßig steilen Hängen sind Bodeninversionen hier nicht so stark ausgeprägt wie im Grünthaler Trockental. Ein weiteres Kälteloch ist das Langer Graben-Tal im Süden der Stadt, dessen charakteristische Vegetation aus Feuchtwiesen und einem Erlenbruchwald besteht. Neben der Kaltluftbildung durch Ausstrahlung werden die tiefen Temperaturen hier vor allem durch Verdunstungskälte verursacht. Das Langer Graben-Tal ist auch gleichzeitig das Gelände mit der höchsten relativen Feuchte im Stadtgebiet (vgl. Karte 10).

In den Flußtälern sinken die Temperaturen in Strahlungsnächten weniger stark ab als in den Trockentälern. Dies wird einerseits durch die Ausgleichswirkung der Wasserflächen verursacht. Andererseits kann wegen der Bebauung der Ufer und Talhänge kaum noch Kaltluft von den Randhöhen den Flußtälern zufließen. Nur in der feuchten Regenaue im Stadtnorden werden ebenso tiefe Temperaturen wie in den Trockentälern verzeichnet. Im Kernstadtbereich wird die Kaltluft in den Flußtälern stellenweise durch die Überwärmung der Baukörper beeinflußt. In Reinhausen ist an den Ufern des Regens das Kaltluftband unterbrochen. Dies wird durch die Überwärmungswirkung der dichten Uferbebauung, aber besonders durch die Betontrasse einer fünfspurigen Straße neben der Bäckergasse verursacht. Da sich die Donau im Kernstadtbereich in mehrere Arme teilt und die Inselspitzen des Oberen und Unteren Wöhrd mit Pappeln und Weiden bestanden sind, wird ein Abreißen des Kaltluftbandes in dieser Zone verhindert. Aus stadtklimatischen Gründen ist die Erhaltung dieser Grünflächen, die

bei Hochwasser überschwemmt werden, dringend notwendig. Es ist zu erwarten, daß der Bau der geplanten Hochwassermauer in Stadtamhof den Kaltluftstrom behindern wird (vgl. Regental - Bäckergasse).

Das Gegeneinanderwirken von städtischer Überwärmung und Bodenkaltluft im Donautal ist für die Temperaturunterschiede im Regensburger Stadtgebiet charakteristisch. Karte 9 zeigt die typische Situation in Strahlungsnächten, in der die Überwärmung des Stadtkerns größer ist als die Temperaturen der warmen Hangzone auf den Randhöhen. Während nächtlicher Bodeninversionen wirkt daher die Überwärmung der Innenstadt der Stabilisierung der Luftschichten entgegen.

Bei Absinkinversionen, die vor allem im Herbst und Winter auftreten und durch die Großwetterlage bedingt sind, kann der städtische Überwärmungseffekt dagegen nicht zur Verbesserung der Austauschbedingungen beitragen. Unterhalb der Sperrschicht sind zwar kleinräumige Zirkulationsströmungen möglich (z.B. zwischen Bebauungsgebieten und Grünflächen). Diese können aber bei länger anhaltendem Inversionswetter keine Verbesserung der lufthygienischen Situation bewirken.

4.3.2.5 Die Beeinflussung nächtlicher Bodeninversionen durch Hangbebauung

Im vorigen Kapitel wurde gezeigt, daß in Strahlungsnächten wechselseitige Beziehungen zwischen städtischer Überwärmung und Bodenkaltluftbildung bestehen. Für die Beurteilung der Inversionsintensität und der Frischluftströme in den verschiedenen Geländeabschnitten ist eine nähere Untersuchung der Beziehungen zwischen Bebauung und Kaltluftbildung nötig.

Die Abkühlung der bodennahen Luftschichten vollzieht sich durch turbulenten und molekularen Luftaustausch. Kalte Luft ist schwerer als warme und hat das Bestreben, sich unter wärmere Luftschichten zu schieben. In hügeligem Gelände führt dies nachts zu Ausgleichsströmungen.

Durch die Ausstrahlung bildet sich in klaren, windstillen Nächten zunächst überall eine Kaltluftschicht über dem Boden. An einem Hang liegt dann - die gleiche vertikale Mächtigkeit der Kaltluftschicht vorausgesetzt - wärmere Luft oberhalb tieferer Geländeteile neben kälterer Luft oberhalb höheren Geländes. Wenn dieser horizontale Dichteunterschied 1 - 2 % beträgt, wird der Ausgleichsvorgang eingeleitet: die kältere Luft an den Hängen strömt in tiefere Lagen ab und wird durch wärmere Luft ersetzt. Je steiler der Hang und je geringer die Bodenreibung, um so rascher kann die Kaltluft abfließen. Die dabei entstehenden Kaltluftströmungen sind jedoch schwach und erreichen nur selten das Maximum von 1 - 1,5 m/sec. In Tälern und Mulden bilden sich Kälte"seen" (GEIGER 1942, 181 ff. / 197; BAUMÜLLER 1974, 47) (vgl. Photo 16).

Durch Hindernisse, wie Dämme, Bebauung oder dichte Vegetation kann der Kaltluftfluß gestaut werden. Oberhalb der Barriere bildet sich ein Kälte"see". Das Gelände ist frostgefährdet, während unterhalb die Temperatur wieder ansteigt, weil die Kaltluft ungehindert abfließen kann (vgl. KING 1973; SCHNEIDER 1972; V. EIMERN 1971, 153 ff.).

Der Einfluß von Einfamilienhäusern auf Bodeninversionen

Als Beispiel für die Beeinflussung von Bodeninversionen durch Einfamilienhäuser wurde die Meßroute Keilberg - Grünthaler Trockental - Brandlberg gewählt (vgl. Karte 8, Profil D - Abb. 22) (1). Das Grünthaler Trockental ist der am stärksten von Bodeninversionen betroffene Geländeabschnitt im Stadtgebiet und daher für die Untersuchung der Bodenkaltluftverhältnisse besonders geeignet.

Auf der Kuppe des Keilbergs treten im Stammraum eines Fichtenforstes erniedrigte Temperaturen auf. Da sich die Energieumsätze im Kronenraum abspielen, verlaufen die Temperaturschwankungen im Stammraumbereich gemäßigter. In der Regel ist es deshalb tagsüber im Wald kühler und nachts wärmer als im Freiland. In Strahlungsnächten fließt jedoch die Kaltluft von den kahlen Hängen (ackerbauliche Nutzung) rascher ab. Daher erhöhen sich außerhalb des Waldes auf den freien Feldern der Hochfläche die Temperaturen um etwa 2° C. Bewaldete Hänge reduzieren somit nachts den Kaltluftabfluß und wirken der Bodeninversionsbildung entgegen. Es treten in bewaldeten Tälern bei nächtlichem Strahlungswetter weniger extreme negative Temperaturgradienten auf als bei kahlen Talhängen.

Die Bebauung des Ortsteils Keilberg ist sehr locker. Sie besteht zu 79 % aus Ein- oder Zweifamilienhäusern, die mit Obstgärten umgeben sind. Dazwischen sind Erdbeerfelder und Wiesen eingestreut. In der gesamten Siedlungsfläche, die sich über eine vertikale Distanz von 50 m erstreckt, herrscht Isothermie. Am Bebauungsrand, bei der Hinteren Keilbergstraße, die steil abwärts in das Grünthaler Trockental führt, erfolgt eine plötzliche Temperaturabnahme.

Am Boden des Grünthaler Trockentals treten die tiefsten Temperaturen kurz vor dem Ortsrand der Siedlung Brandlberg auf. Dieser Geländeabschnitt ist äußerst frostgefährdet. Die größte gemessene Temperaturdifferenz zwischen Talboden und Keilberg (Höhenunterschied 120 m) betrug 6° C; das entspricht einem vertikalen Temperaturgradienten von -5° C (vgl. Abb. 22). Auch die Siedlungsfläche der Ortschaft Brandlberg, die aus Einfamilienhausbebauung besteht, aber am Hangfuß liegt, erstreckt sich über eine vertikele Distanz von 50 m. Im Gegensatz zur Ortschaft Keilberg tritt hier aber ein Temperaturunterschied von 4,8° C auf. Am oberen Ortsende erfolgt über Grünland (Wiesen) ein Temperaturrückgang von etwa 1° C.

(1) Meßanordnung: vgl. 4.3.2.3

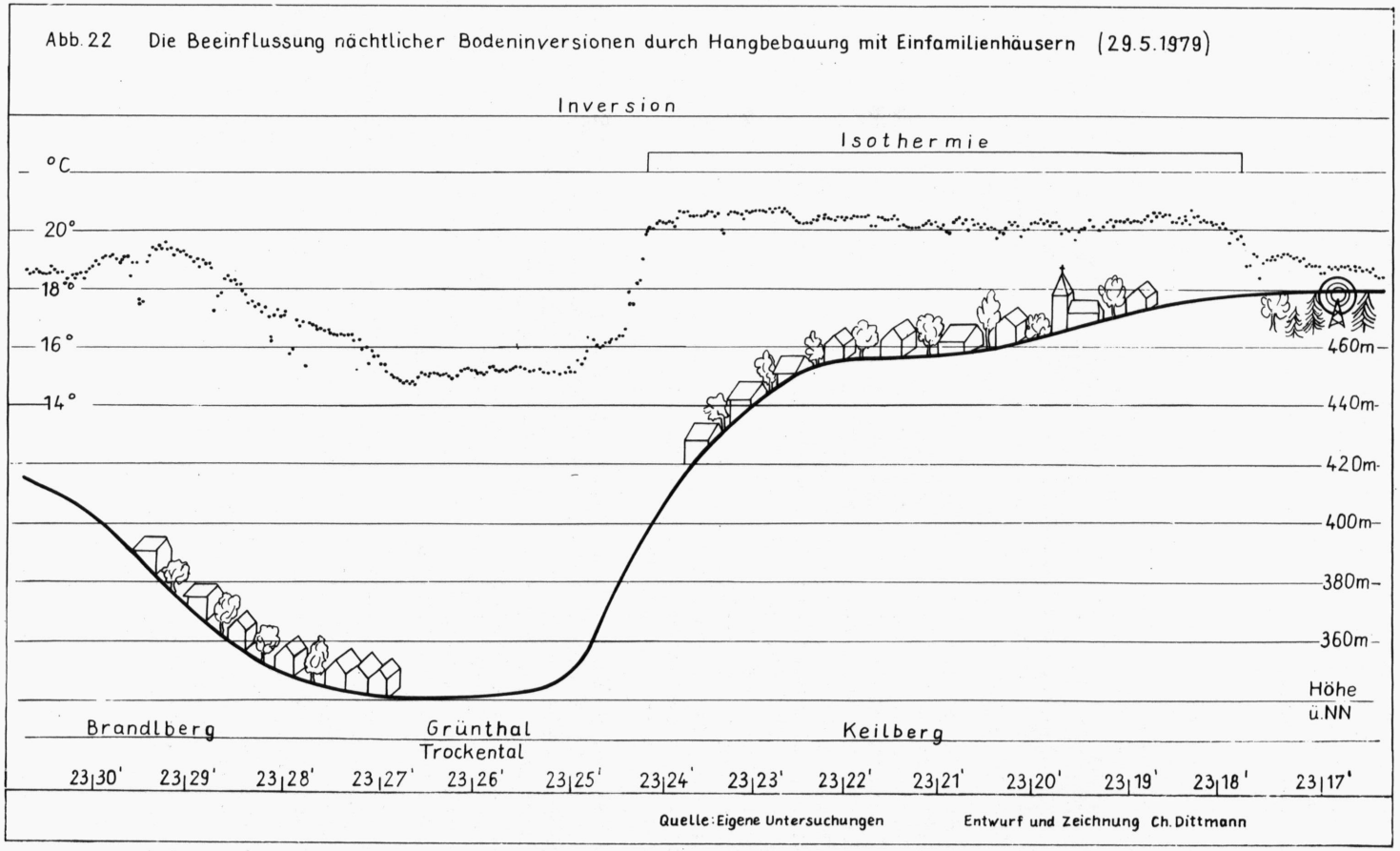


Abb. 22 Die Beeinflussung nächtlicher Bodeninversionen durch Hangbebauung mit Einfamilienhäusern (29.5.1979)
Inversion
Isothermie
°C
20°
18°
16°
14°
460m
440m
420m
400m
380m
360m
Höhe ü.NN
Brandlberg
Grünthal
Trockental
Keilberg
23|30'
23|29'
23|28'
23|27'
23|26'
23|25'
23|24'
23|23'
23|22'
23|21'
23|20'
23|19'
23|18'
23|17'
Quelle: Eigene Untersuchungen
Entwurf und Zeichnung Ch. Dittmann

Da beide Siedlungen sehr locker gebaut sind, können die Temperatursprünge nicht allein durch die Überwärmung der Gebäude hervorgerufen sein. Es ist vielmehr anzunehmen, daß in den steilen Ortsstraßen ein Kaltluftabfluß stattfindet. In Brandlberg sammelt sich die Kaltluft im unteren Ortsteil; unterhalb des Keilbergs verursachen Gebüsche einen Kaltluftstau.

Der Einfluß von Hochhäusern auf Bodeninversionen

In Regensburg wurden Hochhäuser bevorzugt auf Hügelkuppen gebaut. Am Beispiel der Hochhaussiedlung "Berliner Straße" wurde untersucht, auf welche Weise die Planung die nächtlichen Ausstrahlungsverhältnisse beeinflußt. Das Gelände ist für eine derartige Untersuchung besonders geeignet, da die Hochhaussiedlung an das Gallingkofener Trockental angrenzt und zum Vergleich die Temperaturen auf dem unbebauten Mühlberg gemessen werden konnten. Die Meßroute verläuft vom Sallerner Berg (390 m ü. NN) über die Berliner Straße (365 m ü. NN) auf den Mühlberg (410 m ü. NN) (Karte 8, Profil E - Abb. 23).

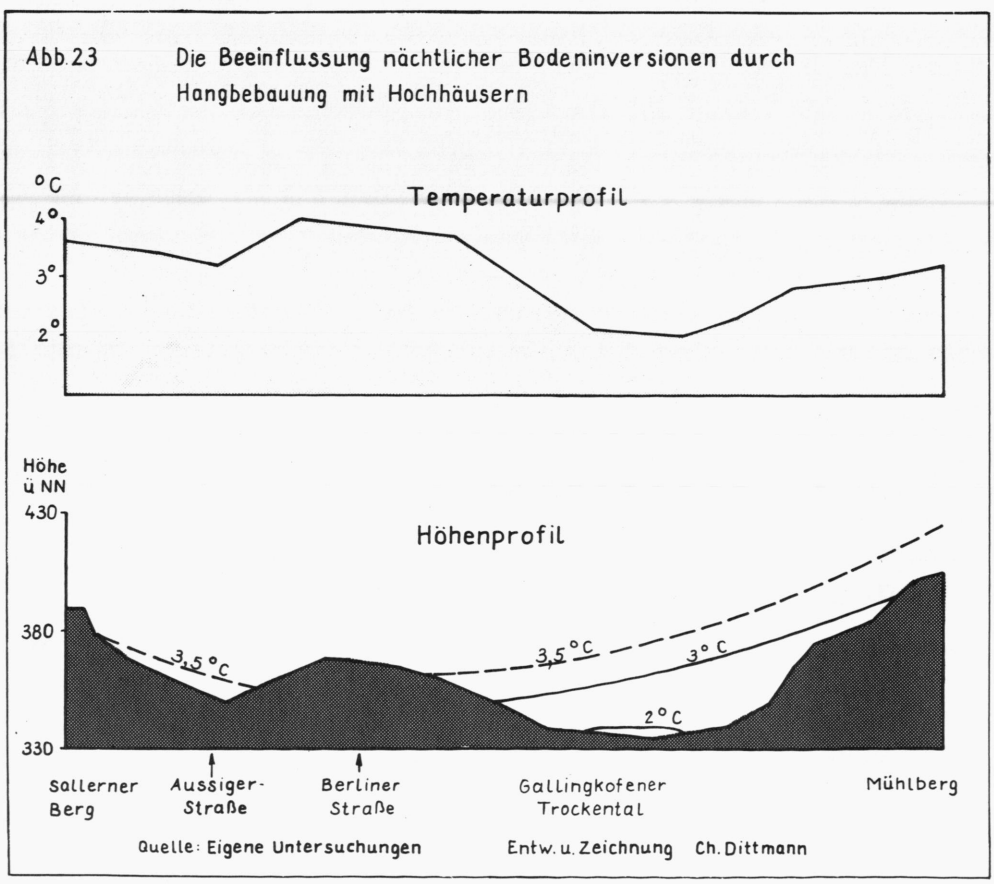


Abb. 23 Die Beeinflussung nächtlicher Bodeninversionen durch Hangbebauung mit Hochhäusern

Die höchsten Temperaturen werden in Strahlungsnächten, in denen sich Bodeninversionen ausbilden, in der Hochhaussiedlung an der Berliner Straße gemessen und nicht auf dem Mühlberg, dessen Kuppe im Bereich der warmen Hangzone liegt. Die Wandflächen der Hochhäuser nehmen tagsüber große Wärmemengen auf, die sie nachts abstrahlen. Baumbestandene Grünflächen, die das Wohnsiedlungsklima verbessern könnten, fehlen.

So betrug z.B. am 19.3.1979 die Temperaturdifferenz zwischen Wohnsiedlung und Trockental auf einer vertikalen Distanz von 30m 2°C (errechneter (theoretischer) Temperaturgradient: - 6,6° C); zwischen Trockental und Mühlberg wurde dagegen bei einer vertikalen Distanz von 80 m nur eine Temperaturdifferenz von 1,5° C verzeichnet (errechneter Temperaturgradient: - 1,9° C) (1).

Nach meteorologischen Sommertagen bilden sich kräftigere Bodeninversionen. So betrug z.B. am 29.5.1979 der errechnete Temperaturgradient zwischen Trockental und Mühlberg - 5,5° C; zwischen Trockental und Hochhaussiedlung aber - 14,7° C. Kompakte Hangbebauung verschärft also die Intensität von Bodeninversionen (Abb. 24).

Außerdem weist die Kaltluftschicht bei Hangbebauung eine unterschiedliche Mächtigkeit auf. Beeinflußt durch wärmeabstrahlende Gebäudekomplexe liegt die Kaltluftmasse, im Profil betrachtet, schräg im Tal. Unterhalb der Bebauung scharen sich die Isothermen (Abb. 24) (2).

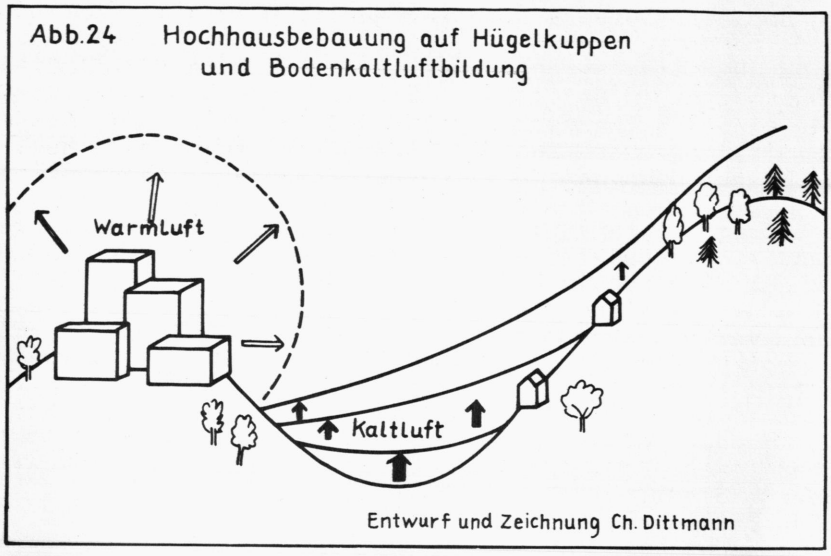
Die Überwärmung der Hochhausgebiete, die auf Hügelkuppen gebaut sind, ist in jeder klaren Meßnacht nachweisbar. Sie tritt auch in Königswiesen auf, ist dort aber wegen der Geländeform und Nutzung des angrenzenden Gebiets weniger ausgeprägt.

Um eine Verstärkung von Bodeninversionen zu vermeiden, ist es daher sinnvoll, Anhöhen nur locker mit kleineren Gebäuden zu bebauen und baumbestandene Grünflächen in den Zwischenräumen anzulegen.

---

(1) Meßanordnung: vgl. 4.3.2.3

(2) Anm.: In den Schaubildern werden die Isothermen der Bodenkaltluft, leicht konkav gewölbt in waagrechter, paralleler Lage eingezeichnet (vgl. GEIGER 1942, 192 f.).



4.4 Die Zufuhr von Frischluft in das Stadtgebiet

4.4.1 Die Bedeutung von Frischluftschneisen für das Stadtklima

Bei windschwachen, stabilen Austauschverhältnissen, die sich nachts sehr häufig ausbilden, ist die Versorgung der Stadt mit sauberer Luft erschwert. Frischluftströme tragen dann zur Verdünnung verschmutzter Stadtluft bei. Es muß jedoch unterschieden werden zwischen Kaltluftströmen, die sich aufgrund der Schwerkraft in Bewegung setzen und auf diese Weise unverbrauchte Luft aus dem Umland in die Stadt transportieren und Freiflächen, die aufgrund von Temperaturunterschieden die Zirkulation von Luftströmungen bewirken und dadurch das Klima im benachbarten Gelände verbessern.

Wälder und Wiesen sind für die Kaltluftentstehung in unterschiedlicher Weise bedeutsam. Grünes Freiland, wie Wiesen, Brachland oder Gärten erwärmen sich tagsüber und kühlen nachts ab. Sie sind nachts als Frischluftspender wirksam. Umgekehrt verhält sich das Stammraumklima des Waldes, das bei Tag kühler und bei Nacht wärmer ist als die bodennahe Luftschicht des Freilands (FRANKE 1977, 113). Daher kann von bewaldeten Hängen auch tagsüber frische Luft in Wohngebiete fließen. Täler und Hangeinkerbungen sind natürliche Abflußbahnen frischer Kaltluft, die Städten in Tallagen besonders bei austauscharmem Wetter reine Luft zuführen. Andererseits muß berücksichtigt

werden, daß diese Kaltluftströme die Intensität der Bodeninversionen erhöhen und die stabilen Austauschverhältnisse verstärken. Ihre lufterneuernde und abkühlende Wirkung ist jedoch höher zu bewerten. Deshalb fordern Klimatologen und Bauingenieure, den Kaltluftabfluß bei der Stadtplanung zu berücksichtigen und Frischluftbarrieren zu vermeiden (z.B. INNENMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG 1977, 29 ff.; BAUMÜLLER 1974, 47 f.; Ders. 1975, 12 f.; KING 1973; SCHIRMER 1980).

Das Konzept, radiale Grünzüge vom Stadtkern aus anzulegen, ist zur Verbesserung des Stadtklimas geeignet. Es ist jedoch zu bezweifeln, daß radiale Grünzüge den hang- oder talabwärts gerichteten Frischluftstrom und Flurwinde in den Stadtkern weiterleiten. Die nächtlich abfließende Kaltluft besitzt meist nur geringe Bewegungsenergie, so daß bereits struppiges hohes Gras und Gebüsche das Abgleiten wesentlich behindern können. Die Versorgung mit Frischluft ist bei austauscharmen Wetterlagen um so schwieriger, je größer und dichter bebaut eine Stadt ist (vgl. FINKE 1976, 36).

4.4.2 Frischluftbahnen im Regensburger Stadtgebiet

Hangabwärts gerichtete Frischluft

Die Bildung und vertikale Mächtigkeit der hangabwärts fließenden Kaltluft hängt entscheidend von der Exposition und der Nutzung der Hänge ab. An Nord- und Osthängen setzt der Kaltluftfluß schon am frühen Abend ein. Wälder, die auch tagsüber Frischluft in bebautes Gebiet bringen, sind an schattigen Nordhängen besonders wirksam. Wichtig ist hierbei jedoch, daß die Bebauung nicht bis zum Waldrand reicht (ROBEL 1975, 31; BAUMÜLLER 1974, 48; INNENMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG 1977, 28 ff.).

In Regensburg ist an den Südhängen der Winzerer Höhen der Hangfuß fast geschlossen bebaut. Ein nächtlicher Kaltluftabfluß wird dadurch weitgehend aufgehalten. Ein Kaltluftstrom fließt durch den Schelmengraben ab. Durch die ausgedehnte Verkehrsfläche wird er jedoch sofort abgebremst. Dieses Beispiel zeigt, daß nicht nur vertikale Hindernisse den Kaltluftfluß aufhalten. Große Asphaltflächen und Betonkörper erwärmen die Kaltluft und lösen dadurch den Luftstrom auf (vgl. Profil A). Am Süd- und Westhang des Keilbergs befinden sich die Kalksteinbrüche. Dadurch wird der Frischluftabfluß in die Regensburger Bucht an dieser Stelle blockiert. Die Hänge des Regentals sind in Steinweg, Kareth, Sallern und Gallingkofen geschlossen bebaut. Mit nennenswertem Frischluftabfluß ist hier nicht zu rechnen. Außerdem blieben bei der gegenwärtigen Bebauung des Sallerner Berges stadtklimatische Erkenntnisse unberücksichtigt. Immer wieder wird von Fachleuten darauf hingewiesen, daß isohypsenparallele Zeilenbebauung Frischluftströme blockiert und deshalb vermieden werden muß (INNENMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG 1977, 37 ff.; LESER 1973, 312). Wirksam ist der Kaltluftabfluß nur

noch an den unbebauten Randhöhen. Die Trasse der B 16 behindert den Kaltluftabfluß vom Mühlberg nicht (vgl. Karte 10).

Da auch in Zukunft ein großer Bedarf an Bauflächen für Eigenheime besteht, müssen in den Bebauungsplänen Kaltluftabgleitbahnen vorgesehen werden (Zeilenbebauung senkrecht zu den Isohypsen). Mehrere schmale Schneisen von etwa 15 - 20 m Breite - zu berücksichtigen ist das Warmluftkissen der Gebäude - sind wenigen, breiten Durchlässen vorzuziehen (BAUMÜLLER 1974, 48).

Frischluftströme aus Trockentälern und Mulden

Wegen des geringen Gefälles der Talsohlen ist die Fließgeschwindigkeit der Kaltluft sehr langsam. Die Frischluftströme in den Tälern sind zum großen Teil durch Bebauung gehemmt oder ganz unterbrochen, was zu einer Stabilisierung des Stadtklimas beiträgt (vgl. LESER 1973, 312).

Die Kaltluftansammlung im Grünthaler Trockental wird durch die Siedlung Brandlberg und die Betriebsanlagen des Kalkwerks wesentlich beeinträchtigt. So lagen z.B. in der Strahlungsnacht vom 29.5.1979 (vgl. Abb. 22) die tiefsten Temperaturen im Grünthaler Trockental im freien Gelände um 14,8° C. An der Bahnlinie wurden dann bereits 16,8° C verzeichnet. Das bedeutet, daß der Kaltluftstrom aus dem Grünthaler Tal nicht vollständig verbaut, aber behindert ist.

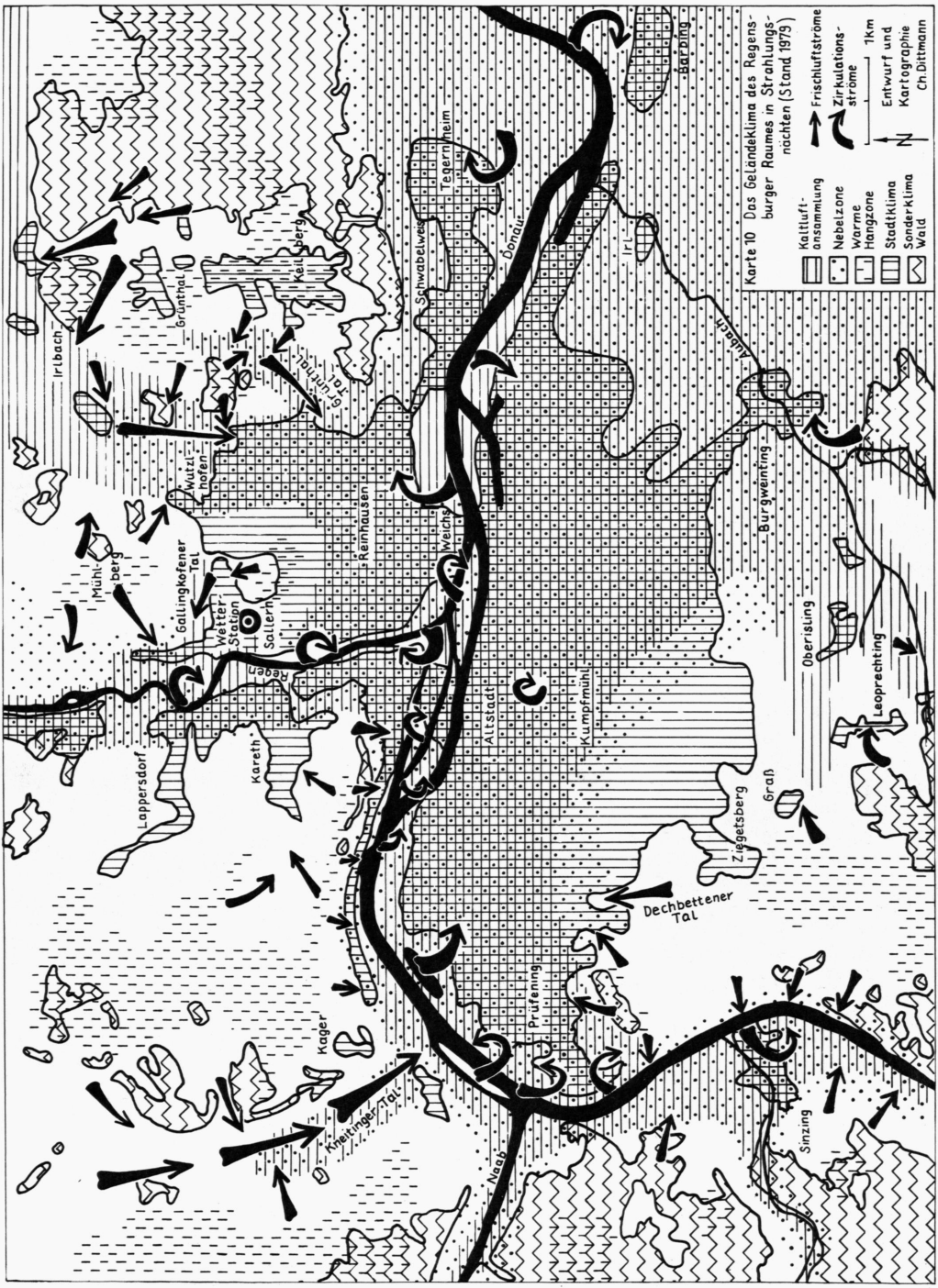
Durch Siedlungsflächen weitgehend blockiert ist der Kaltluftstrom des Gallingkofener Trockentals. Auch im Dechbettener Trockental wird die Frischluftschneise seit 1978 verbaut. Nur im Kneitinger Trockental kann noch frische Luft dem Donautal zufließen (Karte 10).

Das flache Gelände im Süden und Südosten des Stadtgebietes, in dem agrarische Flächennutzung vorherrscht, steht weitgehend im Einflußbereich der Donauebene. Die Kaltluftansammlung erfolgt hier großflächig durch Ausstrahlung (Karte 10).

Der Kaltluftabfluß aus den Trockentälern, die in die Regensburger Bucht münden, beeinflußt das Stadtklima Regensburgs nur noch unwesentlich. Die Auswirkungen der Freiflächen sind dagegen wesentlich größer. Um die klima-ökologischen Verhältnisse im Stadtgebiet nicht noch weiter zu verschlechtern, ist darauf zu achten, daß Freiflächen, die in das Siedlungsgelände vorstoßen, erhalten bleiben. Der Bebauungsplan sieht aber gerade eine Auffüllung solcher Grünflächen vor (vgl. Karte 5).

Die Bedeutung der Flußtäler als Frischluftschneisen

Wegen der kühlen Wasserflächen, der Ufervegetation und der hangabwärts fließenden Kaltluft treten im flußnahen Gelände tiefere Temperaturen auf. Ein nennenswerter Kaltluftabfluß ist


Karte 10 Das Geländeklima des Regensburger Raumes in Strahlungsnächten (Stand 1979)
Kaltluftansammlung
Nebelzone
Warme Hangzone
Stadtklima
Sonderklima Wald
Frischluftströme
Zirkulationsströme
1km
Entwurf und Kartographie Ch. Dittmann
Irlbach
Grunthal
Kellberg
Tal
Schwabelweis
Tegernheim
Donau
Irl
Lubach
Barbing
Wutzlhofen
Reinhausen
Weichs
Burgweinting
Mühlberg
Galgingkofener Tal
Wetter Station
Sollern
Regen
Oberisling
Leoprechting
Lappersdorf
Kareth
Altstadt
Kumpfmühl
Graß
Ziegetsberg
Dechbettener Tal
Kager
Kneitinger Tal
Prüfening
Naab
Sinzing

aber wegen des geringen Gefälles in den Flußtälern nicht zu erwarten. Die klimatische Wirkung der Flüsse beruht weitgehend auf Zirkulationsströmungen, die in Strahlungsnächten durch die Temperaturdifferenzen zwischen Fluß und Ufer hervorgerufen werden (Karte 10).

Am Beispiel des Regentals wird dargestellt, wie groß der Einzugsbereich derartiger Zirkulationsströmungen in Strahlungsnächten ist (1) (Abb. 25; 29.5.1979) (Karte 8, Profil F).

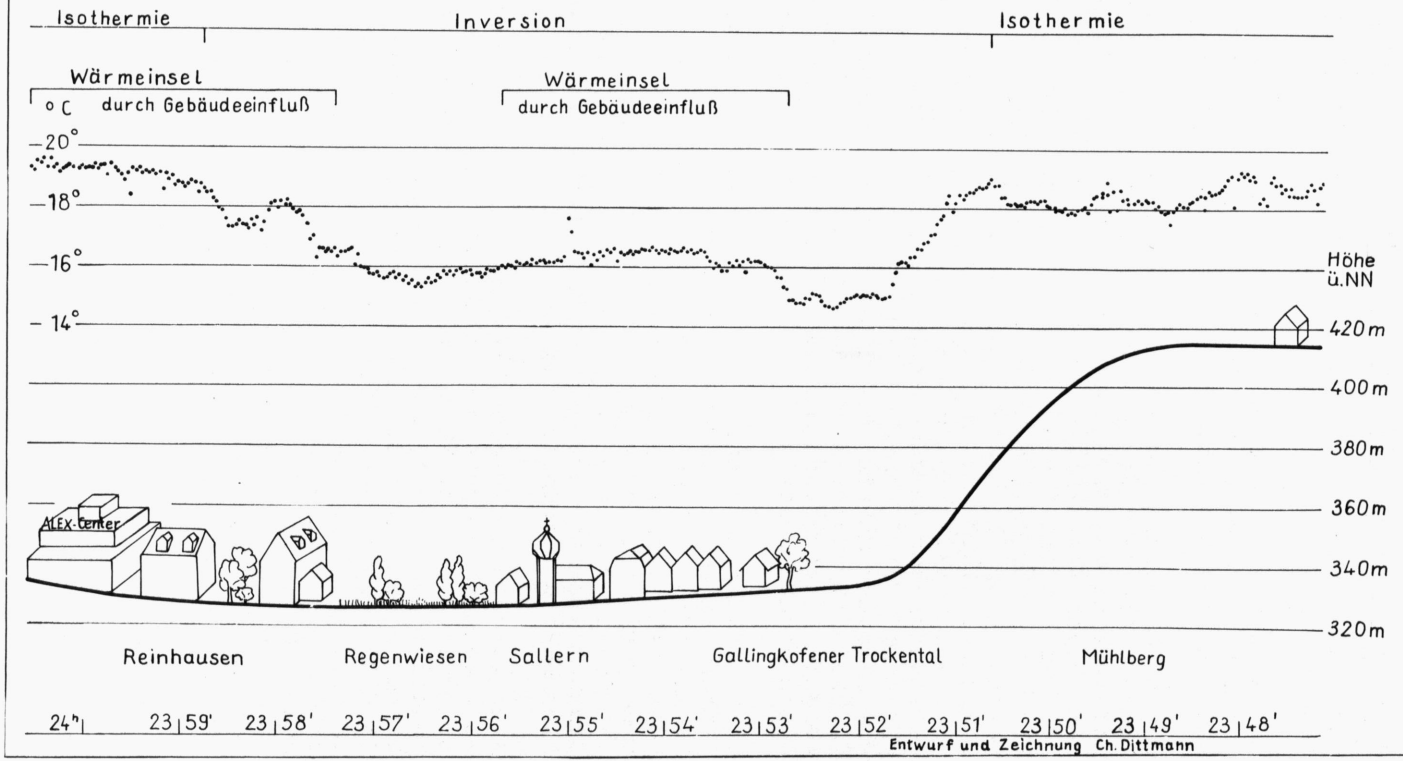
Wegen der Ausbildung einer kräftigen Bodeninversion liegen die Temperaturen auf dem Mühlberg (410 m) um 19° C, während im Kaltluftsee des Gallingkofener Trockentals nur 14,6° C gemessen werden (vertikaler Temperaturgradient: - 5,5° C). In Sallern, Amberger Straße, wo eine geschlossene Bebauung ohne Vorgärten überwiegt, erfolgt ein Temperaturanstieg bis zu 2° C. Die Temperaturen in den freien Regenwiesen liegen um 15,2° C. Deutlich zeigt sich, daß der mäßigende Einfluß der Wasserfläche und die Breite der Talsohle dort eine starke Abkühlung verhindern; im Gallingkofener Trockental wurden bei jeder Meßfahrt tiefere Temperaturen verzeichnet als im Regental. In Reinhausen, wo eine geschlossene Mehrfamilienhausbebauung vorherrscht, erfolgt ein rascher Temperaturanstieg bis zu 4° C. Die Gartenanlagen in der Bergstraße verursachen eine kurzfristige Abkühlung; aber in der Sonnenstraße pendeln sich die Temperaturen um 19,2° C ein.

Dies verdeutlicht nochmals, daß in Strahlungsnächten die Gebäudeüberwärmung der Bodeninversionsbildung entgegenwirkt. In der Arbersiedlung (Sonnenstraße) ist es ebenso warm wie auf der 80 m höher gelegenen Kuppe des Mühlbergs. In Sallern wurde dagegen eine geringere Überwärmung als in Reinhausen festgestellt. Dies ist darauf zurückzuführen, daß das schmale Siedlungsband zwischen Regenwiesen und Sallerner Berg in den Einflußbereichen von hangabwärts fließender Kaltluft und kühler Flußniederung liegt.

Abb. 25 zeigt, daß die Abkühlungswirkung der Flüsse eng begrenzt ist, wenn eine geschlossene Uferbebauung vorliegt. Auch an den Donauufern ist der Kaltlufteinfluß durch die Uferbebauung stark reduziert. Nur dort, wo in der Innenstadt Freiflächen an die Donau angrenzen, z.B. Am Weinmarkt oder Donaumarkt, kann der Einfluß der Donau in Strahlungsnächten weit in das Bebauungsgebiet vordringen (Profil A 3,5 / B 3,5). Der Stadtteil Am Gries, der an der Landspitze der Regenmündung liegt, wird klimatisch weitgehend durch die Flüsse beeinflußt. Durch den Bau der Hochwassermauer, deren geplante Höhe bis zum ersten Stock der am Ufer gelegenen Häuser reichen soll, werden die Parterrewohnungen von der Frischluftzufuhr weitgehend abgeschnitten.

(1) Meßanordnung: vgl. 4.3.2.3

Abb. 25 Die Wirkung der Talbebauung auf die Lufttemperatur in Ausstrahlungsnächten (29. 5. 1979) Quelle: Eigene Untersuchungen



Um den Luftaustausch zwischen Bebauungszone und Fluß zu fördern, ist eine geschlossene Uferbebauung zu vermeiden. Günstig ist Zeilenbebauung senkrecht zum Ufer mit baumbestandenen Grünstreifen. Begrünte Ufer mit Weiden und Pappeln verstärken Zirkulationsströmungen (vgl. LESER 1973, 317). Beim Straßenbau, der häufig durch Täler geführt werden muß, ist darauf zu achten, daß die Flußufer nicht betoniert werden. Für die Stadtplanung ergibt sich nun das Problem: Je dichter und höher die Bebauung ist, um so nachteiliger beeinflußt sie das Stadtklima (ROBEL 1975, 31). Eine stadtklimatisch günstige lockere Bebauung mit Grünflächen fördert aber die Zersiedelung der Landschaft und die Zerstörung wertvoller, naturnaher Ökotope. Zwischen beiden Extremen müssen Kompromisse gefunden werden, die für jede Stadt individuell zu erarbeiten sind.

4.5 Der Einfluß der Stadt auf die Luftfeuchte

Die städtische Überwärmung, die Veränderung der Verdunstungsverhältnisse durch die Ableitung des Regenwassers und fehlende Grünflächen reduzieren die Luftfeuchte in Stadtgebieten. An Sommertagen ist die städtische Trockenheit gegenüber dem Freiland besonders ausgeprägt (ERIKSEN 1978, 261; FINKE 1976, 24).

4.5.1 Die Reduzierung der relativen Feuchte im Stadtzentrum

Eine Betrachtung kontinuierlicher Werte der städtischen Trockenheit ist in Regensburg nur mit Vorbehalt möglich. Wegen unterschiedlicher Meßverfahren sind die Daten, die von der Wetterstation in der Riesengebirgsstraße und von der lufthygienischen Meßstation auf dem Dachauplatz (Stadtzentrum) ermittelt werden, nur bedingt vergleichbar. Während der Deutsche Wetterdienst die Werte in der meteorologischen Hütte mißt, werden an der Station auf dem Dachauplatz, die das Bayerische Landesamt für Umweltschutz betreibt und die neben Schadstoffkomponenten auch meteorologische Daten aufzeichnet, die Feuchtewerte oberhalb des Stationsdaches registriert und unterliegen dadurch dem Überwärmungseinfluß des Gebäudes.

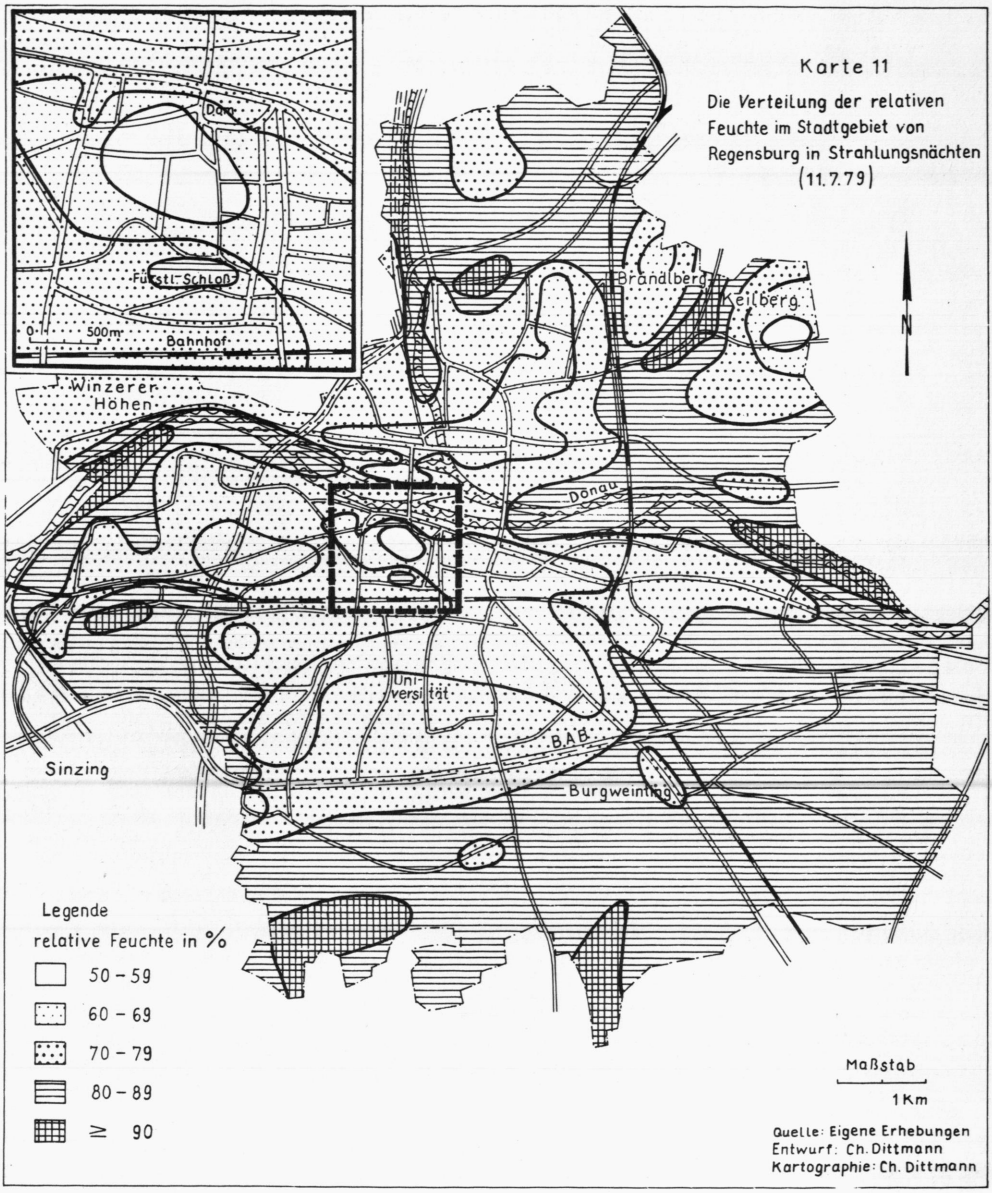
Ein Vergleich der Aufzeichnungen beider Stationen zeigt, daß im Jahresmittel die relative Feuchte im Zentrum mit 75 % um 4 % niedriger liegt als am Stadtrand. Die Differenz ist von August bis Oktober zwischen 8 und 16 Uhr am größten (7 %) in den Wintermonaten am geringsten (1 %). In den Morgenstunden treten kleinere Feuchteunterschiede auf als abends. Von November bis Januar werden im Stadtzentrum morgens sogar höhere Feuchtewerte registriert als am Stadtrand (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ, EDV-Auszüge 1979, WETTERSTATION REGENSBURG, Synoptische Klimatagebücher 1979).

4.5.2 Die Verteilung der relativen Feuchte im Regensburger Stadtgebiet in Strahlungsnächten

Karte 11 zeigt die Verteilung der relativen Feuchte im Regensburger Stadtgebiet in Strahlungsnächten. Die der Karte zugrundeliegenden Messungen hat die Verfasserin mit dem Gerät Thermophil Typ 4451-3 Hygrophil durchgeführt, das in 2 m Höhe am Dachgepäckständer eines PKw befestigt wurde. Durch Pufferung konnte die Meßzeit des Gerätes, das batteriebetrieben arbeitet, verlängert werden. Die Meßstrecke, die etwa 120 km lang war, wurde so gelegt, daß sie sich an mehreren Punkten überschnitt. Auf diese Weise war es möglich, die Veränderungen der relativen Feuchte im Laufe des Abends zu berücksichtigen. Der Meßzeitraum wurde zwischen 19.30 und 22.30 Uhr angesetzt, da sich nach 22 Uhr die Feuchteunterschiede im Stadtgebiet stark angleichen und zwischen 85 - 100 % liegen.

Da die relative Feuchte vorwiegend durch die Lufttemperatur beeinflußt wird, bestehen Ähnlichkeiten zwischen der Feuchteverteilung und der Temperaturverteilung im Stadtgebiet (Karten 9/11). Die wechselseitigen Beziehungen zwischen städtischer Überwärmung und Bodeninversionen wirken sich daher auch auf die Lage der Isohyethen im Stadtgebiet aus: Überwärmte Innenstadtgebiete und die Randhöhen, die der warmen Hangzone zuzurechnen sind, weisen eine geringere relative Feuchte auf als die freien, kälteren Talflächen. Die niedrigsten Feuchtewerte werden in der Altstadt und in der Siedlung Keilberg verzeichnet. Geringe Werte kommen noch in Kumpfmühl, Ziegetsdorf, Margaretenau, Königswiesen, im Stadtnorden und -osten vor.

In den Kaltluftseen herrschen schon am frühen Abend hohe Feuchtewerte über 90 %. Sie unterscheiden sich jedoch deutlich meßbar darin, ob sie vor allem infolge der tiefen Temperaturen oder überwiegend durch die Verdunstung der Vegetation hervorgerufen werden. In den Trockentälern von Grünthal und Gallingkofen, in denen Felder, Mähwiesen oder Trockenrasen vorkommen, verursacht der Kaltluftsee hohe Feuchtewerte. Während der Meßzeit lagen sie jedoch nicht höher als 96 %. Im feuchten Langen Graben-Tal mit seinen sumpfigen Wiesen und dem Erlenbruchwald wurde mit 98 - 100 % dagegen die höchste relative Feuchte innerhalb des gesamten Stadtgebiets gemessen. In den Wäldern ist die relative Feuchte vom Bewuchs abhängig. Im krautreichen Laubmischwald des Sparlbergs traten hohe Werte auf. Im kahlen Stammraum des Fichtenforstes auf dem Keilberg wurde dagegen die geringste relative Feuchte gemessen. Der Fürstenpark bildet mit seinem dichten Baumbestand eine Feuchteinsel innerhalb der städtischen Trockenzone. Sie wird vor allem durch die Verdunstungswirkung der Vegetation hervorgerufen. Auch die Flüsse treten als Feuchtebänder in Erscheinung, wobei die erhöhte Feuchte durch die Wechselbeziehungen zwischen der Verdunstung des Wassers, der damit verbundenen Verdunstungskühle und dem nächtlichen Temperaturrückgang verursacht wird. Die hohen Feuchtewerte in der Donauebene im Südosten sind überwiegend durch die Bodeninversion bedingt.


Karte 11
Die Verteilung der relativen Feuchte im Stadtgebiet von Regensburg in Strahlungsnächten (11.7.79)
Dom
Fürstl. Schloß
0
500m
Bahnhof
Winzerer Höhen
Brandlberg
Keilberg
N
Donau
Universität
BAB
Sinzing
Burgweinting
Legende
relative Feuchte in %
50 – 59
60 – 69
70 – 79
80 – 89
≥ 90
Maßstab
1 Km
Quelle: Eigene Erhebungen
Entwurf: Ch. Dittmann
Kartographie: Ch. Dittmann

Der Anstieg der relativen Feuchte während des Meßzeitraums vollzog sich über Freiland rascher als im Bebauungsgebiet. Nur im Stammraum des Keilberger Fichtenforstes nahm die relative Feuchte zwischen 21 und 24 Uhr nur um 2 - 4 % zu und lag um Mitternacht bei 76 - 78 %. Um diese Zeit herrschten im übrigen Stadtgebiet Werte über 90 % vor, nur in der Altstadt lagen sie zwischen 80 - 90 %.

4.6 Nebel und Hochnebel im Regensburger Stadtgebiet

4.6.1 Bodennebel, Hochnebel und Stadtnebel

In der Regensburger Bucht treten vor allem Bodennebel und Hochnebel auf, die zur Gruppe der Abkühlungsnebel gehören. Sie entstehen, wenn wärmere Luft durch Ausstrahlung oder turbulenten Austausch abkühlt und deshalb kondensiert. Ihre Häufigkeit und Andauer wird durch die Wirkungen verbrennungsbedingter Emissionen modifiziert.

Mehrheitlich kommen in Regensburg Bodennebel vor, die sich bei Hochdruckwetter mit klarem Himmel und schwachen Luftbewegungen bilden. Ihre Entstehung wird durch die feuchten Flußniederungen, in denen die Luft bereits mit Wasserdampf angereichert ist und durch das Zufließen der Kaltluft von den Randhöhen begünstigt. Bodennebel liegen jedoch niemals unmittelbar dem Boden auf; unterhalb 30 bis 40 cm befindet sich eine Zone mit größeren Sichtweiten (KRAUS 1958, 4/10). Die vertikale Mächtigkeit der Bodennebeldecke kann wenige Meter bis 600 m betragen (vgl. GEIGER, 1956, 45). In den Morgenstunden, im Spätherbst und Winter auch bis gegen Mittag, bildet die Nebelobergrenze einen scharfen Abschluß zu den höher gelegenen, wärmeren Luftschichten (vgl. Photo 5). Besitzt die Nebeldecke nur eine geringe Mächtigkeit, dann bleiben die oberen Talhänge (warme Hangzone) frei.

Dies istdie wesentliche Ursache dafür, daß bei Hochdruckwetter die Stadt Regensburg häufig im Nebel liegt, während in den umliegenden Ortschaften auf den Hochflächen die Sonne scheint (Photo 5).

Bodennebel steht immer im Zusammenhang mit Boden- oder Absinkinversionen. Die Nebelobergrenze ist jedoch nur selten mit der Inversionsobergrenze indentisch. Die Luftschicht, in der Temperaturzunahme herrscht, reicht meist viel höher hinauf; die Obergrenze des Nebels zeigt nur an, in welcher Höhe das Kondensationsniveau unterschritten wird (Abb. 26).

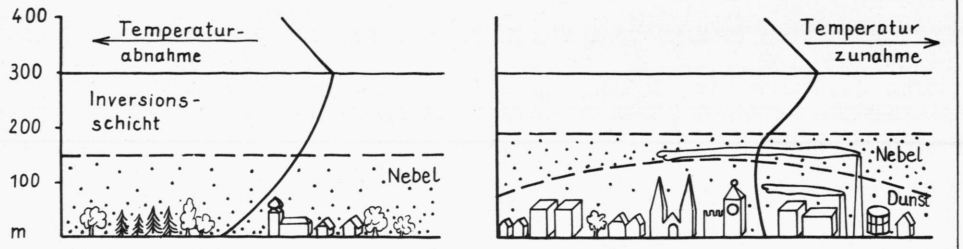


Abb.26 Der vertikale Temperaturgradient bei Bodeninversionen und Nebel über Freiland und über der Stadt

Entw. u. Zeichn. Ch. Dittmann

Wie man von der Plattform des Regensburger Fernmeldeturms aus beobachten kann, ragt bei einer Bodennebelschicht von 130 bis 150 m Dicke oberhalb der Regensburger Bucht, nur der Turmkamin der Zuckerfabrik mit seiner Rauchfahne heraus. Über dem Bodennebel erkennt man dann deutlich die bräunliche Ansammlung von Schadstoffen unterhalb der Inversionsobergrenze.

Über Städten liegt die Bodeninversion in der Regel nicht auf. Wegen der städtischen Überwärmung und der Rauhigkeit des Untergrundes bildet sich in der Bebauungszone eine Schicht mit Isothermie oder schwachen positiven Gradienten, in der Zirkulationsströmungen stattfinden (FRANKE 1977, 82). Die Inversionsuntergrenze liegt oberhalb der Bebauung. Bei Nebel sind daher in der Innenstadt die Sichtweiten häufig größer (Dunst), während im Freiland Bodennebel herrscht (Abb. 26). Die Nebeldichte nimmt oberhalb der Gebäude zu, über freiem Gelände geht sie dagegen gleichmäßig von unten nach oben zurück. Hochnebel treten in Regensburg hauptsächlich im Herbst und Winter auf und sind beständiger als Bodennebel. Zumeist bilden sie sich, wenn eine Bodennebeldecke, bedingt durch die Tageserwärmung, ansteigt. Hochnebel erscheinen als strukturlose, tiefliegende Wolkendecke, die den Boden nicht berührt. Die Untergrenze liegt in der Regel nicht höher als 300 m; darunter herrscht Dunst.

Nebel können in der Regensburger Bucht unter Hochdruckeinfluß bis zu zwei Wochen anhalten (z.B. 7. - 17.10.1978 / 10. - 22.11.1978). Ihre Stabilität hat mehrere Ursachen:

Das Gewicht der Nebeltröpfchen, deren Durchmesser zwischen 0,0001 und 0,1 mm betragen, ist sehr klein (ca. 10^{-12} g). Die oft tagelange Andauer beruht jedoch nicht allein auf der geringen Fallgeschwindigkeit der Wassertröpfchen. Die gleiche elektrische Ladung der Tropfen, die zumeist positiv ist, verhindert ein Zusammenfließen und das damit verbundene Ausfallen

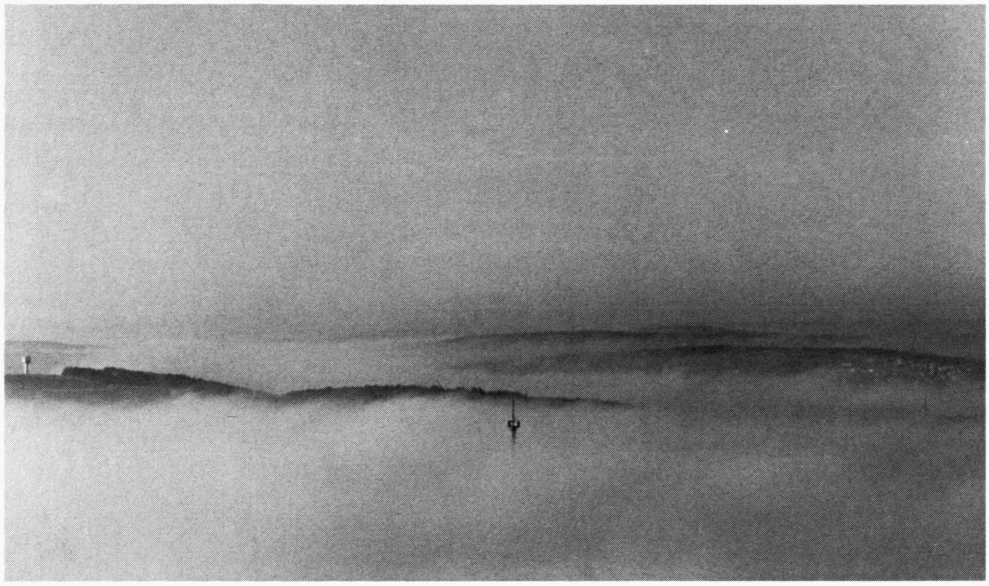


Foto 5:
Nebel im Donautal bei Regensburg (2. 12. 1979), links im Bild: der Wasserturm von Pentling, rechts: die Ortschaft Sinzing.

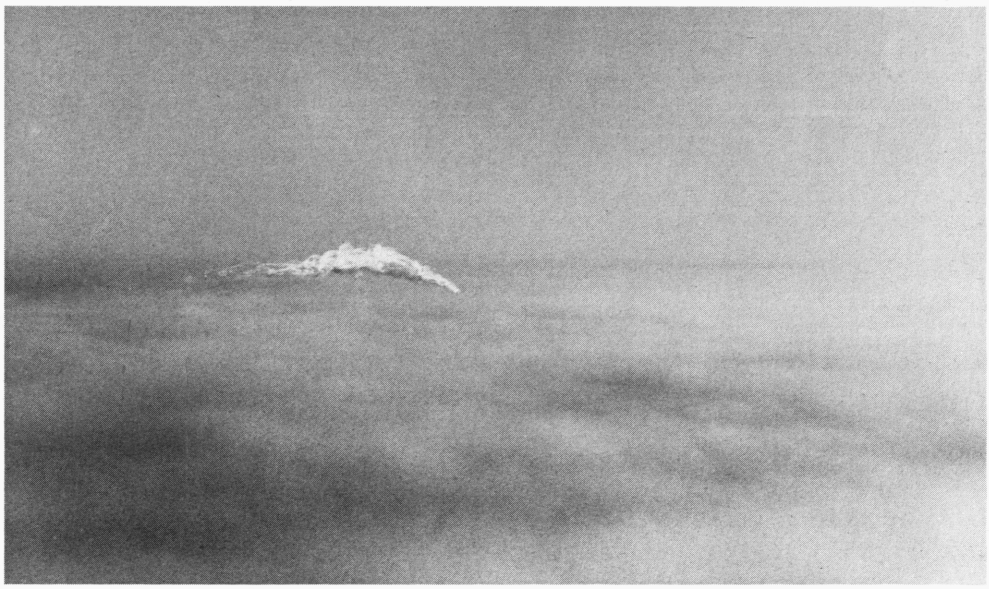


Foto 6:
Bodennebel in der Regensburger Bucht (Mächtigkeit ca. 140 m), (2. 12. 1979). Das Vorhandensein kräftiger Luftströmungen aus SE oberhalb des Kaltluftsees ist an der Ausbreitungsform der Rauchfahne erkennbar. Beide Fotos wurden von der Plattform des Regensburger Fernmeldeturms aufgenommen.

des Wassers. Antizyklonale Nebel weisen eine höhere Stabilität auf als zyklonale, da in ihnen die elektrische Ladung der Tröpfchen 6 - 7-mal größer ist (GEIGER 1956, 43 ff.).

Nebelbildung und -andauer sind darüber hinaus von der Anzahl der Kondensationskerne abhängig. Nebel, die nicht allein durch Abkühlung, sondern vor allem durch die hygroskopische Wirkung künstlicher Aerosole verusacht werden, die besonders in der Stadtluft infolge von Verbrennungsprozessen angereichert sind, bezeichnet man als Stadtnebel. Sie können sich bereits bei 80 % relativer Feuchte bilden. Für ihre Entstehung ist besonders unvollständig verbrannte Kohle und das Heizen mit Schweröl (Heizöl S) wegen deren Ruß- und SO_2-Rückständen verantwortlich. Vor allem diese Emissionskomponenten bewirken die zähe Langlebigkeit des Stadtnebels, da sich Wassertröpfchen rasch daran anlagern. Die Abhängigkeit des Stadtnebels von Verbrennungsprozessen wird durch seinen Tagesgang verdeutlicht: zwischen 7 und 10 Uhr, der Zeit in der die Haushalte anheizen, weist er seine größte Dichte aus (KRATZER 1956, 108 ff. (1).

In Regensburg setzt die Nebelbildung mitunter bereits bei 91 % Luftfeuchte ein (z.B. 18.1.1979 - 7 Uhr). In der Regel beträgt die relative Feuchte bei Nebel jedoch 95 - 97 % (Wetterstation Regensburg: Synoptische Klimatagebücher). Daraus ist zu schließen, daß in Regensburg die Nebelhäufigkeit überwiegend von der klimatisch ungünstigen, orohydrographischen Lage verursacht wird. Durch die verbrennungsbedingten Schadstoffemissionen von Industrie, Hausbrand und Gewerbe wird die Nebelhäufigkeit und -andauer jedoch verstärkt.

4.6.2 Die Nebelhäufigkeit und Nebeldauer in Regensburg

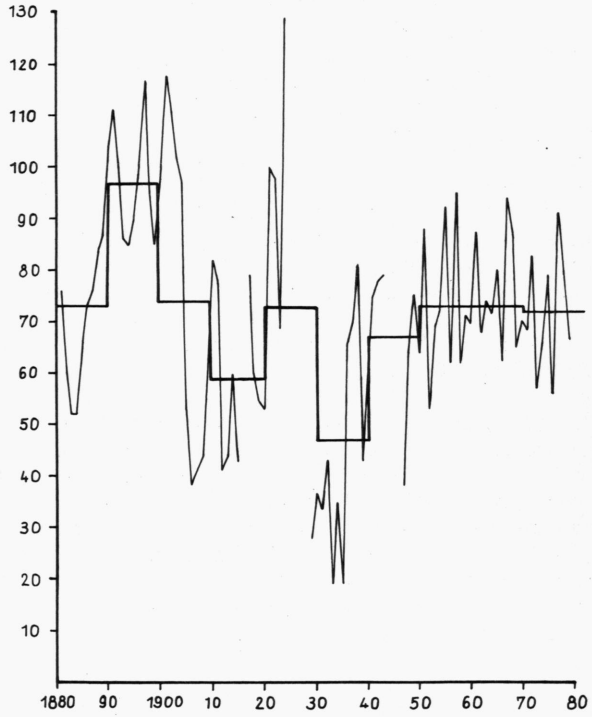
Bereits im 18. Jahrhundert beschäftigte sich der Regensburger Geheime Rath und Fürstliche Leibarzt v. Schäffer mit dem Klima in Regensburg und seinen Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung. Über die Nebelhäufigkeit vermerkt er: "Wir haben nicht zuviele Nebel; im Monat November finden sie sich am öftesten ein;selten verfinstern sie den ganzen Tag unsre Atmosphäre, sondern zerstreuen sich meist gegen Mittag" (V. SCHÄFFER 1787, 20).

Ob die Nebelhäufigkeit seit dieser Zeit zugenommen hat, läßt sich nicht feststellen. Sie wird in Regensburg seit 1881 amtlich verzeichnet und schwankt sehr stark (vgl. Anhang Tab. 42). So wurden im Jahr 1929 nur 28 Nebeltage registriert, im Jahr 1924 dagegen 129 Tage (Abb. 27) (Information: Statistik DWD). Im Jahrhundertmittel ergeben sich 70,4 Nebeltage/Jahr.

---

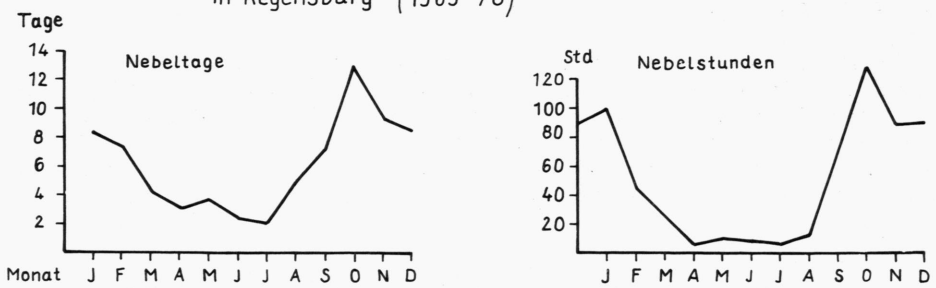
(1) Anm.: Luftreinhaltevorschriften und die Umstellung auf Gas- oder Elektroheizung haben die Stadtnebelhäufigkeit bereits reduziert: In England wird seit 1956, in Deutschland in den industriellen Ballungsgebieten von Frankfurt und Düsseldorf seit 1957 ein Rückgang verzeichnet (LAMP 1970).

Abb. 27 Die Nebelhäufigkeit in Regensburg seit 1881 (in GMT)



Quellen: DWD Statistik 1881 - 1970
Wetterstation Regensburg Synoptische Klimatagebücher (1971-1979)
Entw. u. Zeichnung Ch. Dittmann

Abb. 28 Der Jahresgang der Nebeltage und Nebelstunden / Monat in Regensburg (1969-78)



Quelle: Wetterstation Regensburg: Synoptische Klimatagebücher (1969-1978)
Eigene Untersuchungen
Entw. und Zeichn. Ch. Dittmann

4.6.2.1 Tages- und Jahresgang der Nebelhäufigkeit

Die Nebel in der Regensburger Bucht entstehen hauptsächlich durch Ausstrahlung bei klarem Hochdruckwetter und werden deshalb vor allem im Herbst und Winter verzeichnet. Die meisten Nebeltage treten im statistischen Mittel im Oktober auf (größte Häufigkeit des Hochs über Mitteleuropa: 23,3 %); die wenigsten Nebeltage im Juli (größte Häufigkeit zyklonaler Westlagen: 29,3 % und Nordwestlagen: 16,6 %) (Abb. 28 - vgl. Anhang Tab. 23).

Ebenso verhält sich der Jahresgang der Nebelstunden/Monat, deren Maximum mit durchschnittlich 118,5 Stunden im Oktober erreicht wird (Zeitraum 1969 - 78). Der absolute Höchstwert dieses Zeitraums wurde mit 217 Nebelstunden im November 1978 verzeichnet (Abb. 28). Nebelfreie Monate können von April bis August vorkommen; sie sind im Juli am häufigsten; seit 1969 trat in drei Jahren im Juli kein Nebel ein.

Der Jahresdurchschnitt beträgt 532 Nebelstunden; im Jahr 1975 wurden aber 682 Nebelstunden, 1970 nur 366 Nebelstunden verzeichnet. Da aber als Nebeltag jeder Tag eingetragen wird, an dem, wenn auch nur kurzfristig, Nebel aufgetreten ist, müssen Jahre mit vielen Nebeltagen nicht immer besonders nebelreich sein.

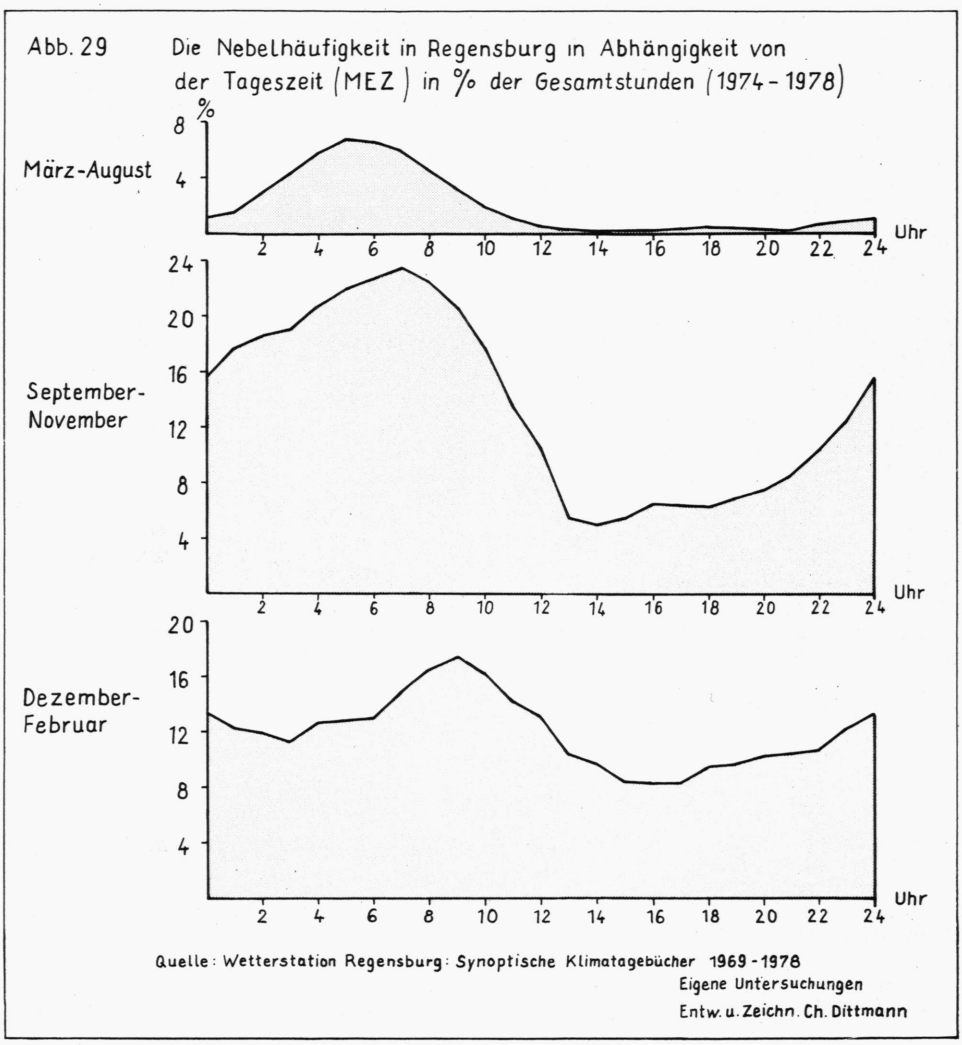
So verteilen sich in den Jahren:

1970 - 366 Nebelstunden auf 70 Tage
1975 - 682 Nebelstunden auf 79 Tage
1977 - 673 Nebelstunden auf 91 Tage.

Der Tagesgang des Nebels verläuft in den Jahreszeiten sehr unterschiedlich (Abb. 29).

Im Sommerhalbjahr (März - August) sind Nebel selten. Da es sich überwiegend um Strahlungsnebel handelt, kommen sie in den frühen Morgenstunden zwischen 5 und 6 Uhr am meisten vor und lösen sich durch die Einstrahlung rasch auf. Im Herbst (September - November) steigt die Nebelhäufigkeit stark an. Das Maximum liegt nun gegen 7 Uhr und die Nebel gehen bis Mittag weitgehend zurück. In den frühen Abendstunden nimmt das Auftreten von Nebel wieder rasch zu. Tagsüber bleibt ein Teil der Nebel erhalten.

Im Winter ist der Tagesgang am schwächsten ausgeprägt, da sich Nebel tagsüber oft nicht mehr auflösen. Am meisten treten Nebel in den Vormittagsstunden gegen 9 Uhr auf (Wetterstation Regensburg: Synoptische Klimatagebücher 1969 - 1978). Der Tagesgang des Nebels in Regensburg im Winter entspricht dem Tagesgang des Stadtnebels, der seine größte Häufigkeit und Dichte vormittags, zur Zeit, in der die Haushalte anheizen, aufweist.

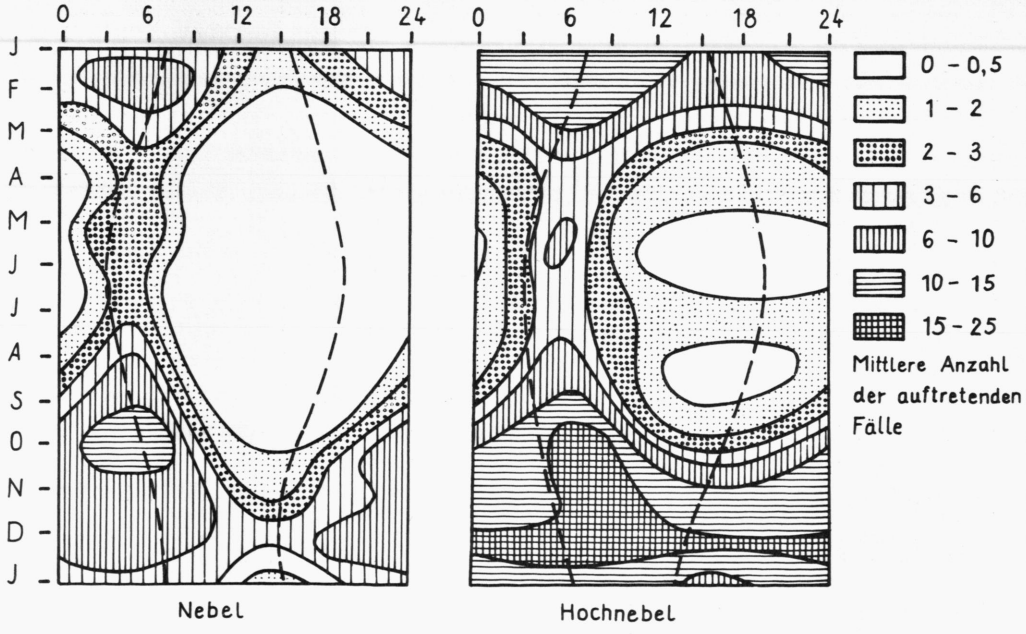


Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß Nebel ganzjährig in der Zeit kurz nach Sonnenaufgang am meisten vorkommen. Im Winter erfolgt jedoch ein rascher Anstieg der Nebelhäufigkeit nach Sonnenaufgang. Daraus ist zu schließen, daß Morgennebel durch die Emissionen aus Verbrennungsanlagen verstärkt werden.

Nach Auflösung des Nebels bleibt über der Regensburger Bucht häufig noch Hochnebel erhalten (Abb. 30).

Wegen der ungünstigen orohydrographischen Lage der Stadt lösen sich Hochnebel nur langsam auf. HERB (1964 a, 6 f.) fand heraus, daß in Regensburg fast doppelt so oft Nebel- und Hochnebelsituationen eintreten wie in München. Auch liegt die Anzahl der Nebelstunden in Regensburg um etwa 20 % höher als in München und sogar um 40 % höher als in Nürnberg. Da die städtischen Agglomerationen von München und Nürnberg wesentlich größer sind als Regensburg und auch mehr Industrie aufweisen, zeigt sich, daß die orohydrographischen Verhältnisse auf die Nebelsituation weit mehr Einfluß haben als die Luftverunreinigung.

Abb. 30 Die Tages- und Jahreshäufigkeit von Boden- und Hochnebel in Regensburg



Quelle: Wetterstation Regensburg: Wandkarte (Ausschnitt)

Zeichn. Ch. Dittmann

4.6.2.2 Tages- und Jahresgang der Nebeldauer

Abb. 31 zeigt den Tagesgang der Nebelbildung und Nebelauflösung in Regensburg. Im Sommerhalbjahr setzt die Nebelbildung in den späteren Abendstunden ein; überwiegend entstehen Nebel aber gegen 4 Uhr. Die Auflösung erfolgt in den Vormittagsstunden, zumeist gegen 7 Uhr.

Im Herbst ist die Nebelbildung stärker ausgeglichen auf die Nachtstunden verteilt; ein schwaches Maximum stellt sich gegen 3 Uhr ein. Die Nebelauflösung erfolgt in den Vormittagsstunden, hauptsächlich zwischen 8 und 12 Uhr. Nebel, die sich bis dahin nicht aufgelöst haben, bleiben meist ganztägig erhalten.

Im Winter vollzieht sich die Nebelbildung nicht in einem deutlichen Tagesgang. Ein schwaches Maximum tritt gegen 8 Uhr ein. Am späten Vormittag und frühen Nachmittag besteht die größte Wahrscheinlichkeit zur Nebelauflösung (Wetterstation Regensburg: Synoptische Klimatagebücher 1969 - 78).

Für die Beurteilung der lufthygienischen Situation ist auch die Häufigkeit und Andauer von Nebelperioden bedeutsam (Tab. 6).

Tab. 6: Die Häufigkeit der Nebelandauerstufen/Monat in Stunden (1969 - 78 Gesamtzahl)

Std	0-6	7-12	13-18	19-24	25-36	37-48	49-72	72
J	55	22	15	9	1	1	2	
F	30	16	9	1	1	1		
M	22	12	3					
A	16	1						
M	22	4						
J	20	4						
J	16	1						
A	25	4						
S	42	13		1				
O	56	43	19	1	1	1	1	2
N	41	24	8	3	3	4	2	
D	44	10	7	4	9	2	2	
$\sum$	389	154	61	19	15	9	7	2

Quelle: Wetterstation Regensburg:
Synoptische Klimatagebücher (1969 - 78).

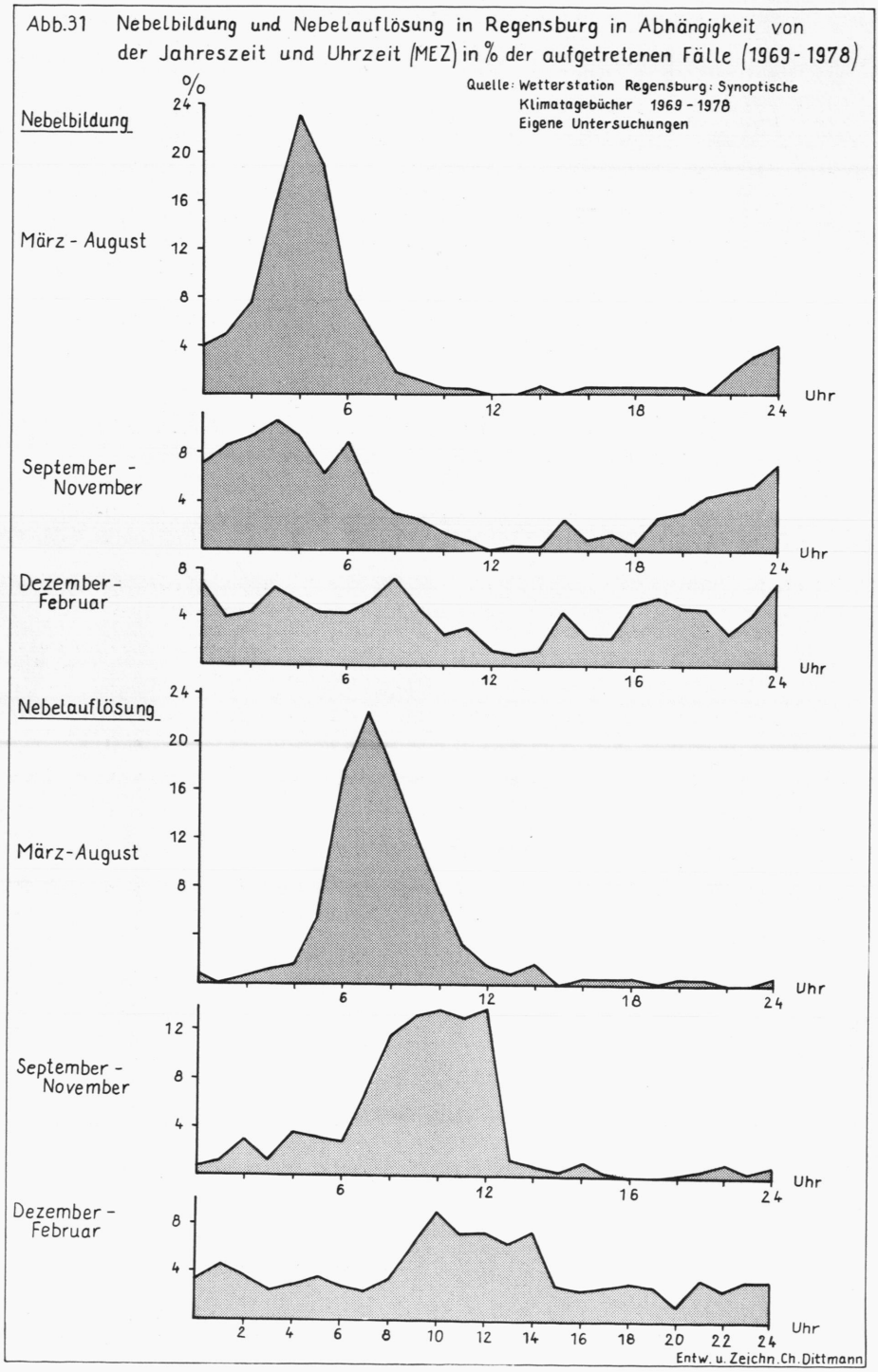


Abb.31 Nebelbildung und Nebelauflösung in Regensburg in Abhängigkeit von der Jahreszeit und Uhrzeit (MEZ) in % der aufgetretenen Fälle (1969-1978)
Quelle: Wetterstation Regensburg: Synoptische Klimatagebücher 1969-1978
Eigene Untersuchungen
%
Nebelbildung
März - August
September - November
Dezember - Februar
Nebelauflösung
März-August
September - November
Dezember - Februar
Uhr
Entw. u. Zeichn. Ch. Dittmann

Kurze Nebelperioden von weniger als 6 Stunden sind zu allen Jahreszeiten am häufigsten, aber auch Andauerstufen bis zu 12 Stunden kommen noch oft vor.

Längere Nebelperioden werden nur noch im Herbst und Winter verzeichnet. Im Oktober treten zwar die meisten Fälle auf, von November bis Januar halten Nebel in der Regel jedoch länger an. Mit etwa 8 Andauerstufen zwischen 12 und 24 Stunden muß jedes Jahr gerechnet werden. Perioden von mehr als 24 Stunden kommen in den Wintermonaten durchschnittlich 3 - 4-mal vor. 1978 dauerten 6 Nebelperioden mehr als 24 Stunden. Die längste Andauerstufe des zehnjährigen Beobachtungszeitraums trat im Oktober 1978 mit 94 Stunden auf. Dagegen dauerte 1973 keine Nebelperiode länger als 24 Stunden.

4.6.2.3 Wetterlagen und Windverhältnisse bei Nebel und Hochnebel in Regensburg

In der Regensburger Bucht bilden sich hauptsächlich unter antizyklonalem Einfluß Strahlungsnebel (Tab. 7).

Tab. 7: Die Verteilung der Wetterlagen in Regensburg im Jahresdurchschnitt und bei Nebel und Hochnebel in %

Wetterlage	Jahresdurchschnitt	Bei Nebel und Hochnebel
Westlage (W)	27,4	19,9
Hoch über Mitteleuropa (HM)	16,4	21,8
Nordlage (N)	13,7	6,9
Nordostlage (NE)	12,4	0,5
Ostlage (E)		8,9
Nordwestlage (NW)	9,7	4,6
Südwestlage (SW)	6,8	15,5
Südostlage (SE)		2,2
Südlage (S)	6,8	10,9
Tief über Mitteleuropa (TM)	6,8	2,0

Quelle: HERB 1964 a, 13/31; ROCZNIK 1960, 22 ff.

Wetterlagen mit Hochdruckkern über Südosteuropa (HM. SW, S) kommen bei Nebel und Hochnebel häufiger vor als im Jahresdurchschnitt. Hochdrucklagen über Mitteleuropa treten besonders von September bis Dezember, Südwestlagen im Oktober und

Januar auf. Bei den Nebeln, die sich während zyklonaler Wetterlagen einstellen, handelt es sich entweder um Mischungs- und Verdunstungsnebel oder um Strahlungsnebel während eines Zwischenhochs.

Bei Nebel und Hochnebel überwiegen Winde aus östlichen Richtungen, die durch die Donauebene ungehindert einströmen können. Im Westen und Nordwesten der Regensburger Bucht werden sie von den Randhöhen in den unteren Luftschichten umgelenkt. Die Häufigkeit der Ostwinde (Jahresmittel: 5,4 %) beträgt bei Nebel und Hochnebel 20 %. Westwinde (Jahresmittel 18,5 %) kommen bei Nebel und Hochnebel dagegen nur zu 6 % vor (vgl. ROCZNIK 1971, 210). Die Windstärken sind gering (Tab. 8).

Tab. 8: Die Windstärken bei Nebel und Hochnebel in Regensburg in %

Windstärke in Bft:	0	1	2	3	4
Häufigkeit:	28,5	46,1	18,7	6,4	0,3

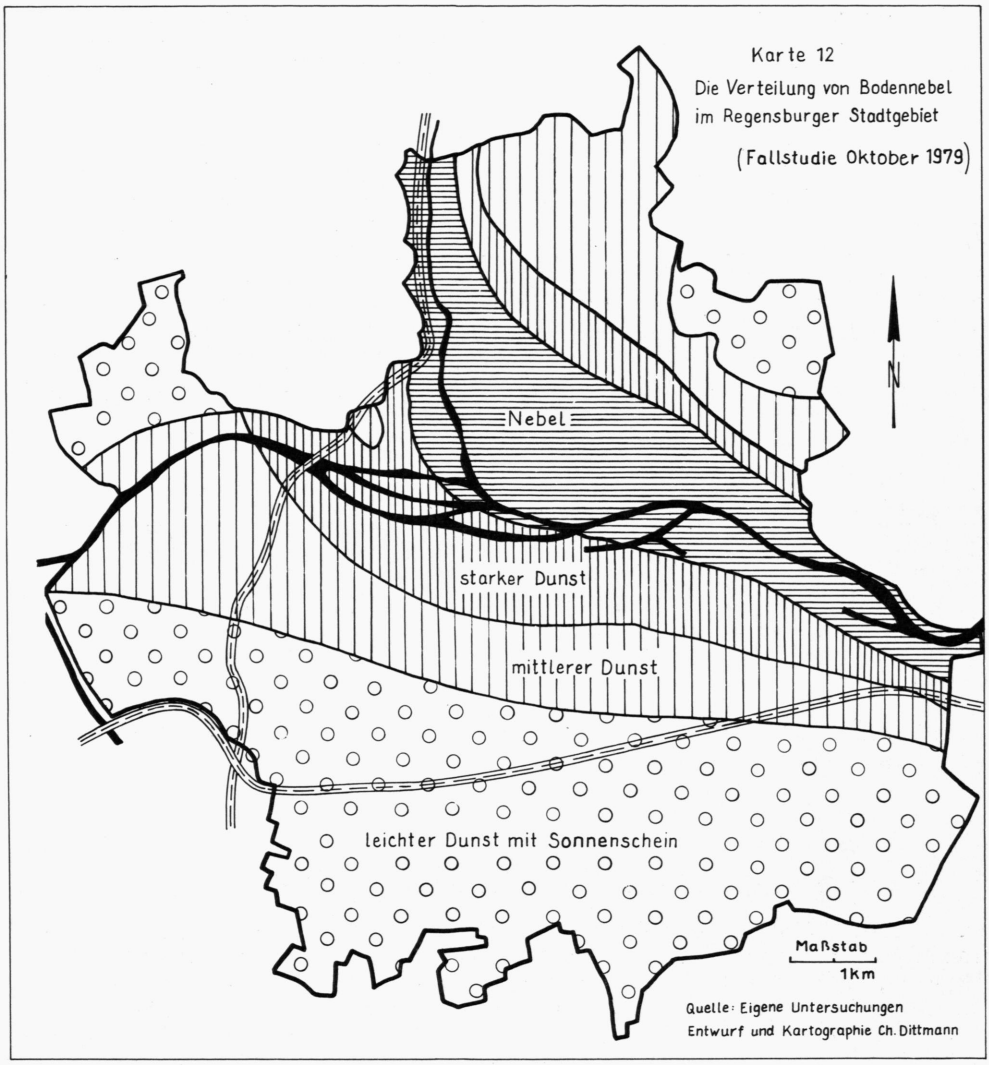
Quelle: HERB 1964 a, 10/29.

Strahlungsnebel treten im Sommer nur bis Windstärke 2, im Winter bis Windstärke 3 auf.

4.6.3 Die Verteilung des Nebels im Stadtgebiet

Bei einer Bodennebeldecke von mehr als 150 m Dicke ist die gesamte Regensburger Bucht in Nebel gehüllt. Die städtische Überwärmung und die Rauhigkeit des Untergrunds bewirken im Stadtzentrum im Laufe des Tages eine Vergrößerung der Sichtweiten, während im Freiland Bodennebel erhalten bleibt. Häufig ist jedoch bei einer flacheren Bodennebeldecke, die sich noch in den Vormittagsstunden auflöst, eine unterschiedliche Nebelverteilung im Stadtgebiet zu beobachten. Die Randhöhen sind dann nebelfrei, während im Einflußbereich von Donau und Regen geringe Sichtweiten auftreten (Karte 12). Im Stadtzentrum herrscht Dunst, da die Gebäudeüberwärmung der Nebeldichte entgegenwirkt. Am längsten bleibt Nebel im Stadtnorden, im Einflußbereich des Regentals und im Osten, in der Donauebene, erhalten.

Die Nebelauflösung kann sich unterschiedlich vollziehen: Steigt die Bodennebeldecke an, so herrscht auf den Randhöhen Nebel, in der Regensburger Bucht Hochnebel. Andererseits kann sich die Bodennebelschicht auch direkt auflösen, ohne aufzusteigen. Dies geschieht bei antizyklonalen Wetterlagen im Einflußbereich tief-


Karte 12
Die Verteilung von Bodennebel
im Regensburger Stadtgebiet
(Fallstudie Oktober 1979)
N
Nebel
starker Dunst
mittlerer Dunst
leichter Dunst mit Sonnenschein
Maßstab
1km
Quelle: Eigene Untersuchungen
Entwurf und Kartographie Ch. Dittmann

liegender Absinkinversionen, in denen kräftige Winde aus Ost bis Südost wehen, was man an der Ausbreitungsform der Rauchfahne aus dem Kamin der Zuckerfabrik erkennen kann (vgl. Photo 6). Die Nebelschwaden an der Obergrenze der Bodennebeldecke werden von diesen Luftströmungen erfaßt und in die Regensburger Bucht getrieben. In den unteren Luftschichten herrscht dagegen nahezu Windstille. An den westlichen und nordwestlichen Randhöhen werden die Ost- oder Südostwinde umgelenkt, es kommt zur Bildung von Windwirbeln, die in die Bodenkaltluft eingreifen und durch turbulente Erwärmung der unteren Luftschichten Nebelauflösung bewirken (vgl. KRAUS 1958, 3/4/10/20). Aus diesem Grund geht der Nebel zunächst im Stadtwesten zurück. Im Osten der Stadt bleibt der Nebel dagegen noch lange Zeit erhalten, da einerseits die Luftströmungen in der Warmluftschicht erst später bis zum Boden durchgreifen können, andererseits Nebelschwaden aus der Donauebene in das Stadtgebiet getrieben werden. Mehrfach konnte beobachtet werden, daß sich in den Tälern von Naab, Schwarzer Laaber, dem Kneitinger und Wutzlhofener Trockental die Bodennebel frühzeitiger auflösen als im Donautal und unteren Regental.

4.7 Die Windverhältnisse in der Regensburger Bucht

In der Regensburger Bucht kann man häufig gleichzeitig unterschiedliche Windrichtungen beobachten. Dieses Phänomen kann durch verschiedene Ursachen hervorgerufen werden:

Die Rauhigkeit der Stadt verursacht kleinräumige Winddrehungen und Windscherungen (DIEM u.a. 1964,6 f.). Benachbarte Rauchfahnen mit unterschiedlicher Quellhöhe können daher in verschiedene Richtungen wehen.

Charakteristisch ist in der Regensburger Bucht die Beeinflussung der Windströmungen durch die Randhöhen. Winde aus östlichen und südöstlichen Richtungen, die im Jahresdurchschnitt zu mehr als 22 % vorkommen, strömen ungehindert über die wald- und gehölzarme Agrarlandschaft der Donauebene in die Regensburger Bucht ein. Sie werden an den (nord-)westlichen Höhenzügen umgelenkt, wodurch große Windwirbel entstehen (Photo 7). Mehrfach konnte beobachtet werden, daß die Rauchfahne der Zuckerfabrik oberhalb der Dunstglocke SE-Wind anzeigte, während im Stadtnorden (z.B. an der Rauchfahne des Milchwerks erkennbar) wechselnde Luftströmungen aus Nord bis Nordost herrschten.

Bei Inversionen herrscht kein einheitliches Windprofil. Der Wind weht in verschiedenen Schichten in wechselnden Richtungen und unterschiedlicher Stärke (AHRENS 1972). In der Bodenkaltluft tritt häufig Windstille oder eine schwache Luftbewegung auf. Oberhalb der Bodeninversionen oder innerhalb von Absinkinversionen erfolgt eine sprunghafte Erhöhung der Windgeschwindigkeit, die am Abknicken der Rauchfahnen erkennbar ist (Photo 8).

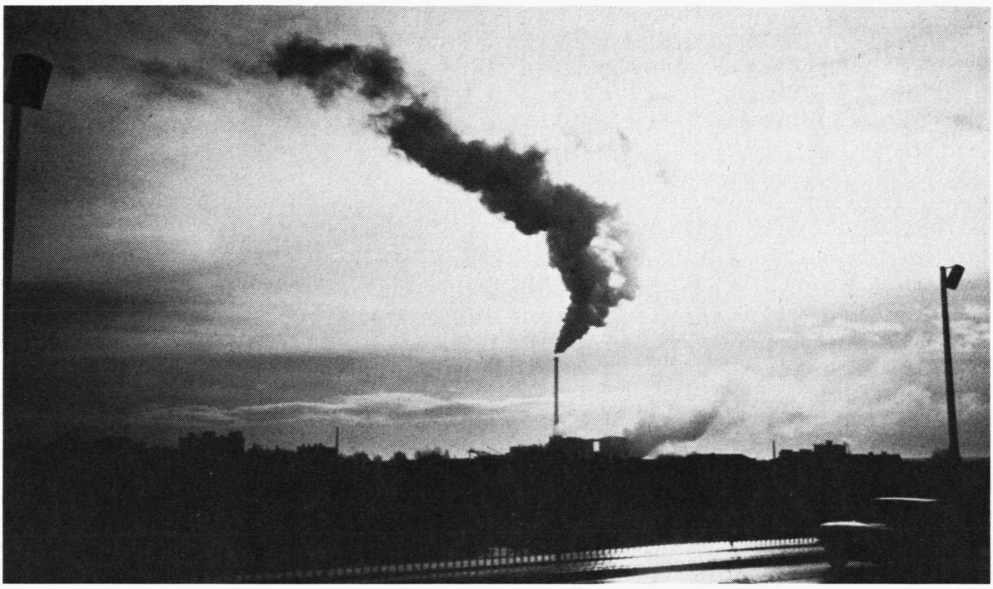


Foto 7: (Oktober 1978).
Windwirbel in der Regensburger Bucht. Der Rauch aus dem Turmkamin der Zuckerfabrik zeigt SE-Wind an und wird dann von einem großräumigen Windwirbel umgelenkt; der Rauch aus dem niedrigen Kamin zeigt E-NE-Wind an.

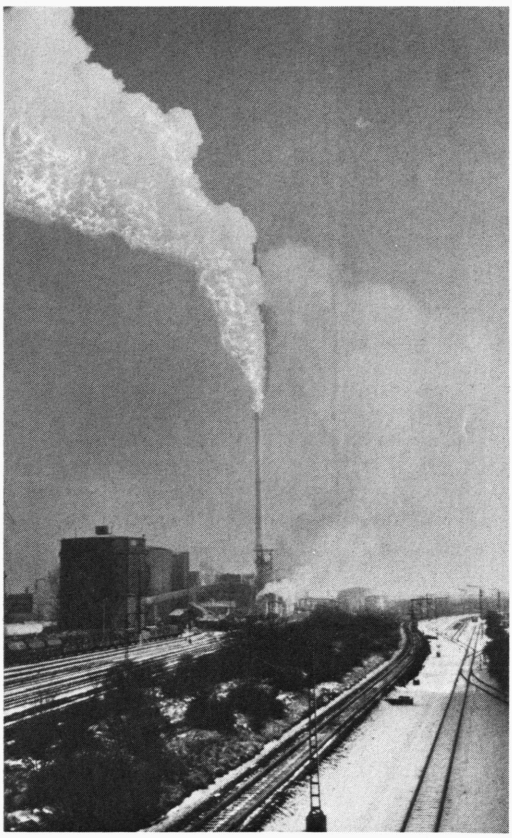


Foto 8: (Dezember 1978).
Plötzliche Zunahme der Windgeschwindigkeit oberhalb der Bodenkaltluftschicht, die am Abknicken der Rauchfahne erkennbar ist.

Die städtische Bebauung bremst die Windstärke in den unteren Luftschichten ab. Bei antizyklonalem Wetter werden dadurch die stabilen Austauschverhältnisse verstärkt und die Schadstoffverdünnung vermindert. Städte in Tälern und Becken sind davon besonders betroffen (FINKE 1976, 32 f).

Vergleicht man die Daten der Windgeschwindigkeit, die im Stadtnorden von der Wetterstation (365 m ü. NN. - 10 m ü. Gr.) und im Zentrum, über dem Dach des Rathauses am Minoritenweg (330 m ü. NN.) registriert werden, so erkennt man, daß im Jahresmittel die Windgeschwindigkeit in der Regensburger Innenstadt um 0,7 m/sec herabgesetzt ist. Zwischen 8 und 16 Uhr wird der Wind durchschnittlich am stärksten abgebremst (1,2 m/sec); in diesem Zeitraum kommen im Stadtzentrum aber auch nicht selten größere Windstärken vor, die durch die gesteigerte Böigkeit infolge der Bebauung verursacht werden. In den Abend- und Nachtstunden treten in der Innenstadt ganzjährig geringere Luftbewegungen auf.

5. DIE LUFTHYGIENISCHE SITUATION IN DER REGENSBURGER BUCHT

Um die lufthygienische Situation von Regensburg beurteilen zu können, ist es notwendig, einige Begriffe, die zum Teil nicht eindeutig definiert sind, einzuführen. Darüber hinaus ist die Kenntnis gesetzlicher Vorschriften erforderlich, in denen Schadstoffkomponenten, deren Messung und Grenzwerte festgesetzt werden. Dabei ist kritisch zu überprüfen, inwieweit das gesetzliche Instrumentarium zur Überwachung und Reduzierung von Luftverunreinigungen überhaupt geeignet ist. Zur Beurteilung der Belastung sind außerdem Kenntnisse über die Eigenschaften und Wirkungen der Schadstoffkomponenten notwendig.

5.1 Die Emission luftverunreinigender Substanzen

Der Begriff der Luftverunreinigung ist nicht eindeutig; er wird von ökonomischen Interessen beeinflußt. So liegt nach der Definition der Weltgesundheitsorganisation (WHO) eine Luftverunreinigung erst dann vor, wenn Schädigungen oder Störungen auftreten. In der Bundesrepublik werden als Luftverunreinigungen alle Stoffe aufgefaßt, die die natürliche Zusammensetzung der Luft verändern, insbesondere Rauch, Ruß, Staub, Gase, Dämpfe und Geruchsstoffe. Zu den Dämpfen wird auch Wasserdampf gerechnet (MOLL 1973, 7 f., BImSchVwV 28.8. 1974, 2.1.1). Radioaktive Stoffe zählen aus rechtssystematischen Gründen nicht zu den Luftverunreinigungen im Sinne des Emissionsschutzes (DREYHAUPT 1971, 13).

Die anthropogene Stoff- oder Energiezufuhr in die Atmosphäre wird als Emission bezeichnet. Schadstoffemissionen sind Luft-

verunreinigungen, die von künstlichen Quellen ausgehen, also z.B. Fabrik- und Hausschornsteinen oder Auspuffanlagen (BAUM 1979). Als Quelle wird dabei der Ort des Übertritts luftfremder Stoffe in die Atmosphäre bezeichnet. Man unterscheidet zwischen:

- Punktquellen (relativ vereinzelte Quellen mit geringer Emissionsfläche),
- Flächenquellen (eine Vielzahl relativ dicht zusammenliegender Einzelquellen von ungefähr gleicher Emissionshöhe, Quellstärke und ähnlichen Emissionskomponenten oder eine großflächige Einzelquelle),
- Linienquellen (eine Vielzahl (mobiler) Einzelquellen, die bandförmig angeordnet sind).

Für die Schadstoffbelastung ist neben der Emissionsart und -menge die (effektive) Quellhöhe von Bedeutung. In einer Stadt lassen sich die Quellen luftverunreinigender Stoffe grob in drei Höhenstufen untergliedern:

- die Linienquellen des Straßenverkehrs in wenigen Dezimetern Höhe,
- die Flächenquellen des Hausbrands in Gebäudehöhe,
- die Punktquellen industrieller Turmkamine oberhalb der Bebauung.

Die Emissionsraten werden angegeben als (1. BImSchVwV 28.8.1974, 2.1.1):

- Masse der emittierten Stoffe bezogen auf das Volumen (mg/m^3),
- Masse der emittierten Stoffe bezogen auf die Zeit (g/h),
- Verhältnis der Masse der emittierten Stoffe bezogen auf die Produktionsmenge (g/t).

5.2 Die Emissionssituation in Regensburg

Die Untersuchung der Emissionsverhältnisse in Regensburg ist nach den Quellgruppen gegliedert.

5.2.1 Industrielle Quellen

5.2.1.1 Die historische Entwicklung der Industrie in Regensburg

Regensburg erlangte als Handelszentrum Bedeutung. Die günstige Lage an der Donau und an wichtigen Landverbindungen nach Norden, Nordosten und Süden bewirkten die Blüte der Stadt vom

11. bis 13. Jahrhundert. Regensburg war die Stadt der Ministerialen, Fürsten, Äbte und Bischöfe. Im ausgehenden Mittelalter wurde Regensburg von den aufstrebenden Handelsstädten Augsburg und Nürnberg überrundet.

Die Industrie spielte in Regensburg immer nur eine untergeordnete Rolle (KELLENBENZ 1962, 99 ff.). Der Geheime Rath und Fürstliche Leibarzt von Schäffer (1787, 33 ff.) beschreibt 1787 die wirtschaftliche Situation der Stadt und den Wohlstand des Bürgertums: "Eigentliche Manufakturen oder Fabriken sind in Regensburg nicht, Künstler, Professionisten und Handwerker aber haben wir fast von allen Gattungen". "Alle diese Leute essen bey uns täglich zwey Mal, meist warm und eben nicht schlecht. Einmal des Tags haben sie gewiß Fleisch, viele derselben auch zweymal und Sonntags einen Braten. Braunes Bier ist der gewöhnliche Trank und wird bey uns sehr gut gebraut und unglaublich viel verbraucht".

1781 wurde in Regensburg der erste chemische Industriebetrieb Bayerns gegründet, der erst vor wenigen Jahren den Betrieb in der Dalbergstraße einstellte. Er war der größte Hersteller für Schutzmittel gegen Wildverbiß in der Bundesrepublik. 1812 wurde eine Schnupftabakfabrik in Betrieb genommen, die noch heute in der Gesandtenstraße arbeitet. 1837 gründete man in Regensburg die erste Zuckerfabrik Bayerns. Da diese nicht rentabel war, wurde 1899 die jetzige Zuckerfabrik von Thurn und Taxis errichtet.

Nach dem 2. Weltkrieg siedelten sich Flüchtlingsbetriebe an, die zum Teil Herstellungsarten aus ihrer Heimat übernahmen, z.B. Fabrik für Dekorations- und Christbaumschmuck oder für Litzen (vgl. Abb. 2) (SCHWEIGLER 1959, 128 ff.).

5.2.1.2 Die Problematik der Erhebung der Emissionsraten in Regensburg

In Regensburg befinden sich Betriebe mit Turmkaminen und 4 Großheizwerke. Über die Gesamtemissionen (verbrennungs- und produktionsbedingt) der Regensburger Industriewerke gibt es keine Erhebungen. Die Erfassung dieser Daten ist nur im Rahmen der Erstellung eines Emissionskatasters möglich (vgl. 1).

Daten über genehmigungsbedürftige Verbrennungsanlagen ($>$800.000 kcal = 3,36 GJ), deren maximaler SO_2-Auswurf und deren Betreiber liegen dem Technischen Überwachungsverein und dem Gewerbeaufsichtsamt vor, dürfen jedoch von Privatpersonen, auch für wissenschaftliche Zwecke, nicht eingesehen werden. Deshalb führte die Verfasserin bei den Betreibern von genehmigungsbedürftigen Verbrennungsanlagen mit Turmkamin Befragungen durch. Es wurde um Auskunft folgender Daten gebeten:

Nennheizleistung der Anlage, Brennstoffart, Brennstoffverbrauch, Betriebsmodus, Kaminhöhe, obere lichte Weite des Kamins, Rauchgastemperatur an der Kaminmündung und Rauchgasmenge (in Nm^3). Aufgrund dieser Angaben war es möglich, die verbrennungsbedingten Emissionsraten und die effektive Quellhöhe zu errechnen, sowie die Höhe des Turmkamins anhand des "Nomogramms zur Bestimmung der Schornsteinmindesthöhe" (1. BImSchVwV 28.8.1974, 2.6.2) zu überprüfen. Soweit die Betriebsleiter zu Auskünften bereit waren, konnten auch Daten über produktionsbedingte Emissionen und die Veränderung der verbrennungsbedingten Emissionen durch den Produktionsprozeß erfaßt werden.

Diese, durch Befragung gewonnenen Daten, beziehen sich daher fast ausschließlich auf die Emissionen von Verbrennungsanlagen, die durch Turmkamine ausgestoßen werden. Emissionen aus Dachschornsteinen, sonstigen Quellen oder produktionsbedingte Emissionen, die bei der Erstellung eines Emissionskatasters mit erfaßt werden, konnten weitgehend nicht ermittelt werden. Der Vergleich zwischen Industrie- und Hausbrandemissionen (5.2.3) fällt daher für die Industrie etwas günstiger aus.

5.2.1.3 Der Brennstoffverbrauch der Industriebetriebe und Heizwerke mit Turmkamin

Karte 13 zeigt die Lage und die Beheizung der Großdampfkesselanlagen in Regensburg. Der tatsächliche Brennstoffverbrauch ist von mehreren Faktoren abhängig:

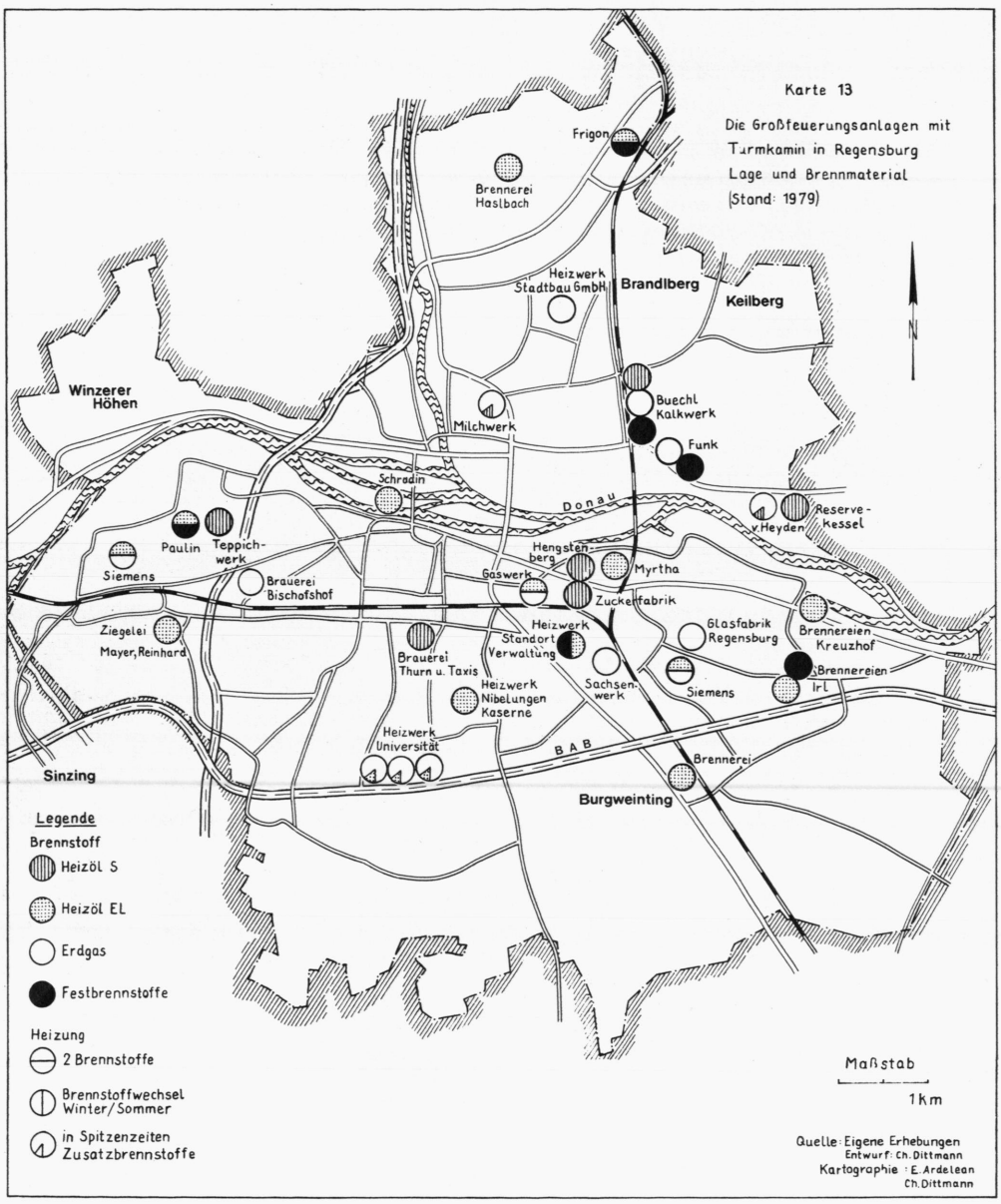
- der Wirtschaftslage,
- dem Arbeitsmodus,
- der Außentemperatur.

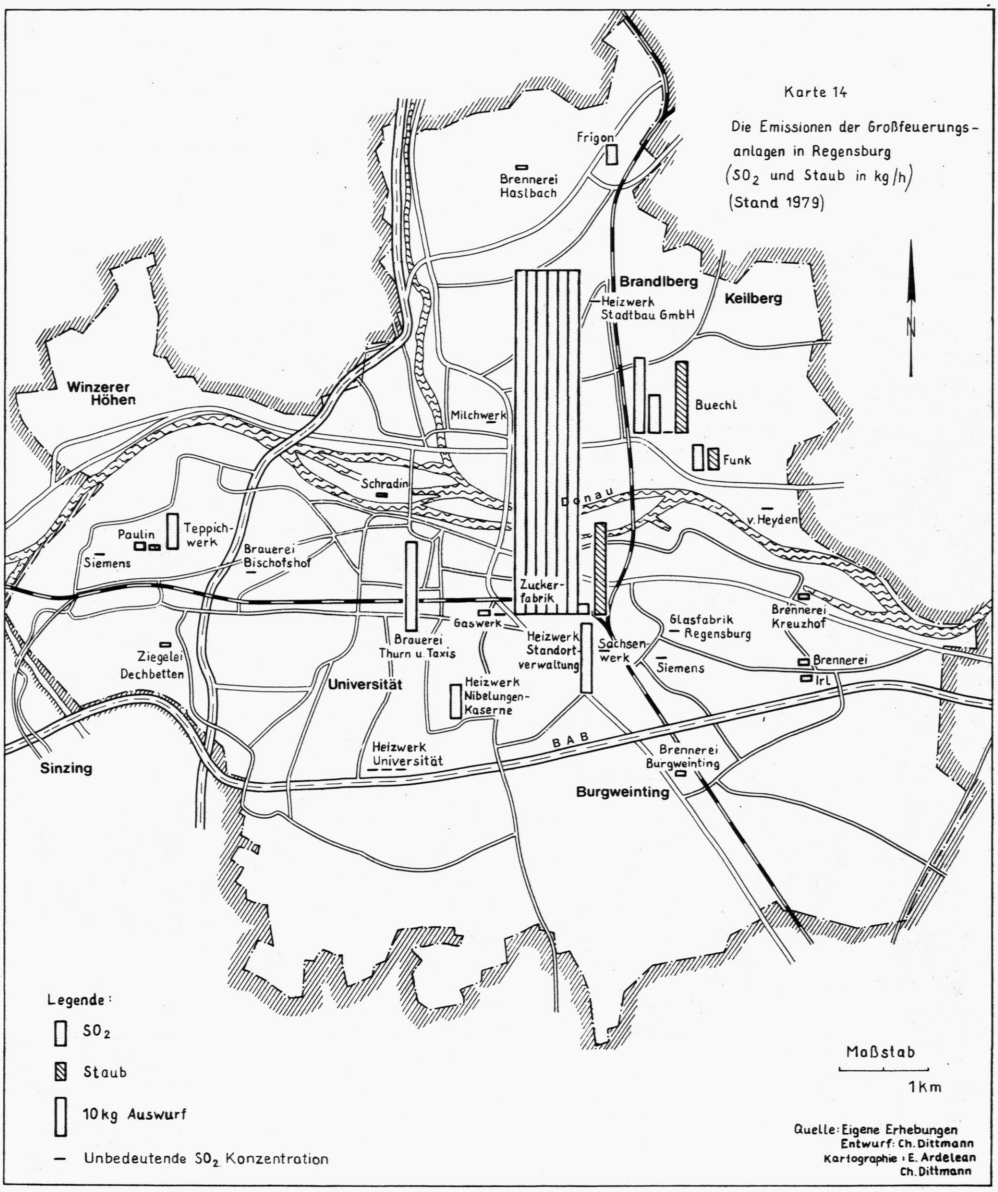
Nicht alle Betriebe arbeiten rund um die Uhr in drei Schichten. Einige Werke werden tagsüber auf Vollast, nachts reduziert betrieben. An den Wochenenden stehen manche Anlagen still oder sind stark gedrosselt nur für wenige Stunden eingesetzt. Im Winter ist der Brennstoffbedarf größer. Die Zunahme hängt dabei vom Raumheizungsbedarf ab, da die von der Produktion benötigte Heizkraft bis auf geringe Wärmeverluste gleichbleibt. So verbraucht ein Betrieb im Stadtosten, der große Werkshallen beheizen muß, im Winter 55 % Raumheizungs- und 45 % Industrieheizungsanteil.

Die Zuckerfabrik ist der einzige Großbetrieb Regensburgs, der saisonabhängig arbeitet. Er produziert etwa von Oktober bis Ende Dezember. Mit einem Verbrauch von mehr als 20 t Heizöl S je Stunde (1) benötigt die Zuckerfabrik allein fast ebensoviel Energie wie alle übrigen Industriebetriebe Regensburgs zusammen.

---

(1) Anm.: Heizöl S = Schweres Heizöl Schwefelgehalt > 1,0 %
Heizöl EL = Leichtes Heizöl Schwefelgehalt 0,3 %


Karte 13
Die Großfeuerungsanlagen mit Turmkamin in Regensburg Lage und Brennmaterial (Stand: 1979)
N
Frigon
Brennerei Haslbach
Heizwerk Stadtbau GmbH
Brandlberg
Keilberg
Winzerer Höhen
Buechl Kalkwerk
Funk
Milchwerk
Schradin
Donau
Reserve-kessel
v. Heyden
Paulin
Teppich-werk
Siemens
Brauerei Bischofshof
Hengsten-berg
Myrtha
Gaswerk
Zuckerfabrik
Ziegelei Mayer, Reinhard
Heizwerk Standort Verwaltung
Glasfabrik Regensburg
Brennereien Kreuzhof
Brauerei Thurn u. Taxis
Sachsen-werk
Siemens
Brennereien Irl
Heizwerk Nibelungen Kaserne
Heizwerk Universität
BAB
Brennerei
Sinzing
Burgweinting
Legende
Brennstoff
Heizöl S
Heizöl EL
Erdgas
Festbrennstoffe
Heizung
2 Brennstoffe
Brennstoffwechsel Winter/Sommer
in Spitzenzeiten Zusatzbrennstoffe
Maßstab
1 km
Quelle: Eigene Erhebungen
Entwurf: Ch. Dittmann
Kartographie: E. Ardelean
Ch. Dittmann


Karte 14
Die Emissionen der Großfeuerungs-anlagen in Regensburg
(SO_2 und Staub in kg/h)
(Stand 1979)
N
Frigon
Brennerei Haslbach
Brandlberg
Heizwerk Stadtbau GmbH
Keilberg
Winzerer Höhen
Milchwerk
Buechl
Funk
Schradin
Donau
v. Heyden
Paulin
Teppich-werk
Siemens
Brauerei Bischofshof
Zuckerfabrik
Gaswerk
Brennerei Kreuzhof
Glasfabrik Regensburg
Ziegelei Dechbetten
Brauerei Thurn u Taxis
Heizwerk Standortverwaltung
Sachsenwerk
Siemens
Brennerei Irl
Universität
Heizwerk Nibelungen-Kaserne
Heizwerk Universität
BAB
Brennerei Burgweinting
Sinzing
Burgweinting
Legende:
SO_2
Staub
10 kg Auswurf
– Unbedeutende SO_2 Konzentration
Maßstab
1 Km
Quelle: Eigene Erhebungen
Entwurf: Ch. Dittmann
Kartographie: E. Ardelean
Ch. Dittmann

Seit 1976 wurden 3 Großheizanlagen auf Erdgas umgestellt. Gegenwärtig verwenden noch 4 Betriebe ausschließlich Heizöl S und 8 Betriebe Heizöl EL, 5 Anlagen werden ganz oder teilweise mit Feststoffen befeuert.

5.2.1.4 Die Emissionen der Regensburger Industriebetriebe und Heizwerke

Die Stadt Regensburg ist durch SO_2, Stickoxide, Kohlenwasserstoffe u. Stäube deutlich belastet (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ 1974 e). Die Emissionen aus den Verbrennungsanlagen lassen sich aus dem Brennstoffverbrauch anhand von Tabellen errechnen (Anhang Tab. 48 - 51). Der Schwefelgehalt des Brennstoffs, der für die Höhe der SO_2-Emission ausschlaggebend ist, wurde für Heizöl EL in den letzten Jahren von 0,8 % auf 0,3 % herabgesetzt (1). Der Schwefelhöchstgehalt für Heizöl S ist nicht gesetzlich begrenzt. Neueren Anlagen wurde von den Aufsichtsbehörden jedoch die Auflage gemacht, nur Schweröl mit maximal 1,5 % S zu verwenden (früher 2,8 %).

Karte 14 zeigt die räumliche Verteilung der SO_2- und Staubemissionen im Stadtgebiet. Die Zuckerfabrik ist der Hauptemittent der Stadt. Sie verursacht mehr als 80 % der industriellen Gesamtemission. Ihr Staubausstoß ist nahezu ebenso hoch wie der der beiden kalkverarbeitenden Betriebe. Auch von den sonstigen Schadstoffkomponenten wie CO, NO_2 oder Kohlenwasserstoffe emittiert die Zuckerfabrik mehr als alle anderen Industriebetriebe Regensburgs zusammen.

Durch den Grauwert der Ringelmann-Skala ist die optische Bewertung von Abgasfahnen gesetzlich festgelegt. Die Schwärzung darf den Wert 2 nicht überschreiten (1. BImSchV - 28.8.1974, § 2/Anlage 2; 1. BImSchVwV - 28.8.1974, 2.1.2/2.3.2). Auf diese Weise kann aber nur der Anteil an Feststoffen, vor allem Ruß, abgelesen werden. Die meisten Schadstoffe sind jedoch nicht sichtbar in einer weißen Abgasfahne (Wasserdampf) enthalten. So emittiert die Zuckerfabrik, deren scheinbar saubere, weiße Abgaswolke aus dem Turmkamin nur Wasserdampf zu enthalten scheint, pro Stunde etwa 1 t Schadstoffe. Gelegentlich wird diese Giftstoffkonzentration nach Auflösung des Wasserdampfes sichtbar (Photo 9).

Bei der Überprüfung der Kaminmindesthöhe (nach: 1. BImSchVwV - 28.8.1974, 2.6.2) wurde festgestellt, daß alle Anlagen den gesetzlichen Vorschriften entsprechen.

---

(1) Anm.: Stufenweise Begrenzung des Schwefelanteils:
seit 1.5.1975 - 0,55 % S
seit 1.1.1976 - 0,5 % S
seit 1.1.1979 - 0,3 % S
(3. BImSchV - 15.1.1975).

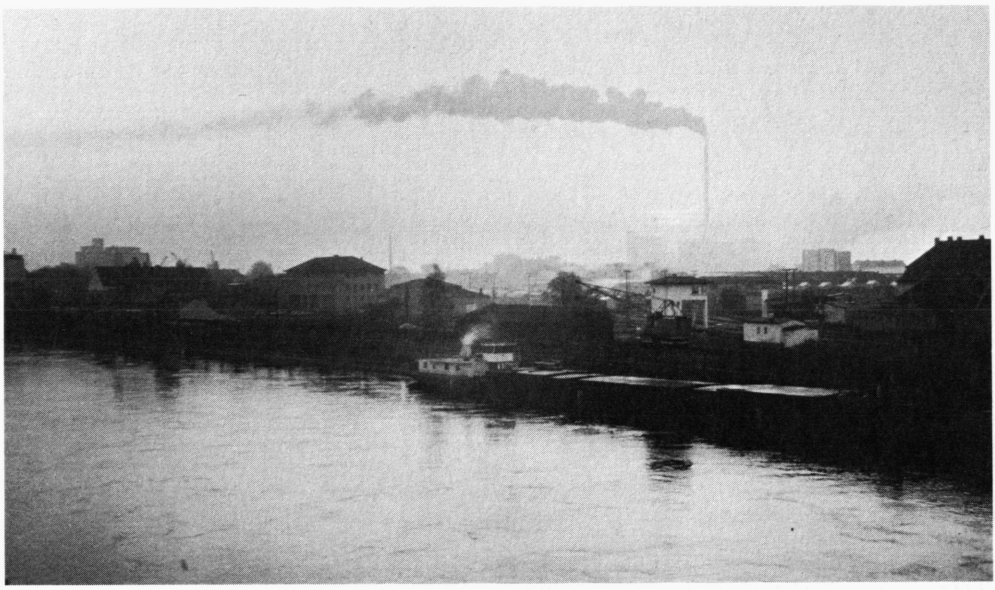


Foto 9:
Regensburg Zuckerfabrik: Die Schadstoffe der Abgasfahne werden nach Auflösung der weißen Wasserdampfwolke sichtbar (November 1979).

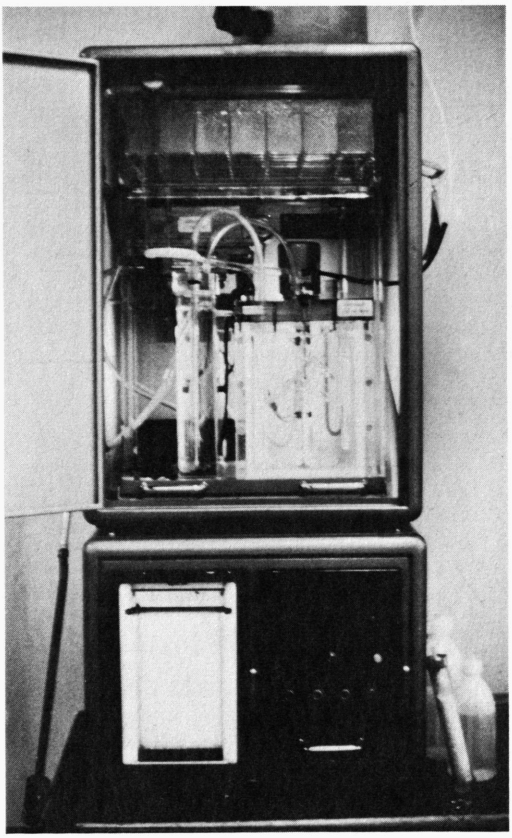


Foto 10:
Der chemisch-physikalische Gasspurenanalysator (SO_2) „Picoflux".

Die Brennstoffemissionen können sich durch die Produktion verändern: Bei den Kalkwerken beträgt die Schwefeleinbindung etwa 80 %, da sich der Schwefel mit dem Kalk zu Gips verbindet. Bei der Schnitzeltrocknung der Zuckerfabrik werden etwa 2,8 % Schwefel eingebunden.

Folgende Emissionen treten durch den Produktionsprozeß auf: Größere Mengen von Stäuben verursachen das Zementwerk und die Kalkwerke im Nordosten der Stadt. Fluoremissionen gehen von Ziegeleien aus. In der einzigen Ziegelei, die in Regensburg Dechbetten noch in Betrieb ist, liegen die Fluoremissionen mit 15 mg F/m^3 jedoch sehr niedrig (Grenzwert 30 mg F/m^3). Die Ursache hierfür ist, daß Fluor hauptsächlich erst ab Brenntemperaturen oberhalb 950° C freigesetzt wird. Da der Ton in der Grube Dechbetten mit Braunkohle versetzt ist, genügen hier bereits Brenntemperaturen um 920° C. Schäden durch Fluoremissionen traten in Dechbetten nicht auf (vgl. BERGE 1976). Kohlenwasserstoffe und Geruchsstoffe, die äußerst belästigend wirken können, werden bei der Lebensmittelverarbeitung, der chemischen Industrie und Kunststoffindustrie sowie bei Druckereien freigesetzt. Die organischen Emissionen der Zuckerfabrik sind bei austauscharmem Wetter mit Ostwind besonders im Westen und Nordwesten der Stadt deutlich wahrzunehmen. Druckereien emittieren außerdem noch HF. Die Flußsäureanlage des Chemiewerks in Schwabelweis wurde im August 1978 stillgelegt, da mehrfach Säure ausgeströmt war und die Anwohner gefährdet hatte (Information: Bayer. Landesamt f. Umweltschutz).

5.2.2 Flächenquellen: Hausbrand und Kleingewerbe

5.2.2.1 Die Beheizungsarten in Regensburg in Abhängigkeit von der Bausubstanz

In Regensburg gab es im zweiten Quartal 1979 14.535 Wohngebäude. Davon sind (STADT REGENSBURG AMT FÜR STATISTIK 1979 II):

61 % Ein- und Zweifamilienhäuser

39 % Mehrfamilienhäuser

Der Anteil der Ein- und Zweifamilienhäuser nimmt ständig zu.

Die letzte detaillierte Gebäude- und Wohnungserhebung wurde 1968 durchgeführt. Seitdem vergrößerte sich die Anzahl der Wohnungen im Stadtgebiet durch Eingemeindungen, aber besonders durch Neubauten um über 11.000 auf 55.139 (STADT REGENSBURG AMT FÜR STATISTIK 1979, II).

Die Beheizung der Häuser und Wohnungen ist vom Alter der Häuser, deren Sanierungsstand, aber auch von den sozialen und finanziellen Verhältnissen der Eigentümer abhängig. 1968 wurden die ins-

ges. 43.857 Wohnungen Regensburgs beheizt mit (vgl. Anhang Tab. 47) (Information: Amt f. Stadtentwicklung und Statistik):

Sammelheizung	24 %	
Einzelofenheizung	76 %	
davon befeuert mit:		
Holz, Kohle, Torf:	45 %	(59 %)
Öl, Gas, Strom	31 %	(41 %).

Da nach 1968 Gebäude fast ausschließlich mit Sammelheizungen errichtet wurden, hat der Anteil der zentralbeheizten Wohnungen stark zugenommen (schätzungsweise auf 38 %).

Besonders groß ist der Rückgang bei den Wohnungen mit kohlebefeuerten Einzelöfen, da sehr viele Hauseigentümer und Mieter auf ölbefeuerte Einzelöfen umstellen. 1976 wurden etwa 60 % der Einzelöfen mit Heizöl EL beheizt und nur noch etwa 20 % mit Festbrennstoffen; die restlichen 20 % mit Erdgas (Information: Bezirkskaminkehrermeister). Bei der Sanierung älterer Gebäude wird vorwiegend Zentralheizung eingebaut. Fernwärme beziehen Wohnungen aus Heizungszentralen der Stadtbau GmbH:

Hochhaussiedlung: Berliner Str.	ca. 1.000 Wohnungen,
Miethäuser: A.-Bayerer-Str.	301 Wohnungen,
einige Hochhäuser in Königswiesen	404 Wohnungen.

Daneben gibt es Heizwerke privater Wohnungsbaufirmen, die Fernwärme liefern, z.B. in der Lechstraße (Information: Stadtbau GmbH).

Deshalb sind die Daten von 1968 für den gegenwärtigen Ausstattungsgrad der Wohnungen in Regensburg nicht mehr heranzuziehen. Sie geben jedoch noch einen guten Überblick über die Beziehungen zwischen Beheizung, sanitärer Ausstattung und Gebäudealter (vgl. Anhang Tab. 47). In der Altstadt und in den Dorfkernen werden die meisten Wohnungen mit Einzelöfen beheizt, und die sanitäre Ausstattung ist unterdurchschnittlich. Aber die historische Bausubstanz trägt nur in geringem Maße zur schlechten Wohnungsausstattung bei. Denn nur 20 % der Wohngebäude wurden vor 1900 errichtet. Sie konzentrieren sich zu 80 % auf die Altstadt (vgl. STADT REGENSBURG 1977, II 2). Fast 50 % der Wohnungen entstanden nach 1945 (Stand 1968), aber nur 24 % aller Wohnungen besaßen vor 10 Jahren eine umweltfreundliche Sammelheizung. Die Ursache dafür war, daß nach dem Krieg in Regensburg öffentliche und private Bauherren äußerst billig bauten. Noch nach 1960 wurden im sozialen Wohnungsbau große Mietshäuser mit Einzelofenheizung errichtet. Im Stadtteil Brandlberg-Keilberg, in dem (bis 1968) 43 % der Wohnungen nach 1949 entstanden, verfügten vor 10 Jahren 91 % über eine Einzelöfenheizung, und nur 43 % besaßen eigenes Bad und WC! Ähnlich lagen die Verhältnisse in

Sallern-Gallingkofen. Nur in Prüfening und Königswiesen, wo größere Wohnanlagen weitgehend erst nach 1965 entstanden, war der Anteil der Wohnungen mit Sammelheizungen und einer guten sanitären Ausstattung von Anfang an hoch.

Ein Vergleich mit anderen bayerischen Städten zeigt, daß die Ausstattung der Wohnungen in Regensburg 1968 unterdurchschnittlich war (EWAG 1975 III,83; STADT REGENSBURG 1977, II-9; vgl. DREYHAUPT 1971, 25).

5.2.2.2 Der Tages- und Jahresgang der Hausbrandemissionen

Da in den Hauhalten der Brennstoff hauptsächlich zur Raumheizung verwendet wird, ist die Emission von den Witterungsverhältnissen abhängig. Der Jahresgang ist einphasig mit dem Maximum im Winter und dem Minimum im Sommer. Weil der Brennstoffverbrauch sehr stark von der Außentemperatur abhängt, schwankt er von Jahr zu Jahr. Zentrale Feuerungsanlagen, die auch Warmwasser erzeugen, arbeiten im Sommer reduziert; Einzelöfen werden nicht beheizt. Einzelöfen bewirken im Gegensatz zu Sammelheizungen einen ausgeprägten Tagesgang, der von der Lufttemperatur abhängt. Bei einem Tagesmittel von -12°C und weniger ist kein Tagesgang mehr feststellbar, da die Maximalleistung der Heizung ausgeschöpft wird. Bei höheren Temperaturen bis etwa 12° Tagesmittel tritt dagegen ein primäres Maximum am Vormittag auf, zum Zeitpunkt des morgendlichen Anheizens, und ein sekundäres Maximum am frühen Abend, wenn die Öfen nachgefüllt werden (DREYHAUPT F.J. 1971, 119; MINISTER FÜR ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 1972, 48 ff.; FORTAK 1974, 53 ff./191 ff.).

Durch Feuerungskontrolle, Energiespargesetz und emissionsarme Wärmeversorgung sind die Hausbrandemissionen seit 1970 zurückgegangen (BROCKE in OLSCHOWY 1978, 206 ff.).

5.2.3 Die Emissionsraten der Feuerungsanlagen - Industrie und Hausbrand - in Regensburg

Nachfolgend wird untersucht, wie groß der Anteil der Emittentengruppen:

- Hausbrand mit Kleingewerbe: $\leq$ 800.000 kJ
- größere Anlagen: $>$ 800.000 kJ
- industrielle Großanlagen mit Turmkamin (ohne Heizwerke)

an der Gesamtschadstoffproduktion ist.

5.2.3.1 Berechnungsgrundlagen

Die Erfassung der Emissionsraten von Hausbrand und Gewerbe kann auf unterschiedliche Art erfolgen. Der Schwerpunkt der Emissionen dieser Quellgruppe "liegt eindeutig bei den Verbrennungsvorgängen. Die entsprechenden Emissionen können nach Art und Menge - bezogen auf Einheitsflächen - pauschal ermittelt werden. Die nicht auf Verbrennungsvorgängen beruhenden Emissionen des Kleingewerbes müssen dagegen in ähnlicher Weise individuell erhoben werden wie im industriellen Bereich" (MINISTER FÜR ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 1972, 11).

Die stereoskopische Luftbildauswertung ist eine Möglichkeit, die Emissionsraten des Hausbrands zu erfassen. Anhand von Kaminhöhen und Gebäudegrößen läßt sich der Brennstoffbedarf abschätzen (DREYHAUPT 1971, 28/118 f.).

In der vorliegenden Arbeit wurden Daten über Anzahl und Leistung der Hausbrandfeuerungsanlagen durch Fragebögen an die Bezirkskaminkehrermeister ermittelt. Zur Berechnung des Brennstoffverbrauchs von Heizanlagen dient die Gradtagszahl, die durch folgende Formel bestimmt wird (4. BImSchVwV - 1975, 338, Anlage 1):

$$G = Z \cdot (t_i - t_{am})$$

Es bedeuten:

G:	Anzahl der Gradzahltage
Z:	Tage/Monat mit Tagesmittelwert $\leq 15^{\circ}$ C
t_i:	Raumtemperatur 20° C
t_{am}:	Temperaturmittelwert aus den Mittelwerten aller Heiztage/Monat

Danach kommen in Regensburg im Mittel (1951 - 70) folgende Gradtagszahlwerte vor (Berechnungsgrundlage: Statistik DWD K 1 37 1865):

Januar	700	September	138
Februar	593	Oktober	369
März	527	November	504
April	551	Dezember	592
Mai	141		

Der Emissionsberechnung liegen die Tabellen 48 - 52 (Anhang) zugrunde. In der Regel wird die Emissionsbelastung nur als Jahres-

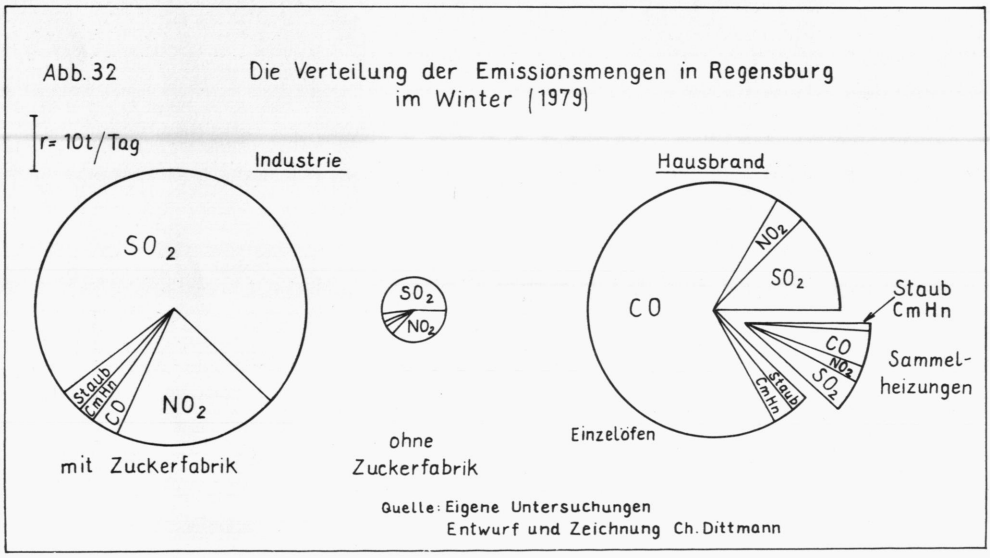
mengenwert angegeben. Da die Emissionen aus Feuerungsanlagen aber einen deutlichen Jahresgang aufweisen, wurden die Berechnungen nach Jahreszeiten aufgeschlüsselt (1).

Die Berechnung der Schadstoffemissionen der industriellen Großanlagen erfolgte auf Grundlage der durch Befragung ermittelten Daten.

5.2.3.2 Die Verteilung der Emissionen aus Feuerungsanlagen zu verschiedenen Jahreszeiten

Der Anteil der Hauptemittentengruppen an der Gesamtemission ist in den Jahreszeiten äußerst unterschiedlich. Wegen der großen Emissionsmengen der Zuckerfabrik müssen außerdem die Monate, in denen dieser Betrieb arbeitet, gesondert behandelt werden.

Abb. 32 zeigt die Verteilung der Emissionen von industriellen Großanlagen und Hausbrand an einem Werktag im Winter; die Betriebe arbeiten auf Vollast.



(1) Anm.: Die Tab. 47 (Anhang) ist für die Berechnung der Emissionen aus Feuerungsanlagen nicht ausreichend aufgeschlüsselt. Bei einer zukünftigen Erhebung sollte daher zwischen Öl- sowie Gas- und Stromheizungen unterschieden werden. Wichtig ist außerdem die Anzahl der Einzelöfen, die nicht mit der Anzahl der mit Einzelöfen beheizten Wohnungen identisch ist. Für die Berechnung der Emissionen aus Sammelheizungen ist zusätzlich eine Aufschlüsselung nach Größenklassen notwendig.

Deutlich sichtbar ist der Einfluß der Zuckerfabrik auf die Emissionssituation in Regensburg: Während im Dezember die industrielle Schadstoffproduktion geringfügig den Anteil des Hausbrands überwiegt, ist sie im Januar und Februar untergeordnet; der Hausbrand emittiert in diesen Monaten 2/3 der Gesamtschadstoffe.

In der Abgaszusammensetzung unterscheiden sich die Emissionen von Industrie und Hausbrand vollständig: Durch die Industrie wird vorwiegend SO_2 emittiert, durch den Hausbrand CO. Das Giftgas CO ist besonders in geschlossenen Räumen gefährlich, während sich SO_2 mit der Luftfeuchtigkeit zu schwefeliger Säure verbindet und im Laufe der Zeit auch bei geringen (für den Menschen ungefährlichen) Konzentrationen Materialien angreift (vgl. Regensburger Dom - 5.5.1). Die Flächenwirkung von SO_2 ist daher wesentlich größer (BROCKE in OLSCHOWY 1978, 206 ff.). Wie sehr produktionsbedingte Emissionen die Schadstoffverteilung verändern, ist aus dem vorliegenden Material nicht zu entnehmen. Wasserdampf und CO_2 sind keine Schadgase. Bei tiefliegenden Inversionen mit Bodennebel dürfte aber eine Emissionsmenge von etwa 1.500 t Wasserdampf/Tag für die Dichte und Beharrlichkeit des Nebels nicht unerheblich sein.

Wegen der geringen Quellhöhe tragen die Hausbrandemissionen bei stabiler Schichtung in den unteren Luftschichten besonders zur Schadstoffanreicherung bei. Da der Hausbrand in der kalten Jahreszeit die wichtigste Emissionsquelle ist, wurde er gesondert ausgewertet:

Tab. 9: Die Emissionen des Hausbrands in Regensburg im Winter in % (Stand 1979)

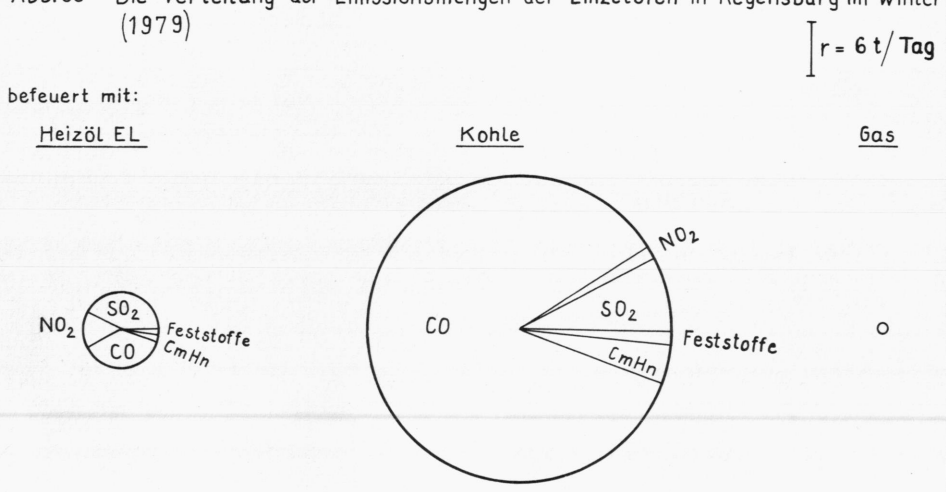
	SO_2	CO	NO_2	C_mH_n	Feststoffe
Einzelöfen	75	93	64	84	92
Sammelheizung	25	7	36	16	8

Quelle: Eigene Erhebungen

Der überhöhte Schadstoffanteil der Einzelofenabgase entsteht durch die niedrigeren Brenntemperaturen, die einen unvollständigen Verbrennungsgrad bewirken. Dies führt vor allem zu hohen CO- und Feststoffemissionen. Während des Anheizens, bei Schwelbrand und wenn der Ofen auskühlt, ist der Schadstoffauswurf besonders groß. Die Entstehung von CO-Abgasen ist jedoch auch von der Ofentechnik und vom Brennstoff abhängig (BROCKHAUS 1976;

BAUM 1972). Sammelheizungen weisen dagegen bei korrekter Brennereinstellung geringe CO- und Feststoffemissionen auf. Abb. 33 zeigt die Verteilung der Emissionen aus Einzelöfen. Obwohl nur noch 20 % der Einzelöfen mit Kohle befeuert werden, verursachen sie den größten Teil der Hausbrandemissionen (BOTHE in: VOGL u.a. 1977, T.2.7.7).

Abb. 33 Die Verteilung der Emissionsmengen der Einzelöfen in Regensburg im Winter (1979)



Quelle: Eigene Untersuchungen
Entwurf und Zeichnung Ch. Dittmann

Die SO_2-Emission ist weder von der Heizleistung noch von der Feuerungsart, sondern allein vom Schwefelgehalt des Brennstoffs abhängig (WEBER 1975). Polyzyklische und aromatische Kohlenwasserstoffe bilden sich vor allem beim Anheizen mit Nuß- und Braunkohlebriketts; geringere Emissionen verursacht Anthrazitkohle. Messungen an den verkehrsfreien Sonntagen (1973) ergaben, daß im Winter Kohlenwasserstoffe überwiegend durch den Hausbrand und nur geringfügig durch Kraftfahrzeuge freigesetzt werden (BROCKHAUS 1976). Das krebserzeugende Benzo(a)pyren entsteht hauptsächlich (zu 85 %) durch kohlebefeuerte Öfen (BROCKHAUS 1974).

Die gasbefeuerten Einzelöfen, deren Anzahl in Regensburg ebenso groß ist wie die der Kohleöfen, verursachen dagegen fast keine Schadstoffemissionen (LÜTZKE 1975, GRANDJEAN u.a. 1973, 5).

Wegen der höheren Temperaturen wird beim Hausbrand im Herbst und Frühjahr weniger Brennstoff verbraucht. Die Emissionen der Einzelöfen sind in dieser Zeit aber sehr hoch, da viele Öfen überdimensioniert eingebaut wurden und deshalb bei wärmerem Wetter auf sehr niedrige Brenntemperaturen eingestellt sind (Schwelbrand).

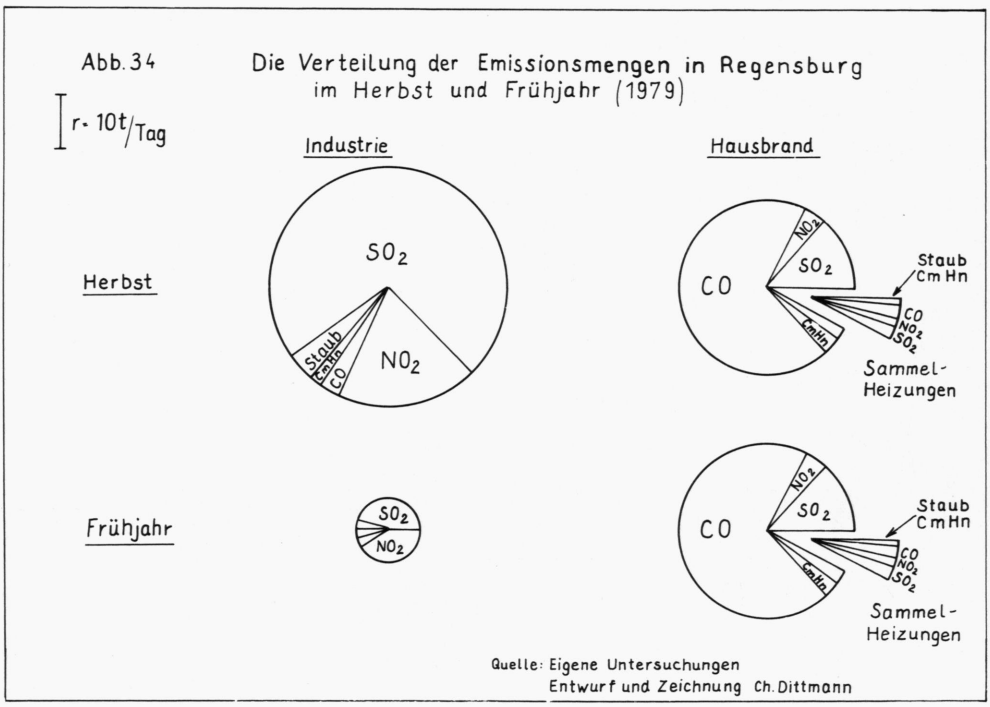


Abb. 34 zeigt, daß im Herbst wegen des Einflusses der Zuckerfabrik die industriellen Emissionsraten in Regensburg überwiegen. Im Frühjahr verursacht dagegen der Hausbrand bei weitem die meisten Schadstoffe.

Da im Sommer die Einzelöfen nicht betrieben werden und Sammelheizungen reduziert zur Warmwassererzeugung arbeiten, verursacht die Industrie in dieser Jahreszeit den größten Emissionsanteil. Die Schadstoffmengen sind insgesamt jedoch sehr gering.

Nur bei Städten mit wenig Industrie trägt der Hausbrand in entscheidendem Maße zur Luftverunreinigung bei. Für die Bundesrepublik wird der Anteil der industriellen Emissionen zwischen 50- und 80 % angegeben (STRATMANN 1965; BROCKE u.a. in VOGL u.a. 1978, T. 2.1).

In Tab. 10 sind die Schadstoffmengen für das Stadtgebiet von Regensburg aufgeführt. Es besteht eine hohe Gesamtbelastung durch SO_2 und CO. Die Schadstoffemission ist aber sehr ungleich verteilt: 79 % der SO_2-Emission und 76 % der CO-Emission entfallen auf die Zeit von Oktober bis Februar. In diesen Monaten treten häufig ungünstige Austauschbedingungen, mehrtägige Inversions- und Nebelperioden auf.

Tab. 10: Die Schadstoffemissionen der Feuerungsanlagen in Regensburg zu verschiedenen Jahreszeiten in t (Stand 1979)

	SO_2	CO	NO_2	C_mH_n	Feststoffe
Winter: Dez.-Febr. (1)					
Gesamt	1 350	1 700	500	130	100
Industrielle Großanl.	700	50	300	25	50
Hausbrand	350	1 500	100	80	50
Herbst: Sept.-Nov. (2)					
Gesamt	1 400	1 200	450	100	100
Industrielle Großanl.	1 000	50	300	20	60
Hausbrand	250	1 050	100	60	30
Frühjahr: März-April					
Gesamt	350	800	200	50	40
Industrielle Großanl.	100		100	5	20
Hausbrand	150	700	50	40	20
Sommer: Mai-August (3)					
Gesamt	300	100	250	20	30
Industrielle Großanl.	200		200	10	30
Hausbrand	50	50	25	5	
Jahr:					
Gesamt	3 400	3 800	1 400	300	270
Industrielle Großanl.	2 000	100	900	60	160
Hausbrand	800	3 300	275	185	100

Quelle: Eigene Erhebungen

(1) Die Zuckerfabrik arbeitet nur im Dezember.
(2) Die Zuckerfabrik arbeitet im Oktober und November.
(3) Da im Mai Raumheizung kaum noch betrieben wird, wurde dieser Monat bereits zum Sommer gerechnet.

5.2.4 Linienquellen: Die Emissionen durch Kraftfahrzeuge

5.2.4.1 Die Abhängigkeit der Verkehrssituation von der Bausubstanz

Wie in anderen Städten verursacht auch in Regensburg die ständig steigende Fahrzeugdichte Verkehrsprobleme. Diese werden zusätzlich verschärft,

a) durch die Straßenverhältnisse in der Altstadt und
b) durch die unzureichende Anzahl der Donauübergänge - es gibt bisher nur drei durchgehende Brückenverbindungen (Stand 1980) - die sich besonders negativ auswirkt, da die Arbeitsplätze südlich der Donau konzentriert sind, während ein hoher Anteil der Bevölkerung nördlich der Donau wohnt.

Die Altstadt, die nur wenige schmale Durchgangsstraßen hat, ist vom Verkehr völlig überlastet. Die Enge der Straßen sowie die Verflechtung von Verkehr u. Fußgängern bewirken häufige Stauungen und einen permanent sehr zähen Verkehrsfluß. Außerdem werden die Gassen durch Parkplatzsucher, Lieferverkehr und unvorschriftsmäßig geparkte Fahrzeuge zusätzlich verstopft. Das Parkplatzproblem ist in der Altstadt am schwerwiegendsten. 1972 wurden 5.760 Parkplätze, davon 3.620 öffentliche Stellmöglichkeiten gezählt (DORSCH CONSULT II 1972, 25). In der Zwischenzeit ist ihre Anzahl wegen Baumaßnahmen sogar noch zurückgegangen.

In der Altstadt wohnen aber 13.500 Personen, etwa 24.000 Erwerbstätige haben hier ihren Arbeitsplatz, und die zahlreichen Dienstleistungsbetriebe benötigen einen regen Kundenzustrom (STADT REGENSBURG, AMT FÜR STATISTIK 1979 II, 30; vgl. Anhang Tab. 45).

Da sich durch die Altstadtsanierung die Sozialstruktur verändert, besser verdienende Familien in die ehemaligen Armenquartiere einziehen, wird sich die Parkraumnot vergrößern, denn der eigene Pkw ist für die meisten neuen Mieter selbstverständlich. Da die Stadtverwaltung bisher keine ausreichenden Stellplätze für Kraftfahrzeuge in der Innenstadt geschaffen hat, strömen immer mehr Bürger in die Einkaufszentren am Stadtrand. Diese Entwicklung bedroht langfristig die Funktionsfähigkeit der Altstadt.

Aus den oben dargelegten Gründen (Kap. 3.2.3) ist im Berufsverkehr die Situation für Schüler und Erwerbstätige aus dem Stadtnorden besonders schlecht. Zu dieser Zeit kommt der Verkehr in den Zufahrtsstraßen zu den Donauübergängen regelmäßig zum Still-

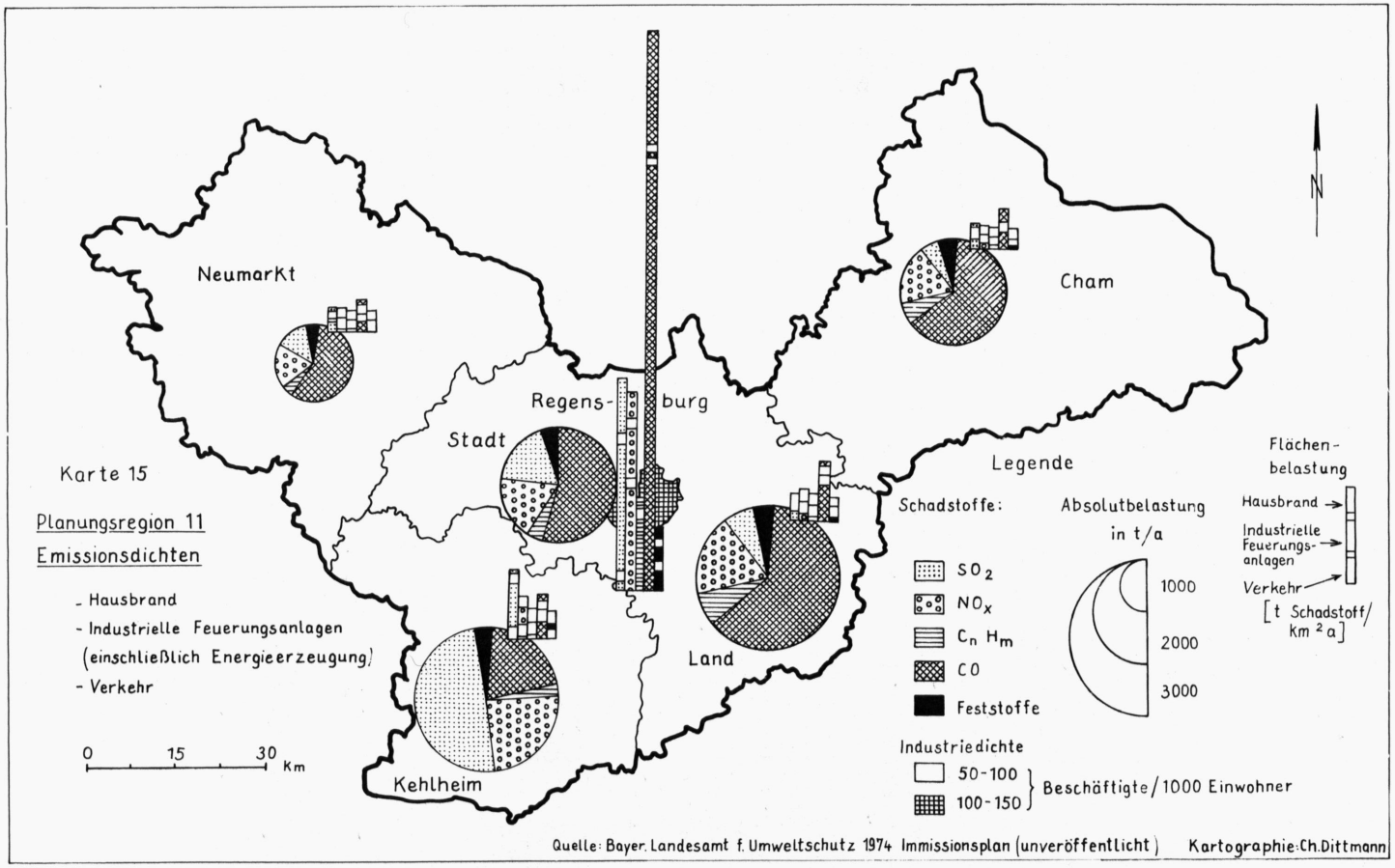
stand. Staus von mehreren Kilometern Länge sind keine Seltenheit. Die Omnibusse der Stadtwerke, Bundesbahn und privater Unternehmen sind im Berufsverkehr in der Regel überfüllt (zumeist von Fahrgästen ohne Führerschein oder eigenen Pkw). Auch ist die Fahrzeit mit dem eigenen Wagen oft wesentlich kürzer, da die Streckenführung der Busse häufig einen erheblichen Umweg bildet, beim Umsteigen längere Wartezeiten auftreten oder mit dem Pkw die Hauptverkehrsadern umgangen werden können. Für Kraftfahrzeugfahrer besteht daher kein Anreiz, auf öffentliche Verkehrsmittel umzusteigen.

Zahlreiche Pläne wurden von Behörden, Gutachterkommissionen, Ingenieurbüros und Bürgerinitiativen bisher entworfen, die Verkehrssituation in Regensburg zu verbessern (z.B. REGENSBURG ZUR ERNEUERUNG EINER ALTEN STADT 1967; DORSCH CONSULT 1972; FORUM REGENSBURG 1974). Sie reichen von der Zerstörung des alten Stadtkerns durch mehrspurige Straßentrassen (ältere Entwürfe zur Bayerwaldbrücke) bis zur Sperrung der gesamten Altstadt für den Verkehr. In einem Projekt, das vom Bundesministerium für Forschung und Technologie unterstützt wird, soll geprüft werden, ob Regensburgs Verkehrsomnibusse in der Altstadt unterirdisch durch Betonröhren geleitet werden können. Auf diese Weise ließen sich die Fußgängerbereiche erheblich erweitern (MZ - 18.9.1979). Es ist aber ungewiß, ob ein solches unterirdisches Busnetz gebaut werden kann. Wie bereits ausgeführt, sind die Untergrund- und Grundwasserverhältnisse im Altstadtbereich nicht erkundet worden, und es ist nicht auszuschließen, daß durch Tiefbauten die Grundwasserverhältnisse verändert und die mittelalterliche Bausubstanz geschädigt werden. Aus diesem Grund bestehen auch Bedenken gegen den Bau weiterer Tiefgaragen. Um die Parkraumnot in relativ kurzer Zeit zu verbessern, ohne teuere Gutachten in Auftrag zu geben und Gebäudeschäden durch Grundwasserstau oder zeitlich begrenzte, partielle Grundwasserabsenkung zu riskieren, wäre der Bau von großen Parkhäusern auf den Freiflächen des Donaumarktes und des Unteren Wöhrds sinnvoll.

Unter diesem Gesichtspunkt wäre es zu empfehlen, die vorgesehene Planung, am Unteren Wöhrd ein Hotel zu errichten, nochmals zu überdenken.

5.2.4.2 Die Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs im Regensburger Stadtgebiet

Die Emissionen der Kraftfahrzeuge sind unterschiedlich: Ottomotoren stoßen vor allem kanzerogene Kohlenwasserstoffe, reizerzeugende Stickoxide und das Giftgas CO aus, während Dieselmotoren besonders Ruß und SO_2 emittieren (KRÜGEL in VOGL u.a. 1977 - 79, T. 2.2.1). Obwohl sich Fahrzeugabgase sehr rasch mit der Außenluft verdünnen, werden Fußgänger in Straßennähe und Autofahrer bei Verkehrsstauungen davon stark betroffen (vgl. BROCKE u.a. in VOGL u.a. 1977 - 79, T. 2.1).


Karte 15
Planungsregion 11
Emissionsdichten
- Hausbrand
- Industrielle Feuerungsanlagen
(einschließlich Energieerzeugung)
- Verkehr
0 15 30 Km
Neumarkt
Regens-burg
Stadt
Land
Cham
Kehlheim
N
Legende
Schadstoffe:
SO_2
NO_x
$C_n H_m$
CO
Feststoffe
Absolutbelastung in t/a
1000
2000
3000
Flächen-belastung
Hausbrand
Industrielle Feuerungs-anlagen
Verkehr
[t Schadstoff/ km² a]
Industriedichte
50-100
100-150
Beschäftigte/1000 Einwohner
Quelle: Bayer. Landesamt f. Umweltschutz 1974 Immissionsplan (unveröffentlicht)
Kartographie: Ch. Dittmann

1971 wurden für Regensburg die Jahresemissionsraten des Kraftfahrzeugverkehrs berechnet (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ 1974 e, 358):

CO:	9.600 t/a
NO_x:	2.250 t/a
C_mH_n:	1.250 t/a
Staub:	420 t/a
SO_2:	200 t/a

Durch Kraftfahrzeuge wird in Regensburg also etwa dreimal soviel CO emittiert wie durch den Hausbrand (vgl. 5.2.3.2) (1). Karte 15 zeigt, daß die Flächenbelastung des Regensburger Stadtgebietes durch CO-Emissionen außerordentlich hoch ist und die Emissionsmengen anderer Schadstoffkomponenten bei weitem überschreitet.

Die Berechnung der Kraftfahrzeugemission in ausgewählten Straßenabschnitten

Berechnungsgrundlagen

Die Verkehrszählungen, die den Berechnungen zugrundegelegt sind, wurden 1976 durchgeführt. Seitdem hat die Fahrzeugdichte aber weiter zugenommen (31.12.1976: 43.069; 31.12.1979: 52.676 im Stadtgebiet zugelassene Fahrzeuge (vgl. OBST 1979, 68 ff.). Die Berechnung der Schadstoffemissionen der Kraftfahrzeuge ist gesetzlich festgelegt (5. BImSchVwV 30.1.1979, 45). Die spezifischen Emissionsfaktoren sind in den Tabellen 53/54 (Anhang) wiedergegeben. Die mittlere Fahrgeschwindigkeit wurde anhand von Testfahrten ermittelt. In den Tabellen 11 und 12 sind die Emissionsmengen auf Einheitsstrecken von 100 m Länge bezogen.

Die Kraftfahrzeugemissionen im Stadtkern

Die Verkehrsemissionen sind von der Kraftfahrzeugdichte und von der Fahrgeschwindigkeit abhängig. Der Schadstoffausstoß ist um so größer, je geringer die Fahrgeschwindigkeit ist (GRANDJEAN 1973, 10). Nur die Stickoxidemission steigt mit der Fahrgeschwindigkeit an. Deshalb werden bei zähflüssigem Verkehr größere Schadstoffmengen emittiert.

---

(1) Anm.: Seit 1971 hat die Anzahl der zugelassenen Kraftfahrzeuge im Stadtgebiet zugenommen (31.12.1971: 30.204; 31.12.1979: 52.676 Fahrzeuge), wodurch sich die CO-Emission weiter erhöhte. Die Hausbrandemissionen wurden 1971 mit 2.500 t CO/a berechnet (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ 1974 e, 385).

Die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit beträgt in der Altstadt zwischen 30 - 35 km/h. Besonders am Nachmittag, wenn Berufs- und Einkaufsverkehr zusammentreffen, sind die engen Straßen häufig verstopft. Die Innenstadt darf von Lastkraftwagen nicht befahren werden. Der Anteil der Omnibusse beträgt etwa 5 %. Tab. 11 zeigt, daß v.a. die Straßen, die die Altstadt tangieren, am stärksten belastet sind. Relativ hohe Emissionen treten aber in der gesamten Innenstadt auf.

Die Kraftfahrzeugemissionen in Ausfallstraßen

In den Ausfallstraßen ist die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit sehr unterschiedlich. Auf längeren, ampelfreien Strekken (z.B. Donaustaufer Straße) oder den vierspurigen Ausfallstraßen wird schnell gefahren. Die durchschnittliche Geschwindigkeit beträgt mehr als 50 km/h. Im Berufsverkehr treten häufig Stauungen auf. Unterschiedlich ist die Lkw-Balstung. Den größten Lkw-Anteil mit mehr als 30 % weisen die östliche Adolf-Schmetzer-Straße und die Straubinger Straße auf. In den übrigen Straßen sind Lkw zwischen 10 - 15 % vertreten.

Am stärksten belastet ist die Verkehrsachse über die Nibelungenbrücke. Sie wird täglich von mehr als 45.000 Fahrzeugen überquert, die eine Emissionsmenge von mehr als 100 kg CO/100 m verursachen (Tab. 15). Große Schadstoffmengen entfallen auch auf das Straßensystem (Friedenstraße/Furthmayrstraße) südlich der Bahnlinie.

In den freien Ausfallstraßen der Randbezirke werden durchwegs geringere Schadstoffmengen emittiert als in den engen Altstadtgassen, obwohl die Fahrzeugdichte ähnlich ist.

5.3 Die Immission luftverunreinigender Substanzen

5.3.1 Die Beziehungen zwischen Emission und Immission

Unter Immission versteht man die Einwirkungen luftverunreinigender Stoffe, denen Sachgüter, Menschen, Tiere und Pflanzen ständig oder vorübergehend ausgesetzt sind. Die Immissionskonzentration wird in folgenden Maßeinheiten angegeben als (1. BImSchVwV - 28.8.1974, 2.1.3):

- Massenkonzentration in mg/m^3,
- Volumenkonzentration in ppm (10^{-4} Vol. %),
- Niederschlag in g/cm^2.

Tab. 11: Die Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs in der Innenstadt (in kg/16-Std. Tagesbelastung 6-22 Uhr auf Einheitsstrecken von 100 m Länge)

Straßenabschnitt	Verkehrsdichte		Schadstoffemission					
	Pkw	Lkw	CO	SO_2	NO_2	C_mH_n	Pb	Ruß
1. Landshuter Str. Dr.-M.-Luther-Str.	21 960	2.744	64,8	0,3	4,4	6,2	0,03	0,1
2. Platz der Einheit	17 920	2 240	53,0	0,3	3,6	5,1	0,02	0,1
3. E.-Reuter-Platz	16 600	2 074	49,1	0,3	3,4	4,7	0,02	0,1
4. Thundorfer Str. Weiße-Hahnen-Gasse	13 040	1 630	38,5	0,2	2,6	3,7	0,01	0,1
5. Bismarckplatz	11 760	1 470	34,7	0,2	2,4	3,3	0,01	0,1
6. Jakobstr.	13 920	1 740	34,5	0,2	3,0	3,4	0,01	0,1
7. Neupfarrplatz	10 800	600	31,3	0,1	1,9	3,1	0,01	-
8. Dachauplatz	11 400	1 424	30,6	0,2	2,4	3,0	0,01	0,1
9. Am Krauterer Markt	10 350	574	27,3	0,1	1,9	2,6	0,01	--
10. Petersweg Fröhliche-Türken-Str	11 295	626	27,3	0,1	2,1	2,7	0,01	-
11. Kohlenmarkt	8 820	490	25,6	0,1	1,6	2,4	0,01	-
12. Gesandtenstr.	8 550	474	24,8	0,1	1,6	2,4	0,01	-
13. Kumpfmühlerstr. Wittelsbacherstr.	9 360	1 170	23,3	0,1	2,0	2,2	0,01	-
14. Arnulfsplatz	7 600	950	22,5	0,1	1,5	2,2	0,01	0,1
15. Ostentor	7 695	428	20,3	0,1	1,5	1,9	-	-
16. Georgenplatz	7 280	910	19,5	0,1	1,5	1,9	-	-
17. Weißgerbergraben	7 840	980	19,4	0,1	1,6	1,9	-	-
18. Emmeramsplatz	7 560	420	18,4	-	1,4	1,8	-	-
19. Alter Kornmarkt	6 525	362	17,2	-	1,2	1,6	-	-
20. Kassiansplatz	1 800	100	5,3	-	0,3	0,5	-	-

Quelle: Dorsch Consult 1976
Stadtverwaltung, Verkehrsamt
Eigene Berechnungen auf Grundlage der 5. BImSchVwV

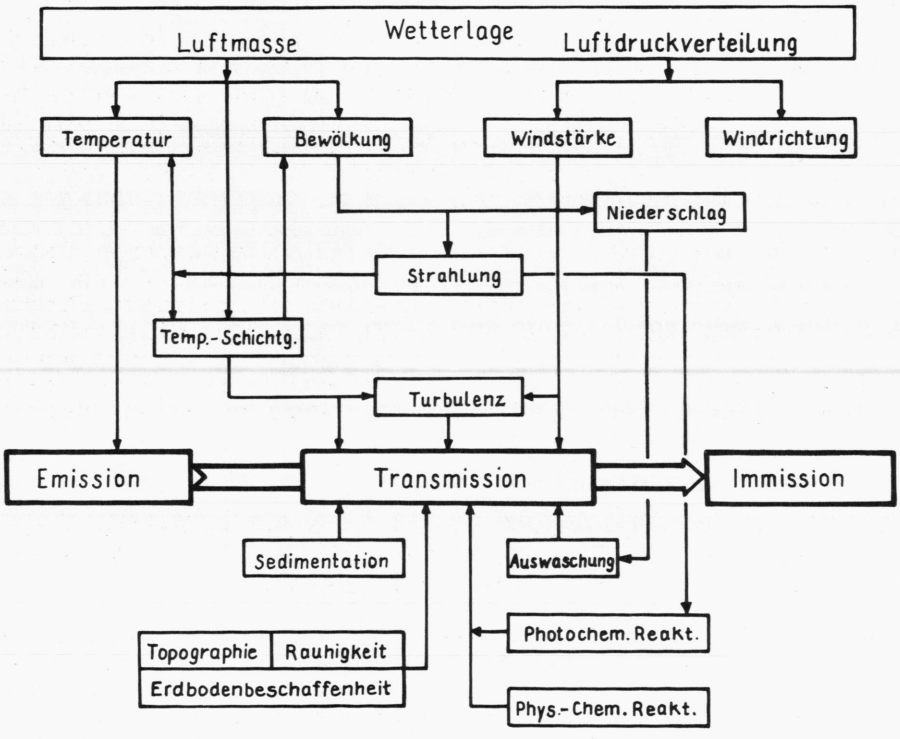
Tab. 12: Die Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs in Ausfallstraßen (in kg/16-Std.-Tagesbelastung 6-22 Uhr auf Einheitsstrecken von 100 m Länge)

Straßenabschnitt	Verkehrsdichte		Schadstoffemission					
	Pkw	Lkw	CO	SO_2	NO_2	C_mH_n	Pb	Ruß
1. Nibelungenbrücke	37 800	8 100	114,0	1,0	8,7	11,1	0,05	0,4
2. Donau-Einkaufs-Zentr.	94 650	7 424	104,5	0,9	8,1	10,1	0,04	0,3
3. Friedenstr. Kumpfmühler Brücke	26 320	3 290	65,2	0,4	5,7	6,3	0,03	0,2
4. Friedenstr. Galgenberger Brücke	32 520	4 064	62,4	0,5	7,7	5,5	0,03	0,2
5. Isarstr./Nordgaustr.	19 355	4 146	58,4	0,5	4,4	5,7	0,02	0,2
6. Landshuter Str. - St. Josefs-Krankenh.	20 860	4 470	57,3	0,5	5,0	5,6	0,02	0,2
7. Furthmayrstr./ H.-Geib-Str.	19 740	4 230	54,3	0,5	4,7	5,3	0,02	0,2
8. Sandgasse/Aussiger Str	17 234	958	39,0	0,1	3,3	3,6	0,02	-
9. Frankenstr./BAB	13 195	2 828	29,1	0,3	3,4	2,7	0,01	0,1
10. Augsburger Str./BAB	10 255	2 200	28,1	0,3	2,4	2,8	0,01	0,1
11. Stadtamhof: Wasserg.	10 040	1 254	24,9	0,1	2,1	2,4	0,01	0,1
12. Prüfeninger Str./ Krankenhaus: Barmh. Brüder	9 640	1 204	23,8	0,1	2,0	2,3	0,01	0,1
13. Adolf-Schmetzer-Str./ Schlachthof	8 550	4 275	23,4	0,5	2,9	2,4	0,01	0,2
14. Lappersdorfer Str.	10 522	1 314	22,6	0,2	2,3	2,1	0,01	-
15. Landshuter Str./ Burgweinting	9 240	1 980	20,4	0,2	2,4	1,9	0,01	0,1
16. Donaustaufer Str./ Schwabelweis	9 135	1 958	20,1	0,2	2,3	1,8	0,01	0,1
17. Dr.-J.-Maier-Str./ Dalbergstr.	5 120	640	12,6	0,1	1,1	1,3	-	-
18. Frankenstr./Niederwinzer	5 495	1 178	10,9	0,1	1,4	1,0	-	-
19. Unterislinger Weg	3 885	832	9,2	0,1	1,0	0,9	-	-

Quelle: Dorsch Consult 1976
Stadtverwaltung, Verkehrsamt
Eigene Berechnungen auf Grundlage der 5. BImSchVwV

Die Immission ist von der Emission und der Transmission abhängig. Die meteorologische Situation, die topographischen Verhältnisse und die Oberflächenbeschaffenheit beeinflussen die Schadstoffverteilung. Zahlreiche Emissionskomponenten unterliegen in der Atmosphäre chemischen Veränderungen. Da ihre Verweilzeit in der Luftschicht unterschiedlich ist, werden die einzelnen Schadstoffe bei stabilen Austauschverhältnissen unterschiedlich stark angereichert (Abb. 35) (GEORGII 1972, 77; Ders. in OLSCHOWY 1978, 216 ff; GRANDJEAN u.a. 1973, 13; MOLL 1973, 23).

Abb. 35 Das Transmissionsschema



Quelle: Fortak 1975, 10

5.3.2 Die Immissionsmessung

Für die Feststellung der Immission luftverunreinigender Stoffe gibt es drei unterschiedliche Methoden (DER RAT DER SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN 1974, 36 f.), die auch in Regensburg eingesetzt werden:

1. Kontinuierliche Messungen mit Hilfe eines stationären, automatischen Meßnetzes führt das Bayerische Landesamt für Umweltschutz durch. In Regensburg befinden sich zwei Stationen (1): Im Stadtzentrum, auf dem Dachauplatz, wurde 1974 die erste Meßstelle errichtet. Sie zeichnet die Schadstoffkomponenten SO_2, CO, Kohlenwasserstoffe und Staub sowie die meteorologischen Parameter: Temperatur, relative Feuchte, Luftdruck, Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Globalstrahlung auf. Seit 1978 wird im Nordosten der Stadt (Isarstraße) eine weitere automatische Meßstation betrieben. Sie registriert nur die Luftverunreinigung durch SO_2 und Staub und hat den Zweck, die Staubimmission des Kalk- und Zementwerkes zu überprüfen. Seit Inbetriebnahme dieser Station ist es auch möglich, die Unterschiede der SO_2-Belastung im Zentrum und am Stadtrand zu untersuchen.

2. Diskontinuierliche Messungen sind eine weitere Möglichkeit zur Feststellung der Immissionskonzentration. Sie werden in Regensburg vom Bayerischen Landesamt für Umweltschutz mit Meßwagen durchgeführt, um eine großflächigere Übersicht über die Schadstoffbelastung des Raumes zu erhalten (z.B. Oktober/November 1978) (2). Diskontinuierliche Messungen mit Spezialgeräten werden besonders

---

(1) Anm.: 1962 begann in Bayern der Aufbau des ersten automatischen Meßnetzes in Europa. Dieses Landesüberwachungssystem (LÜB) war 1979 mit 62 Meßstellen weitgehend fertiggestellt.

(2) Anm.: Im Oktober und November 1978 lag die Regensburger Bucht im Bereich stabiler Hochdruckgebiete. Unter dem Einfluß großräumiger Absinkinversionen hatte sich Nebel gebildet, der mehrere Wochen anhielt (vgl. 4.1.5). Die diskontinuierlichen Messungen ergaben, daß die Schadstoffbelastung in Regensburg trotz dieser extrem schlechten Austauschbedingungen gering war (z.B. 0,03 mg SO_2/m^3). Die vom Meßwagen angefahrenen Punkte lagen jedoch ausschließlich im Osten und Nordosten der Stadt. Zur Meßzeit herrschte weitgehend Windstille, gelegentlich kamen schwache Winde aus Nordost auf ($\leq$2 m/sec.). Bei solchen Wetterverhältnissen treten die höchsten Immissionskonzentrationen aber in der Altstadt und im Stadtwesten auf (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ - Lufthygienische Monatsberichte 1978 - 10, 71 f; Ders. 1978 - 11, 66).

zur Untersuchung sehr schwierig zu erfassender Einzelkomponenten, die oft im µmg/m³-Bereich liegen (z.B. Fluoremissionen) vorgenommen. Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz führte vom 19.1.1976 bis 23.9.1977 Fluorid-Messungen im Stadtosten von Regensburg durch, um die Schadstoffbelastung (HF) durch ein Chemiewerk zu überprüfen (Information: Bayer. Landesamt f. Umweltschutz).

Darüber hinaus nahm die Verfasserin diskontinuierliche Messungen zur Ermittlung der CO-Konzentration im Stadtgebiet bei unterschiedlichen Wetterverhältnissen vor, um zu untersuchen, welchen Abgaskonzentrationen Erwachsene und Kinder auf Fußgängerwegen ausgesetzt sind.

3. Die Feststellung der Immissionsbelastung ist außerdem durch die Untersuchung von Indikatorpflanzen möglich. Sie kann entweder als Kartierung empfindlicher Pflanzen (z.B. Flechten) oder als Analyse von Pflanzenextrakten durchgeführt werden (DREYHAUPT 1971, 89 ff.). In Regensburg wurde von Goppel (1976) die Verbreitung und Ökologie von Rindenflechten im Regensburger Stadtgebiet untersucht.

Zur Beurteilung der Schadstoffkonzentration eines Raumes ist es außerdem sinnvoll, gesetzlich vorgeschriebene Meßverfahren einer kritischen Überprüfung zu unterziehen. So ist z.B. die Messung von Staubniederschlag mit Bergerhoff-Geräten durchzuführen (1. BImSchVwV 28.8.1974, 2.5.8). Diese Meßgeräte, die Weckgläsern ähneln, erfassen aber nur den heruntersinkenden Staub (zumeist Grobstaub), der sich auf dem Boden des Gefäßes niederschlägt. Staubschwaden werden bei Wind aber vor Hindernissen verstärkt abgesetzt, so daß Anwohner, je nach Windrichtung von größeren Staubkonzentrationen betroffen werden. Die gesundheitsgefährdenden Feinstäube werden durch diese Methode nur unzureichend registriert. In Regensburg betreiben die Kalkwerke und das Zementwerk im Umkreis von etwa 500 m Bergerhoff-Geräte zur Kontrolle der Staubimmission.

5.3.3 Immissionswerte und ihre Problematik

Bei der Untersuchung der Belastung und Belastbarkeit eines Raumes dienen die derzeit festgelegten Immissionswerte als Richtgrößen. Neben den gesetzlich normierten Höchstwerten wird in der Praxis noch mit weiteren Grenzwerten gearbeitet. "Die in der Bundesrepublik geltenden Immissionswerte stellen Kompromisse zwischen medizinischen und sozialen Erfordernissen einerseits und gesamtwirtschaftlichen Interessen andererseits dar" (DREYHAUPT 1971, 11). Die Wortwahl Immissionswert anstelle von Immissionsgrenzwert soll verdeutlichen, daß sich eine Grenze nicht angeben

läßt, und daß es sich um dynamische Markierungswerte handelt (BROCKE in VOGL u.a. 1978, T. 2.1). In der Bundesrepublik wird zwischen MAK-, MIK- und IW-Werten unterschieden.

Die MAK-Werte (maximal zulässige Konzentration am Arbeitsplatz) wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft angegeben. Bei der Festsetzung ging man von der unrealistischen Annahme aus, daß sich der Berufstätige in seiner Freizeit in reiner Luft aufhält. Die Grenze für die Schadstoffaufnahme liegt daher sehr hoch. Die MAK-Werte sind nach Ansicht der VDI-Kommission nicht geeignet, Gesundheitsschäden bei längerer Einwirkung zu verhindern (MOLL 1973, 34, DÜWEL u.a. 1974, 129).

Die MIK-Werte (maximal zulässige Immissionskonzentration) setzte die VDI-Kommission "Reinhaltung Luft" fest. Sie werden in MIK_K-Werte für die maximale Kurzzeitbelastung (meist maximaler Halbstundenmittelwert innerhalb mehrerer Stunden) und MIK_D-Werte für die maximale Durchschnittskonzentration bei Dauereinwirkung unterteilt. Diese Werte sind gemäß der VDI-Definition so bemessen, daß sie "nach den derzeitigen Erfahrungen im allgemeinen für Mensch, Tier oder Pflanze bei Einwirkung von bestimmter Dauer als unbedenklich gelten können"(DREYHAUPT 1971, 63; DER RAT DER SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN 1974, 14 ff.).

Die gesetzlichen Richtwerte, die in der Ersten Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (= TA - Luft (1); 28.8.1974) festgelegt sind, unterschreiten teilweise noch die MIK-Werte. Sie werden in IW_1-Werte (Immissionswert) bei 24-Stunden-Dauereinwirkung und in IW_2-Werte bei Halbstunden-Kurzzeitbelastung eingeteilt.

Eine Gegenüberstellung derzeit gültiger Höchstwerte für ausgewählte Schadstoffkomponenten gibt Tabelle 13.

Bei einer kritischen Überprüfung ergibt sich eine nur bedingte Brauchbarkeit dieser Immissionswerte für die Beurteilung der lufthygienischen Belastung: Die Experimente zur Festsetzung der Höchstwerte werden im Labor mit reinsten Gasen durchgeführt. In der Luft kommen aber komplizierte Stoffgemische vor, die sich meist gegenseitig beeinflussen. Es treten Kombinationswirkungen auf. Die Toleranzschwellen bei Schadstoffkombinationen und bei Langzeiteinwirkung sind aber noch kaum bekannt (MOLL 1973, 49 ff.; Ders. 1979, 151; vgl. SCHWEGLER 1974, 235 ff.; DER RAT DER SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN 1978, 48 f.).

Einige Beispiele sollen zeigen, daß die Berücksichtigung anderer Schadstoffe, aber auch nichttoxischer Emissionskomponenten, wie Feinstäube oder Wasserdampf, bei der Untersuchung der Luftbelastung unverzichtbar ist: Der CO-Gehalt des Blutes (COHb) wird durch Halogenkohlenwasserstoffe oder durch Sauerstoffmangel um ein mehrfaches erhöht. Inerte Feinstäube adsorbieren toxische

(1) Anm.: Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft.

Tab. 13: Gegenüberstellung der MAK-, MIK- und IW-Werte für einige Schadstoffe in mg/m^3

Schadstoff	MAK	VDI 2310			TA - Luft	
		MIK_K	MIK_D	MIK-Jahreswert	IW_2	IW_1
SO_2	5	1	0,3	0,1	0,4	0,14
H_2S	15	-	-	-	0,01	0,005
NO	-	1	0,5	-	0,6	0,2
NO_2	9	0,2	0,1	-	0,3	0,1
CO	33	50	10	10	30	10
HF	2	0,2	0,1	0,05	0,004	0,002
O_3	0,2	0,15	0,05	0,05	-	-
Pb	0,1	-	0,003	0,0015	-	-
Schwebestaub $<10\ \mu m$	-	0,45	0,3	0,15	0,2	0,1

Quelle: Bayer. Landesamt f. Umweltschutz 1980

Stoffe, z.B. SO_2 und transportieren sie tief in die Lungenspitzen, von wo sie erst nach längerer Zeit wieder ausgeschieden werden. Reines SO_2-Gas dringt dagegen nur in die vorderen Lungenteile vor (DREYHAUPT 1971, 54; DER RAT DER SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN 1974, 18/36).

Bei der Festsetzung der gesetzlichen Immissionswerte wurde außerdem die Widerstandskraft der Durchschnittsbevölkerung zugrundegelegt. Wirkungen auf resistenzschwache Personen, wie Kranke, alte Menschen und Kinder sind weitgehend unbekannt; allergische Reaktionen werden überhaupt nicht berücksichtigt. Untersuchungen ergaben, daß Ungeborene und Kinder gegen Bleistäube besonders empfindlich sind und der MIK_D-Wert von 3 $\mu g/m^3$ Pb für diesen

Personenkreis zu hoch angesetzt ist (KNELSON u.a. 1972; TÜV-RHEINLAND 1975, 65; VESTER 1972, 48).

Erschwerend für die Festlegung von Belastungsgrenzen kommt hinzu, daß die Emissionskomponenten in der Atmosphäre chemischen Veränderungen unterliegen. So reagiert SO_2 z.B. rasch mit Luftfeuchtigkeit; es entstehen schwefelige Säure, Schwefelsäure und Sulfate. Aus Stickoxiden bilden sich Nitrate und durch den Einfluß des Sonnenlichts wird NO zu NO_2 oxidiert (GRANDJEAN u.a. 1973, 13; GEORGII 1972, 77; ders. in OLSCHOWY 1978, 216 ff.; MOLL 1973, 23). Wegen der chemischen Veränderungen von Schadstoffen in der Atmosphäre kann die gesetzliche Regelung, die die Überprüfung der Immissionswirkungen neuartiger chemischer Substanzen zur Pflicht macht, eine Schädigung der Bevölkerung nicht ausschließen (1. BImSchVwV 28.8.1974).

Da die Immissionskomponenten sich im menschlichen Körper z.T. chemisch verändern, ist die Festlegung von Belastungsgrenzen um ein weiteres erschwert. So ist z.B. die Wirkung des giftigen Toluols (CH_3) gering, da es im Körper überwiegend in nichttoxische Abbauprodukte zerfällt. Benzol (C_6H_6) stellt dagegen eine sehr gefährliche Immissionskomponente dar, weil es im Körper ebenfalls giftige Abbauprodukte bildet. Beide Substanzen werden durch Kraftfahrzeugabgase freigesetzt. Bei krebserregenden Stoffen lehnen Ärzte die Festsetzung von Toleranzschwellen ab; die Emission derartiger Komponenten sollte unterbleiben (TÜV-RHEINLAND 1975, 68 f.).

Unberücksichtigt blieb vom Gesetzgeber bisher die Festlegung von Belästigungsgrenzen, die vor allem bei organischen Kohlenwasserstoffverbindungen unterhalb der Schädigungsgrenzen liegen (GRANDJEAN u.a. 1973, 79 ff.; SCHLIPKÖTER 1972). Bei einem Großversuch in Düsseldorf wurde festgestellt, daß der Belästigungswert für Gesamt-Kohlenwasserstoffe bei 1,57 mg/m^3 liegt, während der Immissionswert bei 2 mg/m^3 vorgesehen ist (TÜV-RHEINLAND 1975, 68 f.).Eine Dortmunder Forschergruppe stellte die Empfindlichkeitsschwelle für SO_2 bei 0,13 mg/m^3 (Langzeiteinwirkung) und 0,35 mg/m^3 (Kurzzeiteinwirkung) fest. Die MIK-Werte liegen erheblich höher (INSTITUT FÜR UMWELTSCHUTZ UND UMWELTGÜTERPLANUNG DER UNIVERSITÄT DORTMUND 1975, 17 ff./25 ff.).

Für die Geruchsstoffe gibt es bislang kein spezifisches Meßverfahren. Die Feststellung von subjektiven Empfindungen reicht nicht aus, da der Mensch kein adäquates Sensorium für Giftstoffe in der Luft besitzt (GRANDJEAN u.a. 1973, 79 ff.). So liegt z.B. die Geruchsschwelle für SO_2 erst bei 1,24 mg/m^3 (MOLL 1973, 71) und das Giftgas CO kann überhaupt nicht wahrgenommen werden.

Die Begrenzung der derzeit gültigen Toleranzschwellen für Immissionskomponenten ist daher keineswegs befriedigend (1). Die Untersuchung über die Belastung und Belastbarkeit eines Raumes darf sich daher nicht ausschließlich auf die Zugrundelegung der gesetzlichen Grenzwerte beschränken.

---

(1) Anm.: Die Unsicherheit bei der Findung der für Menschen unbedenklichen Grenzwerte hat in den einzelnen Staaten zur Festsetzung äußerst verschiedener Toleranzschwellen geführt. Die Schwankungsbreite verdeutlicht Tab. 14 am Beispiel von SO_2:

Tab. 14 Die Immissionswerte für SO_2 in verschiedenen Staaten in mg/m^3

Staat		Kurzzeitwert	Langzeitwert
Bundesrepublik Deutschland	MIK	1	0,3
	IW	0,4	0,14
UdSSR		0,47	0,15
CSSR		0,47	0,15
Japan		0,75	0,5
New York		1	0,3
Kalifornien		2,5	0,75

Quelle: UMWELTBUNDESAMT 1976 c, 116 ff.;
STADTENTWICKLUNGSREFERAT MÜNCHEN 1971, 48

Diese Schwankungen sind durch verschiedene Untersuchungsmethoden, unterschiedliche Definitionen des Gesundheitsbegriffs, aber vor allem durch die unterschiedliche Einflußnahme politischer und wirtschaftlicher Interessengruppen zu erklären (TÜV-RHEINLAND 1975, 74; MOLL 1979, 151 ff.). In der Sowjetunion werden die eng bemessenen Grenzwerte in der Praxis um ein vielfaches überschritten; Meßergebnisse gelten als Staatsgeheimnis (vgl. KOMAROW 1979).

5.3.4 Die Problematik mathematischer Modelle zur Bestimmung der Immissionskonzentration

Die aktuelle Immissionssituation wird im wesentlichen durch die Emissionsmenge, die Ausbreitungsbedingungen und die räumlichen Gegebenheiten bestimmt. Die meßtechnische Erfassung der Luftqualität liefert genauere Ergebnisse; sie ist jedoch nur in begrenzten Untersuchungsgebieten durchzuführen. Die Bestimmung der Immissionskonzentration in größeren Räumen oder Immissionsprognosen sind nur mit Hilfe mathematischer Modelle möglich (FORTAK 1970 a). Sie beschreiben den Transportmechanismus und den Diffusionsprozeß zwischen Emissionsquelle und Immissionsort.

Die Problematik der Anwendbarkeit mathematischer Ausbreitungsmodelle besteht darin, daß ihnen Bedingungen zugrunde liegen, die in der Praxis häufig nicht zutreffen (GRANDJEAN u.a. 1973, 13 ff.; DREYHAUPT 1971, 109, KLUG 1970, 9). Die Ausbreitungsformel setzt voraus, daß:

- das Gas von der Quelle konstant emittiert wird,
- das Gas in der Atmosphäre weder chemisch noch physikalisch beeinflußt wird,
- das Ausbreitungsgelände eben ist und die Ausbreitung nicht durch Bewuchs oder Gebäude beeinträchtigt wird,
- das Gas an der Erdoberfläche nicht absorbiert, sondern vollständig reflektiert wird,
- die Windgeschwindigkeit räumlich konstant ist und mehr als 1 m/sec beträgt,
- verschiedene Rauchfahnen sich nicht überschneiden.

Bei hohen Kaminen, ebenem Gelände und guten Austauschbedingungen kann die Beeinflussung durch die Bodenrauhigkeit vernachlässigt werden. FORTAK (1970 b, 111 ff.) erhielt daher in Bremen zufriedenstellende Ergebnisse. Auch im Raffineriegebiet um Ingolstadt konnte die Belastung der umliegenden Orte durch Schadstoffe aus den industriellen Turmkaminen mit Hilfe mathematischer Ausbreitungsmodelle ermittelt werden (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ 1974 k).

Bei Kaminen, die an Hängen oder in engen Flußtälern liegen, versagt aber die Ausbreitungsformel, da das Relief veränderte Turbulenzverhältnisse und Windströmungen hervorruft. Aus diesem Grund ist eine Berechnung der Immissionskonzentration in Regensburg nicht sinnvoll (vgl. 4.7).

Da in der Bundesrepublik zahlreiche Belastungsgebiete in Flußtälern oder Kesseln liegen, hat die Berechnung der Immissionsbelastung in der Bundesrepublik eine wesentlich geringere Be-

deutung als in den USA. Wissenschaftler, wie Fortak sind bemüht, Ausbreitungsformeln zu erarbeiten, die auch bei abwechslungsreichem Relief und beim Auftreten von Inversionsschichten angewendet werden können.

5.4 Die Immissionssituation in Regensburg

5.4.1 Die Immissionsbelastung durch den Kraftfahrzeugverkehr

5.4.1.1 Der Tages- und Jahresgang der Immissionskonzentration

Der Tagesgang der verkehrsbedingten Immissionskonzentration (Kohlenmonoxid, Stickoxide, Kohlenwasserstoffe, Bleistäube) verläuft mehrphasig (DEIMEL 1978). In der Regel treten zwei Maxima, morgens und nachmittags auf. An den Wochenenden weicht der Tagesgang von diesem Verlauf ab (Abb. 36).

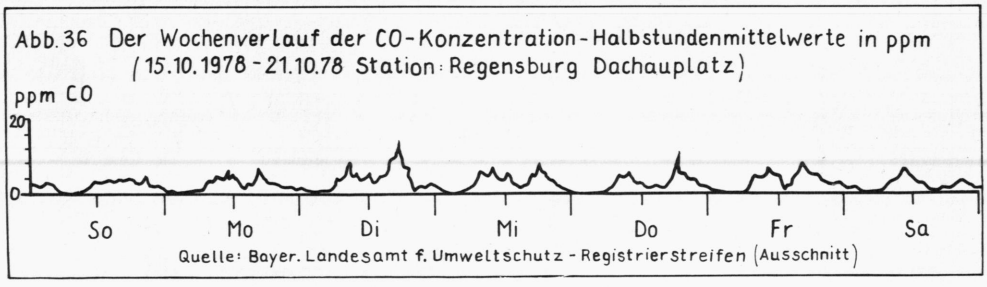


Abb. 36 Der Wochenverlauf der CO-Konzentration - Halbstundenmittelwerte in ppm (15.10.1978 - 21.10.78 Station: Regensburg Dachauplatz)

Quelle: Bayer. Landesamt f. Umweltschutz - Registrierstreifen (Ausschnitt)

Der Tagesgang der Verkehrsimmission wird hauptsächlich vom menschlichen Tagesablauf bestimmt. Er zeigt eine signifikante Abhängigkeit von der Kraftfahrzeugdichte; die Konzentrationshöhe wird durch die meteorologischen Verhältnisse, vor allem durch die Windgeschwindigkeit und Turbulenzsituation, modifiziert. An den Wochentagen treten die Maxima zur Berufsverkehrszeit auf, wobei das absolute Maximum in den Nachmittagsstunden liegt, da Berufs- und Einkaufsverkehr zusammentreffen. Am Samstag wird das Immissionsmaximum am späten Vormittag durch den Einkaufsverkehr verursacht. In der Nacht vom Samstag auf Sonntag sinken wegen des starken Abendverkehrs im Regensburger Stadtzentrum die Werte erst frühmorgens gegen Null. An Sonn- und Feiertagen steigen mit der Fahrzeugdichte auch die Immissionskonzentrationen nach 11 Uhr langsam an und erreichen gegen 18 bis 20 Uhr während des Ausflügler-Rückflutverkehrs das Maximum. Da an Wochenenden das Verkehrsaufkommen geringer ist, liegen die Schadstoffwerte niedriger als an Wochentagen. An

Regentagen wurde in Regensburg zumeist eine höhere CO-Konzentration verzeichnet. Da bei schlechtem Wetter auch kürzere Wege mit dem Fahrzeug zurückgelegt werden, ist an diesen Tagen die Verkehrsdichte stärker.

In Regensburg überschritt an der Meßstation auf dem Dachauplatz die CO-Konzentration nur selten kurzfristig die gesetzlichen Grenzwerte. Am 7.10.1978 (31,8 ppm) oder 8.12.1978 (29 ppm) wurde der IW_2-Wert von 27 ppm übertroffen. Der IW_1-Wert von 9 ppm wurde dagegen bisher noch nicht erreicht (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ, Lufthygienische Monatsberichte - 1978 j; GEORGII 1972).

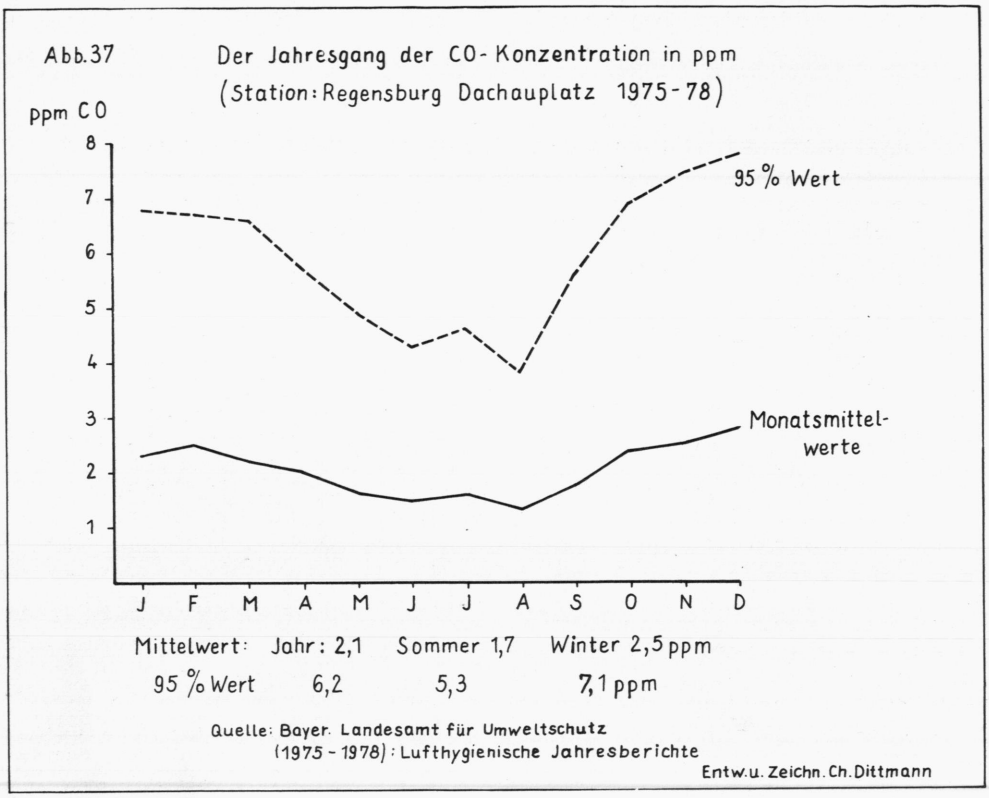
Bei der Interpretation dieser Werte muß jedoch berücksichtigt werden, daß der Meßfühler in 3 m Höhe etwas abseits von der Straße angebracht ist und die Station mit Büschen umpflanzt ist. Die Verdünnung des Kohlenmonoxidgases ist daher an der Meßstelle wesentlich stärker als im Bereich der Fußgängerwege. So wurden z.B. am 5.7.1979 gegen 16 Uhr von der Station 4 ppm CO registriert, während eine Vergleichsmessung auf dem benachbarten Gehsteig in 1,60 m Höhe 6 ppm CO und in 0,9 m Höhe (Atemhöhe von Kindern) 9 ppm CO ergab. Daraus ist zu schließen, daß Fußgänger, besonders Kinder, die resistenzschwächer sind, sich bereits im Bereich kritischer Giftgaskonzentrationen befinden können, wenn von der amtlichen Meßstation noch Werte unterhalb der Toleranzschwellen registriert werden.

Der Jahresgang der kraftfahrzeugbedingten Immissionskonzentration verläuft für die einzelnen Schadstoffkomponenten zum Teil unterschiedlich.

Die CO-Immission weist einen einphasigen Jahresgang mit dem Maximum in den Wintermonaten auf (Abb. 37).

Obwohl in den Wintermonaten wegen der schlechten Straßenverhältnisse weniger Kraftfahrzeuge betrieben werden als im Sommer, treten in dieser Jahreszeit die höchsten CO-Konzentrationen auf. Dies hat zwei Ursachen: Im Herbst und Winter kommen gehäuft stabile Wetterlagen mit schwachen Winden und eingeschränkten Austauschverhältnissen vor. Die Abgase werden dann weniger rasch verwirbelt als bei labiler Schichtung. Darüber hinaus tragen die CO-Emissionen des Hausbrands zu erhöhten Immissionskonzentrationen bei. Die geringsten CO-Werte treten in Regensburg im August auf und sind durch das verringerte Verkehrsaufkommen in der Urlaubs- und Schulferienzeit bedingt (vgl. DREYHAUPT 1971, 41 ff.; MINISTER FÜR ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 1972, 65 ff.).

Der Jahresgang der Stickoxidkonzentration weist einen anderen Verlauf auf: In Straßennähe bleibt die NO-Konzentration das ganze Jahr hindurch etwa gleich. In einiger Entfernung von der Fahrbahn liegt das Maximum der NO-Konzentration in den Wintermonaten, das Maximum der NO_2-Konzentration dagegen im Sommer.



Die Ursache dafür ist, daß Stickoxide unter Sonneneinwirkung photochemischen Prozessen unterliegen; bei größerer Strahlungsintensität erfolgt die Oxidation von NO zu NO_2 (DEIMEL 1978).

Kohlenwasserstoffe werden zu einem großen Teil durch Kraftfahrzeuge emittiert. Die Messung der Gesamtkohlenwasserstoffe, die vom Bayerischen Landesamt für Umweltschutz auch in Regensburg kontinuierlich durchgeführt wird (Station Dachauplatz - ohne Methan) ist aber wenig aussagekräftig. Denn Kohlenwasserstoffe setzen sich aus einer Vielzahl sehr unterschiedlich wirkender Einzelkomponenten, die zum Teil krebserregend sind, zusammen, deren Toleranzschwellen sehr unterschiedlich sind. Mit Hilfe der Gaschromatographie ermittelte Seifert (1978) als organische Hauptbestandteile der Kraftfahrzeugabgase: Toluol, Benzol (vgl. 5.3.3), Benzol- und Pentanverbindungen (vgl. DULSON 1978, 350 ff.).

5.4.1.2 Diskontinuierliche Messungen der CO-Konzentration im Stadtgebiet von Regensburg

1979 wurden im Stadtgebiet von Regensburg von der Verfasserin diskontinuierliche Messungen zur Untersuchung der CO-Immissionskonzentration durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war es, zu ermitteln, welchen CO-Konzentrationen Fußgänger bei unterschiedlichem Wetter auf Gehwegen ausgesetzt sind.

Als Meßgerät diente der CO-Gasanalysator Unor II, der nach dem Prinzip d. Infrarotabsorbtion arbeitet. Das netzabhängige Gerät wurde im mobilen Einsatz durch eine Batterie (6 V - 180 A) mit Wechselrichter betrieben. Da das Gerät erschütterungsempfindlich ist, mußte es an jedem Meßpunkt neu geeicht werden. Dazu dienten zwei Prüfgasflaschen, die mit Stickstoff (Nullpunkteinstellung) und mit CO - 80 ppm (Einstellung auf der Meßskala gemäß der Eichkurve) gefüllt waren. Um das Gerät vor Verunreinigungen zu schützen, wurde vor den Ansaugschlauch ein Filter aufgesteckt (Photo 12). Es konnte zwischen zwei Meßbereichen, von 0 - 100 ppm und 0 - 500 ppm gewählt werden; die Meßgenauigkeit beträgt 1 ppm CO. Da diese Meßanordnung nur in einem Pkw transportiert werden konnte, hatte die Stadt Regensburg die Genehmigung erteilt, für Meßzwecke auch im Parkverbot halten zu können. Es wurden 54 Meßpunkte im gesamten Stadtgebiet jeweils bei austauscharmem Wetter, Nebel und labiler Schichtung angefahren (vgl. Karte 16). Die Messungen erfolgten an jedem Standort in zwei Höhen: in Atemhöhe von Erwachsenen (1,60 m) und in Atemhöhe von Kindern (0,9 m); die Meßzeit betrug jeweils 10 Minuten. Da sich CO sehr rasch mit der Außenluft verdünnt, sollte ermittelt werden, ob und unter welchen Bedingungen Kinder höheren Konzentrationen ausgesetzt sind. Die Meßwerte stellen keinen Grundpegel dar, da die Registrierungen nachmittags, zur Berufsverkehrszeit durchgeführt wurden.

Die CO-Konzentration in Abhängigkeit vom Wetter und von der Bebauung

Die CO-Konzentration in Fahrbahnnähe ist vorwiegend vom Verkehrsfluß und den Durchmischungsverhältnissen in der Straße abhängig. Bei zähflüssigem Verkehr werden in den engen Straßen der Altstadt wesentlich höhere Werte gemessen als in den dicht befahrenen, mehrspurigen Ausfallstraßen der Randbezirke. In verkehrsfreien Phasen sinken die Konzentrationen aber auch im Stadtzentrum rasch gegen Null.

Bei austauscharmen Wetterlagen mit sehr geringen Luftbewegungen wurden zumeist die höchsten Konzentrationen registriert (vgl. GEORGII 1972, 72; DEIMEL 1973, 271; Ders. 1974). An Nebeltagen und bei klarem Inversionswetter unterschieden sich die Meßwerte der CO-Immission nur unwesentlich. Am stärksten

belastet ist im Stadtzentrum die Weiße-Hahnen-Gasse. Bei Nebel wurden hier Kurzzeitmittelwerte von 35 ppm CO (1,60 m Meßhöhe) und 45 ppm (0,9 m Meßhöhe) erreicht (Anhang Tab. 56, 1). Die schlechte lufthygienische Situation entsteht dadurch, daß die kurze schmale Straße bei Rotphasen durch anhaltende Fahrzeuge rasch verstopft, die im Leerlauf hohe Abgasmengen emittieren. Der Fahrzeugdurchfluß ist sehr gering (ca. 60 Fahrzeuge/15 Min.). Hohe Immissionen treten auch in den stark befahrenen Durchgangsstraßen, der Gesandtenstraße, Goliathstraße oder Jakobstraße auf. In den Ausfallstraßen, die zur Berufsverkehrszeit eine sehr hohe Verkehrsdichte aufweisen, liegen die CO-Immissionen bei austauscharmem Wetter erheblich unter den festgesetzten Toleranzschwellen. Das liegt einerseits daran, daß diese Straßen wesentlich breiter sind und zumeist nicht von geschlossener Bebauung umsäumt werden. Andererseits sind die Gehwege häufig durch einen Grünstreifen von der Fahrbahn getrennt. Da sich CO sehr rasch verdünnt, und durch den Verkehrsstrom auch bei Windstille Turbulenzen erzeugt werden, ist die Schadstoffkonzentration im Fußgängerbereich bereits ausreichend verwirbelt (Karte 16).

Bei labiler Schichtung sind die CO-Immissionen im allgemeinen geringer. An heißen Sommertagen mit starker thermischer Turbulenz konnte aber festgestellt werden, daß Verkehrsabgase, ohne sich zu verdünnen, an überhitzten Hauswänden hinauftransportiert werden. In den oberen Stockwerken der straßennahen Gebäude können dann höhere Konzentrationen auftreten als im Fußgängerbereich (Information: Bayer. Landesamt f. Umweltschutz).

In Regensburg wurden außerdem die CO-Immissionen bei zyklonalen Wetterlagen mit vorherrschenden Westwinden ermittelt. Besonders in den windparallelen Altstadtstraßen, wie der Gesandtenstraße oder Goliathstraße liegen die Konzentrationen (in 1,60 m Meßhöhe) erheblich niedriger als bei austauscharmem Wetter (vgl. Tab. 15 / Anhang Tab. 57, 1). In den senkrecht zur Windrichtung verlaufenden, geschlossen bebauten Straßen können dagegen höhere Schadstoffwerte als bei stabiler Schichtung auftreten. So wurde z.B. in der Maxstraße bei kräftigem Westwind ein Kurzzeitmittelwert von 19 ppm CO (1,60 m Meßhöhe) / 23 ppm CO (0,9 m Meßhöhe) registriert, bei austauscharmem Wetter dagegen nur 10 ppm CO (1,60 m Meßhöhe) / 11 ppm CO (0,9 m Meßhöhe) (vgl. Tab. 15 / Anhang Tab. 57,1). Diese erhöhten Schadstoffwerte werden durch Leewirbel verursacht, die sich bei Windstärken von mehr als 2 m/sec. (über Dach) bilden (Abb. 38).

Bei senkrechter und schräger Anströmung kommen auf der Lee-Seite erhöhte Schadstoffkonzentrationen noch in mehreren Metern Höhe vor; auf der Luvseite ist dagegen auch in Bodennähe die Immission gering. In breiten Straßen liegen die Schadstoffkonzentrationen im Leewirbel niedriger als in engen Straßen. Der Abtransport der Schadstoffgase erfolgt über das Luv-seitige Haus. Abb. 38 verdeutlicht, daß sich dagegen bei paralleler Anströmung eine horizontale Verteilung der Konzentrationsgradienten ergibt. Die Immission ist erheblich geringer.

Foto 11:
Meßanordnung für mobile Temperaturmessungen (Temperaturfühler, Punktkompensationsschreiber Polycomp, Stromquelle mit Wechselrichter).

Foto 12:
Meßanordnung für mobile Co-Konzentrationsmessungen (CO-Gasanalysator Unor II mit Filter, Stromquelle mit Wechselrichter, Prüfgasflaschen).

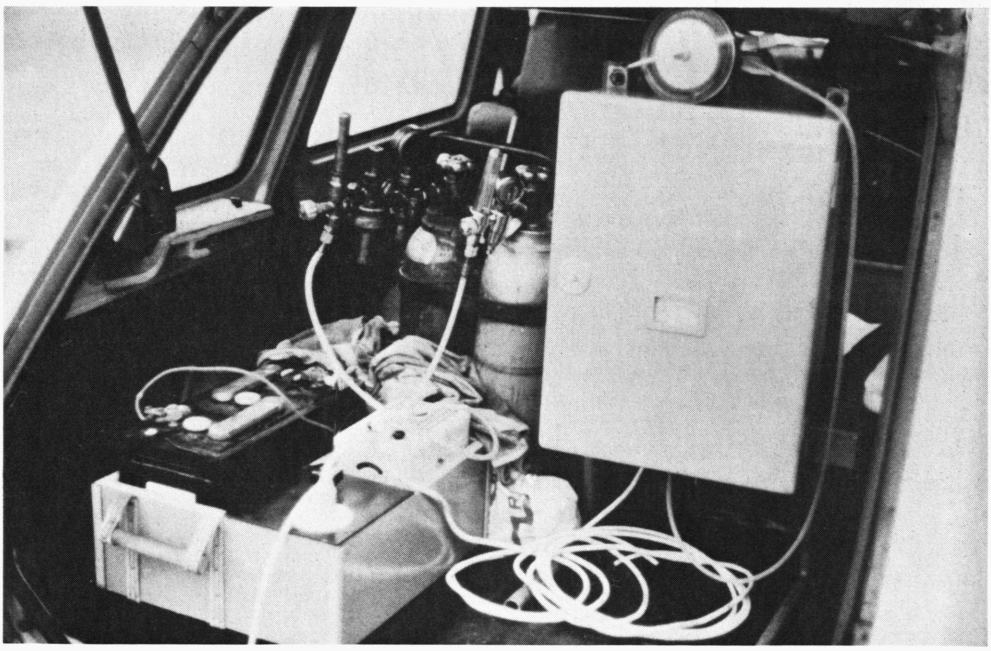
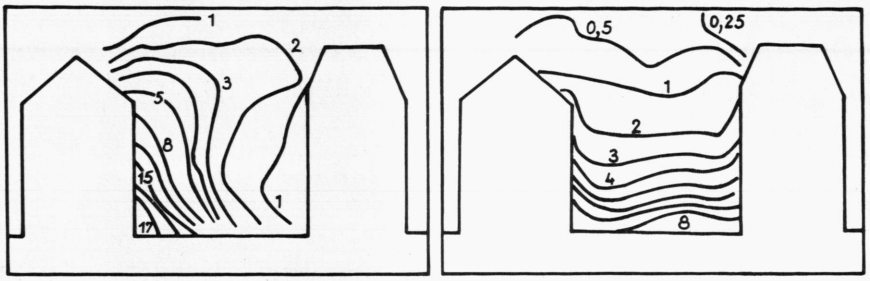


Abb.38 Die Verteilung der Abgaskonzentration in Straßenschluchten in Abhängigkeit von der Windrichtung (in ppm CO)



Senkrechte Anströmung parallele Anströmung

Quelle: Leisen 1978, 241

Außerdem wird die Immission durch Kraftfahrzeugabgase von der Architektur der Straßenbebauung beeinflußt. Leisen (1978) wies nach, daß bei einheitlichen, glatten Fassaden und Flachdächern größere Schadstoffkonzentrationen auftreten, Schrägdächer und eine heterogene Bebauung erhöhen dagegen die mechanische Turbulenz und verbessern die Belüftungswirkung.

In den Randbezirken und Ausfallstraßen der Stadt liegen bei zyklonalem Wetter die Immissionsraten zumeist niedriger. Bei sehr großer Verkehrsdichte wurden in freiem Gelände bei kräftigem Westwind im Lee der Straße jedoch noch relativ hohe Konzentrationen gemessen. Sie kamen dadurch zustande, da der Wind die Abgasfahnen direkt zum Gehweg herüberwehte (z.B. Donau-Einkaufs-Zentrum: 10 ppm CO (1,60 m Meßhöhe) (Anhang Tab. 57,2).

Während leichter Niederschläge oder sofort nach starken Regen sind die CO-Immissionen ebensohoch wie bei niederschlagsfreiem Wetter. Es konnte daher bestätigt werden, daß "wash-out"-Effekte bei der Ausbreitung von Kohlenmonoxid nicht wirksam werden (vgl. JOST in OLSCHOWY 1978, 671 ff.). Da Kohlenmonoxid ein inertes Gas ist, modifiziert von den meteorologischen Parametern nur die Turbulenzsituation (thermische Schichtung, Windstärke) die CO-Immission.

Die Belastung von Kindern und Erwachsenen durch Kraftfahrzeugabgase im Regensburger Stadtgebiet (Stand 1979)

Die derzeit gültigen Immissionswerte für die CO-Konzentration betragen:

MIK_K:	45 ppm	MIK_D:	9 ppm
IW_2 :	27 ppm	IW_1 :	9 ppm

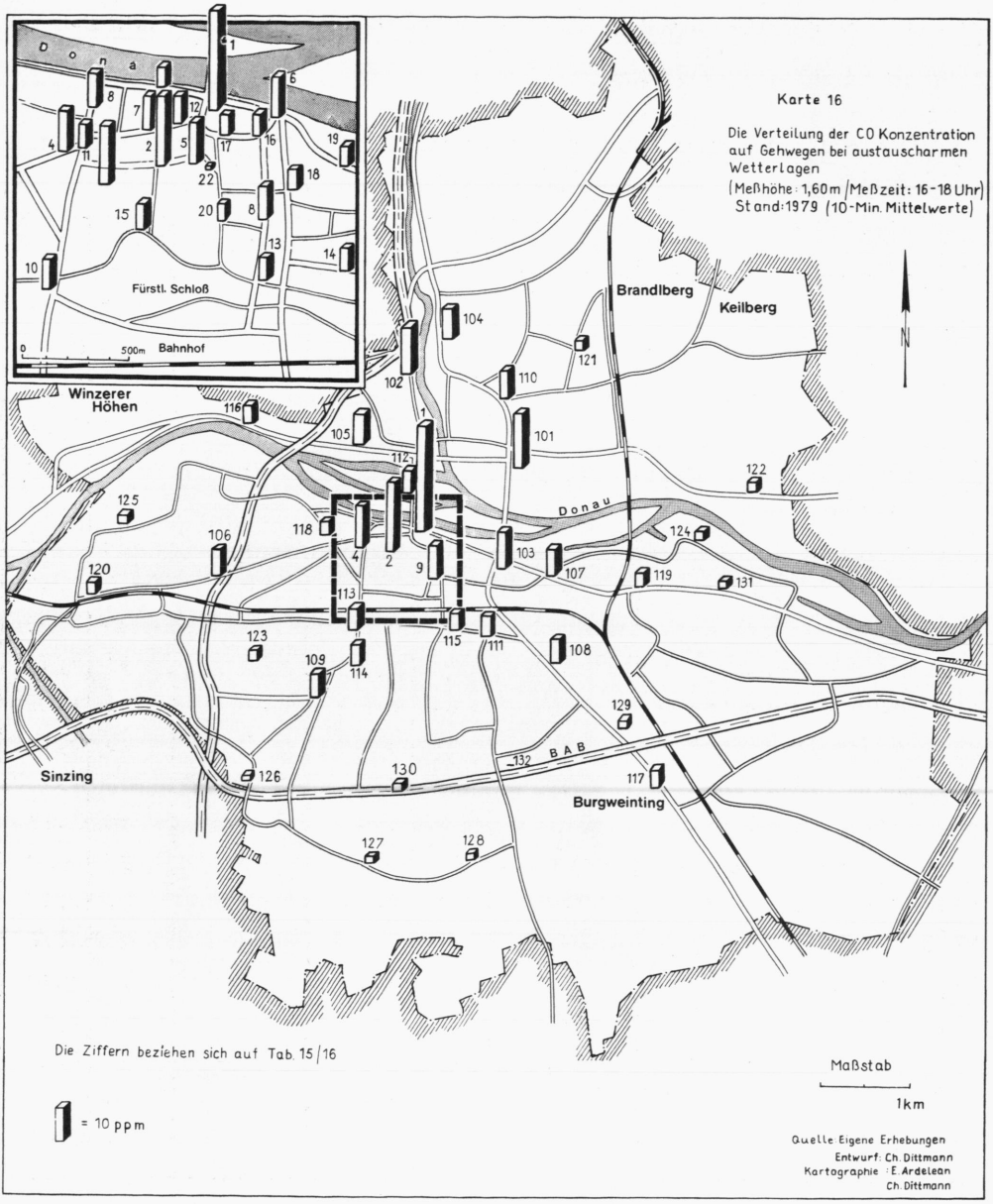
In Regensburg wird der IW_2-Wert in 1,60 m Meßhöhe nur in der Weißen-Hahnen-Gasse häufig überschritten (vgl. Tab. 15, 16 / Anhang Tab. 57,2). Erwachsene Fußgänger sind daher auch in den engen Straßen der Altstadt zur Berufsverkehrszeit in der Regel nicht durch erhöhte CO-Konzentrationen gefährdet. Passanten, die sich nur wenige Minuten in Bereichen mit erhöhten CO-Immissionen (z.B. Weiße-Hahnen-Gasse, Gesandtenstraße, Goliathstraße) aufhalten, haben eine Beeinträchtigung des Wohlbefindens nicht zu befürchten. Dagegen ist eine Gefährdung der Anwohner in diesen Straßen nicht auszuschließen; bei mehrstündigem Aufenthalt in Fahrbahnnähe konnten typische Vergiftungssymtome, wie Kopfschmerzen und Übelkeit festgestellt werden.

Bei Rauchern stellt sich eine Beeinträchtigung des Wohlbefindens später ein als bei Nichtrauchern, da durch den Zigarettenkonsum eine scheinbare Gewöhnung an das Gift Kohlenmonoxid eintritt (vgl. VDI-KOMMISSION: REINHALTUNG DER LUFT 1971, Kohlenmonoxid - Kolloquium - in: Staub 1972) (1).

Kinder, die resistenzschwächer sind, werden in der Altstadt höheren Schadstoffkonzentrationen ausgesetzt als Erwachsene. Da sich die Verkehrsabgase rasch verdünnen, nehmen Kinder wegen der tiefen Atemhöhe größere Immissionskonzentrationen auf. Bei zügigem Verkehr sind Kinder mittleren Immissionskonzentrationen ausgesetzt, die bis zu 5 ppm höher liegen können als in Atemhöhe von Erwachsenen. Bei stehendem oder zähflüssigem Verkehr atmen Kinder erheblich größere Schadstoffmengen ein. Neben stehenden Fahrzeugschlangen sind sie kurzzeitigen Konzentrationsspitzen bis zu 200 ppm CO ausgesetzt; kurzfristige Maxima um 50 ppm CO treten häufig auf. Diese Spitzenwerte werden vornehmlich durch Fahrzeuge verursacht, deren Vergasereinstellung unzureichend ist.

---

(1) Anm.: Von den Anwohnern verkehrsreicher Straßen in Regensburg wird die Belastung durch Kraftfahrzeugabgase weniger beklagt als die Lärmbelästigung. Tagsüber sinkt der Dauerschallpegel in der Altstadt nie unter 70 dB (A) (OBST 1979, 79 ff.). In der Nähe von Gaststätten und Parkplätzen wird nachts das laute Anfahren von Kraftfahrzeugen und Motorrädern als besonders starke Belastung empfunden.


Karte 16
Die Verteilung der CO Konzentration auf Gehwegen bei austauscharmen Wetterlagen
(Meßhöhe: 1,60 m / Meßzeit: 16-18 Uhr)
Stand: 1979 (10-Min. Mittelwerte)
Donau
Fürstl. Schloß
Bahnhof
0 500m
Winzerer Höhen
Brandlberg
Keilberg
Donau
Sinzing
Burgweinting
BAB
Die Ziffern beziehen sich auf Tab. 15/16
= 10 ppm
Maßstab
1km
Quelle Eigene Erhebungen
Entwurf: Ch. Dittmann
Kartographie: E. Ardelean
Ch. Dittmann

Tab. 15: Die CO-Konzentration in der Innenstadt bei austauscharmem Wetter in ppm (Stand 1979 - 10 Min.-Mittelwerte)

Karten-Nr. / Meßstelle	Atemhöhe 1,60 m (Erwachsene)			Atemhöhe 0,9 m (Kinder)		
	Mittel	Max	DI	Mittel	Max	DI
1 Weiße-Hahnen-Gasse	29	80	1,31	30	100	1,36
2 Gesandtenstr.	20	33	0,21	24	31	0,26
3 Ägidienplatz	17	45	0,30	20	55	0,35
4 Jakobstr.	13	19	0,14	15	32	0,16
5 Neupfarrplatz	12	27	0,09	18	27	0,13
6 Georgenplatz	12	21	0,12	11	36	0,11
7 Haidplatz	10	32	0,14	15	62	0,22
8 Weißgerbergraben	10	15	0,43	12	30	0,54
9 Maxstr.	10	14	0,16	11	24	0,18
10 Gerichtsgebäude	9	24	0,07	14	41	0,12
11 Arnulfsplatz	8	16	0,10	10	14	0,12
12 Goliathstr.	8	13	0,67	7	13	0,61
13 Ernst-Reuter-Pl.	7	10	0,15	18	90	0,47
14 Luitpoldstr.	7	21	0,10	12	40	0,16
15 Emmeramsplatz	7	11	0,10	10	22	0,13
16 Kornmarkt	6	11	0,07	11	23	0,11
17 Domplatz	6	10	0,08	9	26	0,10
18 Dachauplatz	6	11	0,09	9	13	0,14
19 Ostentor	6	9	0,08	9	24	0,11
20 Fröhl.-Türken-Str.	4,5	10	0,09	6	16	0,12
21 Fischmarkt	4,5	15	0,07	6	13	0,10
22 Kassiansplatz	1	6	0,09	1	4	0,09

Quelle: Eigene Untersuchungen (1979)

$$\text{DI} = \text{Durchmischungsindex} = \frac{\text{mittlere Immissionskonzentration in ppm}}{\text{Fahrzeugdichte/5 Min.}}$$

Tab. 16: Die CO-Konzentration in Ausfallstraßen und Wohngebieten bei austauscharmem Wetter in ppm (Stand: 1979 - 10 Min.-Mittelwerte)

Karten-Nr.	Meßstelle	Atemhöhe 1,60 m (Erwachsene)			Atemhöhe 0,9 m (Kinder)		
		Mittel	Max	Di	Mittel	Max	Di
101	Donau-Einkaufs-Zentrum	13	19	0,09	14	32	0,11
102	Lappersdorfer Str.	13	20	0,19	15	21	0,22
103	Weißenburger Str.	11	17	0,11	11	20	0,11
104	Amberger Str.	9	27	0,07	11	21	0,09
105	Frankenstr.	9	11	0,09	9	15	0,10
106	Krankenhaus Barmh. Brüder	8	13	0,16	16	70	0,30
107	Straubinger Str./ Greflinger Str.	8	16	0,19	8	21	0,19
108	Krankenhaus St. Josef	7	13	0,08	9	19	0,10
109	Augsburger Str./ BAB	7	13	0,05	7	16	0,05
110	Isarstraße	7	15	0,04	6	14	0,04
111	Furthmayrstr./ H.-Geib-Str.	6	19	0,10	36	100	0,61
112	Wassergasse	6	19	0,08	9	34	0,12
113	Friedenstr. / Kumpfmühler Brücke	6	16	0,08	10	32	0,13
114	Kumpfmühler Str./ Simmernstraße	6	13	0,07	8	18	0,10
115	Furthmayrstr.	5	11	0,05	9	38	0,10
116	Schnellstraße Niederwinzer	5	7	0,04	8	11	0,09
117	Landshuter Str./ Burgweinting	5	7	0,05	5	7	0,05
118	Dr.-J.-Maier-Str.	4	11	0,07	6	15	0,10
119	Straubinger Str./ Preßburger Str.	4	14	0,07	5	17	0,11
120	Prüfeninger Str./ Killermannstr.	4	7	0,03	4	7	0,03

Fortsetzung
Tab. 16

Karten-Nr.	Meßstelle	Atemhöhe 1,60 m (Erwachsene)	Atemhöhe 0,9 m (Kinder)
		Mittel	Mittel
121	Aussiger Str.	3	4
122	Donaustaufer Str.	3	4
123	Klenzestr.	3	4
124	Wiener Str.	3	3
125	Westbad	3	3
126	Am Zieget	2	3
127	Leoprechting	2	2
128	Oberisling	2	2
129	Landshuter Str./ BAB	2	3
130	BAB	2	3
131	Straubinger Str./ Osthafenstr.	2	2
132	Bajuwarenstr.	0	0

Quelle: Eigene Untersuchungen (1979)

DI = Durchmischungsindex =

$$\frac{\text{mittlere Immissionskonzentration in ppm}}{\text{Fahrzeugdichte / 5 Min.}}$$

An Fußgängerampeln sind Immissionsschwankungen meßbar, die durch Fahrt- und Haltephasen hervorgerufen werden und in 0,9 m Atemhöhe deutlich ausgeprägt sind (Abb. 39).

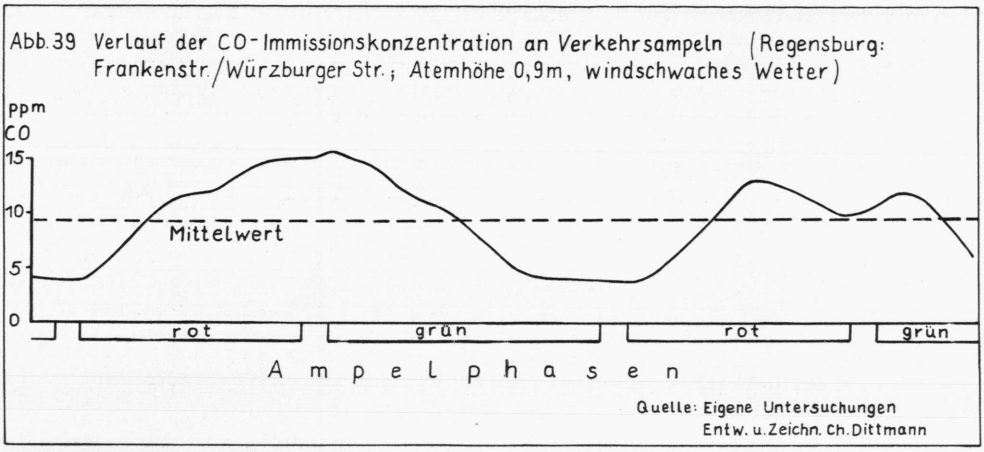


Abb. 39 Verlauf der CO-Immissionskonzentration an Verkehrsampeln (Regensburg: Frankenstr./Würzburger Str.; Atemhöhe 0,9m, windschwaches Wetter)

Bei zügig fließendem Verkehr und auf Gehwegen, die durch einen Grünstreifen von der Fahrbahn getrennt sind, werden Kinder dagegen nicht durch höhere Immissionen belastet als Erwachsene.

5.4.1.3 Die Schwermetallgehalte (Pb, Zn) in Böden des Regensburger Stadtgebietes

Um genaueren zusätzlichen Aufschluß über die Immissionsbelastung durch Kraftfahrzeuge zu erhalten, wurden die Böden im Stadtgebiet einer Analyse unterzogen. Bei der Untersuchung wurde der Anteil der Schwermetalle Blei und Zink, die in natürlichen Böden als Spurenelemente nur in geringsten Mengen vorkommen, ermittelt. Bleistäube werden durch Fahrzeugabgase an die Umgebung abgegeben, da dem Benzin Bleitetraäthyl als Antiklopfmittel beigemischt ist (KLOKE 1974). Zinkstäube entstehen durch Reifenabrieb (KOLLMANN 1977, 64).

Aufbereitung und Bestimmung des Materials

Die Proben wurden im November 1978, kurz vor Beginn des Schneefalls nach einer längeren Trockenperiode dem Oberboden (0 - 5 cm Tiefe) entnommen. Soweit nicht gesondert angegeben, stammen sie aus einer Entfernung von 0,1 - 1 m vom Fahrbahnrand. Um Zufallsergebnisse zu vermeiden, wurden an jeder Ent-

nahmestelle mehrere Proben im Abstand von einigen Metern eingesammelt und anschließend vermischt.

Die Bestimmung der Schwermetallgehalte erfolgte durch die Röntgen-Fluoreszenz-Analyse (RFA). Dieses Verfahren basiert auf dem Prinzip, daß eine Substanz durch Röntgenstrahlung zu eigener Strahlung veranlaßt wird, indem Elektronen aus den inneren Niveaus der Elektronenhülle entfernt werden. Die Intensität der Eigenstrahlung eines Elements ist das Maß für dessen Quantität. Die Nachweisgrenze der RFA-Methode beträgt für Blei: 30 ppm und für Zink: 10 ppm (RÖSLER u.a. 1976, 184).

Die Aufbereitung der Bodenproben umfaßte mehrere Arbeitsschritte: Zunächst wurde das Erdmaterial in einem Trockenschrank bei 60 - 70° C getrocknet. Danach wurden die Proben mit einem Mörser leicht zerdrückt und mit einem Sieb die Feinbestandteile <180 µm abgetrennt. Um genauere quantitative Analyseergebnisse zu erhalten, mußten die Grob- und Feinanteile der Bodenproben mit einer Scheibenschwingmühle (Gewicht: 25 kg) auf Korngrößen unter 30 µm zerkleinert werden. Danach wurden unter Zusatz von 20 % Wachspulver (Nr. C der Fa. Farbwerke Höchst) Wachstabletten gepreßt, die in das Analysegerät eingelegt wurden (vgl. ACKERMANN 1976).

Die gemessenen Konzentrationen stellen jedoch keinen exakten Wert dar. Das Ergebnis, besonders bei Spurenelementen, hängt sowohl von den Empfindlichkeitsgrenzen der Analysemethode, als auch von den individuellen Eigenschaften des Analytikers ab (GINSBURG 1963, 9). Deshalb werden die Schwermetallgehalte der Böden in Regensburg in gerundeten Werten angegeben.

Die Bleikonzentration in Böden des Regensburger Stadtgebiets

Um festzustellen, wie hoch die Bleianreicherung in den Böden in Fahrbahnnähe ist, ist zunächst die Kenntnis der natürlichen Bodenbleigehalte erforderlich.

Bei Gesteinen treten niedrige Gehalte (3 - 8 ppm) in basischen Gesteinen auf, höhere (um 30 ppm) in granitischen Serien, was auf den Bleigehalt der Feldspäte zurückzuführen ist. In Sedimentgesteinen können Bleigehalte von mehr als 50 ppm vorkommen (VINOGRADOV 1959, 155). Bei Grünland liegt der Bodenbleigehalt im allgemeinen höher als bei Äckern; er nimmt außerdem mit dem Anteil der tonigen Bestandteile zu. Blei besitzt zu Humus eine große Affinität und ist vor allem im A_1-Horizont angereichert. Es reagiert im Boden mit SO_4^{2-}- und CO_3^{2-} - Ionen und ist deshalb kaum löslich. Darum tragen Bodenorganismen am stärksten zur Wanderung des Bleis im Boden bei (BALKS 1961, 3; MATTHESS 1972).

Anthropogen verursachte Bodenbleigehalte treten besonders in der Nähe von Bleigruben und -hütten auf. Im Sauerland werden z.B. bei dem Dorf Bönkhausen durch einen Bach Schuttmassen alter Bleigruben in die Talaue geschwemmt. Dort enthalten die Böden daher mehr als 5.000 ppm Pb. Seit Jahrzehnten leiden in dieser Gegend Nutztiere, vor allem Rinder an akuten und chronischen Bleivergiftungen (BALKS 1961, 5 ff.).

In städtischen Gebieten sind die Bodenbleigehalte im allgemeinen erhöht. Dies ist auf die Luftverunreinigungen aus Verbrennungsanlagen (1), Fahrzeugabgasen (2) sowie auf bleihaltige Farben (z.B. Mennige: Pb_3O_4), Pflanzenschutzmittel und Düngemittel zurückzuführen. In Großstädten können Bleikonzentrationen bis zu 2.000 ppm auftreten.

Zur Untersuchung der natürlichen Bleikonzentration im Regensburger Stadtgebiet hat die Verfasserin in den Randbezirken aus Ackerböden Vergleichsproben entnommen. Die niedrigste Konzentration von 40 ppm trat in einem flachgründigen, skelettreichen Carbonatboden bei Sinzing auf; Lößböden wiesen Werte zwischen 50 - 70 ppm auf. Vergleicht man diese Konzentrationen mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen (KLOKE 1974; VINOGRADOV 1959; BOWEN 1966, 39 f./197; GINSBURG 1963, 165) (3) so ergibt sich daraus, daß die Bleikonzentrationen in den Randbezirken Regensburgs bereits etwas erhöht sind. Als Ursache hierfür werden vor allem die Auswirkungen von Düngemitteln angesehen. Ein Feld auf den Winzerer Höhen wies sogar Konzentrationen von 150 ppm Pb auf. Die Bodenproben, die von Straßenrändern entnommen wurden, entstammen künstlichen Aufschüttungen. Daher ist es nicht möglich, den natürlichen Bodenbleigehalt anhand der Bodenart abzuschätzen. Man kann jedoch davon ausgehen, daß die natürlichen Bleikonzentrationen in Böden des Regensburger Stadtgebiets nicht mehr als 50 ppm betragen.

Karte 17 gibt einen Überblick über die Verteilung der Bodenbleikonzentration im Regensburger Stadtgebiet. Zwar treten die höchsten Konzentrationen in der Innenstadt und an den stark belasteten Ausfallstraßen auf, aber auch im Stadtzentrum kommen niedrige Konzentrationen vor (vgl. Tab. 17 / 18).

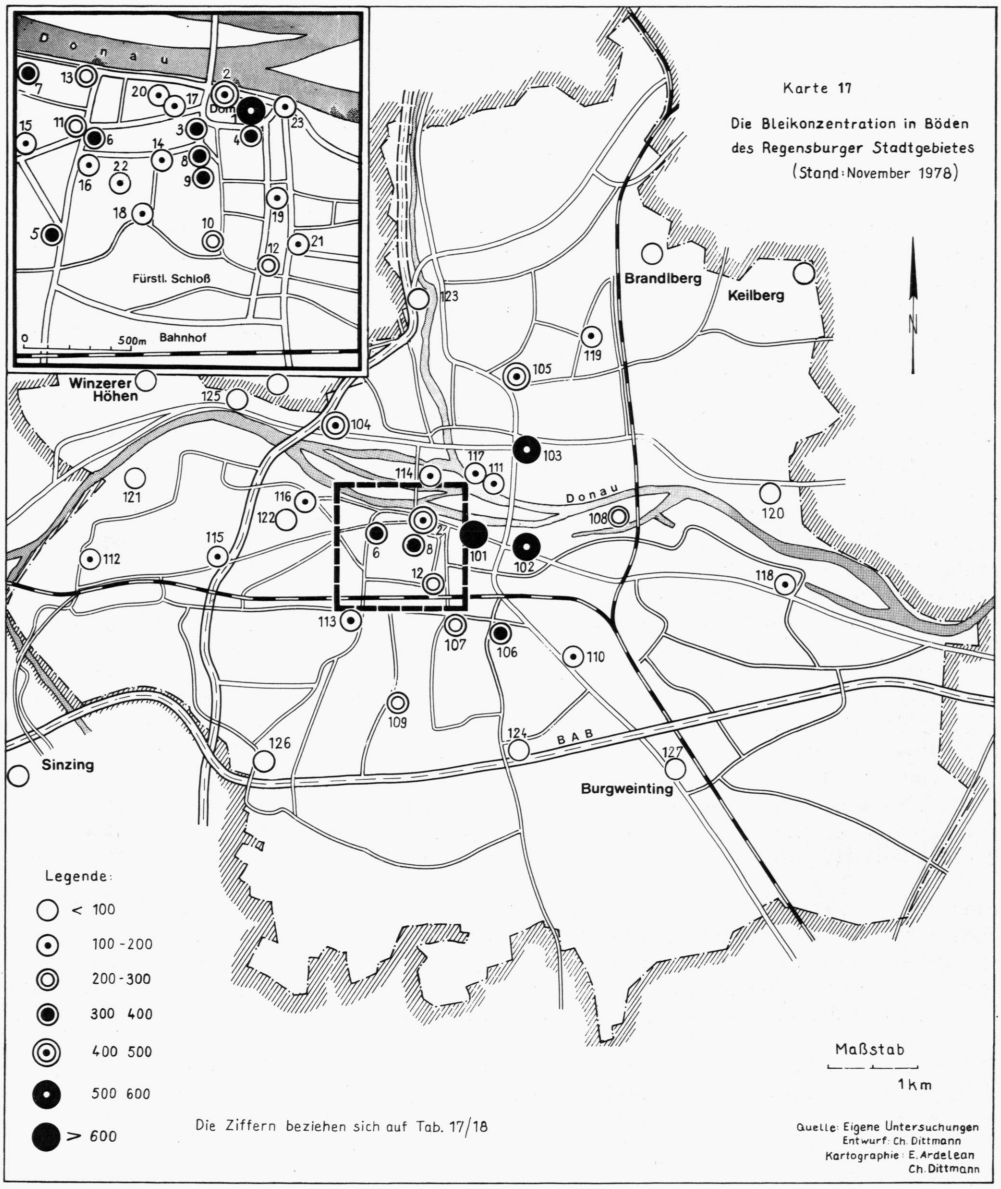
In der Altstadt wurden die höchsten Bleikonzentrationen mit 510 ppm im Domgarten ermittelt. An dieser Stelle sind Bleiimmissionen aus Fahrzeugabgasen auszuschließen; die Blei-Werte

---

(1) Anm.: Bleigehalte in Kohle: 8 - 3.000 ppm; in Kohleaschen: 1.000 - 10.000 ppm; in Erdölaschen: 0 - 5.000 ppm (MATTHESS 1972, 22).

(2) Anm.: 50 - 70 % des im Benzin enthaltenen Bleis wird an die Außenluft abgegeben (KLOKE u.a. 1966, 119 ff.).

(3) Anm.: In Deutschland wurden natürliche Bodenbleigehalte von 2 - 20 ppm ermittelt. Der Durchschnitt liegt bei 10 ppm (KLOKE 1974). Die natürlichen Bleigehalte in der UdSSR, Großbritannien, USA, Israel sind je nach Bodenart unterschiedlich, liegen aber zumeist zwischen 2 - 50 ppm (VINOGRADOV 1959).


Karte 17
Die Bleikonzentration in Böden des Regensburger Stadtgebietes (Stand: November 1978)
Donau
Fürstl. Schloß
Bahnhof
0 500m
Winzerer Höhen
Brandlberg
Keilberg
N
Sinzing
Burgweinting
BAB
Legende:
< 100
100 - 200
200 - 300
300 400
400 500
500 600
> 600
Die Ziffern beziehen sich auf Tab. 17/18
Maßstab
1 km
Quelle: Eigene Untersuchungen
Entwurf: Ch. Dittmann
Kartographie: E. Ardelean
Ch. Dittmann

im Boden wurden durch Stäube der Dombauhütte verursacht. Seit einiger Zeit werden aber durch die Dombauhütte keine Bleiemmissionen mehr freigesetzt (Information: Dombaumeister). Die Verteilung der Bleigehalte in der Innenstadt scheint zunächst eher zufällig zu sein. Zwar treten am Arnulfsplatz (340 ppm Pb) und Neupfarrplatz (305 ppm Pb) relativ hohe Konzentrationen auf; in der Gesandtenstraße (185 ppm Pb) und am Kohlenmarkt (165 ppm Pb) sind sie dagegen bei ähnlicher Verkehrsdichte wesentlich niedriger. Und in der stark befahrenen Dr.-Martin-Luther-Straße wurden nur Gehalte von 125 ppm Pb ermittelt. Diese Unterschiede treten dadurch auf, daß sich Schwermetalle nur an der Oberfläche der Bodenpartikel anlagern. Deshalb wirkt sich nicht nur die Immissionsmenge sondern auch die Korngröße der Bodenprobe auf den Schwermetallgehalt aus. Erst die Betrachtung der Bleimengen im Feinanteil der Bodenproben (Korngrößen <180 /um) macht einen Vergleich der Immissionsmengen möglich.

Besonders hohe Bleiwerte im Feinanteil traten in Proben auf, die in der Nähe von Parkplätzen entnommen wurden, z.B. vom Kassiansplatz (735 ppm), Alten Kornmarkt (620 ppm), Herrenplatz (520 ppm) oder Ägidienplatz (450 ppm).

Sehr hohe Konzentrationen findet man auch dort, wo eine größere Verkehrsdichte und stockender Verkehrsfluß zusammenwirken und randliche Parkplätze vorkommen, wie z.B. am Arnulfsplatz (740 ppm), Am Krauterer Markt (715 ppm) oder in der Thundorfer Straße, Nähe Wurstküche (665 ppm).

Relativ niedrige Bleiwerte im Feinanteil kommen dagegen im Stadtzentrum an Straßen und Plätzen vor, die trotz größerer Verkehrsdichte einen zügigeren Verkehrsfluß aufweisen, wie z.B. die Dr.-Martin-Luther-Straße (170 ppm) oder der Dachauplatz (180 ppm). Die Boden-Blei-Konzentration in der Regensburger Altstadt ist daher überwiegend vom Verkehrsfluß, erst in zweiter Linie von der Verkehrsdichte abhängig (vgl. Tab. 17 a). In den Ausfallstraßen und Wohngebieten der Stadt, in denen überwiegend zügiger Verkehr herrscht, korreliert der Bodenbleigehalt stärker mit der Verkehrsdichte. Auswirkungen des Verkehrsflusses und von Parkflächen sind jedoch erkennbar. Die höchste Bleikonzentration des Stadtgebiets wurde am Ostentor ermittelt, da hier Bleistäube in der schmalen Passage akkumuliert werden (660 ppm / 815 ppm) (Tab. 18 a).

Hohe Bodenbleikonzentrationen treten entlang der stark belasteten Ausfallstraßen, der Nordgaustraße (535 ppm / 455 ppm), der Adolf-Schmetzer-Straße (540 ppm), der Frankenstraße (460 ppm) oder der Furthmayrstraße (345 ppm) auf. In den Randbezirken und Wohngebieten sind die Bleiwerte gering.

Beim Vergleich der Bodenbleigehalte mit den Ergebnissen der diskontinuierlichen Messungen der CO-Immission (Tab. 15, 16, Anhang: 56, 57) wurden keine weiteren Zusammenhänge festgestellt. Da die CO-Immission von den aktuellen Emissions- und Transmissionsbedingungen abhängt, können örtlich größere Dif-

ferenzen zwischen gemessener CO-Konzentration und Bodenbleigehalt auftreten, z.B. beim Ostentor.

Ein Vergleich der Bleikonzentrationen in Böden des Regensburger Stadtgebietes mit Untersuchungen von Lagerwerff u.a. (1970), Page u.a. (1971) oder Müller, K.H. (1978) zeigt, daß die Werte in der Altstadt und an den stark befahrenen Ausfallstraßen zum Teil recht hoch sind. In anderen Städten wurden im Oberboden in Straßennähe zumeist Bleiwerte zwischen 150 - 300 ppm ermittelt; Spitzenwerte bis zu 800 ppm können auftreten (1). Außergewöhnlich hoch sind die Meßergebnisse von Bevan (1974, 8), der an einer Hauptverkehrsstraße bei Harlington (England) mehr als 3.000 ppm Pb ermittelte. Forschungen von Chow (1970) in Maryland (USA) ergaben, daß die Bodenbleikonzentration auf der Leeseite in Straßennähe bis um das Doppelte höher ist, als auf der Luvseite, was den dominierenden Einfluß der Kraftfahrzeugabgase auf die Bodenbleikonzentration verdeutlicht. Mit zunehmendem Abstand zur Fahrbahn werden die Unterschiede geringer. Dieses Ergebnis ist jedoch nur bei einer vorherrschenden Windrichtung möglich. Eine Korrelation zwischen lokalem Windfeld und Bodenbleikonzentration konnte in Regensburg nicht festgestellt werden (vgl. MÜLLER, K.H. 1978). Entscheidend sind Verkehrsfluß und Verkehrsdichte.

Die Bleikonzentration der Böden nimmt mit der Entfernung zur Fahrbahn ab. In 20 m Abstand von der Fahrbahn wurden in einem Garten in Weichs unterhalb der Nibelungenbrücke 125 ppm Pb (Feinanteil 270 ppm Pb) ermittelt. Dieser Bleigehalt entspricht etwa der dreifachen Menge der natürlichen Bleikonzentration, was durch Düngung, aber auch durch Bleistäube, die von der stark befahrenen Brücke herunterwehen, verursacht sein kann. In einem Feld bei Niederwinzer (60 ppm Pb) wurden dagegen nur wenig erhöhte Werte gefunden. Die Bodenbleikonzentration von Gärten und Feldern in Regensburg, die in Straßennähe liegen, ist somit nicht gesundheitsgefährdend.

(1) Anm.: Beim Vergleich der Bodenbleigehalte ist zu berücksichtigen, daß in der Bundesrepublik nach Inkrafttreten des Benzin-Blei-Gesetzes (1971) die Bleiimmissionen etwa zu 75 % zurückgingen, obwohl die Fahrzeugdichte weiter zunahm (vgl. DEIMEL 1978). Daher weisen ältere Untersuchungen größere Bodenbleigehalte auf. In anderen Staaten sind höhere Benzinbleiwerte als in der Bundesrepublik gesetzlich festgelegt (vgl. TEWORTE 1974).

Tab. 17 a) Die Bleikonzentration in Böden der Innenstadt in ppm (Stand: November 1978)

Blei			
Karten Nr.	Probe	Gesamt	Anteil <180 µm
1	Domgarten	510	530
2	Thundorfer Str., Weiße-Hahnen-Gasse	490	665
3	Am Krauterer Markt	380	715
4	Alter Kornmarkt	355	620
5	Wittelsbacher Straße	350	490
6	Arnulfsplatz	340	740
7	Herrenplatz	315	520
8	Neupfarrplatz	305	380
9	Kassiansplatz	300	735
10	Fröhliche-Türken-Straße	285	375
11	Jakobstraße	260	295
12	Ernst-Reuter-Platz	255	585
13	Weißgerbergraben	205	400
14	Gesandtenstraße	185	340
15	Platz der Einheit	180	285
16	Bismarckplatz	175	300
17	Kohlenmarkt	165	375
18	Emmeramsplatz	160	235
19	Dachauplatz	150	180
20	Roter Herzfleck	135	160
21	Dr.-Martin-Luther-Straße	125	170
22	Ägidienplatz	110	450
23	Donaumarkt	110	360

Quelle: Eigene Untersuchungen

Tab. 17 b): Die Zinkkonzentration in Böden der Innenstadt in ppm (Stand: November 1978)

Zink			
Karten Nr.	Probe	Gesamt	Anteil <180 µm
1	Gesandtenstraße	980	1 500
2	Arnulfsplatz	750	1 500
3	Am Krauterer Markt	480	760
4	Neupfarrplatz	470	540
5	Alter Kornmarkt	320	530
6	Kassiansplatz	320	950
7	Kohlenmarkt	290	615
8	Bismarckplatz	270	440
9	Wittelsbacher Straße	270	385
10	Herrenplatz	270	420
11	Weißgerbergraben	240	470
12	Jakobstraße	240	330
13	Thundorfer Str., Weiße-Hahnen-Gasse	240	385
14	Fröhliche-Türken-Straße	225	350
15	Domgarten	220	250
16	Donaumarkt	215	330
17	Ernst-Reuter-Platz	210	635
18	Ägidienplatz	175	550
19	Dachauplatz	165	180
20	Platz der Einheit	155	255
21	Dr.-Martin-Luther-Straße	150	195
22	Emmeramsplatz	145	215
23	Roter Herzfleck	105	210

Quelle: Eigene Untersuchungen

Tab. 18 a): Die Bleikonzentration in Böden an Ausfallstraßen und in Wohngebieten in ppm (Stand: November 1978)

Blei			
Karten Nr.	Probe	Gesamt	Anteil <180 µm
101	Ostentor	660	815
102	A.-Schmetzer-Str./Schlachthof	540	685
103	Donau-Einkaufs-Zentrum	535	720
104	Frankenstraße	460	600
105	Isarstraße	455	615
106	Hermann-Geib-Straße	345	470
107	Friedenstr./Galgenberger Brücke	245	290
108	Wiener Straße	220	260
109	Universität	205	300
110	Landshuter Str./Krankenhaus St. Josef	185	230
111	Weichs: Bedelgasse	175	285
112	Killermannstraße	160	180
113	Friedenstr./Kumpfmühler Brücke	150	180
114	Stadtamhof: Wassergasse	145	160
115	Prüfeninger Str./Krankenhaus Barmherzige Brüder	140	170
116	Dr.-J.-Maier-Straße	125	255
117	Weichs: Garten (Entfernung zur Fahrbahn: 20 m)	125	270
118	Straubinger Straße/Osthafenstraße	120	205
119	Sandgasse/Aussiger Straße	110	270
120	Donaustaufer Straße/Schwabelweis	100	260
121	Westbad: Liegewiese	95	105
122	Stadtpark Mitte	90	175
123	Lappersdorf: BAB	70	145
124	Unterislinger Weg	65	105
125	Niederwinzer: Feld (Entfernung zur Fahrbahn: 20 m)	60	75
126	Am Zieget	50	50
127	Burgweinting: Landshuter Straße	40	60

Quelle: Eigene Untersuchungen

Tab. 18 b): Die Zinkkonzentration in Böden an Ausfallstraßen und in Wohngebieten in ppm (Stand: November 1978)

Zink			
Karten Nr.	Probe	Gesamt	Anteil <180µm
101	Wiener Straße	540	730
102	Donau-Einkaufs-Zentrum	345	410
103	Weichs: Garten (Entfernung zur Fahrbahn: 20 m)	305	680
104	Frankenstraße	280	370
105	A.-Schmetzer-Str./Schlachthof	280	350
106	Lappersdorf: BAB	260	495
107	Ostentor	250	335
108	Isarstraße	215	330
109	Hermann-Geib-Straße	200	240
110	Killermannstraße	180	325
111	Friedenstraße/Kumpfmühler Brücke	175	210
112	Friedenstraße/Galgenberger Brücke	140	180
113	Universität	135	195
114	Weichs: Bedelgasse	130	260
115	Straubinger Straße/Osthafenstraße	130	205
116	Stadtamhof: Wassergasse	125	155
117	Dr.-J.-Maier-Straße	120	200
118	Donaustaufer Straße / Schwabelweis	115	165
119	Stadtpark Mitte	90	120
120	Prüfeninger Straße/Krankenhaus Barmherzige Brüder	85	130
121	Landshuter Straße/Krankenhaus S. Josef	85	155
122	Sandgasse/Aussiger Straße	80	220
123	Westbad: Liegewiese	75	95
124	Unterislinger Weg	75	80
125	Am Zieget	70	80
126	Niederwinzer: Feld (Entfernung zur Fahrbahn: 20 m)	60	80
127	Burgweinting: Landshuter Straße	60	80

Quelle Eigene Untersuchungen

Die Zinkkonzentration in Böden des Regensburger Stadtgebiets

Im Gegensatz zu den für Organismen hochgiftigen Bleistäuben ist Zink ein essentielles Spurenelement; ein unerläßlicher Bestandteil der Stoffwechselkatalyse.

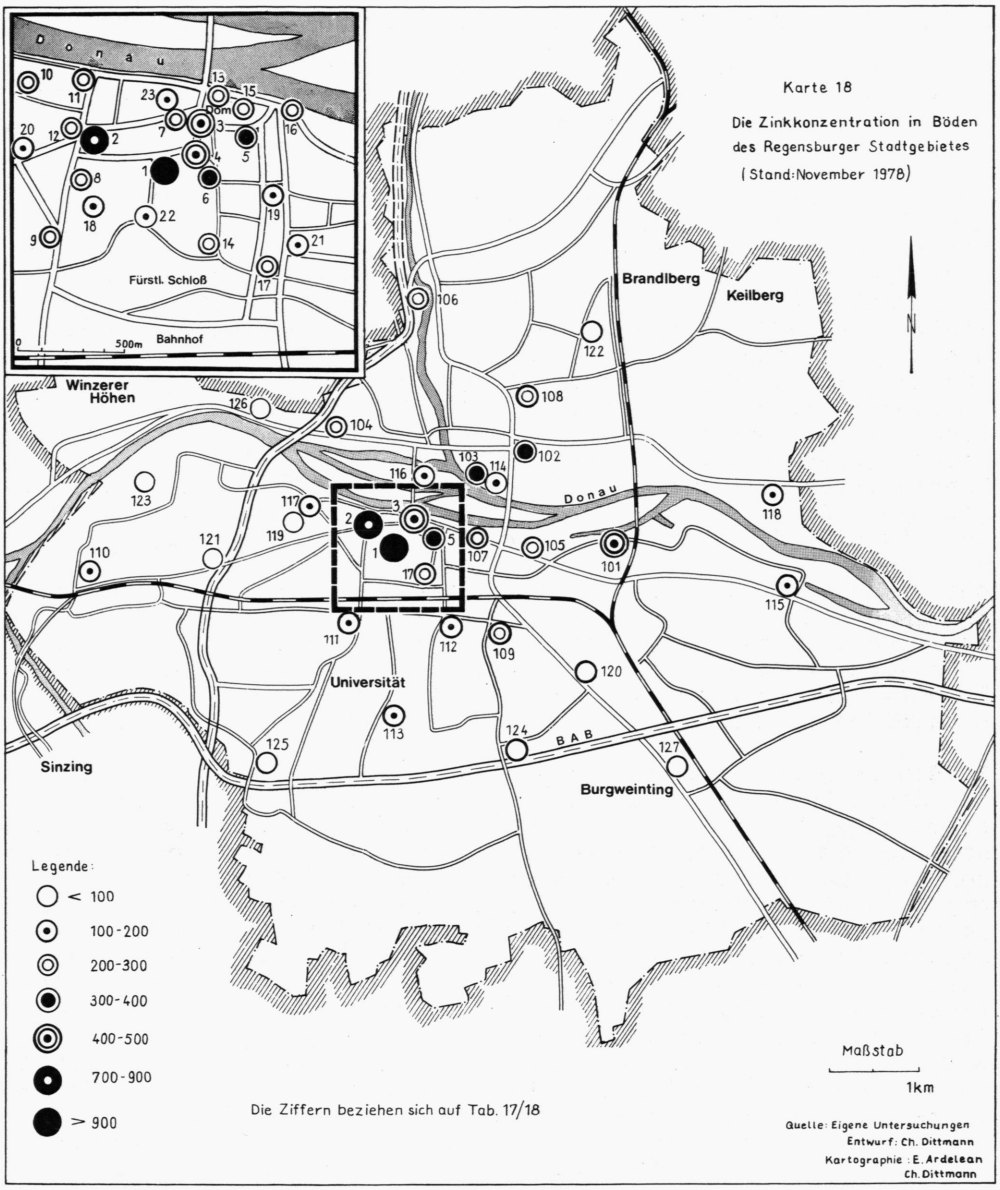
Der natürliche Zinkanteil in basischen Gesteinen liegt bei 105 - 130 ppm, in sauren Gesteinen bei 60 ppm. Der durchschnittliche Zinkgehalt in granitoiden Gesteinen der deutschen Mittelgebirge beträgt 25 ppm (RÖSLER u.a. 1976, 281). Für Sedimentgesteine werden folgende Zinkgehalte angegeben: Kalkstein: 35 ppm, Schiefer: 47 ppm, Sandstein: 16 ppm und 220 ppm (GINSBURG 1963, 72; BOWEN 1966, 209). Die Löslichkeit von Zink im Boden beträgt nur etwa 1 %, ist aber vom pH-Wert des Regenwassers abhängig; sie erhöht sich bei sauren Niederschlägen (pH-Wert <5), die über Städten oft auftreten (GINSBURG 1963, 117/166/198). Zink kommt in Böden häufig als Sulfid vor und ist im Humus am stärksten angereichert (VINOGRADOV 1959, 149). In der Nähe von Zinklagerstätten können in Böden natürliche Zinkkonzentrationen von mehr als 1.000 ppm auftreten, die eine eigene Vegetation aufweisen (z.B. Galmeiveilchen).

Anthropogen verursachte Bodenzinkgehalte treten in der Nähe von Zinkgruben und -hütten, galvanischen Betrieben, bei der Buntmetallverarbeitung, bei Kerzen- und Seifenfabriken sowie durch Emissionen fossiler Brennstoffe auf. Die Hauptquelle der künstlichen Zinkanreicherung im Boden ist aber der Reifenabrieb; Autoreifen enthalten 3 - 5 % ZnO (KOLLMANN 1977, 63 ff.).

Im Regensburger Stadtgebiet wurden anhand der Vergleichsproben aus den Randbezirken natürliche Bodenzinkkonzentrationen zwischen 25 - 85 ppm ermittelt. Der höchste Wert wird in der Probe, die oberhalb der Keilbergverwerfung entnommen wurde, erreicht. Die Lößböden weisen Gehalte um 50 ppm auf. Der niedrigste Wert entstammt einem skelettreichen Carbonatboden. Karte 18 gibt einen Überblick über die Verteilung der Bodenzinkgehalte im Regensburger Stadtgebiet. Die höchsten Zinkkonzentrationen treten in der Altstadt auf, sind aber ebenso wie die Bleiwerte nicht allein von der Verkehrsdichte abhängig. An der Dr.-Martin-Luther-Straße (150 ppm), am Dachauplatz (165 ppm) oder am Platz der Einheit (155 ppm) sind die Zinkgehalte, ebenso wie die Bleiwerte, nicht übermäßig erhöht. Starke Anreicherungen von Zink wurden dagegen in der Gesandtenstraße (980 ppm), dem Arnulfsplatz (750 ppm), am Krauterer Markt (480 ppm) und am Neupfarrplatz (470 ppm) festgestellt (vgl. Tab. 17 b).

Aber ebenso wie die Bleikonzentrationen sind die Zinkanreicherungen neben der Immissionsmenge von der Korngröße der Bodenproben abhängig. Daher erhält man vergleichbare Ergebnisse nur bei der Betrachtung des Schwermetallgehalts im Feinanteil (Korngröße <180 /um) der Proben.

Beim Vergleich der Zink- und Bleikonzentrationen in den Feinanteilen der Bodenproben ergeben sich in der Regensburger Alt-


Karte 18
Die Zinkkonzentration in Böden des Regensburger Stadtgebietes (Stand: November 1978)
Donau
Fürstl. Schloß
Bahnhof
500m
Winzerer Höhen
Brandlberg
Keilberg
Universität
Sinzing
Burgweinting
BAB
N
Legende:
< 100
100-200
200-300
300-400
400-500
700-900
> 900
Die Ziffern beziehen sich auf Tab. 17/18
Maßstab
1km
Quelle: Eigene Untersuchungen
Entwurf: Ch. Dittmann
Kartographie: E. Ardelean
Ch. Dittmann

stadt deutliche Korrelationen (Tab. 17 a, b; 18 a, b). Arnulfsplatz, Kassiansplatz, Krauterermarkt, Alter Kornmarkt und Ernst-Reuter-Platz weisen Blei- und Zinkanreicherungen von jeweils mehr als 500 ppm im Feinanteil auf. Am Roten Herzfleck, der Dr.-Martin-Luther-Straße, am Dachauplatz, Emmeramsplatz und Platz der Einheit treten die niedrigsten Blei- und Zinkkonzentrationen in der Altstadt auf. Nur in den Proben aus der Gesandtenstraße und vom Kohlenmarkt werden hohe Zinkgehalte bei mittleren Bleiwerten verzeichnet. In der Altstadt sind die Zinkanreicherungen in straßennahen Böden daher ebenso wie die Bleikonzentrationen hauptsächlich vom Verkehrsfluß abhängig. Häufiges Bremsen und Anfahren sowie das Rangieren auf Parkplätzen fördern den Reifenabrieb.

Auch in den Ausfallstraßen und Wohngebieten korreliert der Bodenzinkgehalt mit den Bleianreicherungen. An der stark befahrenen Nordgaustraße, der Adolf-Schmetzer-Straße oder Frankenstraße treten hohe Blei- und Zinkkonzentrationen auf, in den Randbezirken geringe (vgl. Tab. 18).

Große Unterschiede in den Schwermetallgehalten sind in folgenden Proben festzustellen: Sehr hohe Zinkanreicherungen weist die Probe aus dem Hafengelände an der Wiener Straße auf (540 ppm / 730 ppm). An dieser Stelle werden vor dem Stadtlagerhaus Lastwagen be- und entladen. Durch Halten, Anfahren und Rangieren ist der Reifenabrieb hier sehr hoch. Da Lastwagen mit Dieselkraftstoff betrieben werden, der kein Blei enthält, sind die Bodenbleiwerte gering. Die Zinkkonzentrationen in der Probe aus einem Garten in Weichs (345 ppm / 410 ppm) sind auf Düngemittel zurückzuführen. Die hohen Zinkanreicherungen an der Bundesautobahn bei Lappersdorf (305 ppm / 680 ppm) entstammen dem verstärkten Reifenabrieb bei hohen Fahrgeschwindigkeiten. Die Bleiemission verringert sich aber mit der Fahrgeschwindigkeit; deshalb ist der Bleigehalt der Probe gering.

Abschließend ist festzustellen, daß im Stadtgebiet von Regensburg die Schwermetallkonzentrationen in straßennahen Böden mit dem Verkehrsfluß und der Verkehrsdichte in Zusammenhang stehen. Im Stadtzentrum werden die Blei- und Zinkgehalte überwiegend durch den Verkehrsfluß bestimmt. In den Ausfallstraßen und Randgebieten ist in erster Linie die Verkehrsdichte bedeutsam.

An der Meßstation auf dem Dachauplatz werden seit 1975 auch die Schwermetallkonzentrationen im Gesamtstaubniederschlag ermittelt (Messung durch Bergerhoff-Gerät). Die Werte schwanken sehr stark (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ, Lufthygienische Jahresberichte 1975, 21 f.; 1976, 30; 1977, 46·f; 1978, 46):

Blei:	Max:	3.611 ppm	Juli 1975
	Min:	118 ppm	April 1977
Zink:	Max:	8.209 ppm	Dezember 1976
	Min:	34 ppm	Juli 1978

Ein deutlicher Jahresgang ist nicht festzustellen. Die Bleikonzentration sank von 1975 (2.067 ppm) bis 1976 (1.242 ppm) deutlich ab und pendelte sich bei einem Jahresmittel um 1.000 ppm / Monat ein (1).

Die Schwermetallgehalte, die in Regensburg von der Meßstation auf dem Dachauplatz im Staubniederschlag ermittelt wurden, liegen im Vergleich zu anderen bayerischen Städten im Mittelfeld. Besonders hohe Werte registrierte man vor allem in München (Maximum: Station München Pullach - Mai 1975: 10.271 ppm Pb). Die Meßstelle auf dem Dachauplatz scheint aber für die Schwermetallimmission im Regensburger Stadtgebiet nicht repräsentativ zu sein, da auch die Bodenprobe von dort nur geringe Konzentrationen enthielt (Tab. 17 a, 18 a).

5.4.2 Die Immissionsbelastung durch Feuerungsanlagen von Industrie und Hausbrand

5.4.2.1 Die Beziehungen zwischen Immissionskonzentration und Austauschverhältnissen

Die Immissionskonzentration in Bodennähe wird von den Wetterverhältnissen und den Eigenschaften der Emissionsquelle bestimmt. Die für die Transmission entscheidenden meteorologischen Parameter sind: Windrichtung und Windgeschwindigkeit, die die horizontale Verlagerung der Emissionen bestimmen und die thermische Schichtung der Atmosphäre im Ausbreitungsbereich der Rauchfahne, die die vertikale Verteilung bewirkt. Die wichtigsten Quellparameter sind: Rauchgasmenge und -temperatur und Quellhöhe (KELLNER u.a. 1974, UHLIG 1965, 3 ff.). Durch örtliche topographische Gegebenheiten werden die meteorologischen Verhältnisse modifiziert und die Ausbreitungsbedingungen beeinflußt. Um die Schadstoffausbreitung abzuschätzen, sind möglichst genaue Kenntnisse über die turbulente Diffusion in den unteren Schichten der Atmosphäre notwendig. Da Turbulenzmessungen nur an wenigen Orten stichprobenartig vorgenommen wurden, müssen die Ausbreitungsbedingungen aus (stündlichen) synoptischen Beobachtungen der meteorologischen Situation erschlossen werden. Dazu gibt es sehr unterschiedliche Bestimmungsmodelle. Das erste Einteilungsschema für Ausbreitungsklassen wurde von Singer und Smith (1953) entwickelt. Von Bedeutung sind die Modelle von Pasquill (1961) und Turner (1964). Sie bilden die Grundlage für das Schema der Ausbreitungsklassenbestimmung nach Klug/Manier, das gegenwärtig vom Deutschen Wetterdienst angewendet wird.

---

(1) Anm.: Da die Korngrößen bei Staubniederschlag wesentlich kleiner sind als in den Bodenproben, ist der Schwermetallgehalt hier erheblich größer.

Klug W. (1969) ermittelt die Parameter zur Abschätzung der thermischen Stabilität aus

1) Datum und Uhrzeit, um für den zu untersuchenden Ort die Sonnenhöhe abzuleiten,

2) dem Bedeckungsgrad sowie Art und Höhe der Wolken,

3) der Windgeschwindigkeit im Anemometerniveau.

Thermische und mechanische Turbulenzen stehen in wechselseitigen Beziehungen und beeinflussen die Ausbreitungsbedingungen.

Klug W. (1969) orientiert sich am Schema von Pasquill und unterscheidet ebenfalls zwischen Tag (Zeit zwischen Sonnenaufgang und -untergang) und Nacht (zwischen Sonnenuntergang und -aufgang) und berücksichtigt die Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe. Durch Hinzunahme der Bewölkungsverhältnisse am Tage (anstelle von Pasquills vagen Einstrahlungskriterien) wird das Verfahren objektiviert, und durch Zusatzregeln werden Grenzfälle berücksichtigt. Somit erhält man folgendes Zuordnungsschema für sechs Stabilitätsklassen:

I : stark stabil

II : stabil

III_1 : leicht stabil, indifferent

III_2 : indifferent, leicht labil

IV : labil

V : stark labil

Tab. 19: Ausbreitungsklassengrundschema nach Klug W. (1969, 144)

Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	Gesamtbedeckung				
	Nacht		Tag		
	0/8-6/8	7/8-8/8	0/8-2/8	3/8-5/8	6/8-8/8
1,5 m/s	I	II	IV	IV	IV
2 m/s	I	II	IV	IV	III_2
3 m/s	II	III_1	IV	IV	III_2
4 m/s	III_1	III_1	IV	III_2	III_2
5 m/s	III_1	III_1	III_2	III_1	III_1

Dieses Schema wird durch folgende Zusatzregeln modifiziert

1) Im Juni und Juli zwischen 11 und 15 Uhr (MEZ) sowie im Mai und August zwischen 12 und 14 Uhr (MEZ) wird dann die nächsthöhere Ausbreitungsklasse genommen, wenn die Windgeschwindigkeit kleiner ist als 5 m/sec und die Bewölkung weniger als 5/8 beträgt. Dadurch wird eine Ausbreitungsklasse V möglich.

2) Von Dezember bis Februar wird die Ausbreitungsklasse IV des obigen Schemas durch Klasse III_2 ersetzt. Daher treten in den Wintermonaten die Klassen IV und V nicht auf (vgl. Abb. 40).

3) Für die Zeit nach Sonnenaufgang ist zu berücksichtigen, daß sich die Erwärmung und Labilisierung der unteren Luftschichten erst allmählich vollzieht. Daher gilt für die Schadstoffausbreitung aus Quellen mit effektiver Quellhöhe < 100 m (Hausbrand), daß die nächtliche Stabilitätsklasse noch eine Stunde nach Sonnenaufgang anhält. Bei effektiven Quellhöhen von mehr als 100 m gilt die Ausbreitungsklasse der Nachtgruppe noch für zwei Stunden nach Sonnenaufgang.

4) Bei Kaminen mit effektiver Quellhöhe > 150 m wird nachts anstelle Klasse I, Klasse II verwendet.

5) Für die Zeit von zwei Stunden vor Sonnenuntergang soll gelten:
   - Wenn die Ausbreitungsklassen zwischen Tag und Nacht nur um eine Klasse differieren, gilt für diesen Zeitraum die gleiche Klasse wie tagsüber.
   - Differieren die Ausbreitungsklassen zwischen Tag und Nacht um zwei bis drei Klassen, so wird vor Sonnenuntergang die Tagklasse um einen Wert erniedrigt.
   - Bei einer Differenz von vier Klassen wird der Tageswert um zwei Klassen erniedrigt.

6) Besteht die Bewölkung ausschließlich aus hohen Wolken (Cirren), so wird der Bewölkungsgrad um 3/8 herabgesetzt.

Um das Schema der Ausbreitungsklassen zur mathematischen Bestimmung der Immissionskonzentration (vgl. 5.3.4) heranzuziehen, entwickelte Klug W. (1970) darüber hinaus Formeln und Tabellen zur Berechnung der zu jeder Stabilitätsklasse gehörigen Diffusionsparameter (σ_y, σ_z).

Untersuchungen von Manier (1975) in Hamburg ergaben, daß das Schema der Ausbreitungsklassen nach Klug die Änderungen der Temperaturschichtung in den Morgen- und Abendstunden nur unvollkommen wiedergibt.

Da Klug W. (1969) aus praktischen Gründen die Stabilitätsklassen ausschließlich von synoptischen Beobachtungen ableitet, werden die Zusammenhänge zwischen vertikaler Turbulenz und Temperaturgradient zum Teil nur unvollständig erfaßt: In den Nachtstunden ist die Korrelation zwischen Ausbreitungsklasse und Temperaturgradient nicht sehr gut. Inversionen werden nicht ausreichend berücksichtigt; sie halten in der Regel morgens länger an. In den Abendstunden ändert sich außerdem die Schichtung nicht so abrupt wie die Ausbreitungsklassen. Die starke Turbulenz um die Mittagszeit wird in dem Schema von Klug W. (1969) ebenfalls zu wenig berücksichtigt. Deshalb sind die Klassen III_2 und IV überrepräsentiert. Durch abgewandelte Zusatzregeln versucht Manier (1975), das Schema von Klug W. (1969) zu verbessern (vor allem Klugs Zusatzregeln 1, 3, 5), ohne dabei den Grundgedanken, die Ableitung der Ausbreitungsklassen aus synoptischen Daten, aufzugeben. Manier (1975) betont jedoch, daß die "Klassifizierung des Turbulenzzustandes der Atmosphäre durch eine Ausbreitungsklasse, die aus synoptischen Beobachtungen bestimmt wurde, ... nur als unumgänglicher Notbehelf angesehen werden" kann. Maniers Änderungsvorschläge für die Bestimmung der Stabilitätsklassen nach Klug W. (1965) lauten:

1) Differenziertere Betrachtungsweise für die Morgen- (1 - 3 Stunden nach Sonnenaufgang) und Abendstunden (2 Stunden vor Sonnenuntergang und 1 Stunde nach Sonnenuntergang)
   - Von März bis November gilt: Bei einer Windgeschwindigkeit von mehr als 2 km/h wird Klasse II verwendet.
   - Von Dezember bis Februar gilt: Bei einer Windgeschwindigkeit von weniger als 2 km/h und einem Bewölkungsgrad $\leq$ 6/8 wird Klasse I verwendet.

2) In folgenden Fällen wird die Ausbreitungsklasse um eine Einheit erhöht:
   - Von Juni bis August zwischen 10 - 16 Uhr (MEZ) und bei einem Bewölkungsgrad $\leq$ 6/8 oder bei einem Bewölkungsgrad von 7/8 mit Windgeschwindigkeiten unter 5 Knoten.
   - Von Mai bis September zwischen 11 - 15 Uhr (MEZ) und einem Bewölkungsgrad $\leq$ 6/8.

3) Die Ausbreitungsklasse wird in folgenden Fällen um zwei Einheiten erhöht:
   - Von Juni bis August zwischen 12 - 15 Uhr (MEZ) und einem Bewölkungsgrad $\leq$ 5/8.
   - Eine höhere Kategorie als Klasse V wird jedoch nicht gebildet.

Durch die Korrekturen Maniers wird erreicht, daß die Ausbreitungsverhältnisse bei Sonnenauf- und -untergang besser berücksichtigt werden. Die Häufigkeit der Kategorie V nimmt zu.

Die Änderung der Windgeschwindigkeit mit der Höhe, die für die Schadstoffausbreitung von großer Bedeutung ist, läßt sich nicht anhand meteorologischer Grunddaten erschließen und muß für jeden Ort durch Messung bestimmt werden. Besonders bei stabiler Schichtung nimmt die Windgeschwindigkeit über Städten sehr stark mit der Höhe zu (MANIER 1977).

Bei Städten, die wie Regensburg in Talkesseln liegen, geben die Stabilitätsklassen die wirklichen Ausbreitungsverhältnisse nur unvollkommen wieder. Das vertikale Windprofil bei stabiler Schichtung und Inversionen sowie die Windscherungen in der Höhe lassen keine, für mathematische Immissionsprognosen ausreichend genauen Angaben über die Diffusionsverhältnisse in den Luftschichten, in denen sich die Schadstoffausbreitung vollzieht, zu (vgl. AHRENS 1972).

Die Berechnung der Ausbreitungsklassenhäufigkeit nach Klug/ Manier, die der Deutsche Wetterdienst für jede synoptische Beobachtungsstation vorgenommen hat, gilt daher strenggenommen nur für den Stationsort. Trotzdem ist eine Betrachtung der Turbulenzklassenhäufigkeit sinnvoll, da sie einen allgemeinen Überblick über Diffusionsverhältnisse gibt. Abb. 40 zeigt die Ausbreitungsklassenhäufigkeit von Regensburg im Vergleich zu anderen Städten.

Es wurde die Meßperiode 1951 - 60 gewählt, da in diesem Zeitraum die synoptische Station im Westen der Regensburger Bucht, in der Donauniederung (Flugplatz Messerschmitt) aufgestellt war und nur unwesentlich verlegt wurde.

Als Vergleich mit einer Stadt in Beckenlage konnte nur Freiburg herangezogen werden, da auch hier die Wetterstation in der Talebene lag. In Passau, Würzburg oder Stuttgart befinden sich die Station dagegen am Hang oder auf der randlichen Hochfläche, so daß die errechneten Ausbreitungsverhältnisse zu stark von der tatsächlichen Diffusionssituation im Tal abweichen. Abb. 40 zeigt, daß stabile Schichtungsverhältnisse in Freiburg, in der Oberrheinebene, im Jahresdurchschnitt mit 45 % häufiger auftreten als in Regensburg (40 %). Ähnliche Stabilitätsverhältnisse wie Regensburg weist Nürnberg auf, obwohl es in einer flachen Mulde liegt. In München sind dagegen die Klassen I und II seltener (37 %)die Klasse III_1 ist dagegen mit 34,3 % recht häufig.

Allgemein treten im Sommer und Herbst stabile Schichtungsverhältnisse häufiger auf als im Frühjahr und Winter. Das ganze Jahr hindurch überwiegt Klasse III_1, die als einzige tagsüber und nachts vorkommen kann.

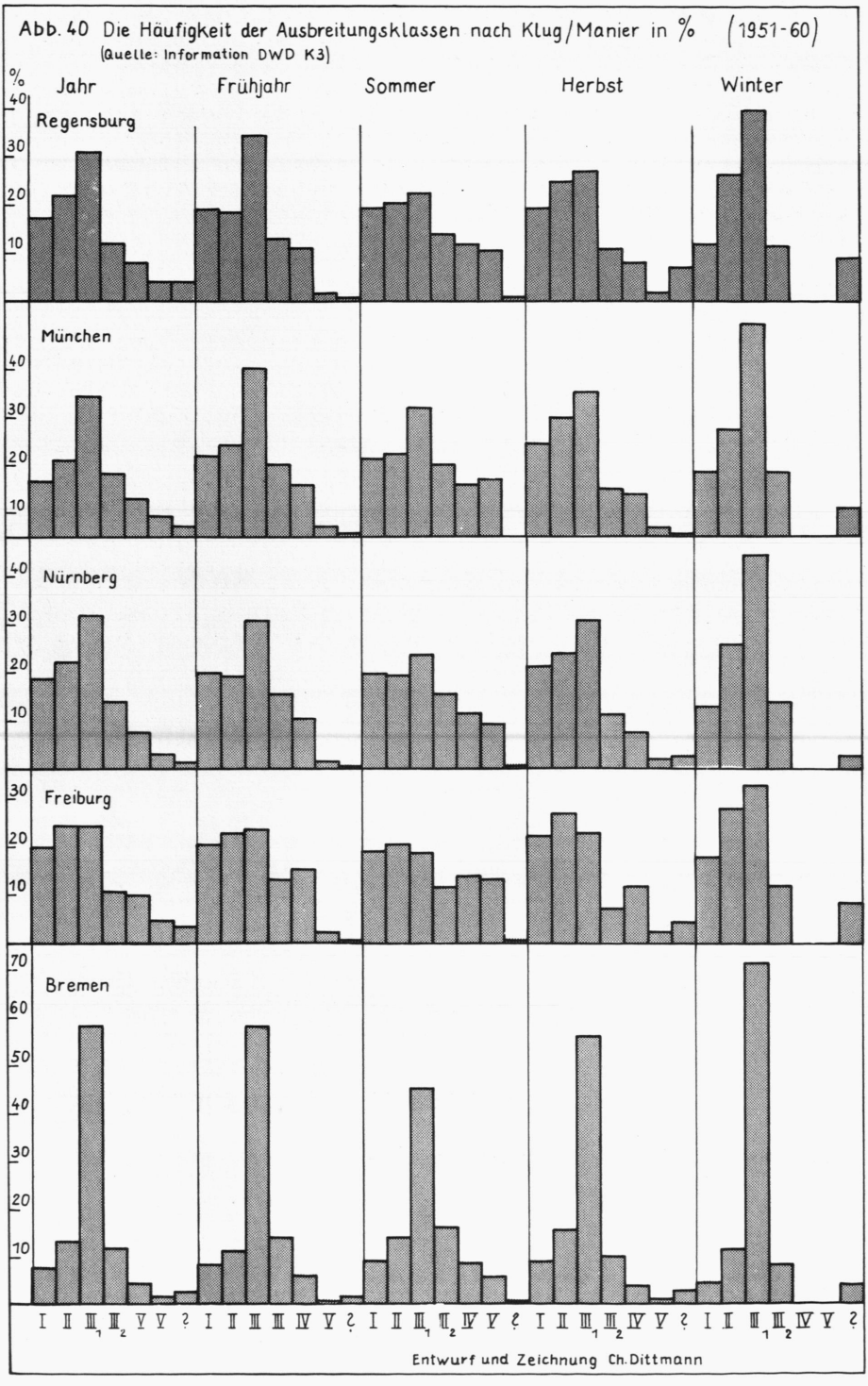


Abb. 40 Die Häufigkeit der Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier in % (1951-60)
(Quelle: Information DWD K3)
%
Jahr
Frühjahr
Sommer
Herbst
Winter
Regensburg
München
Nürnberg
Freiburg
Bremen
I II III1 III2 IV V ?
Entwurf und Zeichnung Ch. Dittmann

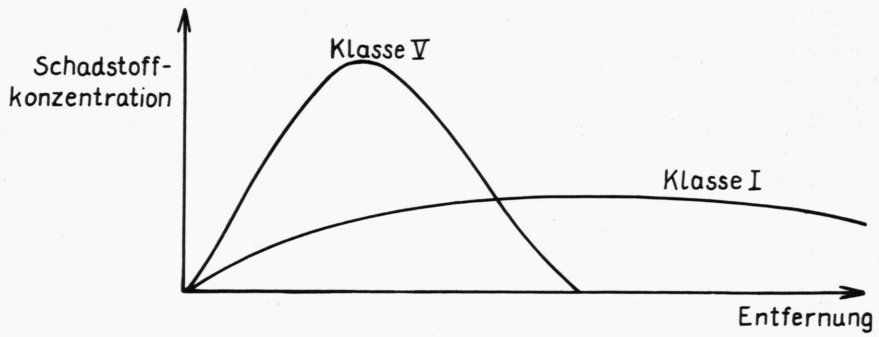
In Bremen, dessen Klima vollständig maritim beeinflußt wird, kommen dagegen stabile Schichtungsverhältnisse im Jahresdurchschnitt mit 20 % am seltensten vor. Ausbreitungsklasse III_1 dominiert mit 57,4 %. Auch sind im Gegensatz zu den anderen in Abb. 40 dargestellten Städten geringe Windgeschwindigkeiten $<$ 2 kn recht selten. Durch diese günstige Turbulenzsituation Bremens erklären sich die guten Ergebnisse bei der Berechnung der Immissionskonzentration mit Hilfe der mathematischen Diffusionsbestimmung (vgl. FORTAK 1970; Ders. 1978).

Die Auswirkungen der Stabilitätsverhältnisse auf die Schadstoffkonzentration in Bodennähe sind unterschiedlich.

Bei Einzelquellen tritt die höchste Konzentration in der Klasse V auf. Bei stark labiler Schichtung werden die Abgase rasch in Bodennähe verfrachtet, so daß die maximale Immissionskonzentration in der Nähe der Quelle liegt (Abb. 41 - Photo 13) (vgl. Mc Cormic u.a. 1969, 50).

Bei stabiler Schichtung (Inversionen) kann das Immissionsmaximum dagegen viele Kilometer von der Quelle entfernt sein. Die schwache Turbulenz der Luft bewirkt eine weiträumige Ausbreitung der Rauchfahne. Daher ist bei Klasse I die Immissionskonzentration einer isolierten Einzelquelle gering. Die Schadstoffe mehrerer, auch weit entfernt liegender Quellen akkumulieren jedoch, so daß bei Klasse I die höchste Gesamtkonzentration auftritt (Abb. 41 - Photo 14).

Abb. 41 Die Beziehungen zwischen Ausbreitungsklasse und Immissionskonzentration

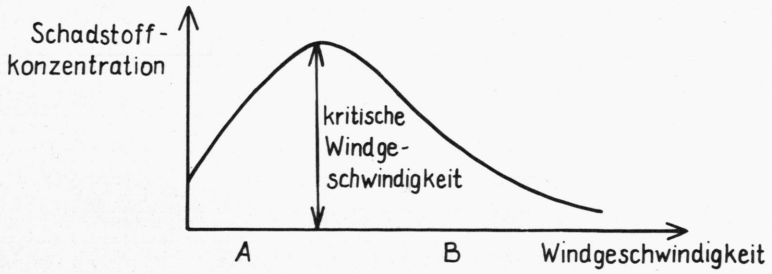


Quelle: Manier 1971, 57ff

Neben den Durchmischungsverhältnissen der unteren Luftschichten ist die (effektive) Quellhöhe für die Schadstoffausbreitung entscheidend. Sie setzt sich aus der Bauhöhe des Schornsteins und aus der Rauchfahnenüberhöhung, die durch den Wärmeinhalt der Abluft, die Menge und Austrittsgeschwindigkeit des Rauchgases

entsteht, zusammen. Die Rauchfahnenüberhöhung kann mehrere hundert Meter betragen. Sie ist um so geringer, je größer die Windstärke ist.

Abb. 42 Die Beziehungen zwischen Schadstoffkonzentration und Windgeschwindigkeit



Quelle: Manier 1971, 57 ff

Abb. 42 zeigt die Auswirkungen der Windstärke auf die Schadstoffkonzentration (Photo 13/14). Erläuterungen zu Abb. 42:

Zu A: Die effektive Quellhöhe wird mit zunehmender Windgeschwindigkeit kleiner; dadurch erhöht sich die Schadstoffkonzentration.

Zu B: Andererseits erfolgt bei zunehmender Windstärke eine bessere Verdünnung der Schadstoffe und eine Reduzierung der Immissionskonzentration.

Durch den Gebäudeeinfluß des Schornsteins können bei starken Winden im Lee der Quelle Turbulenzen entstehen, die ein "aerodynamisches Niederwaschen" der Rauchfahne bewirken. Die Abgase werden nach Austritt aus dem Kamin zu Boden gedrückt; es findet keine Rauchfahnenüberhöhung statt (Photo 13) (Mc CORMIC u.a. 1969, 50 ff. / 73 ff.). Bei den niedrigen Quellhöhen der Hausbrandemissionen liegt die maximale Immissionskonzentration bei jeder Windstärke nur in geringer Entfernung.

5.4.2.2 Der Tages- und Jahresgang der SO_2-Immission in Regensburg

Der Tagesgang der SO_2-Immission ist von den Emissionsbedingungen u. den Austauschverhältnissen abhängig. Bei Städten, die in bodeninversionsgefährdeten Tälern liegen, ist außerdem

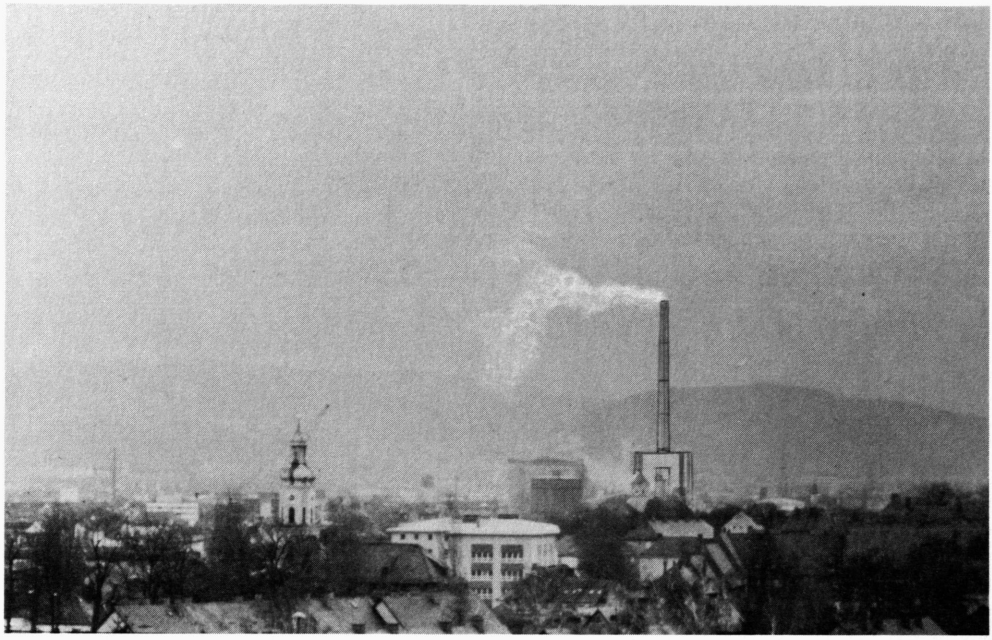
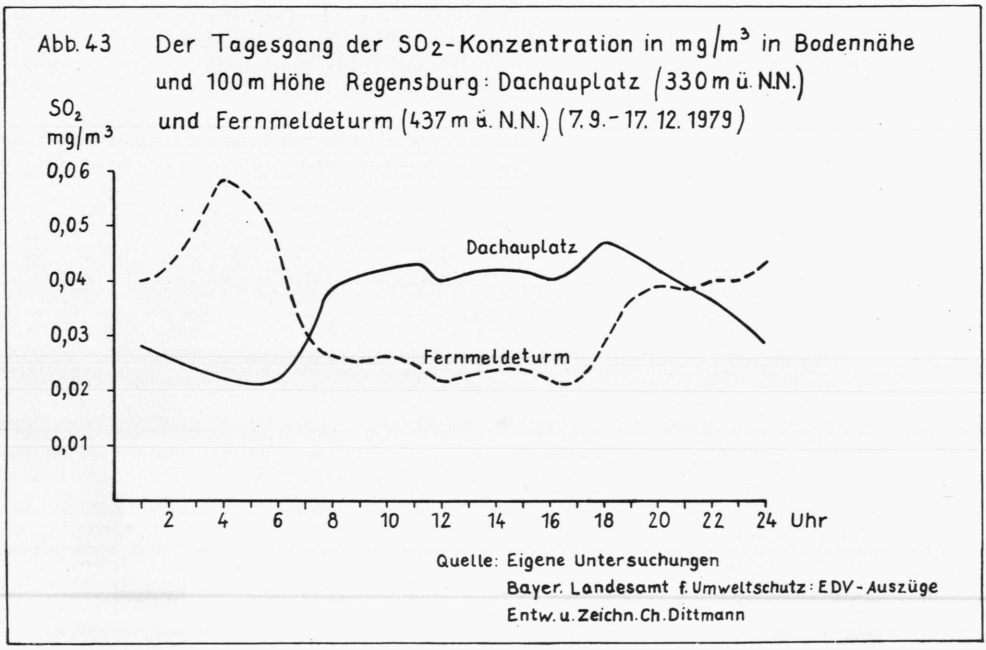


Foto 13:
„Aerodynamisches Niederwaschen" der Rauchfahne durch den Gebäudeeinfluß des Schornsteins (November 1979).

Foto 14:
Ausbreitung der Rauchfahne der Zuckerfabrik bei stabiler Schichtung über das Stadtzentrum (Dezember 1979).

die Meßhöhe sehr bedeutend. Abb. 43 zeigt den Tagesgang der SO_2-Immission in der Regensburger Bucht in Bodennähe und 100 m oberhalb des Donautals.

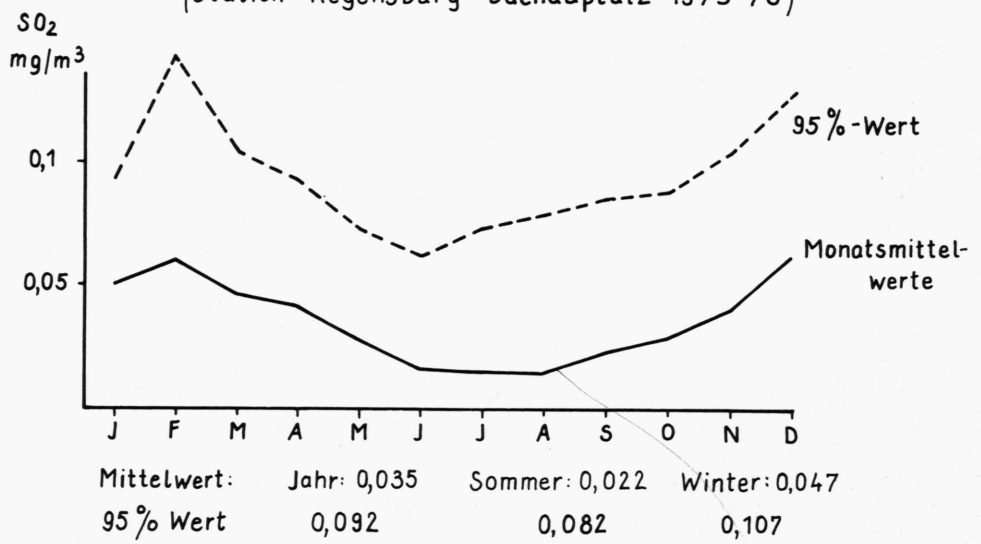


Der Tagesgang der SO_2-Konzentration in Bodennähe steigt am Morgen deutlich an. Ein sekundäres Maximum wird in den Vormittagsstunden erreicht, zu der Zeit, in der die Einzelöfen angeheizt werden. Das Maximum tritt am frühen Abend, gegen 18 Uhr auf, wenn die Öfen nachgeheizt werden und in den unteren Luftschichten bereits stabilere Austauschverhältnisse herrschen. In den Nachtstunden sinken die Werte kontinuierlich ab.Der Tagesgang in 100 m Höhe über dem Donautal verläuft entgegengesetzt. Nachts steigt die Schadstoffkonzentration kontinuierlich an, nimmt in den Morgenstunden rasch ab und bleibt tagsüber gering. Denn bei stabiler Schichtung und tiefliegenden Inversionen sammeln sich die Schadstoffe des Hausbrands unterhalb der Sperrschicht. Emissionen aus Turmkaminen durchdringen dagegen wegen der Rauchgasüberhöhung die Inversionsuntergrenze und werden innerhalb der Warmluftschicht zurückgehalten. Daher nimmt nachts die Immissionskonzentration in der Höhe zu. Bewohner in den oberen Stockwerken der Hochhäuser und in den Eigenheimen an den randlichen Hängen der Regensburger Bucht sind deshalb nachts höheren Schadstoffkonzentrationen ausgesetzt.

Tagsüber herrschen dagegen in der Höhe gute Durchmischungsverhältnisse, die die Immission reduzieren. Durch die Labilisierung der unteren Luftschichten in den Morgenstunden gelangen die Abgase aus Turmkaminen (in Regensburg vor allem der Zuckerfabrik) in Bodennähe und verursachen dort einen raschen Anstieg der SO_2-Werte.

Der Jahresgang der SO_2-Konzentration in Regensburg verläuft einphasig mit dem Maximum im Dezember. Von Juli bis August ist die Immission sehr niedrig und steigt dann kontinuierlich an (Abb. 44).

Abb. 44 Der Jahresgang der SO_2 Konzentration in mg/m^3
(Station: Regensburg Dachauplatz 1975-78)



Quelle: Bayer. Landesamt für Umweltschutz (1975 - 1978) Lufthygienische Jahresberichte
Entwurf und Zeichnung Ch. Dittmann

Dieser Jahresgang verdeutlicht, daß in Regensburg die SO_2-Immission hauptsächlich durch Feuerung mit Kohle und Erdöl zum Zwecke der Gebäudeheizung in der kalten Jahreszeit hervorgerufen wird.

Am Stadtrand (Meßstation: Isarstraße) treten im Monatsmittel von September bis April geringfügig kleinere Immissionsraten auf (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ 1979, Lufthygienische Monatsberichte).

5.4.2.3 Die Überschreitung der gesetzlich festgelegten Immissionswerte in der Regensburger Bucht in Bodennähe

Die SO_2-Immission nimmt in Regensburg rasch zu und hat sich von 1975 - 1978 mehr als verdoppelt (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ, Lufthygienische Jahresberichte 1977, 38; 1978, 23/38). An der Station auf dem Dachauplatz wurde registriert:

Jahresmittel:	1975:	0,02 mg SO_2/m^3	1978:	0,05 mg SO_2/m^3
Wintermittel:		0,03		0,07
Sommermittel:		0,01		0,03

In München sank dagegen die SO_2-Immission kontinuierlich ab und lag im Jahr 1978 unter den Werten von Regensburg. Nur in Nürnberg, Fürth und Hof wurden höhere SO_2-Konzentrationen als in Regensburg ermittelt (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ - Lufthygienischer Jahresbericht 1978, 14 ff.).

Die gesetzlich festgelegten Toleranzschwellen wurden in Regensburg mehrfach überschritten. Tab. 20 zeigt eine Übersicht über die SO_2-Konzentrationen, die über dem IW_2-Wert (Kurzzeitbelastung) von 0,4 mg SO_2/m^3 lagen. Die Obergrenze für die maximale Immissionskonzentration bei Kurzzeitbelastung nach VDI 2310 (MIK_k) von 1 mg SO_2/m^3 wurde dagegen in Bodennähe nicht erreicht.

Tab. 20 verdeutlicht die Verschlechterung der lufthygienischen Situation in Regensburg zwischen 1975 und 1979. Der IW_2-Wert wurde von 1975 - 1978 nur ein- bzw. zweimal im Jahr überschritten; 1979 bereits schon an 5 Tagen. Da die hohen SO_2-Konzentrationen von beiden Meßstellen etwa zur gleichen Zeit registriert werden, handelt es sich nicht um zufällige, örtliche Abgaseinwirkungen, sondern um großflächige, überhöhte Schadstoffbelastungen. Die längste Periode des Untersuchungszeitraums, in der der IW_2-Wert überschritten wurde, betrug 7 1/2 Stunden und ereignete sich in der Nacht vom 5.2. - 6.2.79 zwischen 21.30 bis 5.30 Uhr. Die SO_2-Spitzenwerte treten zumeist aber nicht nachts, sondern in den Morgen- oder Nachmittagsstunden auf. Die SO_2-Konzentrationen am Stadtrand lagen dabei sogar mehrfach über den Immissionen im Stadtzentrum (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ - Registrierbögen 1979).

Tagesmittelwerte, die über dem IW_1-Wert (Langzeitbelastung) von 0,14 mg/m^3 SO_2 lagen, wurden zwischen 1975 bis 1979 18-mal verzeichnet; der MIK_D-Wert (Tagesmittel der maximalen Immissionskonzentration nach VDI 2310 von 0,3 mg SO_2/m^3) wurde im Beobachtungszeitraum dagegen zweimal überschritten. (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ - Lufthygienische Monatsberichte

Tab. 20: Überschreitungen des IW_2-Wertes der SO_2-Konzentration (0,4 mg SO_2/m^3) in Regensburg (1975 - 79)

Datum	SO_2-Konzentration in mg/m^3	
	Stadtzentrum (Meßstelle: Dachauplatz)	Stadtrand (Meßstelle: Isarstraße)
28.08.75	0,42	
14.03.76	0,43	keine
15.08.77	0,52	
02.12.77	0,47	Messungen
18.02.78	0,76	
06.02.79	0,81	0,68
25.02.79	0,42	0,41
26.04.79	0,49	0,64
10.05.79	0,43	0,48
10.09.79	(0,29)	0,55
11.09.79	0,64	0,65

Quelle: Bayer. Landesamt f. Umweltschutz
Lufthygienische Monatsberichte
1975-1979

1975 - 79). Die Toleranzschwelle wird fast ausschließlich in den Wintermonaten erreicht oder überschritten. Die höchsten Tagesmittelwerte betrugen:

0,38 mg SO_2/m^3	18.02.1978	Meßstelle:	Dachauplatz
0,32	06.02.1979	"	Dachauplatz
0,27	06.02.1979	"	Isarstraße
0,21	18.01.1979	"	Dachauplatz
0,20	02.12.1977) 20.01.1979)	"	Dachauplatz

Zwischen 1975 und 79 nahm auch die Anzahl der Tage mit überhöhten Mittelwerten ($>0{,}14$ mg SO_2/m^3) zu:

1975:	-	
1976:	1 Tag	(30.1.)
1977:	3 Tage	(30.11. /01.12. /02.12.)
1978	3 Tage	(07.02. /17.02 /18.02.)
1979:	11 Tage	(5. - 6.1. / 17. - 23.1. / 6.2. / 26.4.)

Die längste Periode, in der der IW_1-Wert erreicht oder überschritten wurde, dauerte 7 Tage, vom 17. - 23.1.1979. Die Monatsmittelwerte vom Februar 1978 (0,12 mg SO_2/m^3) und Januar 1979 (0,13 mg SO_2/m^3) liegen nur geringfügig unter der gegenwärtig gültigen Toleranzgrenze. Falls die SO_2-Immission in Regensburg weiterhin so stark ansteigt wie bis zum Jahr 1979, muß in den Wintermonaten damit gerechnet werden, daß die Schadstoffkonzentration die festgesetzten Immissionswerte häufig übersteigt.

5.4.2.4 Die SO_2-Konzentration 100 m oberhalb der Regensburger Bucht

Da sich bei stabiler Schichtung Emissionskomponenten in oder unterhalb von Inversionen anreichern, soll nun nachfolgend überprüft werden, welche Immissionswerte 100 m oberhalb der Regensburger Bucht vorkommen, wie häufig die Schadstoffkonzentrationen mit der Höhe zunehmen und welche Korrelationen sich aus den in 100 m Höhe gemessenen Werten mit den Immissionen in Bodennähe ergeben. Deshalb wurde die SO_2-Konzentration oberhalb der Regensburger Bucht von September bis Dezember 1979 aufgezeichnet.

Zur quantitativen Erfassung der gasförmigen Luftverunreinigungen diente der chemisch-physikalische Gasspurenanalysator "Picoflux", der auf der Plattform des Regensburger Fernmeldeturmes, der im Südwesten der Stadt auf dem Ziegetsberg steht, aufgestellt war. Trotz dieser Lage am Rand der Regensburger Bucht ist die Meßstelle zur Ermittlung der Schadstoffanreicherung in der Höhe geeignet, da erhöhte SO_2-Immissionen in Regensburg flächenhaft auftreten, wie auch ein Vergleich der Meßwerte an den Bodenstationen Dachauplatz und Isarstraße zeigt (vgl. Tab. 20). Zudem breiten sich aufgestiegene Gase und Kerne entlang der Sperrschicht horizontal aus. Es ist aber anzunehmen, daß die Schadstoffkonzentrationen oberhalb des Stadtzentrums etwas über den auf der Plattform des Fernmeldeturms registrierten Werten liegen.

Funktionsweise des Meßgeräts: Das Meßgas (SO_2) wird in einem kontinuierlichen Strom durch die Reaktionslösung (Wasserstoffperoxidlösung) geleitet. Das in der Luft enthaltene SO_2 wird in Schwefelsäure umgesetzt und dadurch die elektrische Leitfähigkeit der Lösung erhöht. Die Veränderungen der Leitfähigkeit dienen als elektrischer Meßwert für die SO_2-Konzentration, der mit einem Registriergerät (Minicomp) aufgezeichnet wird (Photo 10).

Wartung: Die Reaktionslösung wurde wöchentlich nachgefüllt und danach das Gerät neu geeicht. Dadurch fielen zwei Halbstunden-Mittelwerte aus.

Der Meßbereich umfaßt 0 bis 2 mg/m^3 SO_2; die Meßgenauigkeit liegt bei 0,001 mg/m^3 SO_2.

Der Tagesgang der SO_2-Konzentration in 100 m Höhe zeigt eine deutliche Abhängigkeit von den nachts auftretenden stabilen Schichtungsverhältnissen (vgl. 5.4.2.1). Im Mittel ist nachts ein Anstieg der SO_2-Immission in der Höhe nachzuweisen, da sich die Emissionen aus niedrigen Quellhöhen unterhalb der Inversionsschicht anreichern. Tagsüber ist die Luftqualität in 100 m Höhe dagegen besser als in Bodennähe. Bei windigem, regnerischen Wetter steigen die SO_2-Konzentrationen nachts nicht an und betragen weniger als 0,015 mg/m^3.

Überschreitungen des IW_2-Wertes (0,4 mg/m^3) und des MIK_k-Wertes (1 mg SO_2/m^3) wurden mehrfach verzeichnet:

am 11.09.1979	9 - 11 Uhr	Max:	1,14 mg/m^3
11. - 12.10.1979	21 - 8 Uhr	"	2 mg/m^3
16.10.1979	18 - 20 Uhr	"	0,6 mg/m^3
24. - 25.11.1979	17 - 3 Uhr		1,64 mg/m^3

Die Spitzenwerte sind derart hoch, daß sie bereits nach kurzer Zeit die menschliche Gesundheit beeinträchtigen.

Die überhöhten Werte, die auf dem Fernmeldeturm gemessen wurden, korrelieren nur teilweise mit erhöhten Schadstoffkonzentrationen in Bodennähe: So registrierten z.B. am 11.9.1979 auch die Stationen auf dem Dachauplatz und in der Isarstraße einen starken Immissionsanstieg; die Maxima, die gegen 10.30 Uhr auftraten, liegen jedoch erheblich unter der Schadstoffkonzentration in Höhe der Fernmeldeturmplattform (vgl. Tab. 20). Die Windgeschwindigkeit betrug an diesem Vormittag nur 1 m/sec; Zwischen 4 und 11 Uhr herrschte Nebel.

Am 12.10.1979 verzeichnete dagegen nur die Station auf dem Dachauplatz zwischen 11 und 14 Uhr etwas erhöhte SO_2-Immissionen (Max 0,14 mg/m^3), nachdem sich die stabile Schichtung in

Bodennähe aufgelöst hatte. An diesem Tag bestand eine antizyklonale Wetterlage, im Einflußbereich einer Absinkinversion herrschte bis 11 Uhr Dunst, anschließend war der Himmel wolkenlos. Auch am 16.10.1979 stiegen nach 17 Uhr die Immissionen in Bodennähe nur leicht an (Max: 0,09 mg/m^3 SO_2) und lagen somit erheblich unter dem auf dem Fernmeldeturm gemessenen Höchstwert von 0,6 mg/m^3 SO_2. An diesem Tag beeinflußte ebenfalls ein stabiles Hochdruckgebiet das Wetter; es traten Nebel und Dunst auf.

Nur am 25.11.1979 blieben in Bodennähe die Schadstoffkonzentrationen sehr niedrig, obwohl in der vorangegangenen Nacht in der Höhe Immissionen bis zu 1,64 mg/m^3 SO_2 registriert worden waren. An diesem Tag bestand Hochnebel und zumeist Windstille; nur zwischen 8 und 16 Uhr herrschten schwache Luftbewegungen $<$ 2 m/sec. Es ist daher anzunehmen, daß wegen der außerordentlich stabilen Austauschverhältnisse die Schadstoffe, die in den oberen Luftschichten angereichert waren, nicht in Bodennähe gelangen konnten.

An einigen Tagen traten im Regensburger Stadtzentrum aber auch leicht erhöhte Immissionen auf, ohne daß das Meßgerät auf dem Fernmeldeturm angestiegene Konzentrationen verzeichnete (z.B. am 22.9.; 24.9.; 17.11.1979). An diesen Tagen herrschten überwiegend gute Austauschbedingungen mit Windstärken bis zu 7 m/sec. (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ - Registrierbögen 1979; WETTERSTATION REGENSBURG - Synoptische Klimatagebücher 1979). Die höchsten Immissionen lagen daher in Bodennähe in geringer Entfernung zur Quelle (vgl. 5.4.2.1; Abb. 41, 42).

Die Tagesmittelwerte überschritten den IW_1-Wert (0,14 mg/m^3) bzw. den MIK_D-Wert (0,3 mg SO_2/m^3) auf der Plattform des Fernmeldeturms am:

11.09.1979	0,22 mg/m^3
12.10.1979	0,41 mg/m^3
16.10.1979	0,24 mg/m^3
24.11.1979	0,32 mg/m^3

An der Bodenstation wurde dagegen in diesem Zeitraum die Toleranzschwelle nicht erreicht.

An allen Tagen, an denen die Mittelwerte mehr als 0,14 mg/m^3 SO_2 betrugen, herrschte antizyklonaler Wettereinfluß mit schwachen Winden. In den Nacht- und Morgenstunden hatte sich Dunst oder Nebel gebildet; tagsüber war der Himmel wolkenlos.

5.4.2.5 Die Verteilung der Schwefelkonzentration im Regensburger Stadtgebiet

Um die Verteilung der Immissionskonzentration aus Feuerungsanlagen im Regensburger Stadtgebiet abzuschätzen, wurde von der Verfasserin der Schwefelgehalt der Böden untersucht. Die Schwefelkonzentration dient als Leitsubstanz, da andere Emissionskomponenten wie Kohlenstoff oder Stickstoff bereits in sehr großen Mengen in unbeeinflußten Böden vorkommen. Die Schwefelkonzentration wurde ebenso wie die Schwermetallgehalte mit Hilfe der Röntgen-Fluoreszenz-Analyse bestimmt.

Schwefel kommt als essentielles Spurenelement in allen Böden vor und ist vor allem im Humus angereichert. Die natürliche Schwefelkonzentration beträgt etwa 700 ppm (BOWEN 1976, 200). In Regensburg wurden in den Proben aus den Äckern an der Stadtgrenze 550 - 1.500 ppm ermittelt.

Eine künstliche Erhöhung des Bodenschwefelgehalts wird besonders durch die Verfeuerung fossiler Brennstoffe verursacht. Die Schwefelanreicherungen durch dieselbetriebene Fahrzeuge sind so gering, daß sie in diesem Zusammenhang vernachlässigt werden können (vgl. Tab. 11, 12). Der Schwefel gelangt im Regenwasser gelöst oder an Feststoffe gebunden in den Boden.

Karte 19 / Tab. 21 zeigen die Verteilung der Schwefelkonzentration im Regensburger Stadtgebiet. Die höchsten Werte treten im Stadtzentrum und in den älteren Wohngebieten, in denen Mietshäuser mit Einzelofenbeheizung überwiegen, auf (z.B. Stadtamhof, Siedlung an der Hermann-Geib-Straße). Diese ungleiche Konzentrationsverteilung wird durch die niedrigen effektiven Quellhöhen des Hausbrands hervorgerufen; die maximale Immissionskonzentration liegt daher nur in geringer Entfernung vom Immissionsort (vgl. POPA 1976; BOTHE in VOGL u.a. 1977, T. 2.7.7). Abgase aus hohen Kaminen werden dagegen über größere Gebiete verteilt (vgl. Abb. 45).

Da der Schwefelgehalt ebenso wie die Schwermetallkonzentrationen von der Korngröße der Bodenprobe abhängt, ist eine Aussage über unterschiedliche Immissionsbelastungen nur beim Vergleich der Schwefelkonzentrationen im Feinanteil ($\varnothing < 180$ µm) möglich. Im Stadtzentrum beträgt der Bodenschwefelgehalt das 8 - 10-fache des natürlichen Wertes. Nur im Sanierungsgebiet am Alten Rathaus und am Neupfarrplatz, wo renovierte Gebäude mit (Gas-)Zentralheizung überwiegen, ist ein deutlicher Rückgang des Bodenschwefelgehalts feststellbar. Die Verteilung der Schwefelkonzentration im Stadtgebiet bestätigt den vorherrschenden Einfluß des Hausbrands auf die Luftverschmutzung in der Regensburger Bucht.

Tab. 21: Die Schwefelkonzentration in Böden im Regensburger Stadtgebiet in ppm (Stand: November 1978)

Innenstadt			
Karten-Nr.	Probe	Gesamt	Anteil <180µm
1	Arnulfsplatz	4 540	5 200
2	Bismarckplatz	4 270	7 200
3	Gesandtenstraße	4 040	5 300
4	Ernst-Reuter-Platz	3 950	7 100
5	Weißgerbergraben	3 900	4 100
6	Krauterer Markt	3 750	4 300
7	Herrenplatz	3 580	4 700
8	Thundorfer Straße	3 390	4 400
9	Wittelsbacher Straße	3 340	3 900
10	Neupfarrplatz	3 850	3 000
11	Dr.-Martin-Luther-Straße	2 820	2 900
12	Jakobstraße	2 550	3 000
13	Platz der Einheit	2 510	2 900
14	Ägidienplatz	2 500	4 700
15	Domgarten	2 490	3 700
16	Kassiansplatz	2 350	4 000
17	Alter Kornmarkt	2 230	3 600
18	Donaumarkt	2 220	3 600
19	Kohlenmarkt	2 170	3 500
20	Roter Herzfleck	2 040	2 600
21	Emmeramsplatz	1 500	1 600
22	Dachauplatz	1 400	1 600
23	Petersweg	1 100	2 200

Ausfallstraßen und Wohngebiete

Karten-Nr.	Probe	Gesamt	Anteil <180µm
101	Wiener Straße	27 550	40 900
102	Stadtamhof: Wassergasse	4 800	5 000
103	A.-Schmetzer-Str.: Schlachthof	4 640	6 700
104	Hermann-Geib-Straße	4 100	6 100
105	Ostentor	3 880	5 400
106	Donau-Einkaufs-Zentrum	3 750	4 900
107	Frankenstraße/BAB	2 990	4 350
108	Isarstraße	2 930	4 400
109	Friedenstraße/Galgenberger Brücke	2 510	3 250
110	Friedenstraße/Kumpfmühler Brücke	2 140	3 000
111	Dr.-J.-Maier-Straße	2 110	2 600
112	Straubinger Straße/Osthafenstraße	2 030	3 000
113	Weichs: Bedelgasse	1 900	2 600
114	Universität	1 880	2 100
115	Weichs: Garten	1 750	2 800
116	Schwabelweis: Donaustaufer Straße	1 740	2 750
117	Killermannstraße	1 680	1 800
118	Stadtpark: Mitte	1 550	1 700
119	Westbad: Liegewiese	1 550	1 650
120	Lappersdorf:BAB	1 480	2 100
121	Landshuter Str./Krankenhaus St. Josef	1 360	1 600
122	Unterislinger Weg	1 340	1 450
123	Sandgasse/Aussiger Straße	1 340	1 450
124	Landshuter Str.: Burgweinting	1 200	1 500
125	Prüfeninger Str./Krankenhaus Barmherzige Brüder	1 160	1 200
126	Niederwinzer: Feld	980	1 100
127	Am Zieget	660	675

Quelle: Eigene Untersuchungen.

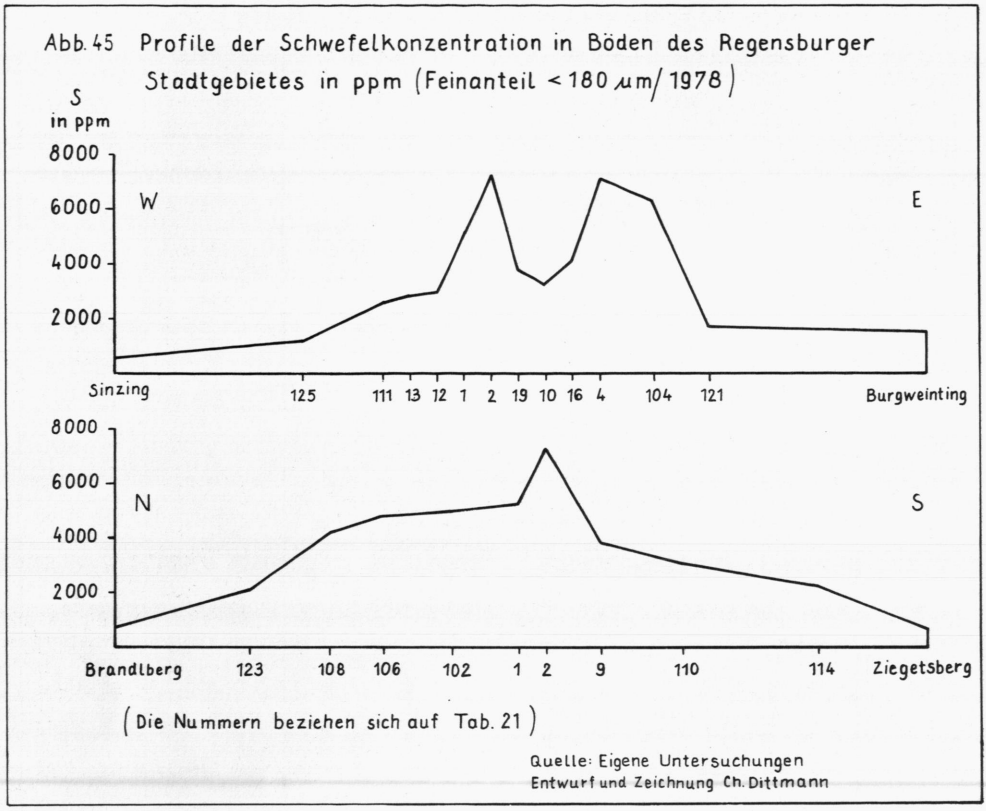


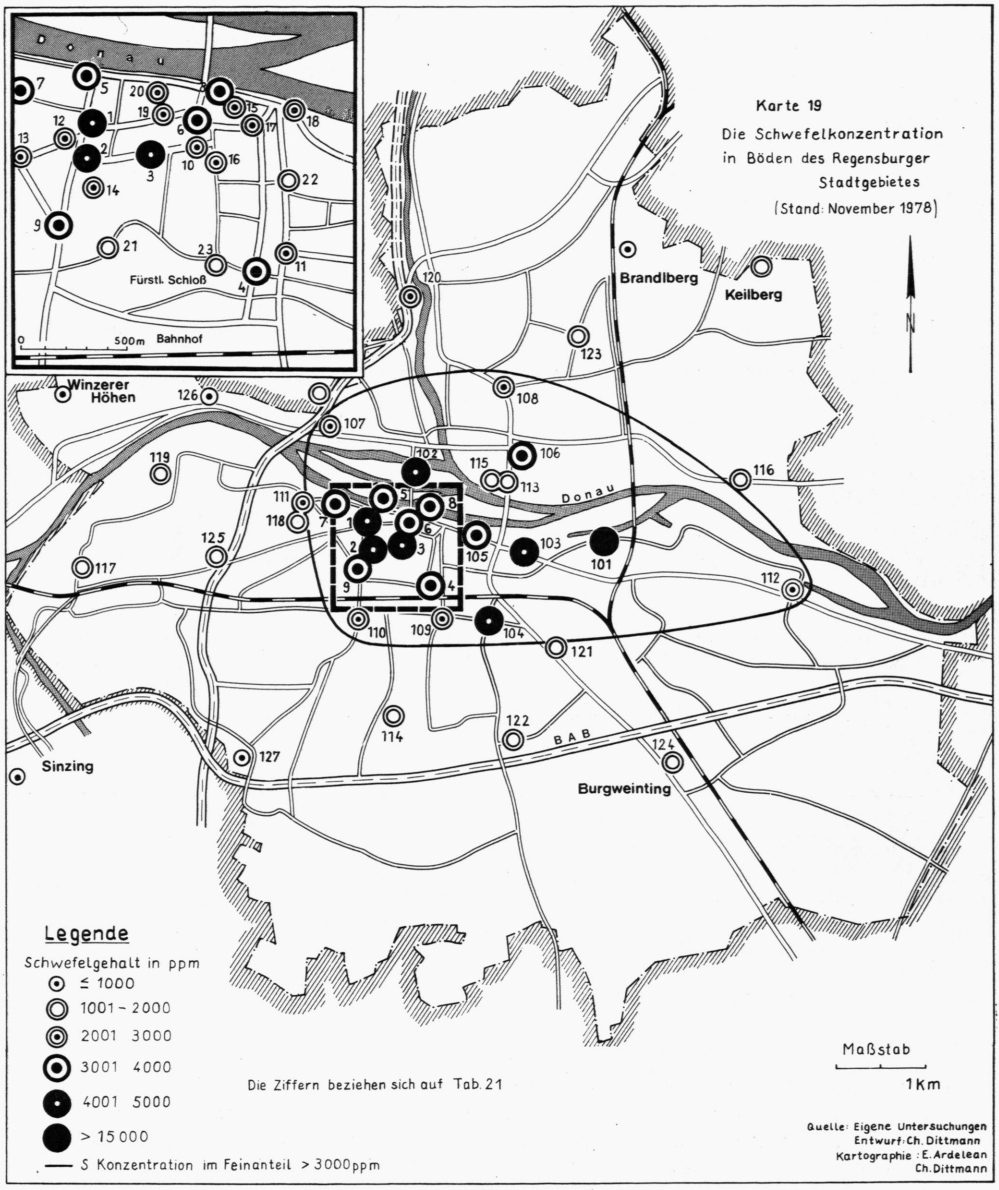
Abb. 45 Profile der Schwefelkonzentration in Böden des Regensburger Stadtgebietes in ppm (Feinanteil < 180 µm/ 1978)

(Die Nummern beziehen sich auf Tab. 21)

Quelle: Eigene Untersuchungen
Entwurf und Zeichnung Ch. Dittmann

Die weitaus höchste Schwefelkonzentration von 27.550 ppm wurde aber im Hafengelände vor dem Stadtlagerhaus verzeichnet. Schwefelrückstände von Dieselkraftstoff und schwefelige Stäube, die beim Verladen auftreten, sind hierfür die Ursache. Die Verteilung der Schwefelgehalte von mehr als 3.000 ppm im Feinanteil der Bodenproben (< 180 µm) zeigt eine deutliche Korrelation mit den Emissions- und Windverhältnissen in der Regensburger Bucht (Karte 29). West- und Südwestwinde, die während der Heizperiode (vor allem im November und Februar) (1)

(1) Anm.: Die Bodenproben wurden im November, kurz vor Beginn des Schneefalls, entnommen.
(Vgl. Abb. 5, Anhang Tab. 31)


Karte 19
Die Schwefelkonzentration in Böden des Regensburger Stadtgebietes
(Stand: November 1978)
Donau
Fürstl. Schloß
Bahnhof
500m
0
Brandlberg
Keilberg
Winzerer Höhen
Sinzing
Burgweinting
BAB
N
Legende
Schwefelgehalt in ppm
≤ 1000
1001 – 2000
2001 3000
3001 4000
4001 5000
> 15000
S Konzentration im Feinanteil > 3000ppm
Die Ziffern beziehen sich auf Tab. 21
Maßstab
1Km
Quelle: Eigene Untersuchungen
Entwurf: Ch. Dittmann
Kartographie: E. Ardelean
Ch. Dittmann

sehr häufig vorkommen, verfrachten die Hausbrandemissionen der Innenstadt in östliche und nordöstliche Stadtteile. Durch den Einfluß der Zuckerfabrik sind noch weit im Stadtosten aber auch Stadtnorden (Südwestwinde) die Schwefelkonzentrationen in den Böden stark überhöht. Es ist oft zu erkennen, daß bei Westwind die Schadstoffe der Zuckerfabrik etwa zwei Kilometer östlich von der Quelle niedergehen. Die Bewohner der umliegenden Siedlungen beobachten bei labiler Schichtung auf dunklen Unterlagen häufig gelben Schwefelniederschlag, der wie Blütenstaub aussieht (vgl. Abb. 41).

5.4.2.6 Die Wahrscheinlichkeit von Smogsituationen in Regensburg

Das Stadtgebiet von Regensburg ist in der "Verordnung zur Festsetzung von Belastungsgebieten" (29.4.1976, 176) als Belastungsgebiet ausgewiesen. Es soll nun untersucht werden, wie hoch die Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen einer Smogsituation in Regensburg ist.

Von Smog spricht man, wenn die Atmosphäre über städtischen oder industriellen Ballungsgebieten so stark mit Schadstoffen und sichtbaren Verunreinigungen durchsetzt ist, daß die Sichtweite wesentlich eingeschränkt und die Gesundheit der Bewohner gefährdet ist. Dabei sind zwei völlig verschiedene Smogarten zu unterscheiden: Der Photochemische Smog entsteht bei starker Einstrahlung vor allem durch Photodissoziation von Kraftfahrzeugabgasen. Der "London Smog" bildet sich im Winter bei stabiler Schichtung und Nebel (smoke + fog) durch die Anreicherung von Schadstoffen aus Feuerungsanlagen. In den Smogalarmplänen, die in der Bundesrepublik erlassen sind (BImSchG 1974 §§ 40, 49 Abs. 2), ist jedoch nur der winterliche Smogfall geregelt, obwohl auch in den mittleren Breiten an heißen Sommertagen alarmierende Konzentrationen von Photooxidantien festgestellt wurden (DEIMEL 1978; FAZ 9.6.1979, 31).

In Regensburg erfolgen bislang keine Messungen zur Erfassung der Konzentration von Photooxidantien (z.B. Ozon, PAN, Aldehyde). Daher sind Aussagen nur über die Wahrscheinlichkeit von winterlichen Smogsituationen möglich.

Für die Smogalarmstufen gelten nach dem Entwurf der "Verordnung zur Verhinderung schädlicher Umwelteinwirkungen während austauscharmer Wetterlagen" (20.10.1975), die in den ausgewiesenen Belastungsgebieten Gültigkeit bekommen soll, folgende Basiswerte (§ 3 Abs. 3) (1):

---

(1) Anm.: Der Entwurf des bayerischen Smogalarmplans stimmt weitgehend mit bereits erlassenen Smogverordnungen z.B. in Nordrhein-Westfalen oder Baden-Württemberg überein (G.V.Bl. NRW. 1974, 1431 ff; G.Bl. B-W 1977, 158 ff.).

SO_2	0,4 mg/m^3	(= IW_2-Wert)
CO	15 mg/m^3	(= die Hälfte des IW_2-Wertes)
NO_2	0,3 mg/m^3	(= IW_2-Wert)
C_nH_m (ohne CH_4)	2,5 mg/m^3	

Die Smogalarmstufe 1 (Vorwarnstufe) tritt ein, wenn mehr als die Hälfte der Meßstellen eines Gebietes während eines Zeitraums von drei Stunden eine Überschreitung der Basiswerte um das 1,5-fache verzeichnen und nach Ermittlung des Deutschen Wetterdienstes nicht ausgeschlossen ist, daß die austauscharmen Verhältnisse länger als 24 Stunden anhalten (§ 3 Abs. 1,2). Die Bekanntmachung der Vorwarnstufe in allen Medien soll zu freiwilligen Emissionsverminderungsmaßnahmen anregen.

Alarmstufe 2 wird bei der dreifachen Überschreitung der Basiswerte ausgelöst. Während der Alarmstufe 2 ist die Benutzung von Kraftfahrzeugen in den Sperrbezirken von 6 - 10 Uhr und 15 - 20 Uhr untersagt (§ 5). Es gelten Ausnahmeregelungen (§§ 7, 8). Die Ausweisung der Sperrgebiete ist derzeit noch umstritten. Vorgesehen sind die Innenstädte von München, Nürnberg-Fürth und Augsburg (§ 1 Abs. 2). Für Feuerungsanlagen von mehr als 1.100.000 kJ (240.000 kcal) gilt bei Alarmstufe 2, daß nur Brennstoffe mit geringem Schwefelgehalt benützt werden dürfen (§ 10 Abs. 1).

Alarmstufe 3 wird dann bei der 4,5-fachen Überschreitung der Basiswerte ausgelöst. Kraftfahrzeuge dürfen dann in den Sperrgebieten nicht mehr fahren (§ 6). Für Großemittenten (z.B. SO_2-Auswurf $>$ 40 kg/h) gelten Betriebsbeschränkungen (Anlage 2). Sie müssen ihre Emissionen um 20 % bzw. 30 % verringern.

Nach diesen Richtlinien ist ein Smogfall in Regensburg bisher nicht eingetreten. In den frühen Morgenstunden des 6.2.1979 wurde aber von der Station auf dem Dachauplatz für zwei Stunden, von 0.30 - 2.30 Uhr, ein Überschreiten der Basiswerte um das 1,5-fache registriert. Ebenso stiegen an der Station: Isarstraße die SO_2-Konzentrationen zwischen 1.00 und 2.30 Uhr auf über 0,6 mg/m^3 an. In dieser Nacht traten also für zwei Stunden SO_2-Immissionen auf, die bei längerer Andauer das Eintreten eines Smogfalls verursacht hätten.

Bei den Messungen, die 100 m oberhalb der Regensburger Bucht von der Plattform des Fernmeldeturms durchgeführt wurden, ergaben sich mehrfach Schadstoffkonzentrationen oberhalb der Schwellenwerte für die Smogalarmstufen. Im Herbst 1979 traten 1,5-fache Überschreitungen des Basiswertes von 0,4 mg SO_2/m^3 (Alarmstufe 1) zu folgenden Zeiten auf:

11.09.	9 - 12 Uhr	(3 Std)
11. - 12.10.	22 - 9 Uhr	(11 Std)
16.10	18 - 21 Uhr	(3 Std)
24. - 25.11.	17 - 9 Uhr	(16 Std)

Konzentrationen, die über dem Grenzwert von 1,2 mg SO_2/m^3 lagen (Alarmstufe 2), kamen am 24.11. von 18 - 21 Uhr (3 Stunden) vor, und am 12.10. wurden sogar 1,8 mg SO_2/m^3 (Alarmstufe 3) für etwa 3 Stunden überschritten.

An diesen Tagen hatten sich im Einflußbereich stabiler Hochdruckgebiete tiefliegende Absinkinversionen gebildet (vgl. 5.4.2.4). Vom Eintreten eines Smogfalls in Regensburg kann jedoch nicht gesprochen werden, da die Stationen im Donautal keine kritisch überhöhten Werte registrierten.

In den vorhergehenden Kapiteln wurde nachgewiesen (5.4.2.2/ 5.4.2.3), daß sich in der Regensburger Bucht eine Verschlechterung der lufthygienischen Verhältnisse vollzieht. Anzeichen dafür sind die zunehmende Überschreitung der gesetzlichen Immissionswerte (IW-Werte) im Donautal und die erhöhten Konzentrationen in 100 m Höhe, die mehrfach die Schwellenwerte für die Smogalarmstufen übersteigen. Sie weisen darauf hin, daß die Belastbarkeitsgrenzen für die Luftverunreinigung in der Regensburger Bucht bereits erreicht sind. Bei einer anhaltenden Zunahme der Schadstoffanreicherung kann mit dem Eintreten eines Smogfalls gerechnet werden.

In welchem Umfang können nun Smogalarmvorschriften die gesundheitsschädlichen Giftgaskonzentrationen reduzieren (vgl. HAGEL 1976, 35 ff.)? Die Schadstoffanreicherungen, bei denen die Smogalarmstufen 2 und 3 ausgelöst werden, übersteigen die IW_1-Werte, die nach dem heutigen Forschungsstand die Schädlichkeitsschwelle bei Dauereinwirkung angeben, um ein Vielfaches. Maßnahmen zur Verminderung der Schadstoffkonzentrationen werden also erst dann ausgelöst, wenn die Immission bereits erheblich gesundheitsgefährdend ist. Die Effektivität der im Gesetz vorgesehenen Maßnahmen ist zumindest für Städte, die wie Regensburg wenig Industrie aufweisen, skeptisch zu beurteilen. Die Brennstoffe, die bei Alarmstufe 2 und 3 uneingeschränkt weiter verwendet werden dürfen, entsprechen weitgehend den ohnehin gültigen Brennstoffbestimmungen (3. BImSchV - 1975 §§ 3, 4). In Regensburg unterliegt als einziger Betrieb die Zuckerfabrik einer Emissionsbeschränkung bei Alarmstufe 3. Private Haushalte sind von den Einschränkungen nicht betroffen. Ein Smogfall wird jedoch durch die Gesamtheit der Emittenten verursacht und nicht nur durch einige Industriebetriebe. So bleibt die Reduzierung der Schadstoffkonzentrationen einem Wetterwechsel überlassen.

5.4.2.7 Ursachen für die hohe Schadstoffbelastung der Regensburger Bucht

Obwohl in Regensburg, mit Ausnahme der Zuckerfabrik, keine Industriebetriebe angesiedelt sind, die große Mengen von Schadstoffen emittieren, ist im Herbst und Winter die Immissionsbelastung häufig sehr groß. Die Untersuchungen der Verfasserin ergaben aber auch, daß gesundheitsgefährdende SO_2-Konzentrationen im Januar (1979) und Februar (1978) auftraten; einer Zeit also, in der die Zuckerfabrik nicht arbeitet. Es ist nun zu überprüfen, wodurch überhöhte Schadstoffanreicherungen verursacht werden.

Die Abb. 46 zeigt den Verlauf der SO_2-Konzentration im Januar 1979 im Zusammenhang mit den meteorologischen Parametern: Lufttemperatur, Windstärke, Nebel und Niederschläge. Es wird deutlich, daß in Regensburg hohe Immissionen mit tiefen Temperaturen und geringen Windstärken korrelieren (5. - 6.1./ 17. - 23.1.). Bei stärkeren Luftbewegungen geht die Schadstoffkonzentration bei großer Kälte nur leicht zurück (z.B. am 19.1.). Die Abhängigkeit der hohen Immissionen von tiefen Temperaturen verdeutlicht, daß die Luftverunreinigung in Regensburg zum überwiegenden Teil durch den Brennstoffverbrauch zum Zwecke der Gebäudeheizung (Hausbrand, Büro- und Werkshallenbeheizung) verursacht wird. Hinzu kommt, daß im Winter sehr tiefe Temperaturen bei antizyklonalen Wetterlagen auftreten, die stabile Austauschverhältnisse bewirken (vgl. Abb. 7 c - Thermoisoplethen).

Die höchsten SO_2-Immissionen werden bei Nord- und Nordostwind verzeichnet. Vergleicht man nun Abb. 48 mit den Temperaturwindrosen (Abb. 8), so erkennt man deutliche Zusammenhänge zwischen Schadstoffkonzentration und Lufttemperatur in Abhängigkeit von der Windrichtung. Die tiefsten Temperaturen treten im Winter ebenso wie die höchsten Immissionswerte bei Nord- und Nordostwinden auf. Ein Vergleich der SO_2-Windrose von Regensburg mit anderen Städten zeigt, daß die Regensburger Bucht zu den am stärksten durch Luftverunreinigungen belasteten Gebieten Bayerns zählt (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ - Lufthygienische Jahresberichte 1977, 1978).

Aber nicht nur bei sehr tiefen Temperaturen (Tagesmittel $>$ - 5° C) werden in Regensburg überhöhte Schadstoffkonzentrationen verzeichnet. Am 6.2.1979 (Tagesmittelwert: 0,32 mg SO_2/m^3) betrug die mittlere Tagestemperatur - 2,2° C; in den Nachtstunden, in denen die höchsten Immissionen (Max. 0,81 mg SO_2/m^3 um 1.30 Uhr) verzeichnet wurden, lagen die Temperaturen nur um - 1° C. Der Hochnebel, der sich zwischen 1 - 6 Uhr in dieser Nacht gebildet hatte, ist ein Anzeichen für das Bestehen einer tiefliegenden Inversion, die die Schadstoffausbreitung stark einschränkte. Die Windstärken betrugen im Stadtzentrum (Station: Dachauplatz) weniger als 1 m/sec (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ - Registrierbögen 1979).

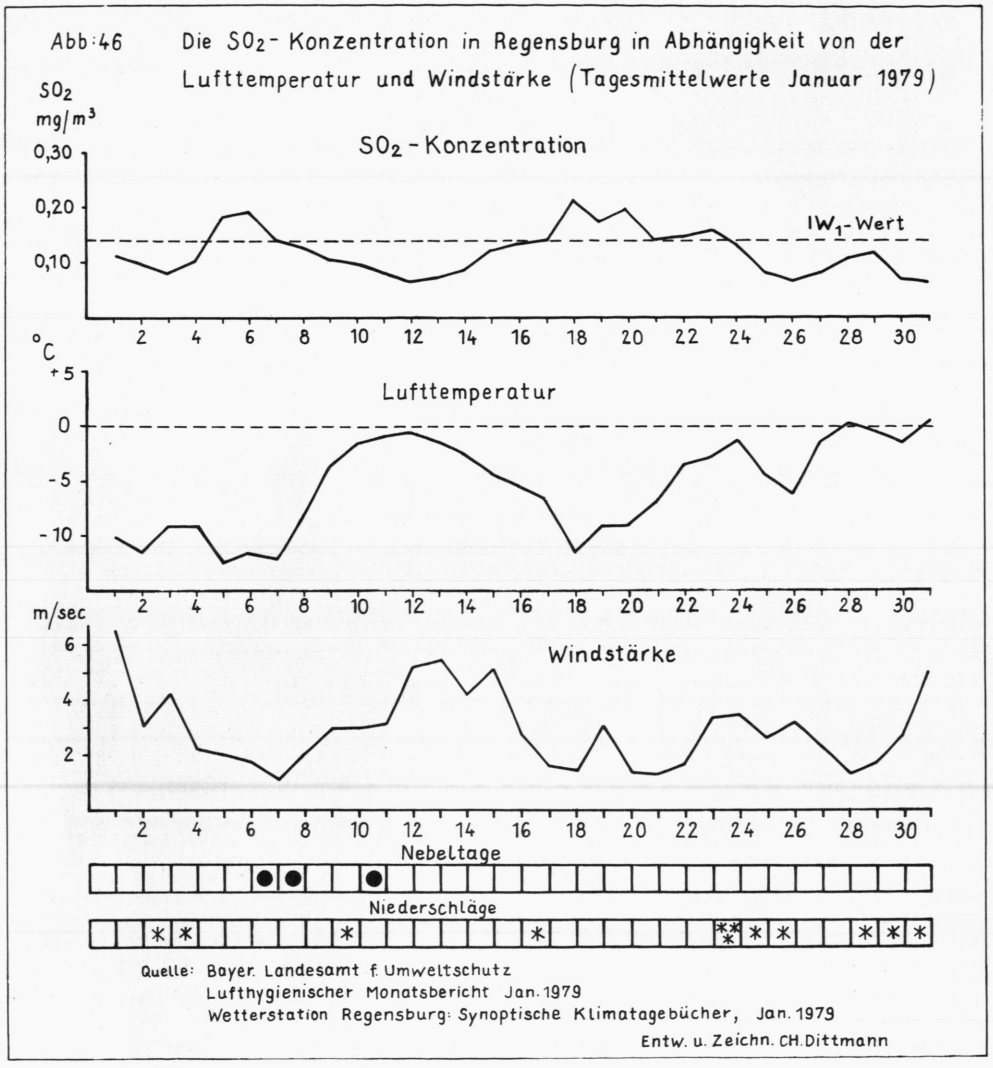


Abb. 46 Die SO_2-Konzentration in Regensburg in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und Windstärke (Tagesmittelwerte Januar 1979)
SO_2 mg/m³
SO_2-Konzentration
0,30
0,20
0,10
IW_1-Wert
2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30
°C
+5
0
-5
-10
Lufttemperatur
m/sec
6
4
2
Windstärke
Nebeltage
Niederschläge
Quelle: Bayer. Landesamt f. Umweltschutz
Lufthygienischer Monatsbericht Jan. 1979
Wetterstation Regensburg: Synoptische Klimatagebücher, Jan. 1979
Entw. u. Zeichn. CH. Dittmann

Auch an den anderen Tagen im Herbst 1979 (vgl. 5.4.2.4) traten starke Schadstoffanreicherungen trotz wärmerer Lufttemperatur bei antizyklonalem Wetter mit tiefliegenden Inversionen und schwachen Luftbewegungen auf, unabhängig davon, ob Dunst, Nebel oder Hochnebel ausgebildet waren. Die Immissionskonzentration stieg dabei in der Höhe stark an (z.B. am 11.9.1979: Temperaturmittel: 15° C; Nebel 4 - 11 Uhr, Bodenmaximum: 0,64 mg SO_2/m^3; Maximum 100 m ü. Gr.: 1,14 mg SO_2/m^3).

Geringe Schadstoffkonzentrationen werden in Regensburg bei Winden aus westlichen Richtungen gemessen, die häufig größere Geschwindigkeiten aufweisen und gute Austauschverhältnisse bewirken. Auch bei Südostwinden, bei denen zwar nachts wegen der geringen Bewölkung Bodeninversionen auftreten, ist tagsüber die Durchmischungssituation zumeist gut (z.B. 2.12.1979, - vgl. Photo 5/6: Windgeschwindigkeit: bis 5 m/sec; SO_2-Konzentration: 0,03 mg/m^3).

Durch Niederschläge wird die Schadstoffkonzentration ebenfalls vermindert: Die Selbstreinigungseffekte der Atmosphäre sind jedoch unterschiedlich (GEORGII 1965, 3; MAHONEY 1971, 43; MC CORMIC 1969, 5):als "Ausregnen" bezeichnet man die Anlagerung oder Umwandlung der Schadstoffe ($\leq$ 1 µm) innerhalb einer Wolke. "Auswaschen" wird das Anlagern von Gasen oder Aerosolen ($>$ 1 µm) während des Tropfenfalls genannt,und unter "Ausfällen"versteht man die Trockenausfällung von Teilchen $>$ 10 µm infolge der Schwerkraft. Der Auswaschprozeß ist in unserem Klimabereich für die Reinigung der Luft am bedeutsamsten. In Landregen ist er wegen der kleineren Tropfen wirksamer als bei Regenschauern. Bei Schnee sind die Spurenkonzentrationen etwa dreimal höher als bei Regen, da die Schneeflocken durch ihre Struktur und ihren langsamen Fall die verschmutzte Luftschicht besser auskämmen (GEORGII 1975; Ders. 1970; UMWELT-BUNDESAMT 1976 b, 36). Die Anreicherung der Schadstoffe in Niederschlägen läßt sich am pH-Wert des Regenwassers ablesen. Besonders Emissionskomponenten aus Feuerungsanlagen, die wie SO_2 mit der Luftfeuchte reagieren, tragen zur Versauerung der Niederschläge bei. Niedrige pH-Werte kommen daher im Winter über Städten häufig vor, da sich die Wirkungen der Hausbrandemissionen und des verstärkten Auswascheffektes der Schneeflocken addieren (vgl. RONICKE in OLSCHOWY 1978, 681 ff.).

Der Jahresgang des pH-Wertes in Regensburg verläuft einphasig mit dem Minimum im Januar (pH-Wert 4) und Maximum im Mai (pH-Wert 6). Das absolute Minimum zwischen 1975 - 79 trat im Februar 1977 auf (pH-Wert 3,3). Der Höchstwert wurde im September 1975 verzeichnet und betrug 9,7 (BAYER. LANDESAMT F. UMweltschutz - Lufthygienische Monatsberichte 1975 - 79). Die Städte Maxhütte-Haidhof, Nürnberg, Fürth und Kelheim weisen noch niedrigere pH-Werte als Regensburg auf. Extrem saure Niederschläge mit einem pH-Wert von 2,5 sind dort nicht ungewöhnlich (z.B. Februar 1977 in Nürnberg und Fürth).

Abb. 47 Die Auswirkungen winterlicher, antizyklonaler Wetterlagen auf die Schadstoffkonzentration in der Regensburger Bucht

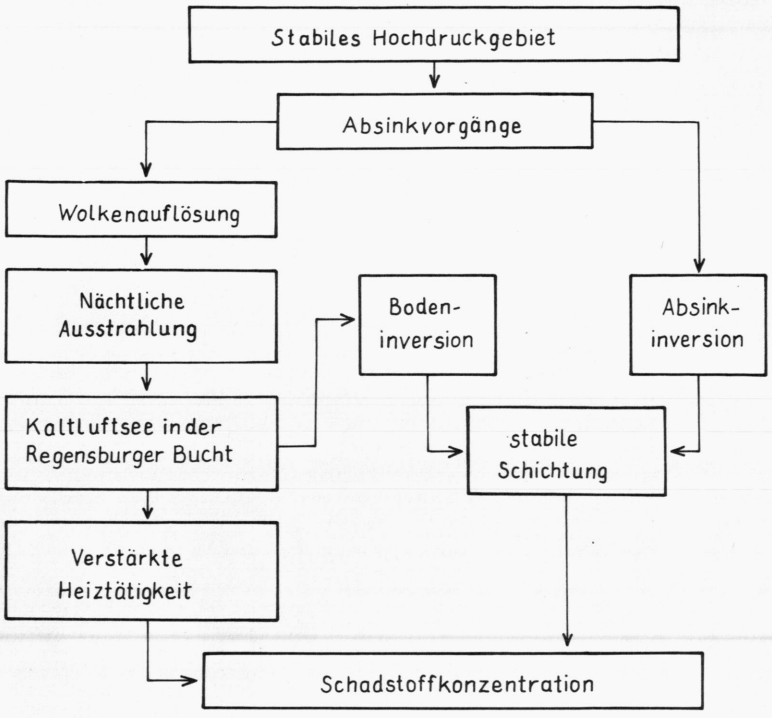
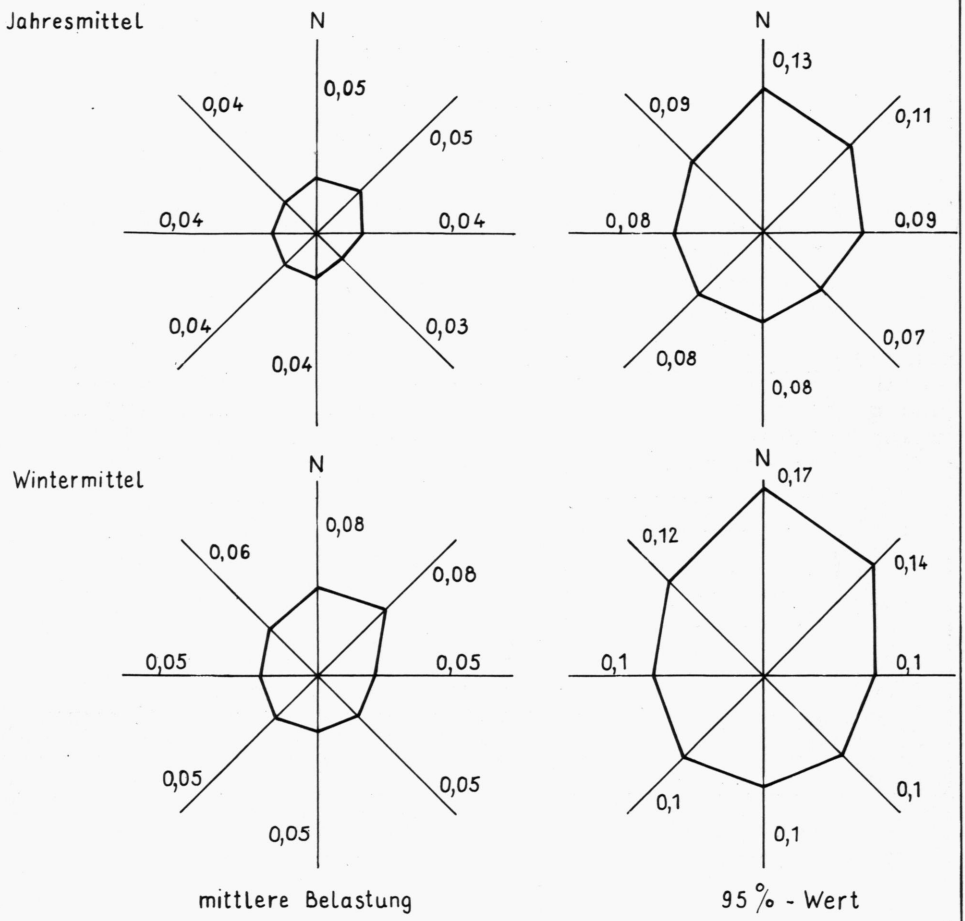


Abb.48 Die SO_2- Immissionskonzentration in Abhängigkeit von der Windrichtung in mg/m^3 (SO_2- Windrose, Station Regensburg 1977/78)



Quelle: Bayer. Landesamt f. Umweltschutz 1978/1979
Lufthygienische Jahresberichte
Entwurf u. Zeichnung Ch. Dittmann

Bei längeren Niederschlagsperioden kann in Regensburg mehrfach ein Rückgang der Schadstoffkonzentration beobachtet werden. Eine Korrelation von niedrigen Immissionswerten und Regentagen ist jedoch nicht möglich.

Im Herbst und Winter, der Zeit mit den höchsten Emissionsraten und schlechtesten Austauschbedingungen (vgl. Abb. 40) fallen Niederschläge aber recht selten (vgl. Tab. 43). Vor allem in den Wintermonaten bei Nord- und Nordostwinden, die im Mittel die tiefsten Temperaturen und höchsten Schadstoffanreicherungen bewirken, sind die Niederschläge besonders gering (vgl. Abb. 10). Auch bei antizyklonalen Wetterlagen, die hohe Immissionen durch stabile Durchmischungsverhältnisse begünstigen, kommen Regen oder Schneefall kaum vor. Hohe Schadstoffkonzentrationen werden daher in Regensburg nur selten durch "Ausregnen" oder "Auswaschen" reduziert. Am häufigsten tragen somit kräftige Winde zur Verdünnung der Rauchgase bei.

Gesondert zu betrachten sind die Immissionen durch die Zuckerfabrik, da sie nur punktuell wirksam sind. Bei stabiler Schichtung gehen die Schadstoffe häufig im Stadtwesten zwischen Prüfening und Pfaffenstein, aber auch in der Altstadt nieder, (vgl. Photo 14). Dies ist durch die Gerüche, die bei der Schnitzeltrocknung entstehen, deutlich nachweisbar. Bei Winden aus westlichen Richtungen und guten Austauschbedingungen senken sich die Emissionen in nur etwa 1 - 2 km Entfernung im Lee der Quelle ab. Bei stark labiler Schichtung, bei der durch den Gebäudeeinfluß des Turmkamins ein "aerodynamisches Niederwaschen" stattfindet, werden die Abgase in unmittelbarer Nähe zu Boden gedrückt (vgl. Photo 13). Bewohner von Barbing, Irl, Schwabelweis oder des Ostenviertels sind davon besonders betroffen. Die Rauchgasfahne der Zuckerfabrik enthält aber neben den produktionsbedingten, belästigenden Gerüchen etwa 1 t Schadstoffe/h ($>$ 600 kg SO_2; Stickoxide, Kohlenwasserstoffe), die bei der Verbrennung von ca. 20 t Heizöl S/h entstehen. Personen, die sich in dem Bereich befinden, in dem die Abgasfahne gerade niedergeht, sind daher starken Geruchsbelästigungen und gesundheitsgefährdenden Immissionskonzentrationen ausgesetzt.

Für die Schadstoffbelastung in der Regensburger Bucht sind also in erster Linie die ungünstigen klimatischen Verhältnisse im Herbst und Winter verantwortlich. Das Auftreten von stabilen Austauschverhältnissen wird durch die orohydrographische Lage der Stadt begünstigt, da sich in klaren Nächten im Donautal ein Kaltluftkissen bildet. Dadurch sind die Wintertemperaturen in Regensburg (Januarmittel: - 2,5° C) auch äußerst niedrig (vgl. ROCZNIK 1971, 200 f; vgl. 4.1.3). Durch den Frost und die naßkalte Witterung bei Nebel oder Dunst wird die Bevölkerung im Winter zu verstärkter Heiztätigkeit veranlaßt. Die Emissionen der Brennstoffe reichern sich dann innerhalb des Kaltluftsees an. Durch die niedergehenden Schadstoffe der Zuckerfabrik wird die lufthygienische Situation örtlich noch weiter verschlechtert. Eine Immissionsbelastung durch die Kelheimer Industrie konnte nicht nachgewiesen werden.

Auch in anderen Städten Bayerns wird ein Großteil der Gebäude ebenso wie in Regensburg durch Einzelöfen beheizt (EWAG 1975), die im Vergleich zu ihrer Heizleistung die höchsten Emissionsraten hervorrufen. Bei einer günstigeren orographischen Lage (weites, ebenes Gelände) herrschen jedoch bessere Austauschbedingungen; die Hausbrandemissionen werden daher dort stärker verdünnt. Da die Inversionshäufigkeit und Kaltluftbildung in der Regensburger Bucht nicht zu ändern sind, kann die lufthygienische Situation nur durch eine umfassende Umstellung auf emissionsarme Brennstoffe verbessert werden.

5.4.3 Die Immissionsbelastung durch Stäube in Regensburg

Produktionsbedingte Stäube setzen in Regensburg vor allem die Zuckerfabrik sowie die Kalkwerke und das Zementwerk frei. Aber auch die Emissionen des Hausbrands (Ruß) und des Verkehrs (Schwermetallstäube) tragen zu einer anthropogen verursachten Erhöhung der Staubanreicherung in der Luft bei. Darüber hinaus steigt bei trockener Witterung der Staubgehalt an, da Winde Feldstäube in die Stadt wehen und in den Straßen Stäube durch Fahrzeuge verwirbelt werden.

In Regensburg wird die Schwebestaubkonzentration von den Meßstationen auf dem Dachauplatz (seit 1976) und an der Isarstraße (seit November 1978) registriert. Die Auswertungen ergaben, daß die Staubbelastung in Regensburg ebenso wie die SO_2-Immission ansteigt. So betrug die mittlere Staubanreicherung im Jahr 1976 0,01 mg/m^3; 1978 bereits 0,06 mg/m^3.

Besonders in den Wintermonaten treten häufig Staubkonzentrationen auf, die über den Grenzwerten (IW-Werte) von 0,10 mg/m^3 bei Dauereinwirkung und 0,20 mg/m^3 bei Kurzzeitbelastung liegen. Der MIK_D-Wert von 0,3 mg Staub/m^3 wurde im Beobachtungszeitraum dagegen nicht erreicht. Die Meßstation auf dem Dachauplatz registrierte 1978 31 Tage und 1979 24 Tage, an denen der Mittelwert mehr als 0,10 mg Staub/m^3 betrug. Der höchste Tagesmittelwert wurde am 6.1.1979 mit 0,19 mg Staub/m^3 verzeichnet.

Von der Meßstation an der Isarstraße, die im Einflußbereich der Stäube, die durch die kalkverarbeitenden Betriebe im Nordosten der Stadt freigesetzt werden, liegt, werden in der Regel das ganze Jahr hindurch höhere Staubimmissionen registriert, als im Stadtzentrum. 1979 lagen an 37 Tagen die Mittelwerte oberhalb der Toleranzgrenze (IW_1-Wert). Das höchste Tagesmittel betrug am 20.1.1979 0,24 mg Staub/m^3. Bei der Auswertung dieser Daten ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Meßgeräte in den Stationen sehr häufig ausfielen und oft mehrere Monate nicht arbeiteten. So betrug im Jahr 1979 der Meßwertausfall der Stationen Dachauplatz und Isarstraße etwa 35 % und 20 %. Die Schwebestaubkonzentrationen werden daher nur unvollständig erfaßt. Die Anzahl der Tage mit erhöhten Staubkonzentrationen liegt deshalb noch höher.

5.5 Die Wirkungen der Luftverunreinigungen in Regensburg

5.5.1 Schäden an Bauwerken

In Regensburg unterliegen die wertvollen mittelalterlichen Gebäude, besonders Kirchenfassaden und Glasfenster einer starken Zerstörung durch Verwitterung. Am Beispiel des Regensburger Domes soll aufgezeigt werden, seit welcher Zeit und aus welchen Gründen der Verfall der historischen Bausubstanz stattfindet und welche Möglichkeiten zur Erhaltung bestehen.

Der Bau des Regensburger Domes wurde um 1275 begonnen. Als Baumaterial diente grobkörniger, amorpher Massenkalk aus Kapflberg. 1450 war der Dom zur Hälfte vollendet, der Steinbruch bei Kapflberg aber erschöpft. Man verwendete nun Grünsandsteine aus der Abbacher Gegend. 1540 wurde der Bau eingestellt. Im 19. Jahrhundert setzten Ludwig I. von Bayern und später Maximilian II. den Bau fort. Zuvor wurde der Verwitterungszustand der Bausteine am Dom geprüft. Da Kalke und Sandsteine sich über 500 Jahre gleich gut erhalten hatten, entschied man sich für den leichter zu bearbeitenden Gründsandstein.

Flurl (1792, 337) lobt die Qualität des Regensburger Grünsandsteins, "aus welchem die kostbare Regensburger Brücke aufgeführt ist und welcher wegen seiner Haltbarkeit in der Luft Jahrhunderte der Verwitterung trotzt, und der drückenden Gewalt der darüber fahrenden auch noch so stark belasteten Wägen so sehr widerstehet, daß er auch nach einem Jahrhundert noch kaum einen Zoll Tiefe oder Abnutzung weiset". Pettendorfer Sandsteine wurden "wegen ihrer Dauer in Luft und Wasser, ihrer gleichförmigen Härte und leichter, sicheren Bearbeitung" geschätzt (v. VOITH 1839, 27).

Bereits 1886 mußten am Dom die ersten Reparaturen durchgeführt werden; ein Wasserspeier aus Grünsandstein war absturzgefährdet. Schon um 1920 waren Figuren am Dom und an anderen mittelalterlichen Kirchen Regensburgs bis zur Unkenntlichkeit zerstört. Ein Fratzenkopf zum Beispiel, der, wie aus den Bildern des Archivs der Dombauhütte hervorgeht, 1936 mäßige Verwitterungsschäden aufwies, war bereits 1958 so vollständig zerstört, daß er durch eine Neuarbeit ersetzt werden mußte (Photo 15/16). (Information: Dombaumeister). Der Gesteinsverfall begann in Regensburg also erst vor etwa 100 Jahren, kurz nachdem man angefangen hatte, Steinkohle und Heizöl als Brennstoffe zu benutzen. Im Mittelalter wurde zur Beheizung dagegen hauptsächlich Holz verwendet, das zwar eine große Rauchentwicklung verursacht, aber keinen Schwefel enthält. Auch in anderen

Industriestaaten Europas traten die Gesteinszerstörungen etwa zur gleichen Zeit auf (1).

Die Ursache dieser Schäden ist die Wirkung von Luftverunreinigungen, die bei Gebäuden grundsätzlich anders zu bewerten ist als bei Lebewesen. Organismen können Immissionen von Schadstoffen widerstehen, solange nicht ein bestimmter, je nach Lebewesen und Schadstoffkomponente unterschiedlicher Konzentrationswert überschritten wird. Materialien akkumulieren dagegen Schadstoffe auch bei sehr geringen Mengen; jede Immissionskonzentration ist wirksam, soweit sie chemische Reaktionen hervorrufen kann. Deshalb ist für die Zerstörung von Materialien nicht die Schadstoffkonzentration in der Luft entscheidend, sondern die Immissionsmenge, die in einer bestimmten Zeit pro Flächeneinheit aufgenommen wird (BAUM 1979, 43 ff.; LUCKAT 1973).

Folglich sind die herkömmlichen Geräte zur Messung der Luftverunreinigung zur Untersuchung der Schadstoffbelastung bei Materialien nicht geeignet. Ein Gerät speziell zur Erfassung von Immissionsraten an Gebäudefassaden (IRMA) wurde von Luckat (1972) entwickelt und war 1979 im Rahmen einer bundesweiten Untersuchung auch auf dem Regensburger Dom aufgestellt. Die Abgasstoffe lösen Prozesse der physikalischen und chemischen Verwitterung aus. Hauptsächlich werden die kalkigen Bestandteile der Gesteine durch Schwefelsäure zerstört: SO_2 bildet mit der Luftfeuchtigkeit schwefelige Säure (H_2SO_3), die durch den Luftsauerstoff und die katalytische Wirkung der Schwermetallstäube zu Schwefelsäure (H_2SO_4) aufoxidiert. Durch die Einwirkung von Schwefelsäure wird Kalk ($Ca\ CO_3$) in Gips ($Ca\ SO_4$) umgewandelt, der eine etwa tausendmal größere Volumenausdehnung hat. Die Folge sind rasche und starke physikalische Verwitterungserscheinungen des Sandsteins, die zum Abplatzen dicker Gesteinsschichten führen. Da die Löslichkeit von Calziumsulfat sehr groß ist, wird die Auswaschung verstärkt.

Je poröser ein Stein ist, um so stärker wird er von der Verwitterung durch Rauchgase betroffen. Sandstein ist weniger fest gebunden und heterogener zusammengesetzt als Kalkstein. Bei Sandstein erfolgt daher die Zerstörung rascher und bei geringeren Emissionsraten, da die Kalk-Bindemittel, die die Quarzkörner zusammenhalten, zu Gips umgewandelt werden (2).

---

(1) Anm.: Der Parthenonfries in Athen war 1802 nach 2.240 Jahren noch gut erhalten; 1938 bestanden starke Verwitterungsschäden (DREYHAUPT 1971, 60 ff.). Das Parlamentsgebäude in London, das 1840 - 47 aus dolomitischem Kalkstein erbaut wurde, zeigte bereits 1860 so bedrohliche Schäden, daß 1861 eine Gutachterkommission zur Untersuchung der Ursachen einberufen wurde. Diese stellte fest, daß die Gesteinszerstörungen durch die Einwirkung von Schwefel hervorgerufen worden waren (LUCKAT 1973).

(2) Anm.: Ein Sandsteinblock, der im Stadtzentrum von Duisburg aufgestellt war, zeigte bereits nach sechs Monaten Verwitterungsschäden (LUCKAT 1973).

Am Regensburger Dom sind die stärksten Schäden an Sandsteinen zu finden, die nicht von Niederschlägen getroffen werden. Die im Nebel und Dunst enthaltene Schwefelsäure kann an geschützten Stellen besonders einwirken, während die Steine auf der Wetterseite durch die Regenfälle von Zeit zu Zeit abgewaschen werden.

Noch vor wenigen Jahren glaubte man, daß Kalksteine gegen Rauchgasverwitterung resistent seien. Aus diesem Grund wählte man für die Restaurierungsarbeiten am Regensburger Dom zwei Methoden: Ornamente und Figuren werden aus Kalkstein, den man aus Istrien importiert, neu angefertigt. Das Mauerwerk wird mit einer Schicht aus Splittbeton (Dolomit und Beton) überzogen, nachdem die Verwitterungsschicht von 8 - 12 cm abgeschlagen wurde.

Seit einiger Zeit sind in Regensburg aber auch am Kalkstein starke Verwitterungsschäden festzustellen. Um die Ursache dieser Zerstörungen herauszufinden, wurden von der Verfasserin von Fassaden einiger Regensburger Gebäude Gesteinsproben entnommen. Diese wurden ebenso wie die Bodenproben aufbereitet und mit der Röntgen-Fluoreszenz-Analyse nach ihrem Schwermetall- und Schwefelgehalt untersucht. Als Vergleichsproben dienten Gesteine aus dem Mauerwerk des Klosters Prüfening (Tab. 22). Die Mauern des im Stadtwesten gelegenen Klosters Prüfening weisen wesentlich niedrigere Gipsgehalte als innerstädtische Fassaden auf. Abplatzende Grünsandsteinplättchen, von wenigen Millimetern Dicke, bestehen zu etwa 40 % aus Gips. Bei Kalksteinen lösen sich dagegen sehr dünne Plättchen von etwa 0,5 mm Dicke mit Gipsgehalten von weit mehr als 50 %. Darunter haben sich kleinste Tier- und Pflanzenorganismen angesiedelt, die die Gesteinszerstörung beschleunigen. Gesteinsflechten, von denen verschiedene Arten an den Mauern des Klosters Prüfening auftreten, kommen in der Innenstadt nicht vor.

Die Einwirkungen von Schwefelsäure sind also die Ursache der Zerstörung von Kalksteinen in Regensburg. Da Kalksteine wesentlich fester gebunden sind als Sandsteine, trat die Gesteinsschädigung erst später zutage. Ungeklärt ist bislang, warum der Kalk vor allem am Südportal des Domes und am Portal der Schottenkirche absplittert.

Für die Erhaltung des Regensburger Domes hat die Kalksteinzerstörung schwerwiegende Folgen. Die bislang durchgeführten Sanierungsarbeiten, bei denen geschädigte Sandsteine durch Kalksteine ersetzt werden, sind deshalb langfristig erfolglos (Information: Dombaumeister). Chemische Imprägnierversuche haben sich nicht bewährt und die Verwitterung sogar beschleunigt. Da die Imprägniertiefe zu gering ist, platzen dickere Schichten ab als zuvor.

Foto 15:
Dom Regensburg
Fratzenkopf (1936).

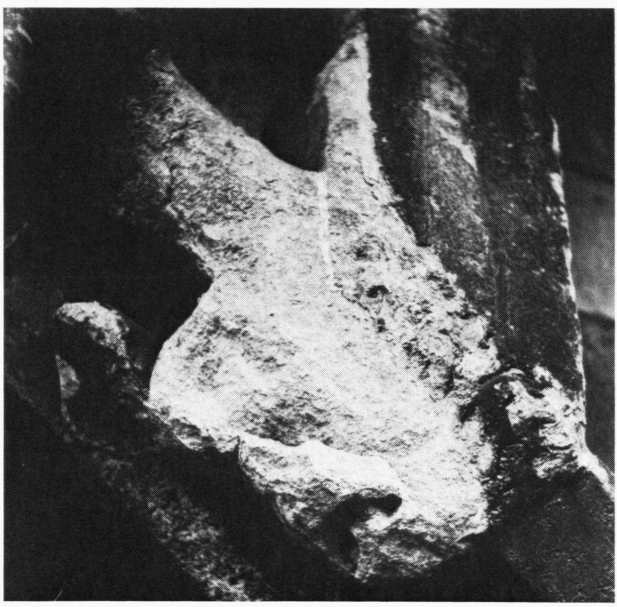


Foto 16:
Dom Regensburg
Fratzenkopf vom Foto 15 (1958).
Fotomaterial: Archiv Dombauhütte.

Tab. 22: Der Schwermetall- und Schwefelgehalt in Gesteinsproben von Regensburger Gebäudefassaden in ppm

	Probe	Pb	Zn	S	Gips in %
1	Kloster Prüfening: Kalkstein	1 245	20	16 500	7
2	Kloster Prüfening: Grünsandstein	4 700	90	2 600	1
3	Dom: Südportal Kalkstein	190	40	146 000	62
4	Dom: Südportal: Grünsandstein	185	310	87 000	37
5	Dom: Südportal: Staub	515	390	42 500	18
6	Gesandtenstraße: Zandthaus: Grünsandst.	310	220	106 000	45
7	Gesandtenstraße: Zandthaus: Staub	715	500	42 500	18
8	Porta Praetoria: Kalkstein	310	+	120 000	51

Quelle: Eigene Untersuchungen

+) Meßwert durch Renovierung (neuer Anstrich) der benachbarten Hausfassade verfälscht.

Auch die bemalten Glasfenster des Regensburger Domes sind sehr gefährdet. Durch saure Niederschläge, die ein Vielfaches der natürlichen Abwitterung verursachen, verloren die Fenster zum Teil bereits ein Drittel ihrer Substanz. Konturenzeichnungen (Schwarzlot) sind teilweise schon zerstört. Zum Schutz werden die Fenster sorgfältig gereinigt und von außen mit farblosem Glas, das zudem UV-Licht absorbiert, verkleidet.

Einen dauerhaften Schutz für den Regensburger Dom und andere wertvolle Gebäude der Stadt würde letztlich nur eine weitgehende Reduzierung der SO_2-Emissionen garantieren. Der Bei-

trag des Straßenverkehrs an der Domzerstörung ist gering, da die Abgase kaum Schwefel enthalten. Die Sperrung des Domplatzes für Kraftfahrzeuge ist daher für diesen Zweck keine Lösung. Die Erhaltung der mittelalterlichen Kunstwerke ist nur durch eine umfassende Umstellung auf schwefelarme Brennstoffe möglich.

5.5.2 Schädigungen von Pflanzen

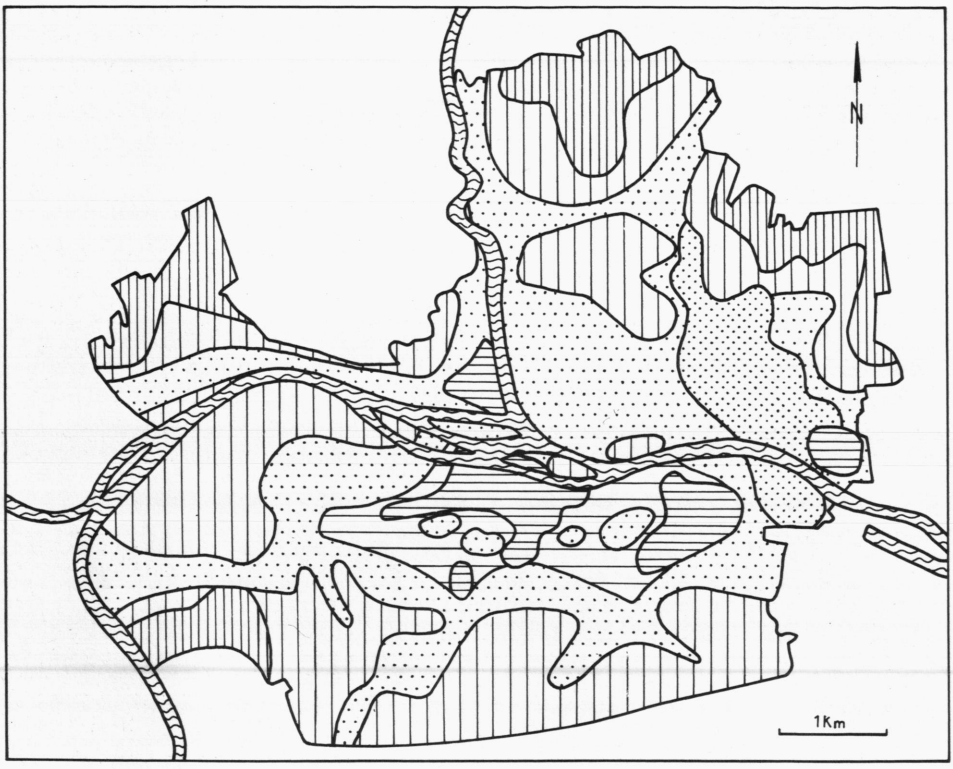
In Regensburg weisen Pflanzen zum Teil sehr schwere Schäden auf, deren Ausmaß und Ursachen nachfolgend beschrieben werden.

Flechten reagieren auf die Einwirkungen von Schadstoffen besonders empfindlich und verdeutlichen dadurch das kleinräumige Mosaik unterschiedlicher Immissionsbelastungen, das durch die wechselnde Dichte der Emittentengruppen und die unterschiedliche Zusammensetzung der Emissionen zustande kommt (STEUBING 1976; STEUBING u.a. 1976; BAUER 1973; DOMRÖS 1966). Eine Untersuchung der Rindenflechtenvegetation im Regensburger Stadtgebiet führte Goppel (1976) durch (Karte 20).

Zonen mit gut entwickelter, artenreicher Flechtenvegetation befinden sich vor allem auf den unbebauten Randhöhen des Stadtgebietes. In tieferen Lagen, im Stadtzentrum, an stark frequentierten Verkehrsstraßen und im Osten der Stadt, waren die Flechten dagegen verkümmert oder fehlten ganz. Die epiphytenfreie Zone der Innenstadt reicht im Norden über den Donauhauptarm hinüber und umschließt das Gebiet bei einer chemischen Reinigung und Färberei auf dem Oberen Wöhrd. Außerhalb des Stadtzentrums fallen drei epiphytenfreie Zonen auf. Im Stadtosten, östlich der Zuckerfabrik, in Steinweg bei dem Gelände einer Ziegelei, die vor mehreren Jahren stillgelegt wurde und in Schwabelweis, im Umkreis einer chemischen Fabrik. Anlieger in Steinweg, Schwabelweis und Tegernheim hatten mehrfach Beschwerden vorgetragen, da ihre Gartenpflanzen durch Fluorimmissionen geschädigt wurden. Die alkalisch wirkenden Emissionen der Kalkwerke führten im Nordosten der Stadt zur besonders starken Ansiedlung von Neutrophyten.

Untersuchungen des pH-Wertes an Laubbaumborken ergaben, daß der Wert mit Annäherung an die Wohngebiete zunächst ansteigt. Die Ursache dafür sind basischer (kalkhaltiger) Straßenstaub und düngerhaltiger Feldstaub. Mit 5,4 - 6,6 ist der pH-Wert in der Kalkwerkszone besonders hoch. Mit zunehmender Annäherung an das Stadtzentrum sinkt der pH-Wert jedoch stark ab. Die Pflanzen liegen hier nicht mehr im Einflußbereich des Feldstaubs und sind verstärkt verbrennungsbedingten Emissionen, die sauer wirken, ausgesetzt. Am Platz der Einheit wurde mit 3,1 der tiefste pH-Wert gemessen (GOPPEL 1976).

Karte 20 Die Flechtenzonen im Stadtgebiet von Regensburg (1975)
(Gebietsstand 31.12.1976)



Zone I : Normalzone, sehr artenreich

Zone II : Eine Charaktergesellschaft der Zone I verarmt, Mesophyten

Zone IIIa): Neutrophyten

Zone IIIb): Kalkwerkszone, Neutrophyten besonders stark gebildet

Zone IV: Nur noch Spuren von Flechten

Zone V : Epiphytenfrei

Quelle: Nach Goppel 1976, 82 ff

Sehr schwere Pflanzenschäden traten in Tegernheim auf. Nachdem auf dem Gelände des nahegelegenen Chemiewerks eine Flußsäureanlage errichtet worden war, stellten Anwohner etwa im Umkreis von 800 m starke Wuchsbeeinträchtigungen fest. Seit 1968 konnte ein Anlieger, dessen Grundstück ca. 100 m von der Fabrik entfernt ist, kein Obst an älteren Bäumen mehr ernten. 1975 waren die Zwetschgenbäume in seinem Garten zu 95 % entlaubt; frischgepflanzte Apfelbäume gingen ein, nachdem sie sechsmal frisch ausgetrieben hatten. Eine Bepflanzung mit Nadelbäumen war nicht möglich. Im Abstand von 600 m wurden Laubbäume kaum noch geschädigt; die Triebe von Nadelhölzern fielen jedoch mehrmals im Jahr ab (1975 sechsmal / 1976 dreimal).

Die Ursache dieser Wuchsbehinderungen waren gelegentliche Betriebsstörungen in der Flußsäureanlage, die zum Austritt von Fluorwasserstoff führten. HF behindert die Photosynthese und verursacht je nach Einwirkungsgrad Blattspitzennekrosen oder Entlaubung. Nadelbäume reagieren besonders empfindlich (DREYHAUPT 1971, 57; DER RAT DER SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN 1974, 11 ff.;BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ 1974 d, 11 ff.). Bereits 1 µg HF / m^3 reicht aus, um derartige Schäden auszulösen (DER RAT DER SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN 1974, 22).

Zur Untersuchung der Immissionssituation in diesem Wohngebiet nahm das Bayerische Landesamt für Umweltschutz im Zeitraum vom 19.1.1976 - 23.9.1977 die Messung der Fluoridkonzentration vor. Diese führte zu dem Ergebnis, daß die gesetzlich festgelegten Grenzwerte (IW_1:0,002 mg/m^3 - IW_2: 0,004 mg/m^3 HF) bei regulärem und sachgemäßem Betrieb der Flußsäureanlage nicht überschritten wurden. Im August 1978 wurde die Anlage aber trotzdem stillgelegt, da die Bewohner der angrenzenden Siedlung durch mehrfache HF-Ausbrüche gefährdet waren. Nach der Beendigung der Flußsäureproduktion lag bei Stichprobenmessungen die HF-Immission unter der Nachweisgrenze (Information: BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ).

Baumschäden stellt man in Regensburg sehr häufig an Straßenrändern fest. Die Immissionswirkungen der Kraftfahrzeuge sind im gemäßigten Klimabereich für Pflanzen jedoch weitgehend ungefährlich. So verursacht z.B. eine Immissionskonzentration von 500 ppm CO, die auf den Menschen tödlich wirkt, bei Pflanzen keine sichtbaren Schäden (KNABE in VOGL u.a. 1977, T. 2.6.2). Die Wuchsbeeinträchtigungen der straßennahen Vegetation werden daher kaum durch die Kraftfahrzeuge hervorgerufen. Als mögliche Schadensursachen kommen in Betracht (KADRO u.a. 1973; BAUM 1979, 44):

1) das Streuen von Auftausalzen,
2) das Asphaltieren des Baumstandortes bis zum Stamm,
3) Bodenverdichtung durch Baumaßnahmen, die zu Wassermangel und Nährstoffmangel führt,

4) Wurzelbeschädigungen durch Aufgrabungen und Stammbeschädigungen durch Kraftfahrzeuge,

5) Schadstoffrückstände, z.B. Öl im Boden, Austritt von Heizgas bei defekten Leitungen,

6) Bodenversauerung durch die chemische Veränderung der Niederschläge durch Luftverunreinigungen,

7) die Überhitzung von Baumkronen im Sommer bei intensiver, reflektierter Einstrahlung in vollständig überbautem Gelände,

8) biotische Schädigungen durch Insekten oder Pilze.

Das Streuen von Auftausalzen gilt als schwerwiegendste Schadensursache, da Chloride den Wasserhaushalt und Stoffwechsel der Pflanze stören. Beim Eindringen der Salzlösungen mit dem Schmelzwasser in den Boden treten irreversible Beeinträchtigungen wie Blattnekrosen, Keimhemmung, Wachstums- oder Ertragsminderung auf. Im Spritzwasserbereich sterben oberirdische Pflanzenteile, besonders bei jungen Nadelbäumen ab (DÄSSLER 1975, TIEMANN 1971, 177/191). Dies ist die Ursache für die Wuchsbeschränkungen bis in ca. 2 m Höhe an Koniferen an den Ausfallstraßen (z.B. Nordgaustraße, Frankenstraße) in Regensburg.

Im Regensburger Stadtzentrum wurde im August der Zustand der Straßen- und Alleebäume, soweit sie öffentlich zugänglich waren, untersucht (Beilage - Karte 21). Als "leicht geschädigt" wurden Bäume eingestuft, die an wenigen Ästen geringe Blattspitzennekrosen aufwiesen. "Mäßig geschädigt" bezeichnet Bäume mit fortgeschrittenen Blattspitzennekrosen und als "schwer geschädigt" gelten teilweise oder vollständig entlaubte Bäume.

Aus Karte 21 geht hervor, daß besonders in der Bahnhofsstraße, am Ernst-Reuter-Platz und in der Thundorfer Straße die Bäume schwere Schäden aufweisen und zum Teil fast ganz entlaubt waren. Auch einzeln stehende Bäume auf innerstädtischen Plätzen, wie am Gutenbergplatz, am Krauterer Markt oder Alten Kornmarkt, sind stark geschädigt.

Durch Infrarotphotos kann beispielhaft belegt werden, daß es sich um langfristige Dauerschäden handelt. Infrarot-Falschfarbenbilder erfassen Pflanzenbeschädigungen bereits, wenn äußerlich noch keine Beeinträchtigung feststellbar ist. Gesundes Laub erscheint rot, Nadeln etwas dunkler, da sie weniger infrarote Strahlung reflektieren. Eine violette Blattfärbung, die in vielfachen Schattierungen vorkommt, weist auf eine Schädigung hin. Abgestorbene Pflanzenteile sind blaugrün abgebildet (KADRO u.a. 1973; Information: Zentralstelle für Geophotogrammetrie und Fernerkundung - München).

Auf einem Infrarotbild, das im Mai 1979 am Krauterer Markt aufgenommen wurde, zeigen die jungen Blätter bereits eine lila Färbung. Im August 1979 sind dann die Blätter des gleichen Bau-

mes bis zur Hälfte oder vollständig abgestorben; zum Teil bereits abgefallen. Die Linde auf dem Gutenbergplatz, deren Blätter im Mai auf dem Infrarotbild ebenfalls violett gefärbt sind, treibt im Frühling nur kümmerlich aus; die Anzahl und die Größe der Blätter ist im Vergleich zu gesunden Bäumen erheblich reduziert. Im August ist der Baum etwa zur Hälfte entlaubt. Als Ursache für den schlechten Zustand der Bäume in der Regensburger Innenstadt kommt nicht allein die phytotoxische Wirkung von Auftausalzen in Betracht. Bodenverdichtung, Asphaltieren, Schadstoffrückstände sowie Wasser- und Nährstoffmangel schwächen die Bäume und machen sie anfällig für Krankheiten. An den Linden in der Bahnhofstraße (Busparkplatz) wird deutlich, wie durch unbedachtes Asphaltieren bis zum Stamm die Bäume zum Absterben gebracht werden.

Die Baumarten sind gegen menschliche Umweltwirkungen jedoch unterschiedlich anfällig. Nadelbäume, besonders Rotfichte, gemeine Kiefer und Lärche sind empfindlicher als Laubbäume (KADRO u.a. 1973; BAUM 1979, 44; KNABE in OLSCHOWY 1978, 697 ff.). Die Resistenzreihe der wichtigsten Straßenlaubbäume in Regensburg verläuft.

Rotbuche	resistent
Robinie	
Platane	
Ahornarten	
Roßkastanie	
Linde	empfindlich.

Ahornbäume und Roßkastanien sterben hauptsächlich durch jahrelange Salzeinwirkungen ab. Zunächst treten Blattspitzennekrosen auf, dann werden dünne Äste und später auch die Hauptäste kahl. Linden werden durch Salz und andere menschliche Umwelteinwirkungen geschwächt und dadurch sehr anfällig für Blattlausbefall, der die Blätter verklebt. Darauf folgen Pilzbefall und Sternrußtau, die die Baumzerstörung beschleunigen. An dicht befahrenen Verkehrsstraßen weisen aber auch resistente Pflanzen schwere Schäden auf. Im August 1979 waren an den nördlichen Auffahrten zur Galgenberger- und Kumpfmühler Brücke Robinien fast vollständig entlaubt und die große Platane am Alten Kornmarkt hatte schwere Blattspitzennekrosen. Das Ulmensterben, das sich über mehrere europäische Staaten erstreckt und auch in Regensburg auftritt (z.B. Absterben der großen Ulme in der Fürst-Anselm-Allee), hat weitgehend biotische Ursachen. Der Ulmensplintkäfer schwächt den Baum; ihm folgt ein Pilz, der die Leitungsbahnen verstopft. Das Schädlingsbekämpfungsmittel ist seit einigen Jahren wirkungslos (Information: Stadtgartenamt).

Mäßige und schwere Baumschäden sind jedoch nicht nur im Stadtzentrum, sondern an vielen Hauptverkehrs- und Wohnsiedlungsstraßen im Stadtgebiet festzustellen.

Foto 17:
Ahornbaum mit schweren Schäden: Im Hintergrund eine fast abgestorbene Robinie (August 1979, Donaustaufer Straße).

Günstig für die Straßenrandbepflanzung sind halophytische oder glattblättrige Arten, wie der Gemeine Liguster, da Pflanzen mit behaarten Blättern gegen Straßenstaub, der besonders in Gebüschen sedimentiert wird, sehr empfindlich sind. An den Rändern und Mittelstreifen der Ausfallstraßen in Regensburg weisen aber auch die resistenten Ligusterhecken Wuchsbeeinträchtigungen auf.

5.5.3 Belastungen der menschlichen Gesundheit

Vor 200 Jahren gab es in Regensburg nur wenige Orte, die wegen ihrer schlechten Luft das Wohlbefinden der Bevölkerung beeinträchtigten. Der fürstliche Leibarzt v. Schäffer (1787, 31) berichtet: "In einigen dumpfichten Kirchen aber, wo überhaupt reine Luft selten zukommen kann und in welchen man überdies die Todten in ausgemauerten Gräbern langsam vermodern läßt, geschieht es gar oft, daß Personen von schwächlichem Nervenbau krank und ohnmächtig werden".

Das Bioklima der gesamten Donauebene einschließlich der Regensburger Bucht wird heute als "teils belastend" eingestuft. In Regensburg treten zeitweise folgende Belastungsfaktoren auf (FAUST V. 1977, 211 ff.; SCHULZ 1963):

- Wärmebelastung durch Schwüle und hohe Sommertemperaturen,
- Naßkälte in der Bodenkaltluftschicht,
- verminderter Strahlungsgenuß durch Nebel,
- erhöhte Luftverschmutzung bei austauscharmem Wetter.

Nur die nördlichen Randhöhen des Stadtgebietes werden bereits dem schonenden Mittelgebirgsklima zugerechnet.

Im Herbst und Winter ist bei austauscharmen Wetterlagen die Schwefelkonzentration in der Regensburger Bucht häufig recht hoch. Die zulässigen Immissionswerte wurden mehrfach überschritten (vgl. 5.4.2.3/ -4/ -6/). Es muß jedoch bei der Beurteilung der Luftbelastung berücksichtigt werden, daß die derzeit gültigen Toleranzschwellen unter praxisfernen Laborbedingungen mit reinem SO_2-Gas, dessen Toxidität relativ gering ist, durchgeführt werden (vgl. 5.3.3). Unbeachtet bleiben Veränderungen des Schadstoffs während der Transmission. Bei hoher Luftfeuchte, die in Regensburg bei austauscharmen Wetterlagen (Nebel, Dunst) häufig herrscht, erfolgt aber eine Umwandlung von SO_2 in Schwefelsäure und anorganische Sulfate, deren Reizwirkungen auf Augen, Schleimhäute und Atemwege erheblich stärker sind. In Verbindung mit Feinstäuben, die im Nordosten der Stadt durch die Kalkwerke und das Zementwerk freigesetzt werden, gelangt SO_2 tief in die Lunge und wird nur langsam wieder ausgeschieden. Es schädigt die Flimmerepithel und führt bei höheren Konzentrationen zu Bronchialerkrankungen (DER RAT DER SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN 1974, 18 f.; Ders. 1978, 62 f.; STADTENTWICKLUNGSREFERAT, LANDESHAUPTSTADT MÜNCHEN 1971, 34 f; SCHLIPKÖTER in VOGL u.a. 1977, T. 2.6.1). Beeinträchtigungen der Gesundheit, besonders von resistenzschwachen Personen, die bei der Festlegung der Grenzwerte nicht berücksichtigt werden, können aus diesen Gründen bereits vor Erreichen der Toleranzschwelle auftreten.

Ärzte diagnostizieren zahlreiche Krankheiten, die in Regensburg besonders häufig vorkommen. Bei einer größeren Zahl von zugezogenen Personen trat vielfach die Neigung zu Katarrhen der oberen Atemwege und Bronchien mit oder ohne Asthma auf, die zuvor nicht bestand. Es verschwanden Bronchialasthma, rheumatische Erkrankungen, chronische oder akute Nervenentzündungen bei den Betroffenen nach deren Wegzug aus Regensburg (ROCZNIK 1953 - 55, 86 ff.). Längere Nebelperioden führen zu Gesundheitsstörungen, da wegen des trüben Lichts Stoffwechselvorgänge unzureichend stimuliert werden. Da der Mensch sich vorwiegend visuell orientiert, belasten längere Nebelperioden das Gemüt, die Sichtbehinderung löst Langeweile aus und macht unsicher (FAUST V. 1977, 190; MROSE 1955, 101).

In Schwabelweis und Tegernheim, einige 100 m im Umkreis der chemischen Fabrik, wurden die Anwohner bis zum August 1978 durch hochgiftige Fluorwasserstoffimmissionen gefährdet. Menschen, die von einer entwichenen HF-Wolke erfaßt wurden, verspürten ätzende Schmerzen in den Augen sowie im Nasen- und Rachenraum (Information: Befragung Betroffener). Am 20.11.1975 mußte die Bevölkerung nach einem Fluorwasserstoffausbruch sogar für etwa zwei Stunden evakuiert werden.

Gesundheitliche Belastungen bei Passanten durch Fahrzeugabgase in der Altstadt treten in der Regel nicht auf. Kinder sind wegen der niedrigen Quellhöhe der Emissionen den Schadstoffen stärker ausgesetzt. Bei längerem Aufenthalt in engen Straßen mit hohen Immissionskonzentrationen können sich jedoch Kopfschmerzen in der Stirn- und Schläfengegend und Übelkeit einstellen. Dies sind Anzeichen einer Kohlenmonoxidvergiftung, die bei mehrstündiger Immission um 20 ppm CO auftreten. Sie werden durch einen Sauerstoffmangel im Gewebe, von denen Herz und Gehirn zuerst betroffen sind, hervorgerufen, da sich CO teilweise an das Hämoglobin anlagert und dadurch den Sauerstofftransport im Körper behindert (DER RAT DER SACHVERSTÄNDIGEN F. UMWELTFRAGEN 1974, 18 f.; Ders. 1978, 61 ff.; STADTENTWICKLUNGSREFERAT, LANDESHAUPTSTADT MÜNCHEN 1971, 34 f.; MALORNY 1972). Bei den Überlegungen über die Gefährlichkeit der Verkehrsabgase wird jedoch meist verdrängt, daß der größte Teil der Bevölkerung weit höheren Konzentrationen des reiz-, farb- und geruchlosen Atmungsgiftes Kohlenmonoxid, das besonders das Herz- und Kreislaufsystem belastet, durch aktives oder passives Rauchen ausgesetzt ist (1) (GRANDJEAN u.a. 1973, 74 ff.; LAUB 1975, 36 ff.; ASTRUP 1972; HANSEN u.a. 1972; KNELSON 1972;GROLL-KNAPP, E. 1972).

Organische Gase und Dämpfe, die karzinogen, reizerzeugend oder geruchsbelästigend wirken, beeinträchtigen die Luftqualität in verschiedenen Stadtteilen Regensburgs. Besonders unangenehm empfunden werden vor allem die Gerüche der Zuckerfabrik. Bei sta-

(1) Anm.: Bei der Verbrennung einer Zigarette werden 30 cm^3 CO freigesetzt (MOLL 1973, 89).

biler Schichtung mit östlichen Windströmungen sind die organischen Immissionen, die bei der Schnitzeltrocknung entstehen, im Zentrum, besonders aber im Westen und Nordwesten der Stadt, wahrzunehmen. Die Geruchsbelästigungen können neurovegetative Beschwerden wie Kopfschmerzen, Übelkeit, Verstimmungen oder Konzentrationsschwierigkeiten hervorrufen (FAUST, V. 1977, 274).

Von üblen Gerüchen, die bei der Beseitigung der Abwasser der Zuckerfabrik entstehen, sind die Bewohner von Irl und Irlmauth besonders stark betroffen. Die Immissionen bilden sich hauptsächlich zwischen Januar und Mai. Sie treten bei Westwind und in den Abendstunden warmer Tage mit stabiler Schichtung auf, wenn Zirkulationsströmungen die organischen Gase und Schwefelwasserstoffimmissionen aus der abgekühlten Donauebene in die überwärmten Siedlungsgebiete transportieren. Die Bewohner von Irl und Irlmauth, das nur 250 m von den Schlammteichen entfernt liegt, müssen dann Fenster und Türen schließen, um sich vor den unerträglichen Gerüchen zu schützen. Ein Teil der Anlieger ist bereits weggezogen. 1976 und 1977 waren die Immissionen besonders häufig und unerträglich. In den letzten Jahren ging die Geruchsbelästigung durch die Begrünung der Schlammteiche etwas zurück. 1978 traten dann noch an 26 Tagen, 1979 an 10 Tagen und 1980 an etwa 15 Tagen starke Geruchswirkungen auf. Die Zusagen, durch neuartige technische Verfahren die Beeinträchtigungen nahezu auszuschließen, wurden bislang nicht erfüllt. Die Bewohner der betroffenen Siedlungen protestierten mehrfach durch Unterschriftssammlungen gegen die unzureichenden lufthygienischen Verhältnisse (Information: Befragen betroffener Anlieger). Trotzdem stimmte die Stadt einer Erweiterung der Klärteiche zu, mit der Begründung, die Wirtschaft dem Umweltschutz vorzuziehen, um den Verlust von Arbeitsplätzen und die Abwanderung der Zuckerfabrik, eines potenten Steuerzahlers, zu verhindern.

Seit Inbetriebnahme der biologischen Kläranlage werden die Bewohner im Osten Regensburgs durch weitere unangenehme Gerüche belastet.

Im Nordosten der Stadt klagen die Anwohner, vor allem die Hausfrauen, über die Belästigung durch Stäube der Kalkwerke und des Zementwerks. Die leicht wahrnehmbaren Grobstäube sind jedoch weit weniger gesundheitsgefährdend als die nicht zu bemerkenden Feinstäube (< 2 µm) (DER RAT DER SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN 1974, 19). Die Belästigung der Bevölkerung wurde durch eine unvorteilhafte Gebietsausweisung verstärkt. Mitte der sechziger Jahre bebaute man eine etwa 500 m breite Grünlandzone südlich der Brandlberger Straße, die dem Kalk- und Zementwerk vorgelagert war und als Emissionsschutzstreifen diente, mit Wohnblocks. Diese Maßnahme vergrößerte nicht nur den Personenkreis, der von der Staubimmission betroffen ist, erheblich, sondern in der neuen Wohnsiedlung treten wegen der Nähe zum Kalk- und Zementwerk auch höhere Staubniederschläge auf.

Die Meßstation des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz an der Isarstraße befindet sich etwa 500 m von den Steinbrüchen entfernt inmitten des Bebauungsgebietes. Obwohl in den letzten Jahren durch den Einbau von Filteranlagen die Staubemissionen zurückgingen, werden von dieser Meßstelle in der Regel höhere Konzentrationen registriert als im Stadtzentrum. Der festgelegte Immissionswert für die höchstzulässige Dauerbelastung durch Schwebestaub (IW_1: 0,10 mg/m^3) wurde im Jahr 1979 an 37 Tagen überschritten; der Maximalwert betrug am 20.1.1979 0,24 mg/Staub m^3 (BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ - Registrierbögen). Bei der Interpretation der Meßwerte ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Station bei östlichen Winden, die Kalkstäube heranwehen, im Windschatten großer Wohnblocks steht. Außerdem ist nach übereinstimmenden Aussagen der Anlieger die Staubbelastung in 500 m Entfernung erheblich geringer als in den Wohnungen, die nur etwa 200 m Distanz zum Kalkwerksgelände aufweisen.

5.6 Möglichkeiten zur Verbesserung der lufthygienischen Situation

5.6.1 Die Chancen bei der Gebietsausweisung

Wegen der Strukturschwäche der Stadt Regensburg ist die Ansiedlung von Industriebetrieben notwendig. Es soll nun überprüft werden, inwieweit durch Maßnahmen der Gebietsausweisung eine Verschlechterung der lufthygienischen Situation vermieden werden kann.

Ausschlaggebend für die Ansiedlung von Industriebetrieben sind in der Praxis die ökonomischen Interessen der Städte und der Unternehmen, ein geeigneter Baugrund und eine gute Verkehrslage. Die meteorologische Situation wird häufig insoweit berücksichtigt, daß Industriegelände häufig im Osten der Städte ausgewiesen wird, da man allgemein annimmt, daß die Winde überwiegend vom Westen her wehen. Auch im Flächennutzungsplan von Regensburg (1980) sind Industriegebiete hauptsächlich im Südosten vorgesehen (vgl. Karte 5). Denn dort stehen geeignete Bauflächen in guter Verkehrslage zur Verfügung, die sich an bereits vorhandene Gewerbezonen anschließen. Ein Schutz der Bevölkerung vor Schadstoffimmissionen ist dadurch jedoch nicht möglich.

Durch die orographischen Gegebenheiten in der buchtartigen Weitung des Donautals werden die Windströmungen umgelenkt. Daher gibt es in Regensburg keine Hauptwindrichtung; West-, Nord-West- und Südostwinde sind im Jahresmittel etwa gleich häufig. Im Dezember und Januar, der Zeit mit den höchsten Immissionskonzentrationen, überwiegen sogar Südostwinde, die die Schadstoffe aus dem Industriegebiet dann in das Stadtzentrum wehen. Eben-

so werden bei stabiler Schichtung mit schwachen Luftströmungen aus östlichen Richtungen, bei denen die ungünstigsten lufthygienischen Verhältnisse herrschen, industrielle Emissionen in das Stadtgebiet verfrachtet. Lufthygienisch günstiger zu bewerten ist die Bereitstellung von Industriegelände im Nordosten der Stadt, da Nordostwinde im Jahresmittel nicht so häufig vorkommen und überwiegend höhere Windstärken mit guten Durchmischungsverhältnissen aufweisen.

Wegen der Inversionshäufigkeit und stabilen Austauschbedingungen ist die Regensburger Bucht jedoch zur Ansiedlung von Industriebetrieben nur mit großen Einschränkungen geeignet (DREYHAUPT 1977, 96; LESER 1973, 315). Das mehrfache Überschreiten der festgesetzten Immissionswerte in den Wintermonaten ist ein Indiz dafür, daß die lufthygienische Belastungsgrenze überschritten ist. Begrünte Schutzstreifen um Industriezonen erfüllen zwar ästhetische Bedürfnisse, tragen aber nicht zur Reduzierung der Immissionsbelastung aus Turmkaminen bei (KRATZER 1956, 101; GRANDJEAN u.a. 1973, 97 f.; FINKE 1876, 38). Aus diesen Gründen können in Regensburg nur noch emissionsarme Betriebe angesiedelt werden, denn ein wirksamer Schutz der Bevölkerung vor Schadstoffeinwirkungen ist durch Maßnahmen der Gebietsausweisung nicht möglich.

5.6.2 Die Bedeutung von Grünflächen

"Die Beziehung zwischen städtebaulicher und industrieller Entwicklung einerseits und der Luftreinhaltung andererseits sollte bereits bei der Planung berücksichtigt werden; die für die Planung verantwortlichen Stellen sollen der Erhaltung und Schaffung von Grünzonen die nötige Aufmerksamkeit widmen" (Europäische Charta zur Reinhaltung der Luft) (OELS 1969, 155).

Die Bedeutung der Grünzonen für die Luftreinhaltung wird jedoch häufig überschätzt. Nur Grobstäube, die der Straßenverkehr erzeugt, können von Gebüschzonen ausgefiltert werden. Die Reduktion der Windgeschwindigkeit durch Sträucher und Bäume verändert die mechanische Turbulenz und bewirkt die Anlagerung der Staubpartikel, die dann der Regen abwäscht. Rasenflächen besitzen keine Filterwirkung. Staubemissionen aus Turmkaminen können durch innerstädtische Grünanlagen nicht nennenswert reduziert werden (FINKE 1976, 36 f.; JÄGER 1978; GRANDJEAN u.a. 1973, 99 ff.).

Die aktive Filterwirkung der Grünanlagen bei Schadgasen ist äußerst gering. Wegen der unterschiedlichen Temperatur der Grünflächen gegenüber den bebauten Flächen können im Kleinklimabereich thermische Turbulenzen hervorgerufen werden, die einen besseren Luftaustausch bewirken; an Gebüschen und Baumgruppen bilden sich Windwirbel. Die Bedeutung von radialen Grünzügen, die die Reinigungskraft von Flurwinden unterstützen sollen, wird jedoch weitgehend überschätzt (vgl. 4.2).

Keine Auswirkungen auf die lufthygienische Situation hat die Sauerstoffproduktion der Pflanzen in Grünanlagen (GRANDJEAN 1973, 228 ff.; ZUNDEL 1973, 47; PHILIPPI 1977, 29; STEUBING 1973, 10). Größere Parks oder landwirtschaftliche Nutzflächen im Bebauungsgebiet können die Luftqualität durch Aromastoffe verbessern.

Grüngürtel tragen jedoch zur Reduzierung von Lärm in hohem Maße bei.

5.6.3 Die Reduzierung der Immission durch die Technik

Da es nicht möglich ist, die Bevölkerung durch Planungsmaßnahmen vor Schadstoffimmissionen zufriedenstellend zu schützen, müssen sich Wissenschaft, Gesetzgeber und Kommunen darum bemühen, die Emissionen zu vermindern.

Industrielle Großanlagen

Da hohe Schornsteine keine dauerhafte Lösung für die Schadstoffreduzierung bieten, ist die technische Abgasreinigung unumgänglich. Die Verminderung der SO_2-Emissionen ist bereits großtechnisch erprobt (MOLL 1973, 29 ff.; Ders. 1979, 141). Bei der Regensburger Zuckerfabrik wäre der Einbau einer Rauchgasentschwefelungsanlage anzustreben (vgl. 5.2.1.4 / 5.4.2.7), da eine Umstellung auf Erdgas wegen der saisonabhängigen Betriebsweise und dem sehr hohen Energieverbrauch nicht möglich ist. Schwefelarme Brennstoffe setzen die Emissionen herab. Die Umstellung der noch mit Feststoffen oder Schweröl betriebenen Kesselanlagen in Regensburg ist anzustreben (Karte 13/14).

Produktionsbedingte Emissionen können durch Filteranlagen, Recycling-Verfahren, bessere Isolierung oder neue Technologien vermindert werden (LINDACKERS u.a. 1971, 36 ff.; STÖVEN 1967, 13 ff.). Eine vordringliche Maßnahme ist in Regensburg die Reduzierung der unangenehmen Geruchsbelästigungen durch die Zuckerfabrik.

Hausbrand

Für die Verringerung der Hausbrandemissionen stehen mehrere Maßnahmen zur Verfügung.

Fernheizwerke verursachen, bezogen auf ihren Leistungsgrad, wesentlich geringere Emissionen als Einzelfeuerungen, da die Verbrennung in den großen Kesseln optimal gesteuert werden kann. Sie können zusätzlich noch mit einer Rauchgasentschwefelungsanlage ausgestattet werden. Fernwärme ist jedoch nur in eng bebauten Wohngebieten (Stadtzentrum, Hochhaussiedlungen) wirtschaftlich, da bei langen Rohrleitungen der Wärmeverlust zu groß ist.

Die Umstellung auf emissionsarme Energieträger in den Privathaushalten ist weitgehend von der Initiative der Besitzer abhängig. Die Renovierung älterer Häuser und der damit verbundene Einbau zentraler Heizanlagen erfolgt häufig erst bei Besitzerwechsel; ältere Leute überlassen den Umbau meist den Erben. In Regensburg ist die Beseitigung der kohle- und ölbefeuerten Einzelöfen notwendig, da sie einen Großteil der Schadstoffemissionen verursachen. Soweit der Einbau von Zentralheizungen nicht möglich ist, sollten die Einzelöfen auf Erdgas umgestellt werden. Die Auffassung, daß Erdgas emissionsfrei sei, ist nicht richtig. Gas enthält etwa 94 % Kohlenwasserstoffe, und bei der Verbrennung entstehen Stickoxide. Die Schadstoffraten liegen jedoch erheblich niedriger als bei Festbrennstoffen (vgl. Abb. 33): Die Emissionen der Festbrennstoffe sind bei CO - 100-mal, bei SO_2 - 11.000-mal und bei Feststoffen - 40-mal größer als von Erdgas. Die zentrale Beheizung mit Heizöl EL (S-Gehalt 0,3 Gew. %) ist lufthygienisch unproblematisch, wenn der Brenner richtig eingestellt ist. Regelmäßige Kontrollen durch die Kaminkehrer sind daher notwendig.

Wegen der Ölverteuerung und -verknappung ist die Entwicklung neuer, weitgehend emissionsfreier Technologien nötig. Die Energieerzeugung durch Solarzellen bewährt sich in unserem Klimabereich nicht (Ausnahme: Schwimmbäder), da die Insolation zur Hauptbedarfszeit zu gering ist (häufige Nebel und Hochnebel) (vgl. Abb. 3; Anhang Tab. 24).

Das Prinzip der Wärmepumpe ist noch zu wenig ausgereift, um dessen Wirtschaftlichkeit beurteilen zu können.

Kraftfahrzeugverkehr

Zur Verminderung der Emissionen von Kraftfahrzeugen werden verschiedene Möglichkeiten vorgeschlagen, die am besten gemeinsam zur Anwendung kommen sollten (MAY u.a. 1973, 12-67; ADAC, 18 - 61)

- Häufige kostenlose Abgaskontrolle und bessere Vergasereinstellung,
- Verbesserung der Verbrennungsprozesse im Motor (Nachverbrennung),
- Änderung des Besteuerungssystems (Hubraumsteuer), da Motoren mit begrenztem Hubraum und hoher Leistung ein hohes Verdichtungsverhältnis verlangen und daher mehr Schadstoffe emittieren,
- Begrenzung der Schadstoffanteile im Benzin durch den Gesetzgeber (wie z.B. Benzin-Blei-Gesetz),
- Gewährleistung eines möglichst gleichmäßigen Verkehrsflusses in den Städten, da wiederholtes Anfahren und Bremsen verstärkte Emissionen bewirkt.

6. BELASTUNG UND BELASTBARKEIT DES STÄDTISCHEN WIRKUNGSSYSTEMS REGENSBURG

Die Untersuchung der Belastung und Belastbarkeit städtischer Lebensräume unterliegt anderen Bewertungsmaßstäben als die Beurteilung naturnaher Geosysteme. 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 nicht realisiert sind.

Aufgrund dieser abgewandelten Betrachtungsperspektiven verschiebt sich die Bedeutsamkeit der Teilkomplexe: In einem naturnahen Geosystem bestehen wechselseitige Zusammenhänge zwischen Partialkomplexen (Relief, Boden, Klima, Wasserhaushalt, Vegetation, Tierwelt), von denen jeder einzelne von entscheidender Bedeutung für die Existenz des Systems ist. Im städtischen Geosystem dominiert dagegen der klimatische Wirkungskomplex, da sich die Menschen dem Zustand der Atmosphäre am wenigsten entziehen können. Weitere Belastungsfaktoren ergeben sich aus den artspezifischen Lebensbedürfnissen des Menschen. Der Verstädterungsprozeß, der sich durch das rasche Bevölkerungswachstum und die zunehmende Arbeitsteilung und Spezialisierung infolge der industriellen Entwicklung vollzog, verursacht neuartige Existenzprobleme, wie Dichtestreß, psychische Störungen oder Verarmung sozialer Fähigkeiten.

6.1 Die klimatische Belastung

Das Bioklima von Regensburg wird als "teils belastend" eingestuft. 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 verursachen. In den Abendstunden ist die Bewölkung besonders reduziert. Daher treten häufig

klare Nächte auf, in denen sich, begünstigt durch die orohydrographische Situation, in der Regensburger Bucht ein Kaltluftsee von wenigen Dekamtern Mächtigkeit bildet. 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.

Die Kaltluftansammlung im Donautal hat zur Folge, daß die Wintertemperaturen in Regensburg etwa um 2° C tiefer liegen als die mitteleuropäische Durchschnittstemperatur. Der kontinentale Klimacharakter wird dadurch verstärkt; die mittlere Jahrestemperaturschwankung beträgt deshalb mehr als 20° C (Januarmittel - 2,5° C; Julimittel 17.7° C).

Innerhalb der Kaltluftschicht herrschen häufig Dunst oder Nebel. Besonders im Oktober und November treten über der Stadt kräftige Dunstglocken auf, die durch Schadstoffe bräunlich gefärbt sind. Im Jahresmittel kommen 72 Nebeltage vor; besonders im Herbst und Winter sind mehrtägige Nebelperioden keine Seltenheit.

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

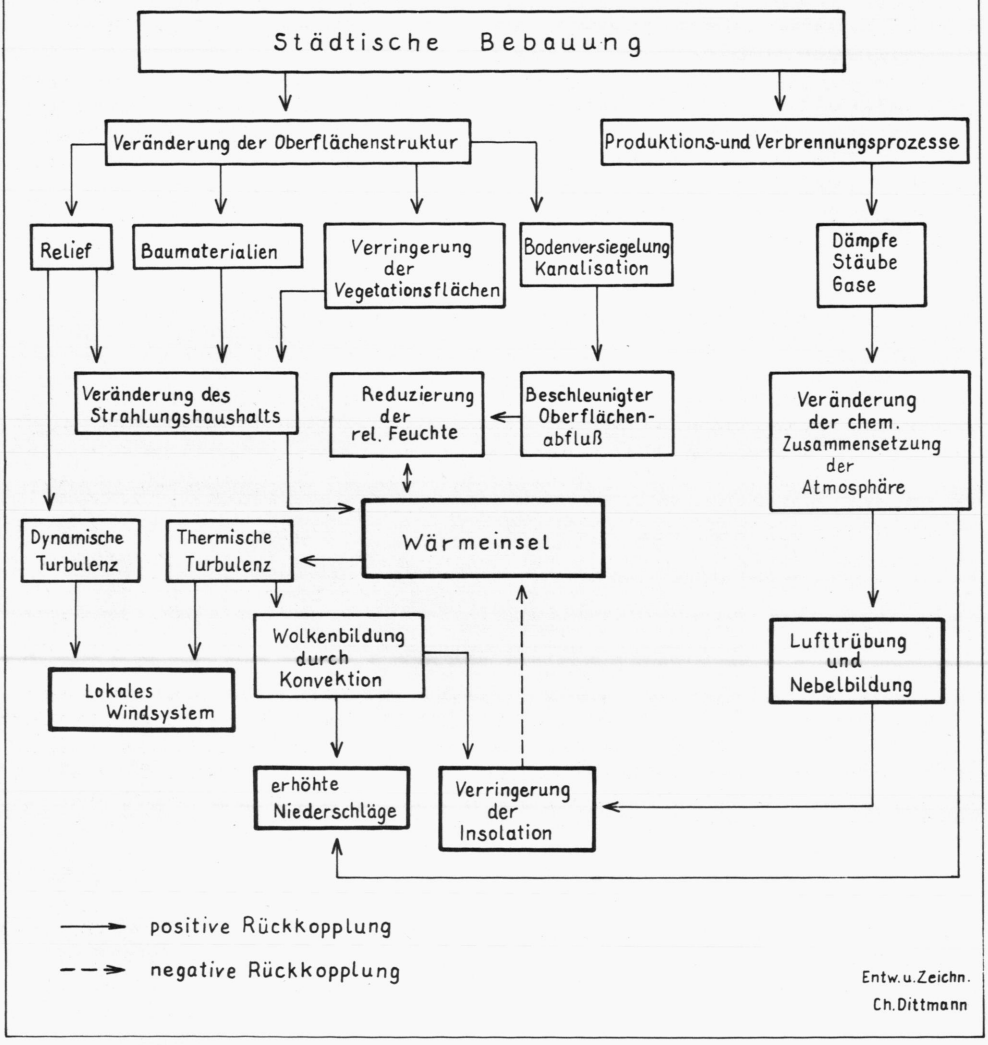
hervorgerufen. Nur die Randhöhen im Norden und Nordosten der Stadt sind bioklimatisch günstiger zu bewerten. Sie gehören dem Bereich der warmen Hangzone an und werden seltener von Nebelsituation betroffen.

Positive Komponenten des Regensburger Klimas sind die relativ hohe Anzahl von Sonnenscheinstunden (1.700 Std/a) und die geringen Niederschläge. Die Regensburger Bucht ist jedoch keineswegs so trocken wie ältere Untersuchungen hervorheben.

Durch die städtische Bebauung werden die lokalklimatischen Verhältnisse in Regensburg modifiziert. Abb. 49 verdeutlicht die Beziehungen zwischen Bebauung und Klima.

Besonders charakteristische Komponenten des Stadtklimas sind die Ausbildung einer mehrkernigen Überwärmungszone, die Reduzierung der relativen Feuchte, die Entstehung eines lokalen Windsystems und die Trübung der Luft durch anthropogene Verunreinigungen. Eine Erhöhung der Niederschläge ist nur in großen Städten (> 1 Mio Ew.) festzustellen.

Abb. 49 Die Wirkungen der städtischen Bebauung auf das Lokalklima



Durch mobile Temperaturmessungen der Verfasserin konnte nachgewiesen werden, daß in Regensburg bei jedem Wetter und zu jeder Jahreszeit das städtische Bebauungsgebiet eine Überwärmungszone bildet. Die maximale Differenz zwischen Stadtzentrum und Grünland betrug 6,5° C und wurde in einer wolkenlosen Nacht, der ein meteorologischer Sommertag vorausging, registriert.

Tage mit einem Temperaturmaximum $>25°$ 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 treten tagsüber auf den sonnigen innerstädtischen Plätzen oder an der Peripherie der Altstadt, in breiten Ausfallstraßen auf; die engen, schattigen Altstadtgassen sind bis zu 4° C kühler. Nachts ist dagegen der historische Stadtkern das wärmste Gebiet.

Sekundäre Wärmeinseln bilden in Strahlungsnächten die Kuppen der Randhöhen, die dem Bereich der warmen Hangzone angehören. Die Temperaturen im Stadtzentrum sind aber zumeist größer als die auf den etwa 100 m höher gelegenen Hügelkuppen. Die städtische Überwärmung wirkt somit 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.

Die tiefsten Temperaturen des Stadtgebietes treten bei Strahlungswetter in den nordöstlichen Trockentälern durch abfließende Kaltluft und über sumpfigem Gelände durch Verdunstungskühle auf. Auch bei Nebel, windigem Wetter und an sonnigen Tagen sind diese Geländeabschnitte kühler als das übrige Stadtgebiet. Es entstehen dann aber nur geringe Temperaturdifferenzen (etwa 2° C).

Zu jeder Tageszeit und bei allen Wetterlagen sind die Flüsse als Kaltluftbänder nachweisbar, die die innerstädtische Wärmeinsel scharf begrenzen. Da die Ufer im Zentrum jedoch weitgehend verbaut sind, dringt ihr mäßigender Einfluß nur wenige Meter in die Altstadt vor.

Die klimatische Ausgleichswirkung von Grünanlagen wird meist überschätzt. In Strahlungsnächten reduziert in Regensburg nur der Fürstenpark, der einen dichten, alten Baumbestand aufweist, die Überwärmung in einigen Altstadtgassen (z.B. Fröhliche-Türken-Straße). Rasenflächen und frisch gepflanzte Bäume verursachen keinen aktiven Temperaturausgleich, ihre Randzonen werden sogar durch das Klima des angrenzenden Bebauungsgebietes beeinflußt.

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. Abflußbahnen kühler, unverbrauchter Luft bilden die randlichen Hänge; die Frischluftschneisen sind jedoch weitgehend verbaut. 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. Bei dichter Uferbebauung läßt sich ein Ausgleichseffekt bereits nach wenigen Metern nicht mehr nachweisen.

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 stark an und liegen zumeist über 90 %. Nur im Stammraum trockener Fichtenwälder beträgt die Feuchte etwa 75 %.

Aufgrund der Kaltluftansammlung nähern sich die Temperaturen, besonders im Herbst und Winter, häufig dem Taupunkt. Bedingt durch die Luftverunreinigung setzt die Nebelbildung bereits bei 92 % relativer Feuchte ein; zumeist beträgt die Feuchte bei Nebel aber 95 - 97 %.

Der Nebel ist im Stadtgebiet oft ungleich verteilt. Bei geringer Kaltlufbildung bleiben die oberen Zonen der Randhöhen nebelfrei; 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 Stadtwesten durch turbulente Erwärmung, die bei östlichen Winden durch die Wirbelbildung an den Randhöhen verursacht wird. Im Regental und im östlichen Donautal bleiben Nebel am längsten bestehen.

Eine vorherrschende Windrichtung tritt in der Regensburger Bucht nicht auf. West-, Nordwest- und Südwinde sind im Jahresmittel etwa gleich häufig. Von Dezember bis Februar, der Zeit mit den ungünstigsten Turbulenzbedingungen und höchsten Emissionsraten dominieren 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. Der Wegtransport von Emissionskomponenten wird bei Ost- und Südostwinden erschwert, da sich an den nördlichen und westlichen Randhöhen Luftwirbel bilden. So tritt bei Südostwind nordwestlich der Donau Nord- oder Nordwestwind auf. In diesen großflächigen Zirkulationsströmungen werden die Luftverunreinigungen oberhalb der Regensburger Bucht im Kreis bewegt. Der

Stadtplanung ist es daher nicht möglich, Fabriken im Lee der Wohngebiete anzusiedeln, um auf diese Weise die Bevölkerung vor industriellen Schadstoffen zu schützen.

Im Stadtzentrum werden die Winde durch die Bebauung abgebremst. Im Mittel ist die Windgeschwindigkeit in der Stadt gegenüber dem Freiland zwar nur um 0,7 m/sec reduziert; in Einzelfällen kann sie jedoch bis zu 4 m/sec herabgesetzt sein. Andererseits können in windparallelen Straßen und auf Plätzen starke Böen auftreten. Die allgemeine Verringerung der dynamischen Turbulenz in der Stadt schränkt die Durchmischungsverhältnisse und die Verdünnung der Schadstoffe ein.

Durch den Einfluß der städtischen Bebauung werden über die natürlichen Gegebenheiten hinaus also 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.

6.2 Die lufthygienische Belastung

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.

6.2.1 Die Belastung durch Kraftfahrzeugabgase

Die Flächenbelastung durch Kraftfahrzeugemissionen im Regensburger Stadtgebiet ist überdurchschnittlich hoch (vgl. Karte 15). Da die Schadstoffkomponenten der Fahrzeugabgase äußerst vielfältig sind, diente in der vorliegenden Untersuchung die Kohlenmonoxidkonzentration als Leitsubstanz für die Beurteilung der Immissionsbelastung.

Die Kraftfahrzeuge setzen in Regensburg den größten Anteil der Gesamtkohlenmonoxidemission frei, mehr als 10.000 t CO/a. Da sich CO jedoch sehr rasch verdünnt, kommen erhöhte Konzentrationen nur in Straßennähe vor. Die Immission 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 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-Emissionen 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 durchgeführt. In den engen Durchgangsstraßen der Altstadt, z.B. der Gesandtenstraße, Goliathstraße oder der Weißen-Hahnen-Gasse treten bei jedem Wetter die höchsten Immissionen auf, da ganztägig zähflüssiger 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, austauscharmen Wetter festzustellen. Bei zyklonaler Witterung kommen in windparallelen Straßen, wie der Gesandtenstraße oder Ludwigstraße, die in West-Ost-Richtung 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.

Von der amtlichen Meßstation auf dem Dachauplatz wurden nur sehr selten 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 Bü-

schen 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 betrugen 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 Grenzwert (IW_2-Wert) für die CO-Immission bei austauscharmen Wetterlagen zur Berufsverkehrszeit in einigen stark befahrenen Altstadtgassen erreicht oder überschritten wird. Die höchste Abgasbelastung wurde in der Weißen-Hahnen-Gasse registriert. Kraftfahrzeugemissionen enthalten ferner neben dem, für den Menschen nicht wahrnehmbaren Kohlenmonoxid 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 Fahrzeugabgase wurde die Blei- und Zinkkonzentration in Böden des Stadtgebietes analysiert. Blei ist dem Benzin beigemischt und wird durch die Abgase freigesetzt; Zinkanreicherungen entstehen durch Reifenabrieb. Hohe Bleikonzentrationen > 300 ppm in straßennahen Böden treten 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 dicht befahrenen Ausfallstraßen, an denen nur mäßige CO-Immissionen gemessen wurden, sind die Bleigehalte stark erhöht, z.B. Adolf-Schmetzer-Straße (540 ppm), Nordgaustraße am Donau-Einkaufs-Zentrum (435 ppm) oder Frankenstraße (460 ppm). Die Zinkgehalte der Altstadt sind in verkehrsreichen Straßen in Parkplatznähe besonders stark angereichert, z.B. Gesandtenstraße (980 ppm) oder Arnulfsplatz (750 ppm). Erheblich niedriger liegen die Werte in den Ausfallstraßen, die nur in der Nordgaustraße am Donau-Einkaufs-Zentrum und im Hafengebiet Konzentrationen von mehr als 300 ppm erreichen.

Ein Vergleich der Schwermetallgehalte in den Böden des Regensburger Stadtgebietes mit anderen Untersuchungen (LAGERWERFF u.a. 1970, PAGE u.a. 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.

6.2.2 Die Belastung 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 vorliegenden Arbeit die SO_2-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. Dennoch sind die Immissionswerte die einzig anwendbaren Richtgrößen, da sie verbindliche Maximalkonzentrationen festlegen und dadurch eine vereinheitlichte Beurteilung der Luftbelastung unterschiedlicher Gebiete erreicht wird.

Die Zuckerfabrik ist der Hauptemittent der Stadt; in der Betriebszeit zwischen Oktober und Dezember werden pro Stunde über 1 t Schadstoffe freigesetzt; mehr als die übrigen Betriebe zusammen ausstoßen. Besonders nachteilig wirkt sich aus, daß während der Kampagne der Zuckerfabrik Südostwinde und stabile Turbulenzverhältnisse 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. 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 Kohlenmonoxidraten frei.

Die Immissionsbelastung aus Feuerungsanlagen kann aber nicht allein anhand der Schadstoffmenge bestimmt werden. Zu berücksichtigen sind ferner die Wirkungen der verschiedenen Abgaskom-

ponenten, ihr Verhalten in der Atmosphäre sowie die unterschiedliche Quellhöhe. Die Emissionen des Hausbrands bestehen zu einem überwiegenden Anteil aus Kohlenmonoxid, das sich sehr rasch in der Luft verdünnt. Die Industrieabgase enthalten dagegen hauptsächlich Schwefeldioxid, das sich mit der Luftfeuchte zu der ätzenden und reizerzeugenden schwefeligen 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 des Turmkamins oberhalb der Sperrschicht freigesetzt werden. Und 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.

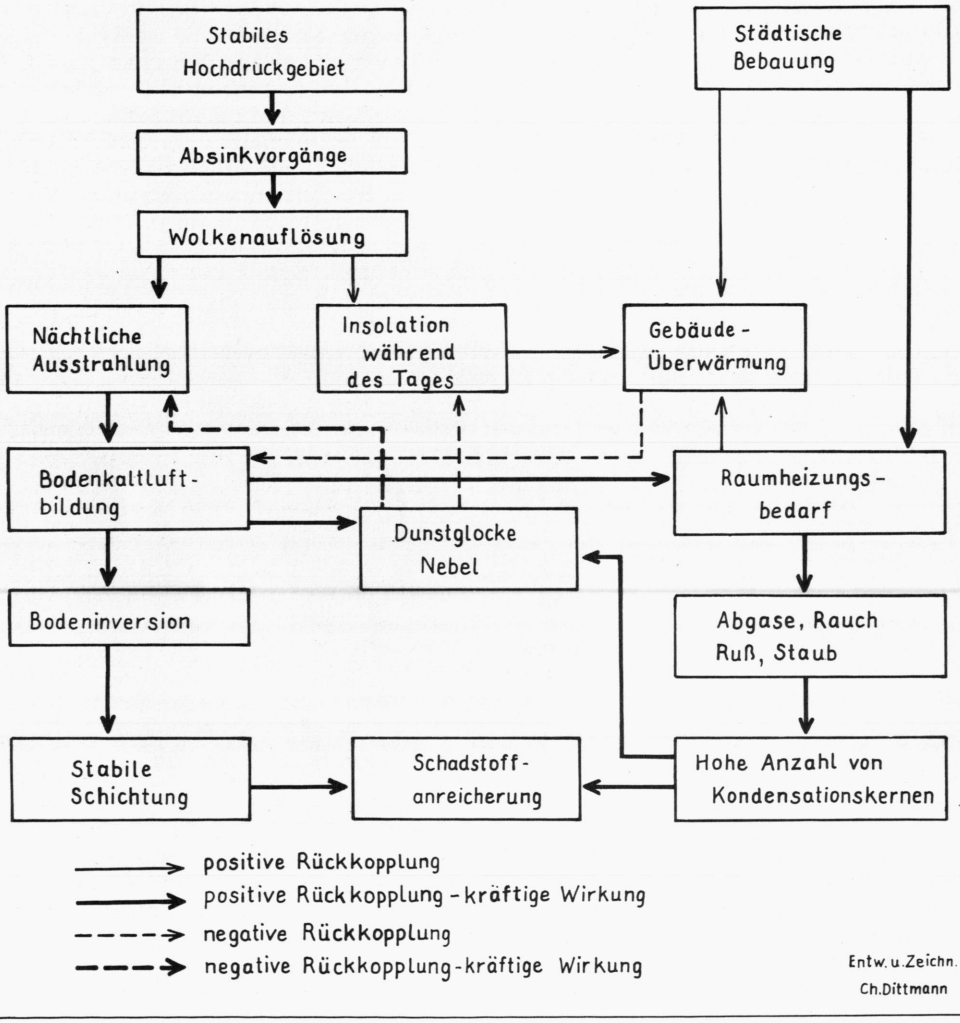
Die Flächenbelastung des Regensburger Stadtgebietes durch feuerungsbedingte Emissionen wurde anhand des Bodenschwefelgehaltes näher bestimmt. Die höchsten Schwefelkonzentrationen treten in der Altstadt auf; in den Randgebieten erfolgt ein kontinuierlicher Rückgang. Die Ursache dafür ist, daß im Stadtzentrum 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 Stadtosten 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-Immissionen 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 werden, ergaben, daß in Regensburg hohe Immissionen vor allem bei tiefen Lufttemperaturen auftreten. Dies 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 (Abb. 50).

Die SO_2-Konzentration hat sich in Regensburg zwischen 1975 und 1978 mehr als verdoppelt. In München sank dagegen die SO_2-Immission kontinuierlich ab und lag erstmals 1978 unter den in

Abb. 50 Die Beziehungen zwischen antizyklonalen Wetterlagen und der Schadstoffkonzentration in der Regensburger Bucht



Regensburg ermittelten Werten. Die Tatsache, daß die mittlere Schadstoffbelastung in Regensburg größer ist als in München, verdeutlicht die ungünstige lufthygienische Situation der Regensburger Bucht.

Der Tagesgang der SO_2-Konzentration in Regensburg variiert mit der Meßhöhe, wie ein Vergleich der Werte ergab, die im Donautal (Dachauplatz) und 100 m oberhalb der Regensburger Bucht (Plattform des Fernmeldeturms) 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 Sperrschicht, während die Emissionen aus Turmkaminen aufgrund der Rauchgasüberhöhung in größere Höhen vordringen und sich dort anreichern. In den Morgenstunden gelangen die Schadstoffe infolge der zunehmenden Turbulenz in Bodennähe. Tagsüber herrschen dann in der Höhe bessere Austauschbedingungen und geringere Abgaskonzentrationen. In bewölkten Nächten sind die Immissionen allgemein sehr niedrig und nehmen mit der Höhe ab.

Aus diesen Gründen steigen im Stadtzentrum (Dachauplatz) im Tagesgang die Werte in den Vormittagsstunden kurzfristig an, gehen um die Mittagszeit geringfügig zurück und erreichen am späten Nachmittag das Maximum. In den Abend- und Nachtstunden sinken die Konzentrationen kontinuierlich ab. Im Gegensatz dazu verläuft der Tagesgang 100 Meter oberhalb des Donautals. Nachts steigen die Immissionen stetig an und liegen höher als die Werte im Stadtzentrum. Gegen Morgen gehen sie rasch zurück und sind tagsüber sehr niedrig.

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

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 Immissionswerte nach der TA-Luft (IW-Werte) wurden in Regensburg teilweise überschritten. Mit dem Anstieg der Luftverunreinigung nahm auch die Anzahl der Tage mit überhöhten Immissionswerten zu. So wurde der IW_2-Wert (Kurzzeitbelastung) von 0,4 mg SO_2/m^3 von 1975 - 78 fünfmal überschritten, im Jahr 1979 bereits sechsmal. Aber nicht nur die Anzahl der Fälle steigt in wachsendem Maße an; auch die SO_2-Spitzenkonzentrationen erreichen immer höhere Werte. Das Maximum trat am 6.2.1979 mit 0,81 mg SO_2/m^3 (Meßstation Dachauplatz: Halbstundenmittelwert) ein. Da an der amtlichen Meßstation in der Isarstraße, die seit Ende 1978 in Be-

trieb ist, ähnlich hohe Werte zur gleichen Zeit verzeichnet wurden, handelt es sich bei den überhöhten Konzentrationen um flächenhafte Luftbelastungen. Die Messungen auf der Plattform des Fernmeldeturms ergaben, daß in austauscharmen Nächten der IW_2-Wert in höheren Luftschichten wesentlich häufiger überschritten wird. Das Maximum trat in den frühen Morgenstunden des 12.10.1979 auf und betrug mehr als 2 mg SO_2/m^3 (Meßzeitraum: September - Dezember 1979). Die Ursache dafür sind die Schadstoffanreicherungen unterhalb tiefliegender Inversionsschichten. Die Bewohner der Eigenheime an den Randhöhen und der oberen Stockwerke von Hochhäusern (besonders in Königswiesen) sind daher in Strahlungsnächten häufig höheren Schadstoffkonzentrationen ausgesetzt.

Kritischer zu bewerten ist die Überschreitung des IW_1-Wertes (Langzeitbelastung) von 0,14 mg SO_2/m^3, da längere Schadstoffeinwirkungen, auch bei geringeren Mengen, die menschliche Gesundheit stärker schädigen. Seit 1976 überstieg der Tagesmittelwert 18-mal den IW_1-Wert; davon allein 1979 11-mal. Die längste Periode mit recht hohen Immissionskonzentrationen ereignete sich im Januar 1979 und dauerte 7 Tage. Sie wurde durch eine antizyklonale Wetterlage mit klaren Nächten, sehr tiefen Temperaturen (Tagesmittel $<$ - 10° C) und schwachen Winden verursacht. Der bisher höchste Tagesmittelwert von 0,38 mg SO_2/m^3 trat am 18.2.1978 auf (Meßstelle Dachauplatz).

100 m oberhalb der Regensburger Bucht wurde auch der IW_1-Wert häufiger überschritten (Meßzeitraum: September - Dezember 1979). Das Maximum betrug am 12.10.1979 0,41 mg SO_2/m^3. An allen Tagen mit überhöhten Immissionskonzentrationen herrschte antizyklonaler Wettereinfluß.

Das Stadtgebiet von Regensburg ist als Belastungsgebiet ausgewiesen. Anhand des Entwurfs zur Bayerischen Smogverordnung wurde überprüft, wie groß die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten einer Smogsituation beurteilt werden muß. Bisher hat sich in Regensburg kein Smogfall ereignet. Aber am 6.2.1979 erreichten die Meßwerte an den Stationen Dachauplatz und Isarstraße für zwei Stunden Konzentrationen $>$ 0,6 mg SO_2/m^3. Bei längerer Andauer wäre das Auslösen von Alarmstufe 1 möglich gewesen.

100 m oberhalb der Regensburger Bucht (Plattform des Fernmeldeturms) stiegen die Meßwerte jedoch auf Konzentrationen oberhalb der Smogalarmstufen. Im Meßzeitraum von September bis Dezember 1979 traten in austauscharmen Strahlungsnächten insgesamt 4 Fälle auf, in denen die Smogalarmstufen zum Teil erheblich überschritten wurden. In der Nacht vom 24. - 25.11.1979 kamen für 16 Stunden SO_2-Immissionen $>$ 0,6 mg/m^3 vor (= 1,5-fache Überschreitung des Basiswertes von 0,4 mg SO_2/m^3). Alarmstufe 1 kann bereits ausgelöst werden, wenn eine derart hohe Schadstoffkonzentration länger als drei Stunden anhält. Am späten Abend des 24.11. wurde für mehrere Stunden eine dreifache Überschreitung des Basiswertes registriert (Alarmstufe 2).

Und am frühen Morgen des 12.10.1979 war der Basiswert für 3 Stunden sogar um das 4,5-fache überschritten (Alarmstufe 3). Vom Eintreten eines Smogfalls kann jedoch deshalb nicht gesprochen werden, da die Meßstationen im Donautal keine überhöhten Werte registrierten.

Die Tatsache, daß die Stadt bisher von einer Smogsituation verschont blieb, gibt jedoch keinerlei Anlaß für eine optimistische Einschätzung der lufthygienischen Verhältnisse. Zum einen überschreiten die Schadstoffkonzentrationen, bei denen Smogalarm ausgelöst wird, die gesetzlich festgelegten Toleranzschwellen. Das bedeutet, daß Smogalarm erst dann gegeben wird, wenn die Luftverunreinigung bereits gesundheitsgefährdend ist. Zum anderen nahm die Schadstoffkonzentration in Regensburg in den letzten Jahren zu. Erfolgt der Anstieg in Zukunft ebenso rasch wie von 1975 - 78, so ist das Eintreffen einer Smogsituation möglich. Da in Regensburg die Immissionsbelastung zum großen Teil durch den Hausbrand hervorgerufen wird, bieten die Schutzvorschriften der Smogverordnung keine Möglichkeit zur Reduzierung der Schadstoffanreicherung. Die Verbesserung der Luftqualität bleibt somit einem Wetterwechsel überlassen.

Die Tatsache, daß das Eintreten eines Smogfalls in Regensburg möglich ist, bringt am deutlichsten die Überlastung der lufthygienischen Verhältnisse zum Ausdruck. Die Belastbarkeitsgrenzen des atmosphärischen Wirkungskomplexes sind im Geosystem Regensburg bereits überschritten. Das System kann keine weiteren Schadstoffemittenten mehr verkraften. Notwendig wäre daher die Reduzierung der gegenwärtigen Emissionsraten. Die Ursache der hohen Schadstoffbelastung trotz der relativ geringen Industrialisierung ist 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 durch Windströmungen stärker verdünnt und wegtransportiert. In Regensburg sammeln sich dagegen die Abgase häufig innerhalb sehr flacher Bodeninversionen, die in klaren Nächten durch die Buchtlage besonders oft auftreten.

6.3 Schadwirkungen der Luftverunreinigungen in Regensburg

Sichtbarer Ausdruck für die Überlastung des Systems 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.

6.3.1 Die Zerstörung wertvoller 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. Analysen von Gesteinen betroffener Gebäudefassaden 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 schwefelige Säure und Schwefelsäure, die den Kalk in Gips umwandeln. Da Gips in Wasser leicht 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.

Die Analysen ergaben ferner, daß Sandsteine, die weniger fest gebunden sind als Kalke, bereits bei Gipsgehalten von mehr als 35 % (= ca. 80.000 ppm S) abplatzen, während Kalksteine erst bei mehr als 50 % Gips (= ca. 120.000 ppm S) zerfallen. Kleinste Lebewesen, die sich hinter den Gesteinsplättchen ansiedeln, beschleunigen die Zerstörung.

Für die Erhaltung des Regensburger Domes und anderer mittelalterlicher Kunstwerke hat die Kalksteinzerstörung schwerwiegende Folgen. Die bislang ausgeführten Sanierungsarbeiten, bei denen geschädigte Sandsteine durch Kalksteine ersetzt werden, sind daher auf die Dauer erfolglos. Die Rettung der mittelalterlichen Kulturgüter ist deshalb nur durch eine umfassende Reduzierung der Schwefelemissionen möglich.

6.3.2 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 Flechtenwuchs immer stärker verkümmert. Flechtenwüsten bestehen in der Altstadt sowie im Stadtosten in der Nähe der Zuckerfabrik, in Schwabelweis im Einflußbereich eines Chemiewerks und westlich des Regens bei einer ehemaligen Ziegelei. Die Ursache dieser Wuchsbeschränkungen ist vor allem die Versauerung der Niederschläge in

den Wintermonaten durch die Schwefelimmissionen sowie punktuell die Einwirkung von Fluorwasserstoffgasen.

Besonders schwere Pflanzenschäden traten von 1968 bis 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 die Anlage stillgelegt.

Sehr häufig sind Schäden an den Laubbäumen im Stadtzentrum und an Ausfallstraßen festzustellen. Linden, Kastanien und Ahorne 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 Luftverunreinigungen 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.

6.3.3 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 außerdem die reizerzeugende Wirkung von Schwefelsäure, die sich durch Umwandlung der SO_2-Emissionen in feuchter Luft bildet. Bei mehrtägigen austauscharmen Wetterlagen übersteigen die Schwefelkonzentrationen zum Teil die Grenzwerte und können besonders bei resistenzschwachen Personen, Kindern und älteren Menschen, akute und chronische Erkrankungen auslösen.

Zum anderen verursachen erhöhte Schadstoffanreicherungen gesundheitliche Beschwerden oder belästigende Wirkungen. In den engen Durchfahrtsstraßen der Altstadt treten bei austauscharmen Wetterlagen zur Berufsverkehrszeit zum Teil überhöhte Kohlenmonoxidkon-

zentrationen auf, die im Zusammenwirken mit unangenehm riechenden, organischen Abgaskomponenten Übelkeit hervorrufen können.

Durch die Emissionen einzelner Industriebetriebe treten zusätzlich örtlich 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 unangenehm ist die lufthygienische Situation dort an warmen Frühlingstagen bei antizyklonalem Wettereinfluß. In den Abendstunden 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. 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 Stillegung der Anlage im August 1979 lebten die Bewohner in Angst vor einer Giftgaskatastrophe. Am 20.11.1975 mußten die Anlieger nach einem Gasausbruch für etwa zwei Stunden evakuiert werden.

Belästigungen 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 SO_2 die toxische Wirkung von Hausbrand- und Industrieemissionen.

6.4 Die Gesamtbelastung des atmosphärischen Wirkungskomplexes im Raum Regensburg

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. Die Blockierung von Frischluftschneisen schränkt den Luftaustausch bei stabiler Schichtung ein, und durch die erhöhte Oberflächenrauhigkeit der Bebauungszone werden Luftströmungen abgebremst, was die dynamische Turbulenz und die Durchmischung in den unteren Luftschichten reduziert. Die hohen Schadstoff-

emissionen, die im Spätherbst und Winter durch Feuerungsanlagen freigesetzt werden, erhöhen die Häufigkeit und Andauer des Nebels. An heißen Sommertagen belastet die Gebäudeüberwärmung im Stadtzentrum Anwohner und Berufstätige. Grünzonen innerhalb der Wohngebiete verursachen nur einen geringen Temperaturausgleich. Durch die fortschreitende Bebauung von Freiflächen und die Zerstörung der Feuchtbiotope an den Flußufern werden die Wirkungen des Stadtklimas verstärkt.

Aufgrund der natürlichen, lokalklimatischen Verhältnisse ist die Belastbarkeit des Systems im Hinblick auf Luftverunreinigungen sehr gering. Die lufthygienische Überlastung des Raumes zeigt sich deutlich an der zunehmenden Überschreitung der Immissionswerte. Diese starken Luftverunreinigungen sind zum großen Teil 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.

Da die engen Straßen der Altstadt vom Verkehr überlastet sind, können dort bei windschwachem Wetter Kohlenmonoxidanreicherungen auftreten, die die verbindlichen Toleranzschwellen überschreiten. Kinder, die resistenzschwächer sind, sind wegen der geringen Atemhöhe besonders bei zähflüssigem Verkehr höheren Abgaskonzentrationen ausgesetzt als Erwachsene. Sichtbarer Ausdruck für die lufthygienische Überlastung des Geosystems Regensburg sind die Gesteinszerstörungen an mittelalterlichen Kunstwerken, Schäden an Pflanzen und Beeinträchtigungen der Gesundheit der Regensburger Bürger. Es ist daher dringend 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 unumgänglich, die Schadstoffproduktion von Industrie und Hausbrand durch eine umfassende Umstellung auf emissionsarme Energieträger und den Einbau von Rauchgasentschwefelungsanlagen bei Großemittenten erheblich zu verringern. Eine Erweiterung der verkehrsfreien Zonen in der Altstadt würde die Belastung von Passanten durch Fahrzeugabgase reduzieren. Aufgrund der klimatischen Situation ist die Stadt Regensburg auch nicht, wie im Bayerischen Landesentwicklungsprogramm (30.4.1976) vorgesehen, als Ausgleichsraum für die überbelasteten Agglomerationen München und Nürnberg geeignet. Das Geosystem kann keine zusätzlichen Schadstoffemittenten mehr verkraften. Im Interesse der Bevölkerung und zum Schutz des Lebensraumes ist es in Regensburg notwendig, die Belange der Luftreinhaltung mehr als bisher bei der Planung zu berücksichtigen.

A N H A N G

Tab. 23: Die relative Häufigkeit der Großwettertypen in der Bundesrepublik (1951 – 70)

GT	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
W	26,6	23,4	21,4	18,5	15,9	27,4	29,3	34	28,5	23,7	22,3	29,8	25
SW	10,6	7,4	6,1	6,8	7,4	4,5	4,8	7	7,8	11,6	6,8	5,3	7,2
NW	7,9	7,1	8,8	6,5	6,5	8,8	16,6	6,6	9,2	5,6	4,8	5,3	7,9
HM	14,4	12,2	13,1	12,9	9,5	13,6	15,9	14,7	17,5	23,3	17,2	19	15,3
TM	1	3,9	3,2	5	1,3	1,8	1,9	2,4	1,5	1,8	2,5	0,6	2,2
N	17,1	21,6	16,4	20,8	25,3	16,5	10,8	9,3	12,1	10,9	14,3	17,5	16,1
E	17,3	16,3	23,4	17,4	22,5	20,4	12,4	13,5	11,2	10,3	13,4	14	16
S	4,9	7,6	7,1	10,5	9,8	6,2	7,4	11,6	10,7	12	18	7,6	9,6

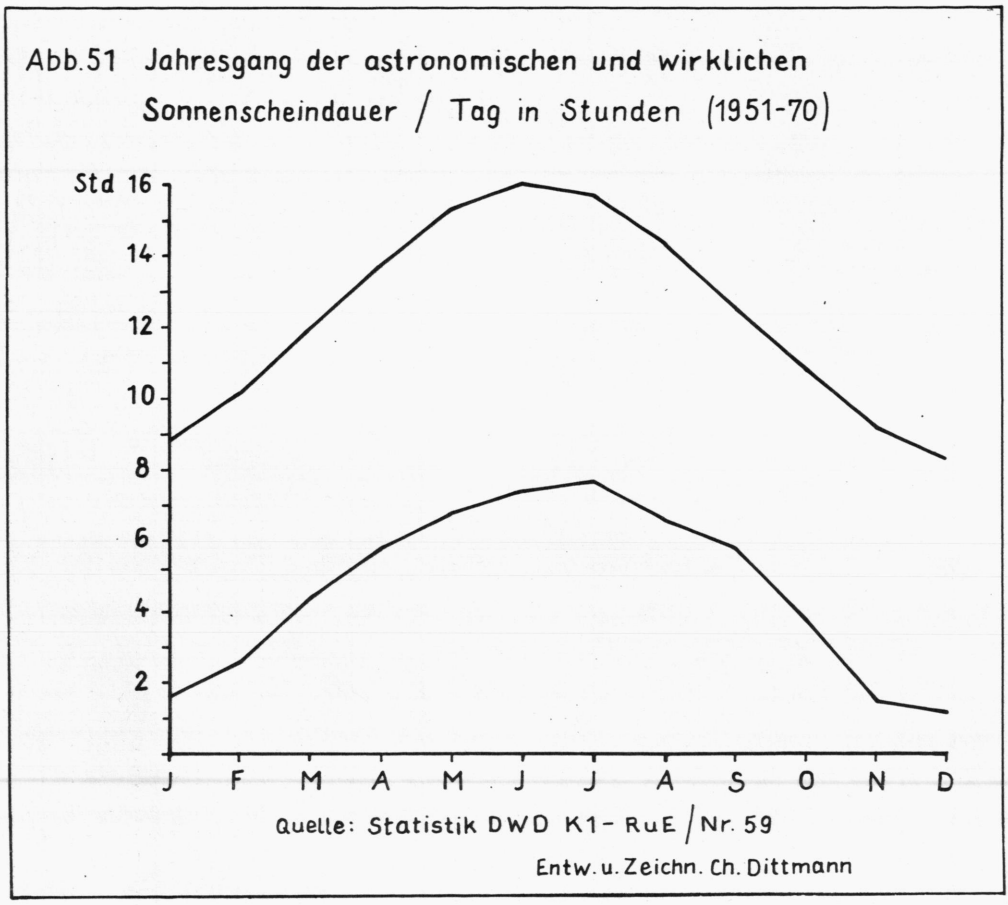
zonale Zirkulationsform: W
gemischte Zirkulationsform: SW, NW, HM, TM
meridonale Zirkulationsform: N, S, E

Quelle: Statistik DWD

Tab. 24: Die Sonnenscheinverhältnisse in Regensburg (1951 – 70)

Sonnenschein-dauer		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	1951-70	1951-60	1961-70
astronomische S.																
	Std	271,4	284,1	368,5	411,2	473,9	484,0	488,2	445,5	378,9	335,5	276,0	257,8	4475		
	Std/Tag	8,8	10,1	11,9	13,7	15,3	16,1	15,7	14,4	12,6	10,8	9,2	8,3	12,2		
mittlere S.	Std	52,6	74,4	137	137,9	210,5	223,1	238,4	204,8	174,6	118	44,5	37,1	1689	1691	1686
	Std/Tag	1,7	2,6	4,4	5,8	6,8	7,4	7,7	6,6	5,8	3,8	1,5	1,2	4,6	4,6	4,6
Tage mit S.	≥ 10 Std			2,5	6,2	9,3	10,2	11,2	8,2	5,5	0,9			53,9	55,3	52,4
	≥ 5 Std	3,2	6,6	13,6	16,6	19,3	19,7	21,8	19,4	17,1	11,2	3,2	2,4	153,7	153,2	154,1
Tage ohne S.		12,8	8,8	5,1	2,9	2,1	2	1,2	1,5	2	6,4	13,8	16,9	75,2	77,5	72,9

Quelle: nach Statistik DWD – Klimabeobachtungen K 1 – RUE / Nr. 59



Tab. 25:
Mittlere Sonnenscheindauer in % der Gesamtstundenzahl – Täglicher Gang nach wahrer Ortszeit (1951 – 70) – (Isoplethen)

Stunde	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Januar								0	4	14	22	28	30	29	26	15	1							
Februar								3	17	27	32	35	36	37	35	29	13	0						
März							2	20	36	42	46	49	50	51	50	47	37	12	0					
April						2	22	40	49	52	54	54	54	55	53	51	47	36	11	0				
Mai					1	17	39	49	55	57	56	56	55	55	53	52	49	45	34	5				
Juni					4	29	47	52	56	59	60	57	56	56	56	55	52	49	41	15	0			
Juli					1	24	45	54	57	59	60	59	60	61	60	58	58	55	46	12				
August					0	6	30	44	52	57	59	59	57	57	56	56	54	49	24	1				
September						0	9	32	45	53	58	60	62	61	60	58	53	29	2					
Oktober							0	9	23	34	40	46	49	50	48	45	32	3						
November								0	4	13	19	23	24	25	22	16	3							
Dezember									1	9	16	20	22	22	20	9	0							

Quelle: Statistik DWD K 1 – 371246

Tab. 26: Die Bewölkungsverhältnisse in Regensburg (1951 – 70)

Bewölkungsgrad	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	1951 -70	195 -60	1961 -70
Bewölkung in %	78	75	65	63	64	63	59	62	56	64	82	82	68	68	68
um 7^{h}*	83	80	71	68	64	60	59	65	63	75	87	85	72	72	72
um 14^{h}*	78	76	67	69	70	67	63	67	59	63	82	81	70	71	70
um 21^{h}*	73	69	56	53	57	61	55	53	46	53	78	80	61	60	62
Zahl der heiteren Tage	1,7	2,4	4	3,3	2,6	3,3	3,8	3	6,2	4,9	1,4	1,7	38	39	37
Zahl der trüben Tage	18,1	16	12,8	10,5	9,9	9,8	8,4	9,5	9,1	12,6	20	21	157,5	155	159

*: mittlerer Ortszeit (MOZ); in Regensburg: + 21 Min. 20 sec

Quelle: nach Statistik DWD: Klimabeobachtungen K 1 – RUE / Nr. 59

Tab. 27: Der mittlere Bewölkungsgrad/Monat in Regensburg (1951 – 70)

Bewölkungsgrad in %	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
0	2	3,9	4,7	1,5	0,3	0,2	0,6	1	4,3	5,8	0,8	2,6	2,3
1 - 9	1,7	2,3	4,3	5,2	2,7	3,2	4,7	4	8,3	5	2,7	1,6	3,8
10 - 19	1,4	2,3	3,9	4,2	5,3	7,5	6,9	4,5	8	4,8	1	1,1	4,2
20 - 29	1,1	0,9	3,7	5	6,2	4,3	5,5	4,8	4,2	2,6	0,2	1,6	3,4
30 - 39	5,6	4,4	8,2	6,8	5,8	4,7	8	6,5	6	7,2	2,3	2,7	5,7
40 - 49	3,5	3,5	4,8	6	8	8,8	8,9	11,4	8,8	6	4,7	2,6	6,4
50 - 59	5,3	6	7	11,3	9,6	12	9,8	10,5	10,2	5,5	4,7	5,2	8,1
60 - 69	7,9	11	9,6	12,5	13,4	11,8	13	13,5	10,7	11,1	7,5	5,8	10,7
70 - 79	9,7	6	8,7	10	13,2	11,8	11,1	10,6	6,2	8,5	7,7	7,4	9,3
80 - 89	8,9	9,4	10,6	7,7	9,8	9,5	12	9,8	9,3	9,7	7,2	6,6	9,2
90 - 99	20,8	22,5	17,9	18,8	15,1	19,2	13,7	17,2	16,5	19	23,5	18,9	18,6
100	31,8	27,8	16,2	11	10,2	7	5,5	6	7,5	14,7	37,8	43,9	18,2

Quelle: nach Statistik DWD K 1 – 371648 – Klimabeobachtungen

Tab. 28:
Der mittlere Bewölkungsgrad in % in Abhängigkeit von der Windrichtung in Regensburg (1951 – 70) – Bewölkungswindrose

	C	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	Ges.
Januar	65,6	64,3	75,6	87,3	84,6	83	80,3	75	76,3	77
Februar	67	52,3	70	86	87,6	78	82,6	73,3	77	75
März	53	52,3	52	62,6	63,6	67,6	74,3	73,6	67	64
April	55,3	62	46,6	63,3	68,6	68,3	67	68,3	77,3	63,3
Mai	65	55	45,6	53,6	65	71	72	72	71,6	63,6
Juni	60	51,3	52,6	55	66,3	69	75,6	70,3	60	62,3
Juli	55	58,6	40,6	41,3	62	67,3	68,3	63	58	57
August	67,6	58,6	51	51,3	65	64,6	67,6	64,6	69,6	61
September	52	45,6	49,3	46	64,6	63,3	63,6	60	63,6	56
Oktober	63,6	54	55,3	67	73	68,3	69,3	67,6	67,6	64,6
November	79,6	75,6	85,3	84	83,3	80,6	84,3	80,6	90,3	86
Dezember	76,6	71,6	88	87	78,6	88,3	82,6	78,3	73,6	80,6
Jahr	62,5	58,4	59,3	65,3	71,8	72,4	73,9	70,3	70,9	67,2

Tab. 29:
Der mittlere Bewölkungsgrad in % in Abhängigkeit von der Windrichtung zu den Beobachtungsterminen (1951 – 70) – Bewölkungswindrose

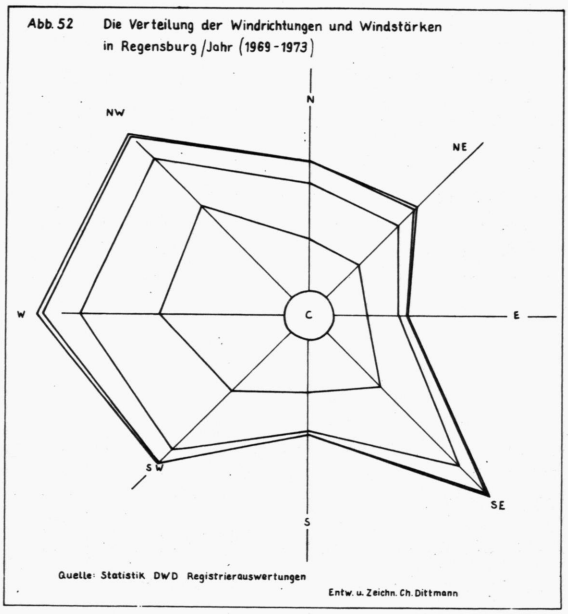
	C	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	Ges.
7^h MOZ	61,8	63,4	71,2	77	79,5	70,8	76,1	67,5	73,4	71,8
14^h MOZ	78	60,9	54	57,9	66,3	77,9	82,8	77,9	27,7	69,2
21^h MOZ	54	51,1	52,8	61,1	69,8	62,6	63	64,9	66,9	60,8

Quelle für Tab. 28, 29: nach Statistik DWD K 1 – 371248 – Klimabeobachtungen

Tab. 30: Die Windverhältnisse in Regensburg (1951 – 70)

Windverhältnisse	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	1951 -70	1951 -60	1961 -70
Mittlere Windstärke in Bft	2,1	2,1	2,2	2	2	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,9	1,9	1,9	2	1,8
Mittlere Windstärke in m/sec															
7^h MOZ	2,6	2,6	2,4	2,1	2	1,8	1,7	1,5	1,5	1,8	2,3	2,4	2,1	2,2	1,9
14^h MOZ	3,3	3,7	4,1	4,1	3,9	3,5	3,6	3,4	3,3	3	3,1	3,1	3,5	3,9	3,1
21^h MOZ	2,7	2,6	2,6	2,2	2,1	1,8	1,7	1,6	1,8	1,7	2,2	2,5	2,1	2,3	1,9
Tage mit Windstärke 6 Bft	2,8	2,8	3	3,2	2,8	2	1,8	2,1	1,7	1,1	1	1,7	25,8	49,2	2,3
Tage mit Windstärke 8 Bft	0,7	0,4	0,6	0,5	0,4	0,2	0,2	0,3	0,5	0,3	0,1	0,4	4,3	8,4	0,2

Quelle: nach Statistik DWD – Klimabeobachtungen K 1 – RUE / Nr. 59



Tab. 31: Die mittlere Anzahl der Windrichtungen und Windstärken nach Bft in % in Regensburg (1969 – 73) Stärkewindrose – Jahr

Windstärke in Bft	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Gesamt
1	3,8	3,4	2,6	5,6	3,9	6,2	9,4	9,6	44,6
2	4,2	4	2,2	8,3	2,8	5,2	5,8	5	37,7
3	1,5	1,8	0,6	2,8	0,4	1,4	2,8	2,3	13,7
4	0,2	0,3	0,06	0,3	0,04	0,2	0,5	0,3	1,9
5	0,04	0	0	0,09	0	0	0,03	0,02	0,2
Gesamt	9,7	9,6	5,4	17,2	7,2	13	18,5	17,3	98,2

C = 1,8%

Tab. 31.1 – 31.12: Die mittlere Anzahl der Windrichtungen und Windstärken nach Bft in Std. in Regensburg (1969 – 73) Stärkewindrosen

Tab. 31.1: Stärkewindrose – Januar

Bft	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Σ
1	37	44,1	34,7	69,2	24,1	36,8	48,8	49,3	344
2	26,4	28	42,6	96,6	19,2	16,4	26,6	15,3	266
3	5,8	8,3	15,9	51,4	7,4	7,4	3,6	4,7	107,4
4	0,3	3,2	0,9	3,4	1,1		0,4	0,4	9,8
5									
									727
%	9,3	11,2	12,6	29,6	7,3	8,1	9,9	9,3	

C: 16,8 Std. = 2,2%

Tab. 31.2: Stärkewindrose – Februar

Bft	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Σ
1	24,4	20,7	9,6	30,1	19,1	39,5	34,6	33,4	211,4
2	27,4	23	13,2	62,6	16,9	52,7	53,4	35	284,2
3	14,4	6	3,4	32	4,5	22,4	34	17	134
4	3,1	2,1		8	1,6	2,1	8,7	5,2	30,8
5	0,1			0,4			1,2	0,5	2,2
									662
%	10,3	7,7	3,8	19,7	6,2	17,3	19,5	13,5	

C: 14,2 Std. = 2,1%

Tab. 31.3: Stärkewindrose – März

Bft	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Σ
1	27,7	25,3	18,4	28,8	14,4	23	42,9	54,1	234,6
2	45,2	55,6	21	53,4	14,3	34	42,7	35,9	302,2
3	18	44,6	8,3	21,9	2,3	15,7	32,6	16	159,4
4	3,8	9,6	1,7	3,5	0,1	3,5	8,7	4,5	35,4
5	1,6	0,2		1,6					3,4
									735
%	12,9	18,1	6,6	14,6	4,1	8,5	17	14,8	

C: 9 Std. = 1,2%

Tab. 31.4: Stärkewindrose – April

Bft	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Σ
1	14	10,2	9	17,1	10,6	33,1	46,8	52,8	193,6
2	31,2	31,5	13,6	38,4	16	56,2	57,5	44,2	288,6
3	40,3	38,5	5,6	22,1	6,1	27,1	51,2	39,6	199
4	3,2	7,5	1,9	1,7	0,3	2,8	8,9	6,3	32,2
5	0,6			1,2			0,5	0,1	2,6
									716
%	10,1	10	4	11,2	4,5	16,5	22,9	19,8	

C: 4 Std. = 0,5%

Tab. 31.5: Stärkewindrose – Mai

Bft	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Σ
1	27,4	22,1	14	30,2	23	50,1	82,8	77,6	327,2
2	34,1	24,4	13	73,4	23,5	42,8	49,8	48,2	309,2
3	8,7	13,5	2,3	19,1	2	5,5	13,7	20,6	85,4
4	0,3	1,6	0,7	4,5	0,1		0,6	1,2	9
5			0,2	4,1	0,1				4,4
									735,2
%	9,4	8,2	4	17,6	6,5	13,2	19,7	19,8	

C: 8,8 Std. = 1,1%

Tab. 31.6: Stärkewindrose – Juni

Bft	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Σ
1	29,3	28,1	14,9	25,4	22,2	48,7	100,6	96,2	365,4
2	38,9	37,7	12,6	42,6	19,2	27,3	34	58,5	270,8
3	11,6	13,9	4,2	12,8	1	0,8	6,4	22,9	73,6
4	0,6		0,3	1,9			0,6	1	4,4
5									
									714,2
%	11,1	11	4,4	11,4	5,8	10,6	19,6	24,8	

C: 5,8 Std. = 0,8%

Tab. 31.7: Stärkewindrose – Juli

Bft	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Σ
1	31,1	22,8	17,7	28	31,5	60,4	109,9	106,8	408,2
2	36,7	23,3	11,2	47,9	21	33,2	38,5	59	270,8
3	7	2,2	1,8	16,5	2,2	0,8	4,4	18,9	53,8
4				1,2				0,6	1,8
5									
%	10	6,5	4,1	12,6	6,4	12,7	20,5	24,9	734,6

C: 9,4 Std. = 1,3%

Tab. 31.8: Stärkewindrose – August

Bft	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Σ
1	32,2	25	21,5	44,7	25,5	57,4	107	107,2	420
2	28,2	27,4	18,8	54,6	14,3	31,2	36,5	46	257
3	12,8	6,2	3,8	10,6	1,2	0,4	2,1	13,1	50,2
4	0,1	0,4	0,6	1			0,1	1	3,2
5									
%	9,9	7,9	6	14,9	5,5	12	19,5	22,5	730,4

C: 13,6 Std. = 1,8%

Tab. 31.9: Stärkewindrose – September

Bft	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Σ
1	30,8	28,5	22,5	49,4	35	56,1	95,7	114,6	432,6
2	39	33	11,1	51,1	18,7	26,3	21,6	32,8	233,6
3	7,3	7,5	1,6	6,1	0,3	0,4	3,6	8,8	35,6
4	1	0,2							1,2
5									
%	10,8	9,6	4,9	14,8	7,5	11,5	16,8	21,7	703

C: 17 Std. = 2,4%

Tab. 31.10: Stärkewindrose – Oktober

Bft	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Σ
1	35,8	36	28,9	60	32,8	45,5	77	91	407
2	18,2	27,8	16,3	56,3	20,6	39	50	27,1	255,4
3	5,1	8,1	2,4	7,9	0,1	2,8	19,7	10,9	57
4	0,8			1,2			0,6	0,8	3,4
5									
%	8	9,6	6,4	16,8	7,2	11,7	19,8	17,4	722,8

C: 21,2 Std = 2,8%

Tab. 31.11: Stärkewindrose – November

Bft	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Σ
1	11,3	9	12,6	40,3	47,2	52,7	43	23,1	239,2
2	11,8	3,7	7,2	69,9	32,9	68,3	72,6	26,6	293
3	9,8	5,4	1,5	30,2	6,2	22,4	51,3	22,2	149
4	2,2	1,5		3,1	0,2	5	9,9	4,5	26,4
5				0,8		0,5	1,1	0,6	3
%	4,8	2,7	2,9	20	12	20,6	24,6	10,7	710,6

C: 9,4 Std = 1,9%

Tab. 31.12: Stärkewindrose – Dezember

Bft	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Σ
1	25,1	29,1	23,8	68,6	56,2	46,2	36	38,4	323,9
2	32,1	37,6	14	84,6	30,5	27	31	15,2	272
3	7,7	17,9	2,6	17,4	1,7	14,9	26,4	11	97,8
4	1	1,2	0,2	1,6		2,4	4,6	4,2	15,2
5	0,4						0,1	0,7	1,2
%	8,9	11,6	5,5	23,1	11,9	12,1	13,2	9,3	711,4

C: 32,6 Std = 4,4%

Quelle Tab. 31 – 31.12 nach: Statistik DWD – Registrierauswertungen

Tab. 32: Die Häufigkeit einer Windstärke in Bft/Monat in % (1969 – 73)

Windstärke in Bft	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
C	2,2	2,1	1,2	0,5	1,9	0,8	1,3	1,8	2,4	2,8	1,3	4,4	1,8
1	46	31	31	27	44	51	55	56	60	55	33	43	45
2	36	42	40	40	42	38	36	35	32	34	41	36	38
3	14	20	21	28	11	10	7	7	5	8	21	13	14
4	1,3	4	5	4	1	0,6	0,2	0,4	0,1	0,4	4	2	2
5		0,3	0,4	0,3	0,6						0,4	0,1	0,2

Tab. 33: Die Verteilung der Windstärken in Bft in % auf die Jahreszeiten

Windstärke in Bft.	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	Gesamt
C	13	18	30	39	100
1	19	31	28	22	100
2	27	24	24	25	100
3	37	15	20	28	100
4	44	6	18	32	100
5	62		19	19	100

Quelle Tab. 32, 33 nach: Statistik DWD – Registrierauswertungen

Tab. 34: Stündliche mittlere Windgeschwindigkeiten in m/sec pro Monat und Jahr (1969 – 73)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Tag
Januar	1,7	1,7	1,7	1,8	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,0	2,1	2,2	2,2	2,1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9
Februar	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	8,2	2,5	2,7	2,9	3,1	3,0	3,0	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,4
März	2,0	2,0	2,1	2,0	2,1	2,0	2,1	2,1	2,2	2,6	2,9	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,3	2,9	2,5	2,2	2,1	2,0	2,1	2,1	2,5
April	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,4	2,8	3,1	3,3	3,4	3,6	3,7	3,7	3,6	3,5	3,4	3,0	2,5	2,2	2,0	2,0	2,0	2,7
Mai	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,3	1,5	1,8	2,2	2,4	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8	2,7	2,7	2,6	2,3	1,9	1,4	1,3	1,3	1,2	1,9
Juni	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,5	1,8	2,1	2,2	2,4	2,5	2,6	2,5	2,5	2,6	2,4	2,1	1,8	1,4	1,2	1,1	1,1	1,7
Juli	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,1	1,3	1,6	1,9	2,1	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,3	2,0	1,5	1,2	1,1	1,0	1,0	1,6
August	1,1	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	1,2	1,6	1,8	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,2	1,8	1,4	1,3	1,1	1,0	1,1	1,5
September	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,4	1,7	1,9	2,0	2,2	2,2	2,2	2,1	2,0	1,7	1,4	1,2	1,0	1,0	0,9	0,9	1,4
Oktober	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,5	1,7	2,0	2,2	2,3	2,2	2,2	2,1	1,9	1,6	1,5	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,6
November	2,3	2,3	2,2	2,3	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	2,8	2,8	2,7	2,6	2,4	2,3	2,3	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4
Dezember	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9
Jahr	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,5	2,3	2,1	1,8	1,6	1,6	1,6	1,6	2,0

Quelle: Statistik DWD K 1 – 371638 – Registrierauswertungen

Tab. 35: Die mittlere Häufigkeit der Andauerstufen von Windgeschwindigkeiten < 3 m/sec (1969 – 74)

Monate	Andauerstufen in Std.										Anzahl	Gesamt Stunde in %
	1	2-3	4-6	7-9	10-14	15-19	20-24	25-48	49-96	96		
Januar	8,2	5,8	3,3	1,1	2,3	1	0,5	2,6	1,6	1,6	28,3	80
Februar	12,3	9	4,5	2,3	3,2	2	1,5	2,3	1,5	0,6	39,3	67
März	9,6	7,5	5,8	2,3	4,1	4	2,5	2,5	1,3	0,5	40,3	65
April	10	11,2	5,8	4,7	5,8	4,5	2,5	3	0,5	0	48	61
Mai	7,2	4,2	3,6	2	4,5	4,3	4	5,5	2	0,2	37,5	84
Juni	6	3,2	2	2	3,3	3,2	3,8	3,3	3,2	0,6	30,7	89
Juli	5,8	2,3	2	1,6	2,6	3,3	3,5	4,2	2,3	0,6	28,5	85
August	5,2	2,1	2	1,5	2,8	3,7	3	3,8	2,3	1,3	27,8	94
September	2,6	3,2	1,3	1	1	3	1,8	3	2,3	1,6	21	99
Oktober	5,3	3,5	2,3	0,6	1,6	2,3	3,3	2,1	1,8	1,3	24,5	80
November	9,8	7,8	6	2,6	3,5	1,8	2	2,2	2,1	0,6	38,3	67
Dezember	9,5	4,1	4,3	2,3	0,6	1,3	0,8	2,6	1,5	1,6	28,8	76
Jahr	91,6	64	43,1	24,3	35,6	34,5	29,3	37,1	22,3	11	339,1	79

Quelle: nach statistischen Daten des DWD – K 1 – 371709 (Registrierauswertung stündlicher Werte)

Tab. 36: Die Temperaturverhältnisse in Regensburg in 2 m Höhe und am Erdboden (1951 – 70)

Temperaturverhältnisse	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	1951-70	1951-60	1961-70
Temperaturmittel	-2,5	-1,2	3	8,3	12,5	16,3	17,7	16,6	13,5	8,4	3,2	-0,9	7,9	7,9	7,9
Tage mit Temperaturmittel < 0°	20,5	14,9	7,3	0,3						0,3	5,3	16,2	64,6	60,4	68,7
(Heiztage) < 12°	31	28,3	30,8	24,4	14,5	3,4	1,2	1,4	9,7	26,4	29,9	31	231,6	232,9	230,3
≥ 20°					0,7	4,4	8,3	4,7	0,5				18,5	16,1	20,9
≥ 25°							0,8	0					0,8	1,1	0,5
Tage mit Minimum: ≤ -10°	6,3	4,7	1								0,2	3,6	15,6	14,5	16,6
(Frosttage) ≤ 0°	26,3	21,5	17,2	6,2	0,8				0,2	4,1	12,8	23,4	112,3	115,8	108,8
Tage mit Maximum:															
(Kalte Tage) ≤ -10°	0,6	0,5										0,4	1,5	1	1,9
(Eistage) < 0°	14,3	8,6	1,4								2,1	10,8	37,1	32,8	41,4
(Sommertage) ≥ 25°				0,6	2,5	8,7	12,1	9,2	3,4				36,3	36,2	36,3
(Heiße Tage) ≥ 30°					0	0,7	2,9	1,9	0				5,5	4,6	6,4
Tage mit Erdbodenminimum: ≤ -10°	7,7	6,2	2								0,6	4,8	21,2	18,7	23,6
(Frosttage) < 0°	27,5	23,4	20,7	10,2	2,2	0			1	7,5	15,2	24,9	132,6	136,9	128,2
Mittlere tägliche Erdbodenminima	-6,4	-5,5	-2,6	1,7	5,5	9,4	10,9	10,2	7,2	3,1	-0,3	-4,2	2,4	2,4	2,4

Quelle: Statistik DWD K 1 – RUE Nr. 59 (Klimabeobachtungen)

Tab. 37: Stündliche mittlere Lufttemperatur pro Monat und Jahr (1951 – 70)

*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Tag
J	-3,3	-3,4	-3,5	-3,6	-3,7	-3,7	-3,8	-3,8	-3,6	-3,1	-2,5	-1,8	-1,3	-0,9	-0,9	-1,2	-1,7	-2,1	-2,4	-2,6	-2,8	-2,9	-3,1	-3,2	-2,7
F	-2,4	-2,6	-2,7	-2,8	-3	-3	-3	-2,9	-2,4	-1,8	-0,8	0	0,7	1,3	1,3	1,2	0,6	-0,1	-0,7	-1,1	-1,5	-1,7	-1,9	-2,1	-1,3
M	0,8	0,6	0,4	0,1	-0	-0,2	-0	0,6	1,8	3	4,3	5,2	6,1	6,8	7	6,9	6,4	5,4	4,2	3,3	2,6	2,1	1,6	1,3	2,9
A	5,3	5	4,6	4,3	4,1	4,2	5,2	6,4	8	9,3	10,5	11,3	12,1	12,7	12,7	12,7	12,4	11,6	10,2	8,8	7,7	6,9	6,3	5,9	8,3
M	8,9	8,5	8,1	7,8	7,7	8,4	9,9	11,3	12,8	14	14,9	15,7	16,2	16,7	16,7	16,6	16,3	15,7	14,6	13	11,6	10,8	10,1	9,5	12,3
J	12,6	12,2	11,8	11,5	11,5	12,4	13,9	15,2	16,6	17,8	18,7	19,4	20	20,4	20,5	20,5	20,1	19,5	18,5	17	15,5	14,6	13,8	13,3	16,1
J	14,2	13,7	13,3	13	13	13,7	15,6	16,4	17,9	19,1	20,2	21,0	21,6	22,1	22,2	22,2	21,9	21,4	20,3	18,5	16,9	16	15,3	14,7	17,6
A	13,6	13,3	12,9	12,6	12,4	12,6	13,6	14,8	16,5	17,9	19,2	20,1	20,8	21,2	21,4	21,4	21	20,3	18,9	17,3	15,9	15,2	14,5	14	16,7
S	10,8	10,5	10,2	9,9	9,7	9,6	10,2	11,3	13	14,5	16	17,1	17,9	18,5	18,6	18,5	17,9	16,6	15	13,7	12,7	12,1	11,6	11,1	13,6
O	6,4	6,2	6	5,8	5,6	5,5	5,6	6,1	7,2	8,5	9,7	10,9	11,8	12,6	12,6	12,4	11,4	10,1	9,1	8,3	7,7	7,3	6,9	6,6	8,3
N	2,3	2,2	2,1	2	1,9	1,9	1,8	2	2,4	3	3,7	4,3	4,9	5,3	5,2	4,8	4,2	3,8	3,4	3,1	2,8	2,6	2,5	2,3	3,1
D	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,3	-0,8	-0,2	0,2	0,5	0,4	0,1	-0,3	-0,6	-0,8	-0,9	-1,1	-1,2	-1,4	-1,5	-1
**	5,7	5,4	5,2	5	4,8	5	5,6	6,3	7,4	8,5	9,5	10,3	11	11,5	11,5	11,4	10,9	10,2	9,2	8,2	7,4	6,9	6,4	6	7,9

* = Monat
** = Jahr

Quelle: Statistik DWD K 1 – 371658 (Registrierauswertungen – stündliche Werte)

Tab. 37.1: Stündliche Mitteltemperaturen pro Monat und Jahr für trübe Tage (1951 – 70)

*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Tag
J	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,6	-1,5	-1,2	-0,7	-0,3	-0,1	0,3	0,2	0,1	-0,1	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,6	-0,7	-0,8
F	0,7	-0,8	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,4	0	0,6	1,1	1,6	1,9	2	1,9	1,5	1,1	0,8	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,3
M	2,2	2,1	1,9	1,8	1,8	1,8	1,9	2,2	2,8	3,5	4,4	5,1	5,6	6,1	6,1	6	5,6	5,1	4,4	4	3,7	3,4	3	2,8	3,6
A	6,3	6	5,8	5,7	5,6	5,6	6,1	6,7	7,6	8,5	9,2	9,6	10,3	10,7	10,6	10,5	10,2	9,6	8,7	8	7,4	7	6,6	6,3	7,9
M	9,4	9,1	8,8	8,6	8,5	8,9	9,7	10,4	11,5	12,2	12,9	13,3	13,6	13,7	13,7	13,4	13	12,5	11,9	11,1	10,5	10,2	9,8	9,5	11,1
J	12,4	12,2	11,9	11,7	11,7	12,2	12,9	13,6	14,4	15,2	15,8	16,3	16,5	16,8	16,8	16,7	16,5	15,9	15,1	14,3	13,6	13,1	12,7	12,4	14,2
J	19,8	13,5	13,3	13,1	13,1	13,4	13,9	14,6	15,5	16,3	17	17,6	17,8	18	17,9	17,9	17,6	17,2	16,4	15,6	14,8	14,3	14,1	13,8	15,4
A	13,5	13,3	13	12,9	12,8	12,9	13,5	14,1	15,2	16,2	17,2	17,8	18,2	18,3	18,4	18,3	18	17,4	16,5	15,6	14,8	14,5	14,2	13,9	15,4
S	11,4	11,3	11,1	10,9	10,8	10,8	11,1	11,7	12,6	13,5	14,5	15,2	15,7	16	16	15,7	15,2	14,6	13,8	13,2	12,7	12,4	12,1	11,8	13,1
O	6,8	6,7	6,6	6,6	6,5	6,4	6,5	6,8	7	8,1	8,9	9,6	10,2	10,6	10,6	10,4	9,8	9,3	8,8	8,5	8,1	7,9	7,8	7,5	8,2
N	2,7	2,6	2,6	2,5	2,5	2,5	2,6	2,7	3	3,4	3,8	4,3	4,7	5	4,9	4,7	4,4	4,1	3,9	3,8	3,7	3,6	3,4	3,3	3,5
D	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	0	0,3	0,6	0,8	1	1	0,9	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2
**	4,8	4,6	4,5	4,4	4,4	4,5	4,7	5,0	5,5	6,1	6,8	7,3	7,7	7,9	7,9	7,8	7,5	7	6,6	6,2	5,9	5,6	5,4	5,2	6

* = Monat
** = Jahr

Quelle: Statistik DWD – K 1 – 371645A (Registrierauswertungen – stündliche Werte)

Tab. 37.2: Stündliche Mitteltemperaturen pro Monat und Jahr für heitere Tage (1951 – 70)

*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	o
J	-8,2	-8,4	-9	-9,2	-9,5	-9,9	-10	-10,3	-9,8	-8,8	-7	-5,6	-4,4	-3,2	-3,2	-4	-5,3	-6,4	-7,3	-8	-8,6	-9	-9,6	-10,1	-7,7
F	-7,2	-7,7	-8,2	-8,5	-8,9	-9,2	- 9,5	- 9,5	-7,9	-6	-4,1	-2,7	-1,5	-0,3	-0,2	-0,5	-1,5	-2,8	-3,8	-4,6	-5,4	-6,2	-6,7	- 7,3	-5,4
M	-1,6	-2,1	-2,4	-2,8	-3,2	-3,5	- 3,4	- 2,2	0,2	2,3	4,4	6	7,3	8,4	8,9	8,8	8,2	6,5	4,2	2,5	1,5	0,6	0,2	- 0,7	2
A	4,7	4,1	3,4	2,9	2,5	2,7	4,4	6,7	9,7	12	13,8	15,2	16,4	17,3	17,7	17,8	17,3	16,4	14,3	11,9	9,7	8,7	7,4	6,5	10,1
M	8,1	7,6	6,8	6,3	6,2	7,5	10,1	12,7	15,2	16,7	18,1	19,1	20	20,8	21	21	20,8	20,1	18,7	16,2	13,7	12,1	10,7	9,7	14,1
J	12,3	11,5	10,6	10,4	10,6	12	14,6	16,8	19,1	20,5	21,8	22,7	23,7	24,5	24,8	24,8	24,8	24,3	23,1	20,6	17,7	16,6	15,3	14,2	18,2
J	14,0	13,3	12,6	12,1	12,1	13,4	15,9	18,4	20,9	22,7	23,9	25,2	26,2	27	27,5	27,6	27,4	27	25,5	22,3	19,5	18,2	17,2	16,2	20,2
A	13,4	12,8	12	11,5	11,2	11,6	13,5	15,8	18,9	21	22,8	24,1	25,1	25,9	26,3	26,3	25,8	24,9	22,8	20	17,8	16,8	15,8	14,9	18,8
S	9,5	8,9	8,4	7,9	7,5	7,4	8,5	10,8	13,8	16,2	18,2	19,8	21	21,9	22,1	22,1	21,3	19,5	16,7	14,7	13,2	12,3	11,6	10,8	14,3
O	4,5	4	3,5	3,1	2,7	2,4	2,4	3,7	6,1	8,8	11,1	12,8	14,1	15,2	15,4	15,2	13,8	11,2	9,3	7,7	6,4	5,7	4,9	4,4	7,9
N	-0,4	-0,8	-1,1	-1,5	-1,8	-2,3	- 2,5	- 2,4	-1,5	-0,1	1,6	3,1	4,2	4,9	4,7	4,1	2,7	1,6	0,6	-0,1	-0,7	-1,1	-1,4	- 1,7	0,3
D	-6,4	-6,8	-7,2	-7,5	-7,9	-8,2	- 8,6	- 8,8	-8,5	-6,9	-5,6	-4	-2,9	-2,1	-2,2	-3,1	-4,2	-5	-5,7	-6,3	-7,2	-6,9	-7,6	- 7,9	-6,1
**	5,3	4,8	4,2	3,7	3,5	3,7	4,8	6,5	8,8	10,8	12,6	14	15,1	16,1	16,3	16,2	15,5	14,2	12,4	10,4	8,7	7,8	6,9	6,2	9,5

* = Monat
o = Mittel/Tag
** = Jahr

Quelle: Statistik DWD K 1 – 371645A (Registrierauswertungen – stündliche Werte)

Tab. 38: Die mittlere Tagesschwankung der Temperatur in Grad C in Abhängigkeit von der Bewölkung (1951 – 70)

Beobachtungszeitraum		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
24 Std	alle Tage	2,9	4,2	7,2	8,6	9	9	9,2	9	9	7,1	3,5	2,3	6,7
	heitere Tage	7,1	9,9	12,3	15,3	14,8	14,4	15,5	15,1	14,7	13,0	7,4	6,7	12,8
	trübe Tage	1,9	2,9	4,3	5,1	5,2	5,1	4,9	5,6	5,2	4,2	2,5	1,4	3,5
Zeit des Temp. Max. bis zur Dämmerung	alle Tage	0,8	1,4	2,6	3,9	3,7	5	3,7	4,1	3,6	2,5	1,1	0,8	
	heitere Tage	2,1	2,6	4,7	5,9	4,8	7,1	5,3	6,3	5,4	4,2	2,2	2,1	
	trübe Tage	0,4	0,9	1,7	2,7	2,6	3,2	2,4	2,8	2,2	1,3	0,6	0,3	
Nachtstunden	alle Tage	2,1	2,8	4,4	4,7	5,3	4	5,5	4,9	5,4	4,6	2,4	1,5	
	heitere Tage	5	6,7	7,6	9,4	10	7,3	10,2	8,8	9,3	8,8	5,2	4,6	
	trübe Tage	1,5	2	2,6	2,4	2,6	1,9	2,5	2,8	3	2,9	1,9	1,1	

Quelle: nach Stastik DWD K 1 371658 und 371645A (Registrierauswertungen stündlicher Werte)

Tab. 39: Die mittlere Temperatur in Grad C in Abhängigkeit von der Windrichtung (1951 – 70) – Temperaturwindrosen

	C	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Januar	-4,3	-4,2	-5	-2,7	-2,7	-1,8	-0,1	-0,3	-2,8
Februar	-1,9	-2,4	-4,4	-1,4	-0,1	-0,3	1,5	0,7	1,4
März	3,5	0,9	1,8	3,4	3,6	4,5	4	4	2,5
April	9,6	6,8	8,3	10,5	10,8	9,8	8,6	5,8	7,4
Mai	11,7	11,9	13,5	15,2	14,5	14,1	12,3	11,7	11,7
Juni	15,6	15,4	17,1	18,2	18,7	17,3	16,6	15,7	15,7
Juli	19	17,8	19,7	20	20,2	19	17,3	16,9	16,9
August	17,2	16,1	17,3	18,2	18,8	17,9	16,7	16	16,2
September	13,8	12,8	14,8	13,8	14,9	14,4	14,1	12,7	13,1
Oktober	8,1	9,8	11	10,4	11,1	10,4	10,3	9,7	9,8
November	2,3	2,4	2,7	2,9	3,3	3	4,5	4	3,5
Dezember	-2,4	-3,2	-3,3	-0,9	-1,4	-0,8	1,9	1,7	-1,5
Jahr	7,6	7	6,9	8,9	9,3	8,9	8,9	8,2	7,5
Amplitude	23,3	22	24,7	22,7	22,9	20,8	17,4	17,2	19,7

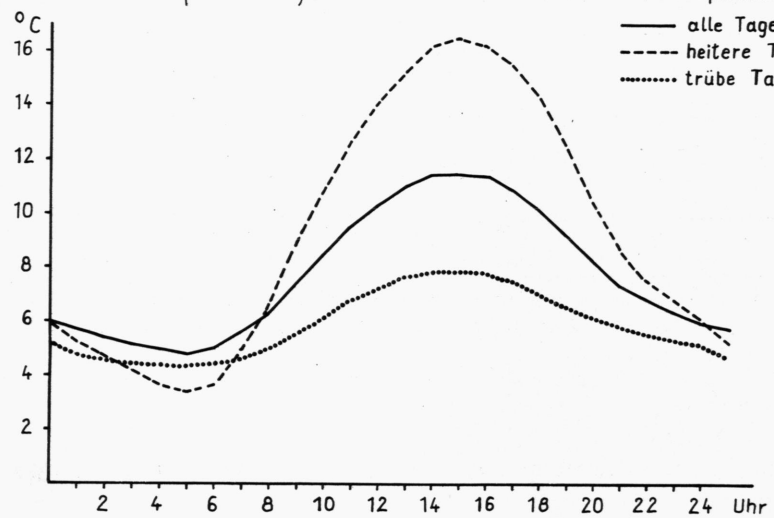
Quelle: nach Statistik DWD K 1 – KA

Tab. 40: Die relative Feuchte in Regensburg in % (1951 – 70)

rel. Feuchte in %	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	1951 -70	1951 -60	1961 -70
Mittel gesamt	87	84	78	73	72	72	72	76	79	84	87	89	79	79	79
Mittel um 7^h MOZ	90	90	89	87	84	83	84	89	92	03	92	91	89	88	90
14^h MOZ	81	75	63	54	54	56	54	57	59	68	79	84	65	65	66
21^h MOZ	89	87	82	78	78	79	78	82	85	89	90	90	84	85	83
mittleres Minimum	61	49	33	25	31	32	24	32	36	41	53	62	41	40	41
Tagesschwankung	9,7	15,5	28	36,8	37,4	36,5	38,6	36,5	35	26,2	12,5	7,2			

Quelle: Statistik DWD K 1 – RUE / Nr. 59 – Nr. 53 – 371606 – A (Registrierauswertungen – stündliche Werte)

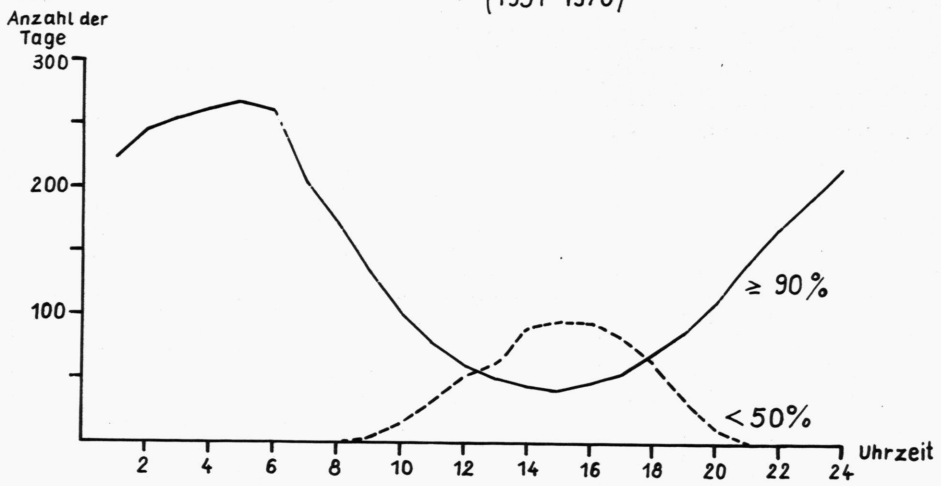
Abb. 53 Tagesgang der Lufttemperatur in Regensburg (1951 - 70)



Quelle: Statistik DWD K1-RUE Nr. 59

Entwurf und Zeichnung Ch. Dittmann

Abb. 54 Der Tagesgang der relativen Feuchte ≥ 90 % und < 50 % (1951-1970)



Quelle. Statistik DWD K1-371606 - Δ

Entwurf und Zeichnung Ch. Dittmann

Tab. 41: Stündliche Mittel der rel. Feuchte pro Monat und Jahr (1951 – 70)

*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Tag
J	89,6	89,9	89,9	90,1	90,3	90,4	90,3	90,4	90	88,9	86,7	84,6	82,5	81,2	80,7	81,5	83,6	85,5	86,8	87,7	88,6	89	89,2	89,4	87,4
F	88,9	89,1	89,5	89,7	89,9	90,1	90,1	89,8	88,3	86,1	82,9	80	76,9	75,1	74,6	75,2	77,3	80,4	83,1	85	86,7	87,5	88,1	88,6	84,7
M	87,3	87,9	88,6	88,9	89,2	89,6	89,5	88,2	83,4	79,1	73,4	68,9	65,4	62,4	61,4	61,6	63,6	67,7	73,4	77,7	81,6	83,5	85,1	86,1	87,5
A	86,9	87,8	88,7	89,5	90	89,8	86,8	88,1	74,6	68,8	63,2	59,7	56,4	54	53,2	53,2	54,5	58,1	64,8	71,4	77,4	81	83,5	85,6	73,4
M	88,4	89,3	90,1	90,8	91	89,9	84,3	78,2	71,1	65,5	60,7	57,7	55,4	54	53,6	53,9	55,3	58,2	63,8	70,8	77,9	81,7	84,7	86,9	73
J	89,1	90,1	90,8	91,3	91,2	89,2	82,9	77,5	71,6	66,5	62,2	59,1	56,4	55,5	54,8	55,3	56,3	58,9	64,2	71,7	78,8	82,3	85,3	87,6	73,7
J	88,7	89,6	90,5	91,3	91,5	90,3	84,7	79	72,4	66,8	62,1	58,5	55,8	54	52,9	53,1	54,5	57	62,4	70,3	77,8	81,9	84,7	87	73,2
A	89,9	90,9	91,6	92	92,4	92,1	89,1	84,5	77,7	71,9	66,4	62,5	59,1	57,1	56,1	55,9	57,4	60,9	67,6	75,4	81,6	84,8	86,9	88,6	76,4
S	90,9	91,6	92,0	92,5	92,9	93	91,9	88,6	82,3	76	70,1	65,5	61,5	59,2	58	58,5	61,3	66,6	74,2	80,4	84,8	87,1	88,8	89,9	79,1
O	92,3	92,7	92,9	93,1	93,4	93,6	93,5	92,4	89,3	84,7	79,3	74,7	70,6	68,1	67,4	68,8	72,9	78,5	83,4	86,7	89,4	90,4	91,2	91,9	84,6
N	91	91,2	91,4	91,6	91,7	91,8	91,9	91,6	90,7	88,6	85,9	83,3	81	79,4	79,4	80,8	83,2	85,6	87,4	88,7	89,7	90,1	90,5	90,9	87,8
D	90,8	90,9	90,9	91,1	91,3	91,3	91,4	91,3	91	90,1	88,4	86,5	84,9	84,2	84,2	85,3	86,9	88,1	88,8	89,3	90	90,2	90,4	90,7	89,1
**	89,5	90,1	90,6	91	91,2	90,9	88,9	86,1	81,9	77,7	73,4	70	67,1	65,3	64,7	65,2	67,2	70,4	74,9	79,6	83,7	85,8	87,4	88,6	80

* = Monat
** = Jahr

Quelle: Statistik DWD K 1 – 371606 – A (Registrierauswertungen – stündliche Werte)

Tab. 42: Die Nebelhäufigkeit in Regensburg seit 1881

	1881-90	1891-1900	1901-10	1911-20	1921-30	1931-40	1941-50	1951-60	1961-70	1971-80
...1	76	111	118	78	100	34	75	88	87	63
...2	60	101	111	41	78	43	78	53	63	83
...3	52	86	102	44	69	19	79	69	74	57
...4	52	85	97	60	129	35	-	72	67	66
...5	66	90	53	43	-	19	-	92	80	79
...6	73	101	38	-	-	66	-	62	63	56
...7	76	117	41	79	-	70	38	95	89	91
...8	84	95	44	60	-	81	64	62	82	79
...9	87	85	56	55	28	43	75	71	65	66
...0	104	100	82	48	37	62	64	70	70	
Dekademittel	73	97,1	74,2	53,3	(73,5)	47,2	(67,5)	73,4	73,9	71,1

Quelle: Statistik DWD bezogen auf GMT

Tab. 43: Die Niederschlagsverhältnisse in Regensburg (1951 – 70)

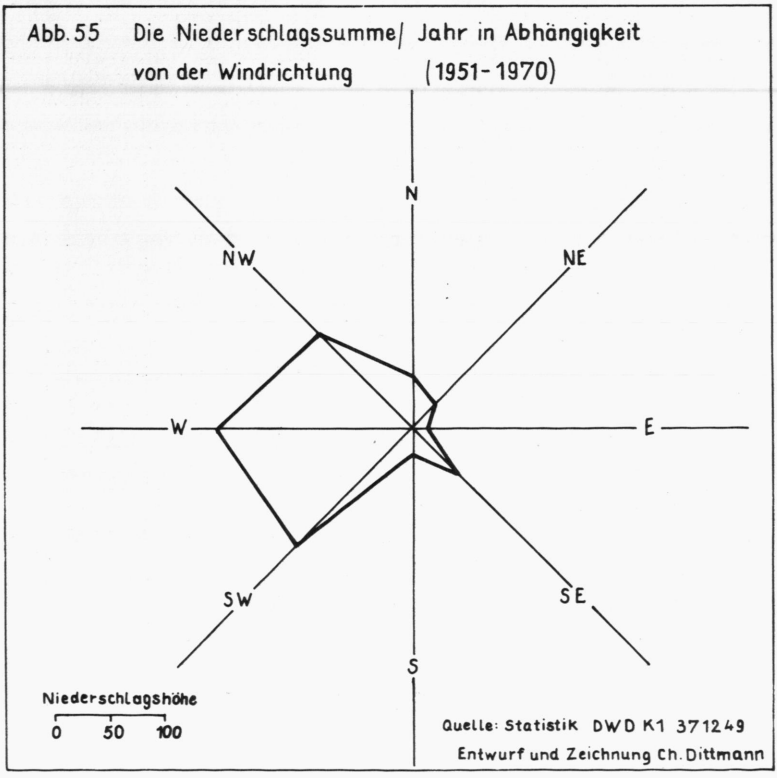
Niederschläge	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	1951-70	1951-60	1961-70
mittlere N.-höhe in mm	41	43,4	39,9	44,4	59,2	85,1	77,2	80,2	49,9	42,8	40,5	50,6	654,3	656,4	652,1
Tage mit N. ≧ 0,1 mm	16,6	15,4	13,9	14,9	16,2	14,3	14,5	16,1	11,9	10,6	14,4	16,2	174,8	173,1	176,4
≧ 1 mm	8,6	8,9	8,8	9,6	10,7	11	11	11,4	8,2	7	8,8	10,2	113,7	112,1	115,3
≧ 5 mm	2,7	2,8	2,4	2,8	4,2	5,6	4,9	5,4	3,8	3,1	2,7	3,6	43,5	44,1	42,9
≧ 10 mm	1	0,9	0,8	0,8	1,5	2,5	2,1	2,5	1,2	1,1	0,7	1,3	16,2	16,9	15,5
≧ 20 mm	-	0,2	0	0	0,2	0,9	0,7	0,6	0,2	0,3	0	0,1	3,2	3,2	3,1
mittlerer Höchstwert d. maximalen Niederschlagssumme	10,5	10,1	10,2	11,2	15,1	22,6	21,6	21,6	13,7	12	12,1	11,3			
Tage mit Neuschnee	13	9,6	3,5	0,7	-	-	-	-	-	0	2,1	8,5	37,4	30,4	44,3
Summe d. Neuschneedecke in cm	17	16	5	1	-	-	-	-	-	0	4	13	55	46	64
mittlerer Höchstwert d. Neuschnees in cm	7	5	3	1	-	-	-	-	-	0	3	5			
Tage mit Tau	-	0,4	1,5	7,6	15,7	14,2	15,5	17,6	18,6	14,8	4,5	0,5	110,7	111,5	109,9
Reif	8,9	8,9	11,3	5,6	1,2	-	-	-	0,7	5,3	8,3	9,4	59,4	64,7	54
Glatteis	2,4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	2,5	6,5	5,1	7,9
Tage mit Gewitter	0,1	0,4	0,3	2,4	5,1	7,6	6,2	5,5	1,9	0,2	0,1	0,1	29,7	29,8	29,5
Hagel	0	0	0,1	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1	0	-	-	0,1	1,6	1,5	1,6

Quelle: Statistik DWD – K 1 RUE – Nr. 59 – Nr. 53 (Klimabeobachtungen)

Tab. 44:
Die mittlere Niederschlagssumme in mm in Abhängigkeit von der Windrichtung (1951 – 70) – Niederschlagswindrosen

	C	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Ges.
Januar	2,7	1,4	1,2	1,3	9,7	1,8	8,7	8,4	3,6	41
Februar	1,4	2	0,9	1,5	9,6	1,5	10,1	10,8	5,5	43,3
März	2,7	1,4	3,6	0,9	4,3	1,4	8,3	12,2	5,4	39,9
April	2,8	5,5	3,5	0,8	3,1	0,9	9,5	7,5	10,1	44,4
Mai	3,4	7,1	2,8	1,6	2	1,3	10,1	17,5	14,7	59,2
Juni	3,6	5,2	5,6	1,6	2,3	4,4	17,1	30,4	14	85,1
Juli	2,5	6	2,1	0	3,8	3,6	16,7	25,2	16,1	77,2
August	6,9	6	1,4	1,2	4,1	2,8	19,6	21,7	17,8	80,2
Sept.	3,5	2,5	2	1,9	2,6	1,6	13	12,8	7,6	49,9
Oktober	1,4	2,8	1,8	0,6	2,8	1	9,4	12,7	10,5	42,8
November	2,8	4	2,3	0,6	7,4	1,4	8,3	7,1	6,6	40,5
Dezember	2,6	1,5	1,2	1,4	9	1,9	16	12	5,4	50,6
Jahr	37,3	45,9	28,4	13,4	60,7	23,6	146,8	178,3	117,9	654,3

Quelle: nach Statistik DWD – K 1 – 371249 (Klimabeobachtungen)



Tab. 45: Beschäftigte in den Wirtschaftsbereichen in Regensburg 1974 und 1976

Wirtschaftsbereich	Beschäftigte 1974		Beschäftigte 1976	
	Anzahl	%	Anzahl	%
I Land- und Forstwirtschaft	448	0,7	437	0,6
II Produzierendes Gewerbe	29 342	44,6	28 255	42
Energiewirtschaft u. Wasserversorgung	813	1,2	952	1,4
Verarbeitendes Gewerbe	21 681	33	21 275	31,6
Baugewerbe	6 841	10,4	6 028	9
III Dienstleistungsgewerbe	36 014	54,7	38 602	57,4
Handel	13 252	20,1	13 265	19,7
Verkehr, Nachrichtenübermittlung	5 233	8	5 145	7,6
Gebietskörperschaften Sozialversicherungen	5 401	8,2	5 629	8,3
Kredit-, Versicherungsinstitute	2 638	4,1	2 724	4
Organisationen ohne Erwerbscharakter	1 410	2	1 634	2,4
sonstige Dienstleistungen	8 080	12,3	10 205	15,4
Gesamt	65 804	100	67 294	100

Quelle: Bayer. Statist. Landesamt 1977a, 47 – 49

Tab. 46: Die Verteilung der Arbeitsplätze in den Stadtbezirken von Regensburg 1961 und 1970

Stadtbezirk	1961		1970		
	absolut	%	absolut	%	
1 Innenstadt	25 793	38,5	24 792	32,8	-
2 Stadtamhof	1 174	1,8	819	1,1	-
3 Pfaffenstein	2 042	3,0	1 618	2,1	-
4 Sallern, Gallingkofen	468	0,7	511	0,7	(+)
5 Konradsiedlung	1 036	1,5	1 210	1,6	+
6 Brandlberg, Keilberg	98	0,1	69	0,1	-
7 Reinhausen	2 904	4,4	3 738	4,9	+
8 Weichs	460	0,7	1 792	2,4	+
9 Schwabelweis	1 035	1,5	1 214	1,6	+
10 Ostenviertel	9 914	14,8	10 831	14,3	(-)
11 Kasernenviertel	5 727	8,6	6 377	8,4	(-)
12 Galgenberg	1 718	2,6	2 688	3,6	+
13 Kumpfmühl	2 513	3,8	4 809	6,4	+
14 Prüfening, Dechbetten	276	0,4	313	0,4	(+)
15 Westenviertel	11 655	17,4	14 792	19,5	+
16 Winzer, Kager	148	0,2	97	0,1	-
Gesamt	66 961	100	75 670	100	+

Quelle: Stadt Regensburg 1977

Tab. 47: Die Beheizung und sanitäre Ausstattung der Wohnungen in Regensburg (Stand 1968)

Stadtbezirk	Sammelheizung			Einzel- oder Mehrraumöfen						Sanitäre Ausstattung mit Bad und WC			
				Öl, Gas, Strom			Holz, Kohle, Torf			mit Sammelheizung		ohne Sammelheizung	
	Anzahl	a	b	Anzahl	a	b	Anzahl	a	b	Anzahl	a	Anzahl	a
1 Innenstadt	575	8	5	2 288	31	17	4 478	61	22,5	509	22	1 805	78
2 Stadtamhof	52	5	0,5	352	32	2	685	63	3,5	44	18	198	82
3 Pfaffenstein	387	28	4	361	26	3	597	44	3	333	45	399	55
4 Sallern, Gallingkofen	94	14	1	222	35	2	312	50	1,5	84	28	218	72
5 Konradsiedlung	1 436	38	14	1 276	33	9	1 075	28	5,5	1 389	48	1 484	52
6 Brandlberg, Keilberg	60	9	0,5	260	40	2	321	50	2	53	20	212	80
7 Reinhausen	1 201	35	11	907	27	7	1 277	38	6,5	1 185	50	1 182	50
8 Weichs	244	31	2	247	32	2	281	36	1,5	240	47	268	53
9 Schwabelweis	91	11	1	436	54	3	281	35	1,5	85	16	435	84
10 Ostenviertel	454	16	4	917	33	7	1 373	50	7	426	24	1 342	76
11 Kasernenviertel	917	16	8	1 815	32	13	2 929	52	15	903	20	3 503	80
12 Galgenberg	648	27	6	816	35	6	878	37	4,5	640	35	1 201	65
13 Kumpfmühl, Ziegetsdorf	793	16	7	1 971	34	14	3 085	52	15,5	804	20	3 181	80
14 Großprüfening, Dechbetten	85	19	1	169	38	1	191	43	1	79	33	160	67
15 Westenviertel	3 117	52	30	1 399	23	10	1 472	24	7,5	3 051	56	2 353	44
16 Winzer, Kager	39	18	0,5	84	39	0,5	89	42	0,5	36	28	94	72
17 Oberisling, Graß	98	41	0,5	49	20	0,5	89	38	0,5	96	60	68	40
18 Burgweinting, Harting	141	27	1	151	29	1	231	44	1	134	36	237	64
Gesamt	10 412	24	100	13 521	31	100	19 924	45	100	10 091	35	18 340	65

a) Anteil/Stadtbezirk in % b) Gesamtanteil in Regensburg in %

Quelle: Unterlagen des Stadtentwicklungsamtes

Tab. 48:
Die Heizwerte einzelner Brennstoffe

Brennmaterial	Heizwert in kJ
Regensburger Erdgas	33 600
Koks	27 700
Kohle	30 600
Heizöl S	40 700
Heizöl EL	42 800

Quelle: nach Enders 1972

Tab. 49:
Spezifische Emissionswerte für Ölfeuerungen mit einer Feuerungsleistung zwischen 4 und 40 GJ/h

Emittierter Stoff	Emissionsfaktoren kg/TJ	
	Heizöl EL	Heizöl S
Stickstoffdioxid	130	130
Kohlenmonoxid	22,2	22,2
Organische Gase	13,6	13,6
Aldehyde	6,5	6,5
Feststoffe	2,4	

Quelle: 5. BImSchVwV 30. 1. 1979

Tab. 50:
Spezifische Emissionswerte für unterschiedliche Verbrennungsanlagen in g/GJ

Art d. Anlage	Brennstoff	Feststoffe	CO	C_mH_n	NO_x	SO_2	Schwefelgehalt im Brennstoff
Industrie	Steinkohle	100	16	15	210	650	1 %
	Heizöl S	24	6	6	190	480	1 %
	Gas	7	0,2	-	100	0,6	5 mg/m^3
Sammelheizung	Koks	140	850	140	90	650	1 %
	Heizöl EL	24	7	6	36	140	0,3 %
Einzelofen	Heizöl EL	38	12	10	120	140	0,3 %
	Gas	8	0,2	-	50	0,6	5 mg/m^3

Quelle: Rudolph 1973

Tab. 51:
Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen (Hausbrand und Kleingewerbe) in kg/TJ

Brennstoff	SO_2	NO_2	CO	C_mH_n		Stäube
Steinkohle	500	50	5 400	200	1,5	150
Steinkohlebrikett	500	50	5 400	450	1,5	250
Koks	500	70	6 700	10	1,5	50
Braunkohlebrikett	130	12	4 700	300	0,7	80
Heizöl EL (0,3 % Schwefelanteil)	140	50	120	15	0	5
Erdgas	0,2	35	95	12	0	0,2

Quelle: 5. BImSchVwV 30. 1. 1979

Tab. 52:
Anzahl und Heizleistung der Hausbrandfeuerungsanlagen in Regensburg

Einzelöfen:		46 749
davon befeuert mit:	Heizöl EL:	27 552
	Kohle:	9 587
	Erdgas	9 610
Sammelheizungen:		5 947
mit Heizleistung	20 000 kJ	4 333
davon befeuert mit:	Heizöl EL:	3 033
	Erdgas:	1 300
mit Heizleistung	20 000 - 800 000 kJ	1 614
davon befeuert mit:	Heizöl EL:	1 130
	Erdgas:	484

Quelle: Angaben der Kaminkehrermeister von 1976 ergänzt durch Wohnungs- und Gebäudestatistik (1979)

Mittlere Fahrgeschwindigkeit in km/h	CO	SO_2*	NO_2	C_mH_n	Pb
1	320	0,52	1,3	34	0,11
5	440	0,84	7,5	46	0,15
10	550	1,14	15,5	56,5	0,21
15	650	1,36	23,7	65,5	0,26
20	720	1,54	31,7	72,5	0,30
25	790	1,68	40	77,5	0,33
30	860	1,82	48,5	82,5	0,36
35	910	1,96	57,5	86,5	0,39
40	960	2,08	67,5	90	0,42
45	1 000	2,20	78	92	0,44
50	1 030	2,32	89,5	94	0,46
55	1 070	2,42	100	95	0,48
60	1 100	2,54	112	96,5	0,50
Konstante Fahrgeschwindigkeit 100	1 440	4,82	372	119	0,94

Tab. 53:
Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr Pkw mit Otto- und Dieselmotoren in g/Kfz

Quelle: 5. BImSchVwV 30. 1. 1979
* Schwefelgehalt im Dieselkraftstoff 0,3%

Mittlere Fahrgeschwindigkeit in km/h	CO	SO_2*	NO_2	C_mH_n	Ruß
10	75	13	35	9	5
20	150	25	70	18	9
30	210	36	100	26	13
40	280	48	140	34	17
50	350	60	170	42	21
60	420	70	200	50	25
Konstante Fahrgeschwindigkeit 85	600	100	280	70	36

Tab. 54:
Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr Lkw mit Dieselmotoren in Lkw/h

Quelle: 5. BImSchVwV 30. 1. 1979
* Schwefelgehalt im Dieselkraftstoff 0,3%

Schadstoff	ppm/1 mg/m^3	mg/m^3 / 1 ppm
SO_2	0,38 ppm	2,66 mg/m^3
H_2S	0,71	1,42
CO	0,86	1,16
NO	0,80	1,25
NO_2	0,52	1,91

Tab. 55:
Umrechnungsfaktoren für Immissionswerte

Tab. 56.1: Die CO-Konzentration in der Innenstadt bei Nebel

Meßstelle	Atemhöhe 1,60 m (Erwachsene)				Atemhöhe 0,9 m (Kinder)			
	Mittel	Max	Min	DI	Mittel	Max	Min	DI
Weiße-Hahnen-Gasse	35	78	19	1,65	45	100	9	2,21
Goliathstr.	18	38	5	0,81	21	34	8	0,89
Haidplatz	17	64	9	0,18	25	100	6	0,20
Fischmarkt	15	32	3	0,15	22	53	12	0,23
Gesandtenstr.	14	29	5	0,15	37	59	9	0,32
Jakobstr.	12	21	4	0,12	15	38	4	0,16
Neupfarrplatz	10	18	4	0,08	13	25	4	0,10
Maxstr.	8	18	3	0,10	13	53	3	0,13
Ernst-Reuter-Platz	7	12	4	0,15	10	28	4	0,18
Weißgerbergraben	7	11	2	0,18	9	18	3	0,21
Arnulfsplatz	7	10	2	0,10	6	15	2	0,10
Emmeramsplatz	7	8	1	0,07	7	15	1	0,08
Kornmarkt	5	10	1	0,07	7	14	1	0,11
Domplatz	5	9	1	0,08	7	24	1	0,10

Quelle: Eigene Untersuchungen

Tab. 56.2:
Die CO-Konzentration in Ausfallstraßen und Wohngebieten bei Nebel

Meßstelle	Atemhöhe 1,60 m (Erwachsene)				Atemhöhe 0,9 m (Kinder)			
	Mittel	Max	Min	DI	Mittel	Max	Min	DI
Donau-Einkaufs-Zentrum	14	20	4	0,09	14	24	4	0,09
Lappersdorfer Str.	12	26	6	0,18	18	37	6	0,25
Amberger Str.	10	21	4	0,08	13	23	5	0,10
Weißenburger Str.	8	15	4	0,10	9	20	3	0,11
Wassergasse	7	14	2	0,08	8	22	2	0,10
Friedenstr. /Kumpfmühler Brücke	5	12	2	0,08	8	21	2	0,11

Quelle: Eigene Untersuchungen

$$\text{DI} = \text{Durchmischungsindex} = \frac{\text{mittlere Immissionskonzentration}}{\text{Fahrzeugdichte/5 Min.}}$$

Tab. 57.1:
Die CO-Konzentration in der Altstadt bei windigem, regnerischen Wetter

Meßstelle	Atemhöhe 1,60 m (Erwachsene)				Atemhöhe 0,9 m (Kinder)			
	Mittel	Max	Min	DI	Mittel	Max	Min	DI
Weiße-Hahnen-Gasse	24	51	9	1,05	27	94	11	1,12
Maxstr.	19	29	7	0,20	23	97	9	0,24
Gesandtenstr.	8	27	5	0,14	14	32	5	0,18
Goliathstr.	8	42	4	0,46	14	49	4	0,53
Neupfarrplatz	7	11	2	0,07	12	17	2	0,09
Arnulfsplatz	6	13	2	0,07	7	15	2	0,07
Haidplatz	6	18	2	0,09	9	21	2	0,12
Fröhl.-Türken-Str.	5	16	2	0,10	7	19	2	0,14
Weißgerbergraben	4	12	2	0,12	5	17	2	0,14
Bahnhofsstr.	3	12	1	0,06	3	15	1	0,06
Kassiansplatz	2	11	1	0,08	4	19	2	0,08

Quelle: Eigene Untersuchungen

Tab. 57.2:
Die CO-Konzentration in Ausfallstraßen und Wohngebieten bei windigem, regnerischen Wetter

Meßstelle	Atemhöhe 1,60 m (Erwachsene)				Atemhöhe 0,9 m (Kinder)			
	Mittel	Max	Min	DI	Mittel	Max	Min	DI
Weißenburger Str.	11	17	2	0,10	12	19	2	0,11
Donau-Einkaufs-Zentrum	10	16	2	0,06	9	17	2	0,06
Lappersdorfer Str.	6	18	2	0,12	7	21	2	0,14
Krankenhaus St. Josef	5	12	1	0,05	5	14	1	0,05
Isarstr.	5	10	1	0,03	6	14	1	0,03
Krankenhaus Barmherzige Brüder	4	10	1	0,04	5	12	1	0,04
Prüfeninger Str./ Killermannstr.	4	8	0	0,04	4	8	0	0,04
Sandgasse/Aussiger Str.	4	10	1	0,04	4	10	1	0,04
Amberger Str.	4	12	1	0,06	5	14	1	0,06
Landshuter Str./ Burgweinting	3				4			
Wassergasse	3				5			
Frankenstr.	3				3			
Donaustaufer Str./ Schwabelweis	2				3			

Quelle: Eigene Untersuchungen

$$\text{DI} = \text{Durchmischungsindex} = \frac{\text{mittlere Immissionskonzentration}}{\text{Fahrzeugdichte/5 Min.}}$$

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abh. d. Met. u. Hydrol. Dienstes d. DDR	Abhandlungen des Meteorologischen und Hydrologischen Dienstes der DDR
Abh. d. Sächs. Akad. Wiss. Leipzig, Math.-Nat. Kl.	Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften Leipzig - Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klassifikation
Ann. Meteorol.	Annalen der Meteorologie
Arch. Toxikol.	Archiv für Toxikologie
Az.	Aktenzeichen
AZ RL	Arbeiten zur Rheinischen Landeskunde
BFStG.	Bundesfernstraßengesetz
Bayer. GVBl.	Bayerisches Gesetz- und Verordnungsblatt
Ber. D.W.D.	Berichte des Deutschen Wetterdienstes
Ber. Inst. Meteorol. u. Geophys. d. Univ. Frankfurt a. M.	Berichte des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt a. M.
Bl. f. Dt. Landesgesch.	Blätter für deutsche Landesgeschichte
Bot. Not.	Botaniska notiser.
BT	Botanisk Tidsskrift
BGBl.	Bundesgesetzblatt
BImSchG	Bundes-Immissionsschutz-Gesetz
BImSchV	Verordnung zum Bundes-Immissionsschutz-Gesetz
BImSchVwV	Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutz-Gesetz
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BBauG	Bundesbaugesetz
Dis. Botanicae	Dissertationes Botanicae
Diss.	Dissertation
Dt.	Deutsch

Environ. Sci. Technol.	Environmental Science and Technology
FAZ.	Frankfurter Allgemeine Zeitung
F. Dt. L.	Forschung zur Deutschen Landeskunde
GBl. B.-W.	Gesetzblatt von Baden-Württemberg
Geogr. Helvet.	Geographica Helvetica
Geogr. Z.	Geographische Zeitschrift
GMT	Greenwich-Mean-Time
GVBl.	Gesetz- und Verordnungsblatt
GVBl. NRW	Gesetz- und Verordnungsblatt von Nordrhein-Westfalen
G. R.	Geographische Rundschau
GMBl.	Gemeinsames Ministerialblatt
J. Appl. Meteorol.	Journal of Applied Meteorology
I. Meteorol.	Institut of Meteorology
Journal of Geophys. Res.	Journal of Geophysical Research
LUMBl	Amtsblatt des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen
Meteorol. Abh. d. Inst. f. Met. u. Geophys. d. FU Berlin	Meteorologische Abhandlungen des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Freien Universität Berlin
Met. Inst. T.H. Darmstadt	Meteorologisches Institut der Technischen Hochschule Darmstadt
Meteorol. Rdsch.	Meteorologische Rundschau
Mitt. D.W.D.	Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes
MEZ	Mitteleuropäische Zeit
MOZ	Mittlere Ortszeit
MZ	Mittelbayerische Zeitung
N. Arch. f. Nds.	Neues Archiv für Niedersachsen

Pet. Mitt.	Petermanns Geographische Mitteilungen
Reg. Geogr. Schr.	Regensburger Geographische Schriften
Schr. R.	Schriftenreihe
Schr. R. d. Ver. f. Wasser-, Boden- und Lufthygiene	Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene
TA-Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - Bezeichnung für die 1. Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutz-Gesetz vom 28.8.1974
VDI	Verband Deutscher Ingenieure
Veröff. Meteorol. Hydrol. Dienst DDR	Veröffentlichungen des Meteorologischen und Hydrologischen Dienstes der DDR
Wiss. Z. Univ. Dresden	Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Dresden
Z. f. Met.	Zeitschrift für angewandte Meteorologie
Z. Meteorol.	Zeitschrift für Meteorologie

LITERATURVERZEICHNIS

ACKERMANN, H. (1976): Geochemische Prospektionsarbeiten in Ostbayern. - Acta Albertina Ratisbonensia Bd 36: 25-33, Regensburg

ADAC (Abt. Straßenverkehrstechnik): Auto und Umweltschutz. - Schr. R. Straßenverkehr 10, München

AHRENS, D. (1972): Abhängigkeit des Windprofils von der Wetterlage. - Meteorol. Rdsch. 25: 116-126, Berlin

ARBEITSGRUPPE ALTSTADTSANIERUNG (1975): Alstadterneuerung Regensburg, vorbereitende Untersuchung im Sanierungsgebiet I. - Reg. Geogr. Schr. Heft 6, Regensburg

ASSMANN, D. (1963): Die Wetterfühligkeit des Menschen. Jena

ASTRUP, P. (1972): Pathologische Wirkungen mäßiger Kohlenmonoxid-Konzentrationen. - Staub 32: 146-149, Düsseldorf

BACH, W. (1968): Luftverunreinigung - Schäden, Kosten, Maßnahmen. - G.R. 20,4: 134-142, Braunschweig

- (1979): Energiebedarf und Klimaänderung. - G.R. 31: 29-36, Braunschweig

BACHFISCHER, R. u.a. (1977): Die ökologische Risikoanalyse als regionalplanerisches Entscheidungsinstrument in der Industrieregion Mittelfranken. - Landschaft + Stadt 9: 145-161, Stuttgart

BALKS, R. (1961): Untersuchungen über den Bleigehalt des Bodens. - Kali-Briefe Fachgebiet Bodenkunde 11. Folge: 1-7, Münster

BAUBERGER, W. u.a. (1969): Erläuterungen der Geologischen Karte von Bayern 1:25 000 Blatt-Nr. 6938 Regensburg; München

BAUER, E. (1973): Zur ökologisch-physiologischen Indikation von Immissionsschäden im Stadtgebiet von Esslingen; Universität Hohenheim, Diss.

BAUER, H. J. (1977): Zur Methodik der ökologischen Wertanalyse. - Landschaft + Stadt 9: 31-43, Stuttgart

- (1978): Landschaftsplanung und Naturschutz als angewandte Landschaftsökologie am Beispiel Nordrhein-Westfalen. - Landschaft + Stadt 10,3: 120-125, Stuttgart

BAUER, K. (1962): Regensburg - aus Kunst-, Kultur- u. Sittengeschichte, Regensburg

BAUM, F. (1972): CO-Emissionen aus Hausbrand-Feuerstätten. - Staub 32: 54-59, Düsseldorf

- (1979): Praxis des Umweltschutzes, München

- u.a. (1977): Emittenten von luftverunreinigenden Schadstoffen und Lärm. - Schr.-R. Luftreinhaltung des Bayer. Landesamtes f. Umweltschutz Nr. 11, 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. ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR RAUMFORSCHUNG (1960): Deutscher Planungsatlas Bd 5, Bayern, Hannover

BAYER. GEOLOGISCHES LANDESAMT (1958): Geologische Karte von Bayern, Blatt 7038, 1:25 000, München

- (1969): Geologische Karte von Bayern, Blatt 6938, 1:25 000, München

BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ (1974 a): Darstellung der lufthygienischen Situation im Raum Aschaffenburg, München

- (1974 b): Das lufthygienische Überwachungssystem in Bayern - Schr.-R.: Luftreinhaltung, Heft 4, München

- (1974 c): Entwurf eines Erhebungsbogens für ein Emissionskataster. - Schr.-R.: Luftreinhaltung, Heft 1, München

- (1974 d): Fluoremissionen von Ziegeleien - Schr.-R.: Luftreinhaltung, Heft 3, München

- (1974 e): Immissionsplan, München

- (1974 f): Kartierung der schutzwürdigen Biotope in Bayern, Karte L 6938, 1:50 000, München

- (1974 g): Kartierung der schutzwürdigen Biotope in Bayern, Karte L 7138, 1:50 000, München

- (1974 h): Lufthygienischer Jahresbericht 1974 - Schr.-R.: Luftreinhaltung, Heft 8, München

- (1974 i): Rote Liste bedrohter Farn- und Blütenpflanzen in Bayern - Schr.-R.: Naturschutz- und Landschaftspflege, Heft 4, München

- (1974 j): Untersuchung der lufthygienischen Belastbarkeit des Donauraumes zwischen Ingolstadt und Neustadt. - Schr.-R.: Luftreinhaltung, Heft 2, München

BAYER. LANDESAMT F. UMWELTSCHUTZ (1974 k): Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Donau und Main - Bestandskarten Donau, München

- (1975 a): Lufthygienischer Jahresbericht 1975 - Schr.-R.: Luftreinhaltung, Heft 9, München

- (1975 b): Natur- und Landschaftsschutzgebiete, Nationalparke, Naturparke in Bayern, München

- (1975 - 1979): Lufthygienischer Monatsbericht, München

- (1976 a): Biotopkartierung, Naturschutzgebiete. - Schr.-R.: Naturschutz und Landschaftspflege, Heft 8, München

- (1976 b): Flußgebiete in Bayern. - Schr.-R.: Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, Heft 3, München

- (1976 c): Lufthygienischer Jahresbericht 1976. - Schr.-R.: Luftreinhaltung, Heft 12, München

- (1976 d): Rote Liste bedrohter Tiere in Bayern. - Schr.-R.: Naturschutz und Landschaftspflege, Heft 7, München

- (1977): Lufthygienischer Jahresbericht 1977. - Schr.-R.: Luftreinhaltung, Heft 14, München

- (1979): Lufthygienischer Jahresbericht 1978. - Schr.-R.: Luftreinhaltung, Heft 15, München

- (1980): Lufthygienischer Jahresbericht 1979. - Schr.-R.: Luftreinhaltung, Heft 17, München

BAYER. LANDES-VERMESSUNGSAMT (1966): Orohydrographische Karte von Bayern 1:50 000, Blatt L 7138, München

- (1966): Topographische Karte, Blatt 6939 1:25 000, München

- (1967): Topographische Karte, Blatt L 6938 1:50 000, München

- (1968): Topographische Karte, Blatt 6938 1:25 000, München

- (1974): Orohydrographische Karte von Bayern 1:50 000, Blatt L 6938, München

- (1974): Topographische Karte, Blatt L 7138 1:50 000, München

BAYER. LANDESAMT F. WASSERVERSORGUNG (1970): Trinkwassererkundung in Bayern, München

BAYER. LANDESAMT F. WASSERVERSORGUNG UND GEWÄSSERSCHUTZ (1972): Gewässerschutz in Bayern, München

- (1973): Wärmelastrechnungen der Donau. - Schr.-R.: Wasserwirtschaft in Bayern, Heft 10, München

BAYER. LANDESAMT F. WASSERWIRTSCHAFT (1974): Grundwassererkundung in Bayern. - Schr.-R.: Wasserwirtschaft in Bayern, Heft 13, München

BAYER. STAATSMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALORDNUNG (1977): Bayerischer Arbeitsmarktatlas Oberpfalz, Region 11, München

BAYER. STAATSMINISTERIUM DES INNERN (1966): Überwachung der Luftreinhaltung im Raffinerieraum Ingolstadt a.d. Donau.- Festschrift des 1. Reinhaltekongresses in Düsseldorf: 1-16, München

- (1972): Gewässerschutz in Bayern, München

- (1974): Stadt-Umland-Gutachten Bayern, München

BAYER. STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (1974 a): Regionaler Planungsverband Regensburg (Region 11), München

- (1974 b): Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan, München

- (1977): Naturschutzgebiete in Bayern - LUMBL 7: 152-166, München

- (1978 a): Strukturdatenatlas 1, München

- (1978 b): Umweltpolitik in Bayern - ein Programm, München

BAYER. STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND VERKEHR (1970): Programm Freizeit und Erholung, München

- (1977): Bayern - Wirtschaftsraum mit Zukunft - Standortatlas, München

BAYER. STAATSREGIERUNG (1975): Gesamtverkehrsplan Bayern, München

- (1976): Landesentwicklungsprogramm Bayern (LEP) - Bayer. GVBl. Anlageband zu Nr. 8, München

- (1978): 4. Raumordnungsbericht, München

BAYER. STATISTISCHES LANDESAMT (1972): Pendelwanderungen in Bayern, Teil 1, Pendlerströme - Beiträge zur Statistik Bayerns 329 a, München

BAYER. STATISTISCHES LANDESAMT (1974): Strukturdaten der neuen bayerischen Landkreise und kreisfreien Städte 4 Oberpfalz, München

- (1975): Statistisches Jahrbuch für Bayern 31, München

- (1976): Die Viehwirtschaft in Bayern 1970-1976 - Beiträge zur Statistik Bayerns 368, München

- (1977 a): Kreisdaten 1977, München

- (1977 b): Öffentliche Straßen, Brücken und Parkeinrichtungen in Bayern, Stand 1.1.1976 - Beiträge zur Statistik Bayerns 364, München

- (1977 c): Regionale Bevölkerungsvorausschätzung für Bayern 1976 - 1990, München

- (1978): Das Handwerk in Bayern - Beiträge zur Statistik Bayerns 374, München

- (1979): Betriebsstruktur der Landwirtschaft in Bayern - Beiträge zur Statistik Bayerns 369, München

BAYER. VERWALTUNGSGERICHT REGENSBURG (28.11.1977): AZ Nr. R/O 72 V 76

BAYER. VERWALTUNGSGERICHTSHOF (9.5.1978): AZ Nr. 189, 190, 191 u. 192 VIII 77

BECHMANN, A. (1978): Zum Verhältnis von Ökonomie, Ökologie und Landschaftsplanung. - Landschaft + Stadt 10: 86 - 89, Stuttgart

BERGE, H. (1976): Immissionsprobleme in der Ziegelindustrie. - Staub 36: 460-465, Düsseldorf

BERNATZKY, A. (1970): Grünflächen und Stadtklima. - Städtehygiene 21,6 131-135, Uelzen

BEVAN, M.G. et al (1974): Measurements of particulate lead on the M 4 motorway at Harlington - TRRL Laboratory Reports 626: 716-743

BLÜTHGEN, J. (1940): Geographie der winterlichen Kaltlufteinbrüche in Europa, Hamburg

- (1966): Allgem. Klimageographie, Berlin

BODECHTEL, J. u.a. (1978): Weltraumbild-Atlas, Braunschweig

BOER, W. (1954): Klimaforschung im Dienste des Städtebaus, Berlin

BOER, W. (1959): Zum Begriff des Lokalklimas. - Z. Meteorol. 13 5-11, Berlin

BONACINA, L.C.W. (1950): London Fogs. Then and Now. - Weather 5,3: 91-93, London

BOWEN, H.J.M. (1966): Trace Elements in Blochemistry, London, New York

BRESINSKY, A. (1980): Pflanzen als Umweltzeiger in Regensburg.- Schr.-R. der Universität Regensburg 2: 61-85, Regensburg

BROCKE, W. (1965): Die Luftverschmutzung durch häusliche Feuerstätten und deren Bekämpfung. - Luftverunreinigung: 32-38, Düsseldorf

- u.a. (1968): Untersuchungen über die Möglichkeiten einer Verminderung der Luftverunreinigung durch häusliche Feuerstätten. - Schr.-R. der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Heft 10: 43-65, Essen

BROCKHAUS, A. u.a. (1974): Das Vorkommen von Benzo(a)pyren und partikulärem Blei bei unterschiedlichen Immissionssituationen. - Schr.-R. d. Ver. f. Wasser-, Boden- u. Lufthygiene 42: 183-196, Stuttgart

- (1976): Emissionen polyzyklischer Kohlenwasserstoffe bei Verbrennungsprozessen in kleineren Heizungsanlagen und ihre Konzentration in der Atmosphäre. - Staub 36: 96-101, Düsseldorf

BRUNHUBER, A. (1917): Die geologischen Verhältnisse von Regensburg und Umgebung, Regensburg

BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR VEGETATIONSKUNDE UND LANDSCHAFTSÖKOLOGIE (1974): Ermittlung von aktuellen und potentiellen Erholungsgebieten in der BRD. - Schr.-R. für Landschaftspflege und Naturschutz, Heft 1, Bonn - Bad Godesberg

BUNDESMINISTER DES INNERN (1978): Was Sie schon immer über Umweltschutz wissen wollten, Bonn

BUNDESMINISTERIUM FÜR RAUMORDNUNG, BAUWESEN U. STÄDTEBAU (1973): Schallausbreitung in der Umgebung von Verkehrswegen und Industriegebieten in Bodennähe im ebenen Gelände. - Städtebauliche Forschung 03 008, Bonn - Bad Godesberg

BUND NATURSCHUTZ e.V. (1974): Vorschläge für die Ausweisung ökologischer Schutzbereiche in den größeren Flußlandschaften Bayerns, München

CAPPEL, A. (1975): Die Großwetterlagen in extremen Naß- und Trockenmonaten. - Meteorol. Rdsch. 28,3: 71-82, Berlin

CAPPEL, A.; KALB, M. (1976): Das Klima von Hamburg. - Berichte des Deutschen Wetterdienstes 18 Nr. 141, Offenbach

CAROL, H. (1956): Zur Diskussion um Landschaft und Geographie. - Geogr. Helvet. 11: 111-133, Bern

CASPAR, J.W. (1962): Die Schneedecke in der Bundesrepublik Deutschland. - Tabellen des Dt. Wetterdienstes Offenbach

CHOW, T.J. (1970): Lead Accumulation in Roadside Soil and Grass. - Nature 225: 295-296, London

CHRISTALLER, W. (1933): Die zentralen Orte in Süddeutschland, Jena

CZERWINSKI, N. (1973): Der Einfluß auf die Größenverteilung der Regentropfen auf die Normsichtweite. - Meteorol. Rdsch. 26: 58-66, Berlin

DÄSSLER, H.G. u.a. (1975): Zur Phytotoxität von Auftausalzen. - Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung 15: 69-76, Berlin

DAUBERT, K. (1962): Ein Beitrag zur Kenntnis der Bodeninversionen. - Meteorol. Rdsch. 15: 121-130, Berlin

DEIMEL, M. (1974): Kohlenmonoxid-, Blei-, Stickoxid- und Benzo(a)pyren - Belastung in Kölner Straßen. - Schr.-R. d. Ver. f. Wasser-, Boden- u. Lufthygiene 42: 149-164, Stuttgart

- (1978): Schadstoffbelastung im innerstädtischen Bereich. - TÜV-Rheinland: Abgasimmissionsbelastungen durch den Kraftfahrzeugverkehr, 150-173, Köln

- und GABLESKE, R. (1973): Messung verschiedener Abgaskomponenten des Kraftfahrzeugverkehrs in Köln. - Städtehygiene 24/12: 268-272, Uelzen

DEISCHL, E. (1972): Umweltbeanspruchung und Umweltschäden durch den Verkehr in der BRD. - Studieninstitut für angewandte Haushalts- u. Steuerpolitik, Diskussionsschriftenreihe Heft 1, München

DEUBER, A. (1977): Gasförmige Emissionen von Motorfahrzeugen und Luftfremdstoffkonzentrationen in Straßennähe unter variablen Bedingungen. - Staub 37,7 251-257, Düsseldorf

- (1978): Belastungsmodelle für stark befahrene Straßenzüge. - TÜV-Rheinland: Abgasimmissionsbelastungen durch den Kraftfahrzeugverkehr, 208-222, Köln

DEUTSCHE BUNDESPOST: Amtliches Fernsprechbuch 1979/80, Bereiche Regensburg-Weiden

DEUTSCHER WETTERDIENST IN DER US-ZONE (1952): Klimaatlas von Bayern, Bad Kissingen

DEUTSCHER WETTERDIENST (1978): Europäischer Wetterbericht - Amtsblatt des Deutschen Wetterdienstes 3, 275-334, Offenbach

DEUTSCHER WETTERDIENST, WETTERSTATION REGENSBURG (1960-1979): Synoptische Klimatagebücher

DIEM, M.; ZEDLER, P. (1964): Der Wind in der bodennahen Schicht bis 100 m Höhe in Karlsruhe und Mühlacker. - Ber. D.W.D. 13 Nr. 97, Offenbach

DIETRICH, D. (1976): Das Stadtklima. - Bilder aus der Wissenschaft, Manuskript NDR

DILGER, H. u.a. (1975): Aufstellung und Vergleich verschiedener Schemata zur Bestimmung von Ausbreitungskategorien. - Meteorol. Rdsch. 27,1: 12-17, Berlin

DITTMER, E. (1954): Der Mensch als geologischer Faktor an der Nordseeküste. - Eiszeitalter und Gegenwart 5: 240-245, Öhringen

DOMRÖS, M. (1966): Luftverunreinigung und Stadtklima im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet und ihre Auswirkungen auf den Flechtenwuchs der Bäume. - AzRL 23, Bonn

- (1967): Flechten als Indikator von Luftverunreinigungen und Stadtklima. - Städtehygiene 18,2: 33-39, Uelzen

- und HEIDT, V. (1977): Untersuchungen zum Ökosystem Mainz. - Mainzer Geographische Studien, Heft 11: 189-210, Mainz

DORSCH CONSULT (1972): Regensburg, Wirtschafts- und Verkehrsuntersuchung Teil 1 u. 2, München

DREYHAUPT, F.J. (1971): Luftreinhaltung als Faktor der Stadt- u. Regionalplanung. - TÜV-Rheinland e.V.: Schr.-R. Umweltschutz 1, Köln

- (1978): Vergleich der Emissionssituation in verschiedenen Ballungsgebieten, dargestellt an den Luftreinhaltegebieten Rheinschiene Süd und Ruhrgebiet West. - TÜV Rheinland e.V.: Abgas-Immissionsbelastungen durch den Kraftfahrzeugverkehr, Köln

DULSON, W. (1978): Die Zusammensetzung von Vergaserkraftstoffen und ihre Verbrennungsprodukte. - Aurand, K. u.a.: Organische Verunreinigungen der Umwelt, 350-355, Berlin

DÜWEL, L.; ZÜNDORF, O.J. (1974): Erhebung und katastermäßige Dokumentation der Emissionen luftfremder Stoffe in die Atmosphäre, Emissionen luftfremder Stoffe aus Industriebetrieben. - TÜV Rheinland e.V.: Schr.-R.: Umweltschutz 4, Köln

VON EIMERN, J. (1971): Wetter und Klimakunde für Landwirtschaft, Garten und Weinbau, Stuttgart

ELLENBERG, H. (1972): Belastung und Belastbarkeit von Ökosystemen. - Steubing- L.: Tagungsbericht der Gesellschaft für Ökologie, 19-26, Giessen

- (1973): Ökosystem-Forschung im Internationalen Biologischen Programm. - Forschung und Information 14: 27-34, Berlin

EMONDS, H. (1954): Das Bonner Stadtklima - Arbeiten zur rheinischen Landeskunde Heft 7, Bonn

ENDERS, A. (1972): Beitrag der kommunalen Unternehmen zur Umweltvorsorge. - Stadtwerke Regensburg

ENDERS, G. (1980): Die Siedlung als klimatisch differenzierter Lebensraum. - Berichte der Akademie für Naturschutz- und Landschaftsforschung, 4: 104-110, Laufen

ERIKSEN, W. (1964): Das Stadtklima, seine Stellung in der Klimatologie und Beiträge zu einer witterungsklimatologischen Betrachungsweise. - Erdkunde 18, 4: 257-266, Bonn

- (1971 a): Die Häufigkeit meteorologischer Fronten über Europa und ihre Bedeutung für die klimatische Gliederung des Kontinents. - Erdkunde 25: 163-178, Bonn

- (1971 b): Die stadtklimatischen Konsequenzen städtebaulicher Entwicklung. - Städtehygiene 22: 259-262, Uelzen

- (1975): Probleme der Stadt- und Geländeklimatologie. - Erträge der Forschung, 35, Darmstadt

- (1976):Die städtische Wärmeinsel. - G.R.28,9: 368-373, Braunschweig

- (1978 a): Klimatologisch-ökologische Aspekte der Umweltbelastung Hannovers. - Stadtklima und Luftverunreinigung. - Hannover und sein Umland, Jahrbuch für 1978 der Geogr. Gesellsch. zu Hannover 251-273, Hannover

- (1978 b): Wärmeinseln in der Stadt. - Umschau 78,20: 640-641, Frankfurt a.M.

EWAG-ENERGIE- UND WASSERVERSORGUNG AG (1975): Energiebericht Nürnberg, Nürnberg

FAUST, H. (1968): Das große Buch der Wetterkunde, Düsseldorf, Wien

FAUST, V. (1977): Biometeorologie, Stuttgart

FIALA, E. (1968): Das Abgasproblem im Stadtverkehr. - Bild der Wissenschaft 5,1: 17-25, Stuttgart

FIEDLER, H.J. (1973): Methoden der Bodenanalyse, Dresden

FINKE, L. (1978 a): Der ökologische Ausgleichsraum - plakatives Schlagwort oder realistisches Planungskonzept. - Landschaft + Stadt 10,3: 114-119, Stuttgart

- (1978 b): Vom innerstädtischen Grün wird zu viel erwartet - Umschau 78,8: 243-244, Frankfurt a.M.

- u.a. (1976): Zuordnung und Mischung von bebauten und begrünten Flächen. - Städtebauliche Forschung 03 044, Bonn

FISCHER, K. (1979): Freiräume in der Stadtlandschaft. - Natur und Landschaft 54 35-39, Stuttgart

FLOHN, H. (1942): Witterung und Klima in Deutschland. - F.Dt.L. 41, Leipzig

- (1954): Witterung und Klima in Mitteleuropa. - F.Dt.L. 78, Stuttgart

- (1970): Produzieren wir unser eigenes Klima? - Meteorol. Rdsch. 23: 161-164, Berlin

FLURL, M. (1792): Beschreibung der Gebirge von Baiern und der oberen Pfalz, München

FOCHLER HAUKE, G. (1976): Allgemeine Geographie, Frankfurt a.M.

FORTAK, H. (1966): Rechnerische Ermittlung der SO_2-Grundbelastung aus Emissionsdaten. - Veröffentlichungen des Instituts für theoretische Meteorologie der Freien Universität: 1-42, Berlin

- (1970 a): Aufgaben und Möglichkeiten von mathematisch-meteorologischen Diffusionsmodellen auf dem Gebiet der Luftreinhaltung. - Schr. R. d. Ver. Wasser-, Boden-, Lufthygiene 30, Stuttgart

- (1970 b): Mathematische Modelle zur Immissionsermittlung in industriellen Ballungsgebieten. - VDI-Bericht 149, Düsseldorf

- (1974): Modell für Luftqualitätsbestimmung, Lufthygienisch-meteorologische Modelluntersuchung in der Region Untermain.- Regionale Planungsgemeinschaft Untermain, 5. Arbeitsbericht, Frankfurt a.M.

FORUM REGENSBURG (1972): Diskussionsheft 6, Regensburg

FORUM REGENSBURG (1974): Brücken in Regensburg. - Diskussionsheft 7, Regensburg

- (1975): Gries-Stadtamhof. - Diskussionsheft 8, Regensburg

- (1977/1978): Diskussionsheft 10, Regensburg

FRANKE, E. (1977): Stadtklima, Stuttgart

FRITZ, G. (1979): Übersicht über die Erschließung der Tal- und Uferbereiche der Bundesrepublik Deutschland durch Verkehrswege. - Natur und Landschaft 54: 75-76, Stuttgart

FÜRNROHR, A. (1839): Naturhistorische Topographie von Regensburg, Regensburg

FUSS, F.(1971): Der Einfluß der Bodenbedeckung auf das Klima des Bodens und der bodennahen Luft. - Ber. DWD 10 Nr. 74, Offenbach

GARBER, K. (1967): Luftverunreinigung und ihre Wirkungen, Berlin

GEIGER, R. (1942): Das Klima der bodennahen Luftschicht, Braunschweig

- (1956): Das Wasser in der Atmosphäre als Nebel und Niederschlag. - Ruhland, W.: Handbuch der Pflanzenpysiologie 3, Berlin, Göttingen, Heidelberg

GEORGII, H.W. (1963): Die Belastung der Luft mit gasförmigen Luftverunreinigungen.- Umschau 24: 757-762, Frankfurt a.M.

- (1965): Untersuchung über Ausregnen und Auswaschen atmosphärischer Spurenstoffe durch Wolken und Niederschlag. - Ber. DWD 14 Nr. 100, Offenbach

- (1970): Das natürliche Aerosol in reiner und verunreinigter Luft. - Schr.-R. d. Ver. f. Wasser-, Boden- u. Lufthygiene 30: 13-18, Stuttgart

- (1972): Ermittlung der CO-Immissionskonzentration unter Berücksichtigung meteorologischer Verhältnisse. - Staub 32: 70-74, Düsseldorf

- und DOMMERMUTH, H. (1968): Untersuchung der SO_2-Konzentrationsverteilung einer Großstadt in Abhängigkeit von meteorologischen Einflußgrößen. - Ber. Inst. Meteorol. u. Geophys. d. Univ. Frankfurt, Nr. 14, Frankfurt a.M.

- und JOST, D. (1964): Untersuchungen über die Verteilung von Spurengasen in der freien Atmosphäre. - Pure and Applied Geophysics 57: 217-224; Basel, Stuttgart

GEORGII, H.W.; JOST, D.; SCHAEFER, H.J. (1968): Über die räumliche und zeitliche Verteilung von Schwefeldioxid und Sulfataerosolen in der unteren Troposphäre. - Ber. Inst. Meteorol. u. Geophys. d. Univ. Frankfurt: 1-65, Frankfurt a.M.

- u.a, (1972): Probeweiser Betrieb einer Meßstation zur Ermittlung der Immissionskonzentrationen luftverunreinigender Stoffe und ihre Abhängigkeit von den Emissionen unter Berücksichtigung der meteorologischen Faktoren. - Ber. Inst. Meteorol. u. Geophys. d. Univ. Frankfurt: 1-113, Frankfurt a.M.

- u.a. (1977): Bildung und Transport von Photooxidantien im Raum Bonn-Köln u. Frankfurt/M..- VDI-Bericht 270: 19-24, Düsseldorf

- und WEBER, E. (1962): Untersuchungen der Kohlenmonoxid-Immission in einer Großstadt. - Internat. Journal Air and Water Poll. 6: 179-195, Oxford

GERTIS, K.; WOLFSEHER, U. (1977): Veränderung des thermischen Mikroklimas durch Bebauung. - Gesundheits Ingenieur 98, 1/2: 1-10, München.

GINSBURG, I. I. (1963): Grundlagen und Verfahren geochemischer Sucharbeiten auf Lagerstätten der Buntmetalle und seltenen Metalle, Berlin

GOERKE, W. (1963): Die Wirkung industrieller Immissionen auf Pflanzen und Tiere. - Schmutzige Luft - Reine Luft: 17-23, Bonn

GOLDSCHMIDT, V.M. (1954): Geochemistry, Ann Arbor, Mi.

GOPPEL, Ch. (1976): Verbreitung u. Ökologie von Rindenflechten im Stadtgebiet von Regensburg. - Ihr Zeigerwert für Stadtklima und Luftverschmutzung. - Hoppea, Denkschr. Regensb. Bot. Ges. 35: 5-102, Regensburg

GRANDJEAN, E.; GILGEN, A. (1973): Umwelthygiene in der Raumplanung, Thun, München

GRASSER, M. (1971): Regensburg, kleines Handlexikon, Regensburg

GRÖNING, G. (1975): Über das Interesse an Kleingärten, Dauercampingparzellen und Wochenendhaus-Grundstücken. - Landschaft + Stadt 7,1 7-14, Stuttgart

GROLL-KNAPP, E. u.a. (1972): Auswirkungen geringer Kohlenmonoxid-Konzentrationen auf Vigilanz und computer-analysierte Hirnpotentiale. - Staub 32: 185-188, Düsseldorf

GROSSE-BRAUCKMANN, E. (1971): Bleiablagerungen aus Kraftfahrzeugabgasen im Straßeneinschnitt an einer innerstädtischen vierspurigen Hauptverkehrsstraße. - Straße und Autobahnen 22, 10: 460-461, Bonn-Bad Godesberg

GRUNDKE, G. (1955): Die Bedeutung des Klimas für den industriellen Standort, Gotha

GÜTTER, A. (1971): Nordbairischer Sprachatlas, München

HAASE, G. (1977): Ziele und Aufgaben der geographischen Landschaftsforschung in der DDR. - Geographische Berichte 12 (82): 1-19, Gotha

- (1979): Entwicklungstendenzen in der geotopologischen und geochorologischen Naturraumerkundung. - 123, 1:7-17, Gotha

HAEBISCH, H. (1970): Die Zigarette als Kohlenmonoxidquelle - Arch. Toxicol. 26 251-261, Berlin

HÄCKEL, E. (1866): Generelle Morphologie der Organismen, Berlin

HAGEL, J. (1972): Geographische Aspekte der Umweltgestaltung. - G.R. 24: 20-29, Braunschweig

- (1976): Umweltprobleme - Grundüberlegung und Unterrichtsmodell. - Der Erdkundeunterricht 20, 23: 35-76, Stuttgart

HALBWACHS, G. (1963): Untersuchungen über gerichtete aktive Strömungen und Stoffwechseltransporte im Blatt. - Flora 153 333-357, Jena

HALLIDAY, E.C. (1961): Zur Geschichte der Luftverunreinigung Weinheim

HANN, J.; KNOCH, K. (1932): Handbuch der Klimatologie, Stuttgart

HANSEN, O. u.a. (1972): Aufnahme und Abgabe von Kohlenoxid während Einatmung niedriger CO-Konzentrationen bei Rauchern und Nichtrauchern. - Staub 32: 167-169, Düsseldorf

HARTKAMP, H. (1974): Untersuchungen zur Immissionsstruktur einer Großstadt. - Schr.-R. d. Ver. f. Wasser-, Boden- u. Lufthygiene 42 125-148, Stuttgart

HARZER, W. (1973): Eine witterungsklimatische Betrachtung des Makroklimas im Donauraum, in der Regensburger Bucht und im Dungau, Regensburg (Examensarbeit)

HAUTAU, H. (1977): Städtische Belastungsräume in der Bundesrepublik Deutschland. - Raumforschung und Raumordnung 35,3: 116-129, Köln

HAVLIK, D. (1970): Inversionswetterlagen im südlichen Oberrheingebiet. - Meteorol. Rdsch. 23: 129-134, Berlin

HEIDTMANN, E. (1975): Die ökologische Raumgliederung, eine sinnvolle Grundlage für die ökologische Planung. - Natur und Landschaft 50: 72-74, Stuttgart

HEIGL, L. (1975): Landesplanung in Bayern. - Raumforschung und Raumordnung 33,2: 55-64, Köln

HEILENZ, S. (1970): Zum Problem über den Bleigehalt von Pflanzen an verkehrsreichen Straßen. - Landwirtschaftliche Forschung, Sonderheft 1, Frankfurt a.M.

HENDEL, M. (1966): Grundriß einer Klimakunde der deutschen Landschaften, Leipzig

HENNING, J. (1977): Wie feucht ist Deutschlands Klima? - G.R. 29,9: 306-307, Braunschweig

HENTSCHEL, G.; LEIDREITER, W. (1960): Die Häufigkeit von Inversionen im bodennahen Luftraum (15-76 m über Grund) in Abhängigkeit von der Jahreszeit, Tageszeit und Windrichtung. - Beihefte zu Z. f. Met. 3,12: 353 362, Berlin

HERB, H. (1964 a): Nebel und Hochnebel im Raum Regensburg, München

- (1964 b): Statistische Untersuchung über die Häufigkeit von Inversionen, Nebel und Hochnebel im Raum München, München

- (1964 c): Statistische Untersuchung über die Häufigkeit von Inversionen, Nebel und Hochnebel im Raum Nürnberg-Erlangen, München

- (1973): Die Schneeverhältnisse in Bayern. - Schr.-R. d. Bayer. Landesstelle für Gewässerkunde 12, München

HERMES, K. (1979): Zur Stadtgeographie Regensburgs im 19. und 20. Jahrhundert. - Schr.-R. d. Universität Regensburg 1: 205-232, Regensburg

HERZOG, J. (1973): Die Häufigkeit sonniger Tage in Südbayern. - Meteor. Rdsch. 26: 181-183, Berlin

HESS, F.; BREZOWSKY, H. (1952): Katalog der Großwetterlagen Europas. - Ber. DWD US-Zone 1, Nr. 3, Offenbach

HEYER, E. (1975): Witterung und Klima, Leipzig

HILLER, O.K. (1978): Über die Luftbelastung in Augsburg. Eine geographische Modellstudie zur Stadtklimaforschung - G.R. 30,5: 189-197, Braunschweig

HÖRTH, M. (1978): Methodischer Beitrag zur Erfassung und Bewertung von Nutzungskonflikten in der Landwirtschaft. - Landschaft + Stadt 10: 11-23, Stuttgart

HOFMEISTER, B. (1969): Stadtgeographie„ Braunschweig

HORNEY, G. (1975): Das Häufigkeitsspektrum der Windrichtungen in ökologischer Sicht. - Ber. DWD 18 Nr. 138, Offenbach

INNENMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg) (1977): Städtebauliche Klimafibel; Hinweise für die Bauleitplanung Folge 1, Stuttgart

INSTITUT FÜR UMWELTSCHUTZ UND UMWELTGÜTEPLANUNG DER UNIVERSITÄT DORTMUND (1975): Umweltbelastungsmodell einer Großstadtregion, dargestellt am Beispiel der Stadt Dortmund. - Beiträge zur Umweltgestaltung B 10, Berlin

JÄGER, H. (1978): Luftverschmutzung, ein Problem unserer Städte. - G.R. 30,6: 234-241, Braunschweig

JENDRITZKY, G. u.a. (1979): Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und Landschaftsplanung. - Veröff. d. Akad. f. Raumforschung u. Landesplanung 26, Hannover

JOCHUM, E. u.a. (1976): Darstellung eines Bewertungsverfahrens zur qualitativen Analyse des halböffentlichen Grüns in Neubaugebieten. - Landschaft + Stadt 8: 145-159, Stuttgart

JOST, D.; RUDOLF, W. (1973): Bestimmung der atmosphärischen Verweilzeit von Luftverunreinigungen mittels aerologischer Aufstiege. - Proceedings of the Third Int. Cleam Air Congr. C 107-C 109, Düsseldorf

JUNGE, C.E. (1960): Sulfur in the Atmosphare. - Journal of Geophys. Res. 65: 227-237, Baltimore, Md

KADRO, A.; KENNEWEG, H. (1973): "Das Baumsterben" auf dem Farb-Infrarotluftbild. - Das Gartenamt 22: 149-157; Hannover, Berlin

KALB, M. (1962): Einige Beiträge zum Stadtklima von Köln. - Meteorol. Rdsch. 15: 92-99, Berlin

KAULE, G. (1976): Kartierung schutzwürdiger Biotope in Bayern. - Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Alpenpflanzen und Tiere 41: 25-42, München

KAULE, G.; JÜRGING, P. (1977): Biotopkartierung für die Landschaftsrahmenplanung dargestellt am Beispiel der Donauebene Region 10, Ingolstadt. - Bayer. Landesamt f. Umweltschutz: Schr.-R. Naturschutz und Landschaftspflege 8: 7-22, München

KEIL, K. (1950): Handwörterbuch der Meteorologie

- (1969): Gradient und Gefälle. - Meteorol. Rdsch. 22,6: 169-170, Berlin

KELLENBENZ, H. (1962): Bürgertum und Wirtschaft in der Reichsstadt Regensburg. - Bl. f. dt. Landesgesch. 98 90-120, Wiesbaden

KELLNER, K.H. u.a. (1974): Untersuchung der lufthygienischen Belastung des Donauraumes zwischen Ingolstadt und Neustadt. - Bayer. Landesamt f. Umweltschutz: Schr.-R. Umweltschutz 2, München

KERN, H. (1954): Niederschlags-, Verdunstungs- und Abflußkarten von Bayern (1901-1951). - Veröffentlichungen aus dem Arbeitsbereich der Bayer. Landesstelle f. Gewässerkunde in München, München

- (1961): Große Tagessummen des Niederschlags in Bayern. - Münchener Geographische Hefte 21, Kallmünz

- (1973): Mittlere jährliche Abflußhöhen 1931-1960. - Schr.-R. der Bayer. Landesstelle für Gewässerkunde 5, München

KETTNER, H. (1974): Lufthygienischer Einfluß von unterirdischen privaten Tiefgaragen auf die Anwohner. - Schr.-R. d. Ver. f. Wasser-, Boden- u. Lufthygiene 42: 119-124, Stuttgart

KLASEN, J. (1977): Regensburg - eine geographische Busexkursion. - Acta Albertina Ratisbonensia 37: 5-42, Regensburg

KLEISS, M. (1963): Inversionen der unteren Troposphäre im Raum Karlsruhe-Stuttgart. - Ber. DWD 12 Nr. 30, Offenbach

KLOKE, A. (1974): Blei-Zink-Cadmium: Anreicherungen von Schwermetallen in Böden und Pflanzen. - Staub 34: 18-21, Düsseldorf

- und RIEBARTSCH, K.; LEH, H.O. (1966): Verunreinigung von Kulturpflanzen mit Blei aus Kraftfahrzeugabgasen. - Landwirtschaftliche Forschung 20 (Sonderheft): 119-123, Frankfurt a.M.

KLUG, H. (1980): Netzwerk Landschaft, Belastung und Belastbarkeit geographischer Systeme. - Schr.-R. d. Universität Regensburg 2: 87-106, Regensburg

- und LANG, R. (1980): Physisch-geographische Forschungsprojekte im Regensburger Raum - Acta Albertina Ratisbonensia Bd 39: 81-115, Regensburg

KLUG, W. (1969): Ein Verfahren zur Bestimmung der Ausbreitungsbedingungen aus synoptischen Beobachtungen.- Staub 29: 143-147, Düsseldorf

- (1970): Die Ausbreitung luftfremder Stoffe in den untersten Schichten der Atmosphäre. - Schr.-R. der Ver. f. Wasser-, Boden- u. Lufthygiene 30: 9-18, Stuttgart

KIESE, O. (1972): Die Rolle künstlich erzeugter Wärme in der Atmosphäre. - Steubing, L.: Belastung und Belastbarkeit von Ökosystemen, Tagungsbericht der Gesellschaft f. Ökologie 1: 175-180, Giessen

KILLERMANN, W. (1972): Landschaftsökologie und vegetationskundliche Untersuchungen in der Frankenalb und im Falkensteiner Vorwald. - Dis. Botanicae 19, München

KING, E. (1973): Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltluftflusses und der Frostgefährdung durch Straßenbauten. - Ber. DWD 17 Nr. 130, Offenbach

KISSER, J. u.a. (1962): Physiologische Ursachen charakteristischer Rauchschädigungssymptome. - Wiss. Z. Univ. Dresden 11: 533-559, Dresden

KNELSON, J.H. u.a. (1972): Luftqualitätskriterien und Immissionsgrenzwerte für Kohlenmonoxid in den Vereinigten Staaten. - Staub 32: 180-183, Düsseldorf

KNETSCH, G. (1952): Der Kölner Dom in der Geologie - Kölner geologische Hefte 2, Köln

KOLLMANN, H. (1977): Untersuchungen über die Auswirkungen von Metallgehalten in kommunalen Klärschlämmen auf die Geochemie, Rohstoffwirtschaft und Umweltbelastung eines hochindustrialen Gebiets, München

KOLODZIEJCOK, K.G. (1975): Die Entwicklung des Naturschutzrechts in der Bundesrepublik Deutschland. - Natur und Landschaft 50,1: 3-7 Stuttgart

KOMAROW, B. (1979): Das große Sterben am Baikalsee, Reinbeck b. Harzburg

KRATZER, P.A. (1956): Das Stadtklima. - Die Wissenschaft 90, Braunschweig

KRAUS, H. (1958): Untersuchungen über den nächtlichen Energietransport und Energiehaushalt in der bodennahen Luftschicht bei der Bildung von Strahlungsnebeln. - Ber. DWD 7 Nr. 48, Offenbach

- (1970): Die Energieumsätze in der bodennahen Atmosphäre. - Ber. DWD 16 Nr. 117, Offenbach

KREUZER, G. (1972): 2000 Jahre Regensburger Stadtentwicklung, Regensburg

KRIST, Th. (1974): Grundwissen Umweltschutz, Darmstadt

KROPP, L. (1975): Grundlagen der Ausbreitungsrechnung. - TÜV Rheinland: Immissionsprognose, Köln

- (1978): Zeitliche und räumliche Abhängigkeit der Immissionen, abgeleitet aus emissionsseitigen und meteorologischen Bedingungen. - TÜV Rheinland, Abgasimmissionsbelastungen durch den Kraftfahrzeugverkehr: 64-80, Köln

KÜNNE, H. (1975): Die Kartierung schutzwürdiger Biotope in Bayern. - Garten und Landschaft 85,5: 328-355, 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, Washinton D.C.

LAHMANN, E. (1969): Untersuchungen über Luftverunreinigungen durch den Kraftverkehr. - Schr.-R. d. Ver. f. Wasser-, Boden- u. Lufthygiene 28: 1-80, Stuttgart

- (1974): Meßergebnisse der Luftverunreinigung an "autofreien" Sonntagen in Berlin. - Bundesgesundheitsblatt 17: 105-106, Köln

- und WESTPHAL, J. (1968): Beziehungen zwischen Kraftverkehrsdichte u. Luftverunreinigungen in einer Großstadtstraße. - Der Straßenbau 59: 311-314, Düsseldorf

LAMP, R. (1970): Zur Wiederholung von Nebellagen. - Meteorol. Rdsch. 23: 141-144, Berlin

LANDMANN, H.D. (1977): Das Entwicklungsachsenkonzept in Bayern. - Raumforschung und Raumordnung 35, 1/2: 18-24, Köln

LANG, G. (1962): Meßtechnische und instrumentelle Probleme der Röntgenfluoreszensanalyse. - Zeitschrift f. Instrumentenkunde 70,12: 285-294, Berlin

LEISEN, P. (1978): Windkanaluntersuchungen zur Simulation von Immissionssituationen in verkehrsreichen Straßenschluchten. - TÜV Rheinland, Abgasimmissionsbelastungen durch den Kraftfahrzeugverkehr: 223-249, Köln

LESER, H. (1973): Physiographische Untersuchungen als Planungsgrundlage für die Gemarkung Esslingen a. Neckar. - G.R. 25: 308-318, Braunschweig

- (1978): Landschaftsökologie, Stuttgart

LINDACKERS, K.H.; MAY, H. u.a. (1971): Erhebung und katastermäßige Dokumentation der Emissionen luftfremder Stoffe in die Atmosphäre. - TÜV Rheinland Schr.-R. Umweltschutz 2, Köln

LORENZ, D. (1973): Meteorologische Probleme bei der Stadtplanung. - Baupraxis 25,9: 57-62, Stuttgart

LOUB, W. (1975): Umweltverschmutzung und Umweltschutz aus naturwissenschaftlicher Sicht, Wien

LUCKAT, S. (1972 a): Ein Verfahren zur Bestimmung der Immissionsrate gasförmiger Komponenten - Staub 32: 484-486, Düsseldorf

- (1972 b): Untersuchungen zum Schutz von Sachgütern aus Naturstein vor Luftverunreinigungen. - Staub 32: 217-220, Düsseldorf

- (1973): Die Wirkungen von Luftverunreinigungen beim Steinzerfall. - Staub 33: 282-285, Düsseldorf

- (1977): Die Einwirkung von Luftverunreinigungen auf die Bausubstanz des Kölner Doms. - Kölner Domblatt 42: 151-188, Köln

LUDWIG-BOLZMANN-INSTITUT (1977): Stadtökologie, Graz

LÜTZKE, K. (1975): Emissionen von Stickstoffoxiden aus Feuerungsanlagen (Industrie, Haushalt). - Staub 35: 127-136, Düsseldorf

LUTZKY, N. (1978): Die Eignung von Industrien für Standorte in Verdichtungsräumen. - Raumforschung und Raumordnung 36,4: 165-179, Köln

MAACK, R. (1956): Über Waldverwüstung und Bodenerosion im Staate Paraná.- Die Erde N.F. 8: 191-228, Berlin

MAHONEY, J.R. (1971): Bericht über Modelle zur Vorhersage von Luftverunreinigungen, Paris

MAIER, J. (1975): Die Stadt als Freizeitraum. - G.R. 27,1: 7-17, Braunschweig

MALORNY, G. (1972): Allgemeiner Überblick über die Wirkung von Kohlenmonoxid auf den Menschen. - Staub 32: 131-142, Düsseldorf

MANIER, G. (1971): Untersuchungen über meteorologische Einflüsse auf die Ausbreitung von Schadgasen. - Ber. DWD 16 Nr. 124, Offenbach

- (1975): Vergleich zwischen Ausbreitungsklassen und Temperaturgradienten. - Meteor. Rdsch. 28,1: 6-11, Berlin

- und BENESCH, W. (1977): Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit bis 250 m Höhe für die Bundesrepublik Deutschland. - Meteorol. Rdsch. 5: 144-152, Berlin

MATHÉ, P. (1975): Grünordnung und Umwelthygiene. - Schr.-R. d. Ver. f. Wasser-, Boden- und Lufthygiene 45: 97-110, Stuttgart

MATTHESS, G. (1972): Bleigehalte in Gestein, Boden und Grundwasser. - Blei und Umwelt: 21-27, Berlin

MAY, H.; PLASSMANN, E. (1973): Abgasemissionen von Kraftfahrzeugen in Großstädten und industriellen Ballungsgebieten. - TÜV Rheinland, Schr.-R. Umweltschutz 3: 1-171, Köln

MAYER, H. (1972): Inversionen in der bodennahen Atmosphäre über Karlsruhe. - Meteorol. Rdsch. 25: 153-161, Berlin

MAYERL, D. (1979): Die Bedeutung der Biotopkartierung für die Planung. - Natur und Landschaft 54: 69-74, Stuttgart

MC CORMIC, R.A.; GUTSCHE, B. (1969): Meteorologie der Luftbeimengungen. - Abhandlungen des Instituts für Theoretische Meteorologie der FU Berlin 126, Berlin

MELBOLDT, H. (1974): Probleme der Luftreinhaltung im Hinblick auf die Emission gasförmiger Schadstoffe bei Verbrennungsprozessen. - Fernwärme International 1, Frankfurt a.M.

MINISTER FÜR ARBEIT GESUNDHEIT U. SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (1972): Emissionskataster Köln, Düsseldorf

- (1975): Zwischenbericht über die Ermittlung der Luftverunreinigung im Raum Duisburg-Oberhausen-Mülheim, Düsseldorf

MOHR, U. u.a. (1975): Untersuchungen über die carcinogene Belastung des Menschen durch Luftverunreinigung. - Abteilung für experimentelle Pathologie der Medizinischen Hochschule Hannover, 1-331, Hannover

MOLL, W. (1973): Taschenbuch für Umweltschutz 1, Darmstadt

- (1979): Taschenbuch für Umweltschutz 2, Darmstadt

MORGEN, A. (1957): Die Besonnung und ihre Verminderung durch Horizontbegrenzung. - Veröff. Meteorol. Hydrol. Dienst DDR Nr. 12, Berlin

MROSE, H. (1955): Klima und Wetter in ihrer Wirkung auf den Menschen, Wittenberg

MÜLLER, G. (1977): Wissenschaftliches Gutachten zu ökologischen Planungsgrundlagen im Verdichtungsraum Nürnberg-Fürth-Erlangen-Schwabach, München

MÜLLER, K.H. (1979): Der Bleigehalt innerstädtischer Böden als Maß für die Entsorgung von Kraftfahrzeug-Abgasen. - Naturwissenschaften 66: 108-110, Berlin

MÜLLER, P. (1972): Probleme des Ökosystems einer Industriestadt dargestellt am Beispiel von Saarbrücken. - Steubing, L.: Belastung und Belastbarkeit von Ökosystemen, Tagungsbericht der Gesellschaft für Ökologie 1: 123-132, Giessen

- (1974): Ökologische Kriterien für die Raum- und Stadtplanung. - Umwelt Saar: 6-51, Homburg

NEEF, E. (1963): Topologische und chorologische Arbeitsweisen in der Landschaftsforschung. - Pet. Mitt. 107: 249-259, Gotha

- (1964): Geographische Maßstabsbetrachtungen zur Wasserhaushaltsgleichung. - Abh. d. Sächs. Akad. d. Wiss. Leipzig, Math.-Nat. Kl. 48,5, Berlin

- (1967): Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre, Gotha

- (1970): Zu einigen Fragen der vergleichenden Landschaftsökologie. - Geogr. Z. 58: 161-175, Wiesbaden

NESTER, K. (1966): Häufigkeitsstatistische Aussagen über Maximalkonzentrationen von Schornsteinabgasen aufgrund synoptischer Wetterbeobachtungen. - Met. Inst. T.H. Darmstadt

NEUWIRTH, R. (1959): Unterschiede in der Staubbelastung zwischen Ebene und Höhenlage. - Meteor. Rdsch. 12: 144-146, Berlin

NOWOTNY, E. (1972): Wirtschaftspolitische Aspekte des Umweltschutzes. - Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft 128 673-698, Tübingen

OBST, J. (1979): Altstadtsanierung Regensburg, Vorbereitende Untersuchungen im Sanierungsgebiet I - Sozialbericht (Teil 2), Regensburg

ODZUCK, W. (1978): Soziologische und ökologische Auswirkungen von Emissionen des Straßenverkehrs auf die Wiesenvegetation. - Landschaft + Stadt 10: 23-29, Stuttgart

OELS, H. (1969): Die Bedeutung der Europäischen Charta zur Reinhaltung der Luft für die Bundesrepublik Deutschland.- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, Bulletin Nr. 19: 155-156, Bonn

OLSCHOWY, G. (1970): Zur Belastung der Umwelt - Eine Bilanz der Schäden - Vortrag auf der Landesgruppenversammlung der Landesgruppen Niedersachsen und Bremen des Verbandes kommunaler Unternehmer e.V., Bremen

- (1971 a): Zur Belastung der Umwelt - Eine Bilanz der Schäden. - Schr.-R, für Landschaftspflege und Naturschutz 7.

- (Hrsg.) (1971 b): Belastete Landschaft - Gefährdete Umwelt, München

- (1975): Straße und umweltökologische Gesichtspunkte beim Straßenbau. - Natur und Landschaft 50: 337-343, Stuttgart

- (1978): Natur- und Umweltschutz in der Bundesrepublik Deutschland, Hamburg, Berlin

- und MRASS, W.; KULLMER, H.; BÜRGER, K. (1969): Zur Belastung der Landschaft. - Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 4, Hiltrup

OSCHMANN, F. (1958): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000 - Blatt 7038 Bad Abbach, München

V. D. OSTEN, G. (1978): Naturschutz - warum? Eine Übersicht über seine Begründungen. - Natur und Landschaft 53 317-319, Stuttgart

PAGE, A.L. u.a. (1971): Lead Quantities in Plants, Soil and Air Near Some Major Highways in Southern California Hilgardia 41: 1-31, Berkeley, Calif.

PASQUILL, F. (1961): The Estimation of the Dispersion of Windborne Material. - Meteorological Magazine 90: 33-49, London

PFADENHAUER, J. (1976): Arten- und Biotopschutz für Pflanzen, ein landeskulturelles Problem. - Landschaft + Stadt 8: 37-45, Stuttgart

PHILIPPI, K. (1977): Naturwissenschaften und Medizin im Umweltschutz: Frankfurt a.M.

PIERSIG, W. (1947): Das Klima Nordbayerns und des Donautales. - Unser Wegweiser in Obstbau, Garten und Kleintierhof 2,6: 77-78/2,7: 93, München

POLSTER, G. (1967): Zur Anwendung der Turnerschen Klassifizierung der Diffusionskategorien in der mitteleuropäischen Klimaregion. - Zentrale Abteilung Strahlenschutz der Kernforschungsanlage Jülich, interner Bericht Nr. 94, Jülich

- (1969): Erfahrungen mit Strahlungs-, Temperaturgradient und Windmessungen als Bestimmungsgrößen der Diffusionskategorien. - Meteorol Rdsch. 22,6: 170-175, Berlin

POPA, B. u.a. (1976): Die Ausbreitung von Schadstoffemissionen aus Industrieschornsteinen. - Staub 36: 401-405, Düsseldorf

POWERS, M.C. (1960): X-Ray-Fluorescent-Spectrometer Conversion Tables for Topaz, LiF, NaCl EDDT and Adp. Crystals, New York

PRESSE- UND INFORMATIONSZENTRUM DES DEUTSCHEN BUNDESTAGES (1972): Umweltschutz II, Luftreinhaltung und Abfallbeseitigung, Bonn

DER RAT DER SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN (1974): Umweltgutachten, Stuttgart

DER RAT DER SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN (1978): Umweltgutachten, Stuttgart

REGIERUNGSPRÄSIDIUM DER OBERPFALZ (1978 a): Landschaftsrahmenplan, Region Regensburg, Bestandskarte: Topographische Karte 1:50 000, L 6938, Regensburg

- (1978 b): Landschaftsrahmenplan, Region Regensburg, Bestandskarte: Topographische Karte 1:50 000, L 7138, Regensburg

- (1978 c): Landschaftsrahmenplan, Region Regensburg, Landschaftsökologische Raumeinheiten und Naturräume: Topographische Karte 1:50 000, L 6938, Regensburg

- (1978 d): Landschaftsrahmenplan, Region Regensburg, Landschaftsökologische Raumeinheiten und Naturräume: Topographische Karte 1:50 000, L 7138, Regensburg

- (1978 e): Landschaftsrahmenplan, Region Regensburg, Zielkarte: Topographische Karte 1:50 000, L 6938, Regensburg

REGULA, H. (1959): Entstehen und Verhalten von Strahlungsnebeln im Rhein-Main-Gebiet. - Meteorol. Rdsch. 12: 139-142, Berlin

REICHOW, H.B. (1948): Organische Stadtbaukunst, Braunschweig

REIDAT, R. (1948): Der Jahresgang des Nebels in Deutschland. - Ann. Meteorol. I, Hamburg

REMMERT, H. (1978): Ökologie, Berlin, Heidelberg, New York

RIEDERER, J.(1973): Die Wirkungslosigkeit von Luftverunreinigungen beim Steinzerfall. - Staub 33: 15-19, Düsseldorf

RINK, J. (1953): Über das Verhalten des mittleren vertikalen Temperaturgradienten der bodennahen Luftschicht und seine Abhängigkeit von speziellen Witterungsfaktoren und Wetterlagen. - Abhandl. d. Met. u. Hydrol. Dienstes d. DDR 18, III, Berlin

ROBEL, F. (1975): Vegetation, Topographie und Stadtklima.- Baupraxis 27: 29-32, Stuttgart

ROCZNIK, K. (1952): Das Flugwetter in Regensburg. - Meteorol. Rdsch. 5,1/2: 17-18, Berlin

- (1954-55): Das Klima von Regensburg im medizinischen Urteil. - Acta Albertina Ratisbonensia 21:86-90, Regensburg

- (1957): Sonnenflecken und Witterung in Regensburg. - Meteorol. Rdsch. 10,4: 142, Berlin

- (1960): Wetter und Klima in Bayern (Ein Beitrag zur Bayerischen Landeskunde), Nürnberg

- (1962 a): Das gehäufte Auftreten von milden Wintern seit der Jahrhundertwende. - Meteorol. Rdsch. 15,2: 50-52, Berlin

- (1962 b): Eine Bilanz der Sommer Mitteleuropas für den Zeitraum von 1761-1960. - Meteorol Rdsch. 15,5: 133-136, Berlin

- (1963): Die Schwülehäufigkeit in Regensburg. - Meteorol. Rdsch. 16,3: 87-88, Berlin

- (1964): Das Klima der Oberpfalz. - Die Oberpfalz 52,1: 2-5, Kallmünz

- (1965): Die Windverhältnisse in der Regensburger Bucht. - Meteorol. Rdsch. 18,5: 149-151, Berlin

- (1967): Eine Regensburger Sonnenscheinstudie. - Meteorol. Rdsch. 20: 141-147, Berlin

- (1969 a): Die Schwankungen der künstlichen und natürlichen Radioaktivität in Regensburg. - Meteorol. Rdsch. 22,1: 13-16, Berlin

ROCZNIK, K. (1969 b): Gesamtradioaktivität und Wetter. - Meteorol. Rdsch. 22,5: 144-146, Berlin

- (1971): Geschichte und Ergebnisse der meteorologischen Forschung in Regensburg. - Acta Albertina Ratisbonensia 32: 199-223, Regensburg

- (1972): Der Wandel des Jahreszeitenklimas im Zeitraum von 1901-1970. - Meteorol. Rdsch. 25,4: 106-109, Berlin

- (1978): Künftig Kuren in Regensburg - Bad Prüfening (Verf. Biberger). - MZ 4.1:11, Regensburg

RÖNICKE, G. (1969): Über Langzeitwirkungen von Luftverunreinigungen. - Deutsche UNESCO - Kommission, Probleme der Nutzung und Erhaltung der Biosphäre: 26-35, Köln

RÖSLER, J.; LANGE, H. (1976): Geochemische Tabellen, Stuttgart

RÜHLING, A. (1968): An Ecological Approach to the Lead Problem. - Bot. Notiser 121: 321-342, Lund

RUF, B. (1976): Die Beeinflussung des Grundwassers durch Tiefbauten und ihre nachteiligen Folgen für benachbarte Baudenkmäler. - Bauabteilung der Bayer. Verwaltung der Staatlichen Schlösser, Gärten und Seen: Kurzberichte zur Technik der Baudenkmalpflege, München

ROPPERT, K. (1975): Planungsräume im Landesentwicklungsprogramm Bayern. - Raumforschung und Raumordnung 33,2: 65-71, Köln

V. SCHÄFFER, D. (1787): Versuch einer medizinischen Ortsbeschreibung der Stadt Regensburg, Regensburg

SCHEMEL, H.J. (1978): Methodische Ansätze und Verfahren zur Analyse von Belastungen. - Landschaft +Stadt 10,2: 61-73, Stuttgart

SCHERHAG, R. (1966): Einführung in die Klimatologie, Braunschweig

SCHIRMER, H. (1969): Langjährige Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur und des Niederschlags in der Bundesrepublik Deutschland für die Periode 1931-1960. - Ber. DWD 15 Nr. 115, Offenbach

- (1978): Das Klima sollte bei der Raumplanung berücksichtigt werden. - Umschau 78,9: 281-283, Frankfurt a.M.

SCHLIPKÖTER, H.W. (1975): Immissionsgrenzwerte für die gesundheitsgefährdende und belästigende Wirkung von organischen Verbindungen. - TÜV Rheinland: Immissionsprognose 65-75, Sankt Augustin

SCHMID, G. u.a. (1975): Grundsatzfragen zur Erzeugung einer gesunden Ernährung; Mitteilungen II: Einfluß von Kfz-Abgasen auf den Pb- und Cd-Gehalt von Grünfutter, Milch und Exkrementen. - Landwirtschaftliche Forschung, Sonderheft II: 150-159, Frankfurt a.M.

SCHMITHÜSEN, J. (1973): Was verstehen wir unter Landschaftsökologie in: Dt. Geographentag 39: 409-417, Kassel

SCHNEIDER, G. (1969): Obstruktive Bronchitis, Wetter und Luftverunreinigung (SO_2-Konzentration), Frankfurt a.M.

SCHNEIDER, M. (1965): Zur praktischen Durchführung geländeklimatologischer Arbeiten. - Mitt. DWD 5 Nr. 34, Offenbach

- (1972): Kaltluftstau an Straßendämmen? Nicht immer! - Meteorol. Rdsch. 25,6: 187-188, Berlin

SCHULZE, P. (1969): Die horizontale Temperaturverteilung in Großstädten, insbesondere die West-Berlins in winterlichen Strahlungsnächten. - Meteorol. Abh. d. Inst. f. Met. u. Geophys. d. FU Berlin 41,2, Berlin

SCHULZE-NEUHOFF, H. (1977): "Synop-Einzelwetterkarten" zur Erkennung lokaler Witterungsphänomene. - Wetter und Leben, 29,1: 35-38, Wien

SCHWAN, Ch. (1973): Regensburg, zur Erhaltung einer alten Stadt, Regensburg

SCHWEGLER, H. (1974): Immissionsmessungen von Kraftfahrzeugabgasen in Bayern. - Schr.-R. d. Ver. f. Wasser-, Boden- und Lufthygiene 42: 219-240, Stuttgart

- (1976): Lufthygienische Messungen in Bayern: Meßsysteme und Ergebnisse. - Wasser, Luft und Betrieb 20,4: 160-164, Mainz

SCHWEIGLER, P. (1959): Die Erscheinungen der Industrie im Raume Regensburg geographisch betrachtet, Kallmünz

SCHWEIKL, R. (1977): Innerstädtische Erholungslandschaft - ein Konzept und seine Verwirklichung. - Landschaft + Stadt 9: 84-93, Stuttgart

SCHROEDER, F. Ch. (1977): Der Rhein-Main-Donau-Kanal und die Sowjets. - FAZ 42, 181:10, Frankfurt

SCHULZ, L. (1963): Die winterliche Hochdrucklage und ihre Auswirkung auf den Menschen. - Ber. DWD 12 Nr. 88, Offenbach

SEIBERT, P. (1968): Übersichtskarte der natürlichen Vegetationsgebiete von Bayern 1:500 000 mit Erläuterungen, Bad Godesberg

SEIFERT, B. (1975):Schwermetalle in Staubniederschlägen, Ergebnisse von Blei-Cadmium und Zinkbestimmungen im Raum Frankfurt/M.. - Inst. f. Wasser-, Boden- u. Lufthygiene d. Bundesgesundheitsamtes: Wasser-, Boden-, Luft-Bericht 28, Bonn

- u.a. (1978): Erfassung von kraftfahrzeugbedingten Kohlenwasserstoffimmissionen. - TÜV Rheinland: Abgasbelastung durch den Kraftfahrzeugverkehr: 174-188, Köln

SINGER, I.A.; SMITH, H.E. (1953): Relation of Gustiness to Other Meteorological Variables. - I. Meteorol. 10: 121-126, Lancaster

SOBOTTKA, H. (1978): Meßtechnische Erfassung von Immissionssituationen in verkehrsreichen Straßenschluchten. - TÜV Rheinland: Abgasimmissionsbelastungen durch den Kraftfahrzeugverkehr: 125-149, Köln

SOMMER, K.H. (1976): Der Dom zu Regensburg- seine Verwitterungsschäden, deren Ursachen und die Möglichkeiten der Instandsetzung als mögliches Thema von Unterricht, Regensburg

SPINDLER, M. (1969): Bayerischer Geschichtsatlas, München

SPORBECK, O.; SCHEMEL, H.J.; FINKE, L. (1977): Anmerkungen zu H.J. Bauer: Zur Methodik der ökologischen Wertanalyse. - Landschaft + Stadt 9: 138-143, Stuttgart

STADTENTWICKLUNGSREFERAT DER LANDESHAUPTSTADT MÜNCHEN (1971): Kommunalpolitische Aspekte des Umweltschutzes in München - Problemstudie. - Arbeitsberichte zur Fortschreibung des Stadtentwicklungsplans, München

STADT REGENSBURG (ORGANISATIONSAMT) (1972): Regensburg in Zahlen (Sonderheft) Volks-, Berufs- und Arbeitsstättenzählung, Regensburg

STADT REGENSBURG (1977): Regensburg Plan, Regensburg

STADT REGENSBURG: AMT FÜR STADTENTWICKLUNG UND STATISTIK (1979): Amtlicher Stadtplan - Regensburg 1:12 500 (Gebietsstand 1.1.1978), Regensburg

STADT REGENSBURG (AMT FÜR STATISTIK) (1977-1979): Informationen zur Stadtentwicklung, Regensburg

STÄDTEBAULICHES SEMINAR DES KULTURKREISES IM BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN INDUSTRIE e.V. (1967): Regensburg: Zur Erneuerung einer alten Stadt, Düsseldorf

STEINBAUER, C. (1971): Stadt Regensburg, Integrierende Entwicklungsplanung, Regensburg

- (1978): Neuer Wert aus alten Häusern. Mit Beispielen von der Altstadtsanierung Regensburg. - Laupsien, H.: Wo wohnen, wie bauen? 62,75, Düsseldorf

STEUBING, L. (1973): Ökologie als wissenschaftliche Grundlage des Umweltschutzes. - Forschung und Information 14: 9-17, Berlin

- (1976): Niedere und höhere Pflanzen als Indikatoren für Immissionsbelastungen. - Landschaft + Stadt 8: 97-103, Stuttgart

- und KIRSCHBAUM, U. (1976): Immissionsbelastung der Straßenrandvegetation. - Natur und Landschaft 51: 239-244, Stuttgart

STÖVEN, D. (1967): Die Energie Gas und unsere Gesellschaft. - Gasverwendung 18,1: 13-15, Frankfurt a.M.

STOKLASA, J. (1976): Zu einigen methodologischen Problemen der Untersuchung des anthropoökologischen Systems. - Pet. Mitt. 120: 303-312, Gotha

STRATMANN, H. (1965): Luftverunreinigung durch Heimbrand. - Luftverunreinigung: 11-13, Düsseldorf

STREIBL, M. (1975): Das bayerische Landesentwicklungsprogramm. - Raumforschung und Raumordnung 33,2: 49-55, Köln

STUGREN, B. (1978): Grundlagen der Allgemeinen Ökologie, Jena

SUKOPP, H. u.a. (1974): Ökologische Charakteristik von Großstädten dargestellt am Beispiel Berlins. - Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie in Saarbrücken 1973, The Hague

- u.a. (1979 a): Biotopkartierung in der Bundesrepublik Deutschland. - Natur und Landschaft 54: 63-65, Stuttgart

- u.a. (1979 b): Biotopkartierung in der Stadt. - Natur und Landschaft 54: 66-68, Stuttgart

TENTER, K.J. (1976): Großwetterlagen und Sichtflugmöglichkeiten in Süddeutschland. - Meteorol. Rdsch. 29,5: 129-133, Berlin

TERJUNG, W.H.; LOUIE, S.S. (1974): A Climatic Model of Urban Energy Budgets. - Geogr. Analysis 6: 341-367, Columbus, Ohio

THEVES, B. (1975): Möglichkeiten zur Beurteilung der thermischen und lufthygienischen Auswirkungen verschiedenartiger Baustrukturen aus Modellversuchen. -Landschaft + Stadt 7,3: 122-135, Stuttgart

TIEMANN, K.H. (1971): Die Auswirkungen des Straßenverkehrs auf Boden, Pflanzen und Wasser. - Mitteilungen aus dem Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der TU Hannover 21, Hannover

TIETZE, W.; WEIGT, E. (1969-1970): Lexikon der Geographie, Braunschweig

TISCHLER, W. (1975): Einführung in die Ökologie, Stuttgart

TOMASEK, W. (1979): Die Stadt als Ökosystem - Überlegungen zum Vorentwurf Landschaftsplan Köln. - Landschaft + Stadt 2,11: 51-60, Stuttgart

TRAPPENBERG, R. (1959): Ein Beitrag zu den Windverhältnissen in den ersten 100 m der Atmosphäre. - Ber. DWD 8 Nr. 57, Offenbach

TRAUTMANN, E. (1963): Die mittlere Hagelhäufigkeit in Bayern 1952-1961. - Ber. DWD 12 Nr. 89, Offenbach

TROLL, C. (1939): Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. - Z. Ges. f. Erdkunde zu Berlin 74: 241-311, Berlin

- (1968): Landschaftsökologie. - Pflanzensoziologie und Landschaftsökologie 1-21, Den Haag

TÜV-RHEINLAND (1975): Immissionsprognose für luftverunreinigende Stoffe, Köln

(1977): Ermittlung des realen mittleren Emissionsverhaltens von Personen- u. Kombinationskraftwagen in der Bundesrepublik Deutschland für das Bezugsjahr 1975, Köln

TURNER, B.D. (1964): A Diffusion Model for an Urban Area. - I. Appl. Meteorol. 3,1: 83-91, Lancaster, Pa.

UHLIG, S. (1965): Bestimmung der Stabilitätsgrade der Luft an Hand von Wettermeldungen. - Mitt. DWD 5 Nr. 35, Offenbach

ULRICH, B. (1972): Die Filterfunktion der Böden. - Steubing, L.: Belastung und Belastbarkeit von Ökosystemen, Tagungsbericht der Gesellschaft für Ökologie 1: 169-174, Giessen

UMWELTBUNDESAMT (1976 a): Empfehlungen zur Schadstoffverminderung - Kfz-Abgase. - Berichte 7, Berlin

UMWELTBUNDESAMT (1976 b): Luftqualitätskriterien für Blei. - Berichte 3, Berlin

- (1976 c): Messung von Luftverunreinigungen. - Materialien 1, Berlin

VASILIKI, B.M. (1972): Schwankungen der NO_2-Konzentrationen in der bodennahen Atmosphäre. - Staub 32: 210-212, Düsseldorf

VDI-KOMMISSION (1974 a): Maximale Immissionswerte. - VDI-Richtlinie 2310, Düsseldorf

- (1974 b): Schwermetalle als Luftverunreinigung - Blei, Zink, Cadmium. VDI-Bericht Nr. 203, Düsseldorf

VESTER, F. (1972): Das Überlebensprogramm, Würzburg

VIDAL, A. (1976): Wintervogelbestand und Siedlungsdichte der Sommervögel im Königswiesener Park in Regensburg. - Acta Albertina Ratisbonensia 36: 55-68, Regensburg

VINOGRADOV, A.P. (1959): The Geochemistry of Rare and Dispersed Chemical Elements in Soils. - New York

VOGGENREITER, F. (1936): Die Stadt Regensburg, Potsdam

- (1964): Wirtschaftsraum Oberpfalz-Regensburg, Oldenburg

VOGL, J.; HEIGL, A.; SCHÄFER, K. (1977-1979): Handbuch des Umweltschutzes, München

V. VOITH, J. (1839): Geognostischer Theil. - Fürnrohr, A.: Naturhistorische Topographie von Regensburg 1-47, Regensburg

WALDERDORF, H. GRAF V. (1896): Regensburg in seiner Vergangenheit und Gegenwart, Regensburg

WALDEYER, H. (1978): Die Darstellung des Kraftfahrzeugverkehrs als Linienquelle - Bereitstellung der erforderlichen Basisdaten. - TÜV Rheinland: Abgasimmissionsbelastungen durch den Kraftfahrzeugverkehr: 191-207, Köln

V. WALTERSKIRCHEN, M.P. (1972): Umweltschutz und Wirtschaftswachstum, München

WEBER, E. u.a. (1975): Emissionen von braunkohlenbrikettgefeuerten Haushaltsöfen. - Staub 35: 82-86, Düsseldorf

WEHLING, H.W. (1975): Zur zentralörtlichen Struktur Bayerns. - Erdkunde 29,2: 105-118, Bonn

WEIHS, E. (1978): Zum Stand der Entwicklungsarbeiten des bayerischen Umweltschutzinformationssystems. - Natur und Landschaft 53: 146-149. Stuttgart

WILHELMY, H. (1972): Geomorphologie in Stichworten, Kiel

WILMERS, F. (1972): Temperaturstudien in Gartenhöfen. - Gartenamt 21: 675-681, Berlin

- (1975): Klimatologische Überlegungen zur Bebauung von Freiflächen in Stadtgebieten besonders am Rande von Flußniederungen. - H. Arch. f. Nds. 24,3: 259-277, Göttingen

- (1976): Die Anwendung von Wettertypen bei ökoklimatischen Untersuchungen. - Wetter und Leben 28: 224-235, Wien

WINKELBRANDT, A. (1978): Aussagen von Bürgerinitiativen und Landschaftsplanungen zu den Wirkungen von Straßenbau und -verkehr auf die Landschaft. - Natur und Landschaft 53,1: 17-23, Stuttgart

WITTMANN, O. (1975): Bodenkarte von Bayern 1:25 000 - Erläuterungen zum Blatt Nr. 6938 Regensburg, München

WÖHL, H. (1979): Verteilung und Wachstum zentraler Orte in Bayern und ihre Verwendung als Raumplanungsinstrument. - Frankfurter Wirtschafts- und Sozialgeographische Schriften 29, Frankfurt a.M.

ZAHN, U. (1977): Luftbilder von der Oberpfalz Teil II. - Acta Albertina Ratisbonensia 37: 65-90, Regensburg

ZUNDEL, R. (1973): Wald - Mensch - Umwelt. - Mitt. der Baden-Württembergischen forstlichen Versuchs- u. Forschungsanstalt 52, Freiburg i. Br.

GESETZLICHE BESTIMMUNGEN

Bundesfernstraßengesetz (1.10.1974) BGBl I: 2413-2427, Bonn

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundesimmissionsschutzgesetz) (15.3.1974) BGBl I: 721-743, Bonn

Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) (28.8.1974): GMBl 25: 426-452, Bonn

Vierte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (Ermittlung von Immissionen in Belastungsgebieten) (1975): GMBl 26: 358-365, Bonn

Fünfte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (Emissionskataster in Belastungsgebieten) (1979): GMBl 30: 42-45, Bonn

Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Feuerungsanlagen) (28.8.1974): BGBl I: 2121-2129, Bonn

Dritte Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über den Schwefelgehalt von leichtem Heizöl und Dieselkraftstoff (15.1.1975): BGBl I: 264-266, Bonn

Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen) (14.2.1975): BGBl I: 499-503, Bonn

Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz) (20.12.1976): BGBl I: 3574-3582; berichtigt 1977: BGBl I: 650, Bonn

Gesetz zur Verminderung von Luftverunreinigungen durch Bleiverbindungen in Ottokraftstoffen für Kraftfahrzeugmotore (Benzin-Blei-Gesetz) (5.8.1971): BGBl I: 1234-1236, Bonn

Verordnung über Trinkwasser und Brauchwasser (Trinkwasser-Verordnung) (31.1.1975): BGBl I: 453-461, Bonn

Verordnung der Landesregierung und Verordnung des Ministeriums für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung und des Innenministeriums zur Verhinderung schädlicher Umwelteinwirkungen bei austauscharmen Wetterlagen (Smog-Verordnung) (3.5.1977): BGBl B-W 1977: 158-160, Stuttgart

Bayer. Immissionsschutzgesetz (8.10.1974): Bayer. GVBl: 499-502; Nr. 21/1974, München

Bayerisches Straßen- und Wegegesetz (2.7.1974): Bayer. GVBl: 333-347; Nr. 16/1974 zuletzt geändert durch Gesetz vom 11.11.1974 (Bayer. Gesetz über die entschädigungspflichtige Enteignung): Bayer. GVBl: 610-624; Nr. 25/1974, München

Gesetz über den Schutz der Natur, die Pflege der Landschaft und die Erholung in der freien Natur (Bayer. Naturschutzgesetz) (27.7.1973): Bayer. GVBl: 437-448; Nr. 16/1973 zuletzt geändert durch Gesetz vom 24.3.1977: Bayer. GVBl: 101-104; Nr. 6/1977, München

Gesetz zum Schutz der wildwachsenden Pflanzen und nichtjagdbaren, wildlebenden Tiere (Naturschutz-Ergänzungs-Gesetz) (29.6.1962): Bayer. GVBl: 1962: 95-101; Nr. 9/1962 zuletzt geändert durch Verordnung vom 21.9.1976: Bayer. GVBl 1976: 424; Nr. 18/1976, München

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

Verordnung zur Verhinderung schädlicher Umwelteinwirkungen während austauscharmer Wetterlagen (Smogverordnung) (20.10.1975) - Entwurf

Verordnung zur Verhinderung schädlicher Umwelteinwirkungen bei austauscharmen Wetterlagen (Smog-Verordnung) (29.10.1974): GVBl-NRW 28: 1431-1436, Düsseldorf

VERZEICHNIS DER KARTEN

		Seite
1	Die Belastungsgebiete Bayerns (GVBl. 29.4.1976)	16
2	Orohydrographische Karte des Regensburger Stadtgebietes	29
3	Naturräumliche und geologische Einheiten im Stadtgebiet von Regensburg	31
4	Natur-, Landschaftsschutzgebiete und ökologisch wertvolle Flächen im Stadtgebiet von Regensburg (1979)	40
5	Die Flächennutzung im Regensburger Stadtgebiet (1979)	47
6	Die durchschnittliche Anzahl der Nebeltage/Jahr in Ostbayern (1951-1960)	72
7	Die durchschnittliche Höhenlage von Nebel und Hochnebel in Ostbayern (1951-1960)	73
8	Lage der Temperaturprofile im Stadtgebiet - Übersichtskarte	103
9	Die Verteilung der Temperatur im Regensburger Stadtgebiet in Strahlungsnächten (1979)	111
10	Das Geländeklima des Regensburger Raumes in Strahlungsnächten (1979)	121
11	Die Verteilung der relativen Feuchte im Regensburger Stadtgebiet in Strahlungsnächten (1979)	126
12	Die Verteilung von Bodennebel im Regensburger Stadtgebiet (1979)	139
13	Die Großfeuerungsanlagen mit Turmkamin in Regensburg - Lage und Brennmaterial (1979)	146
14	Die Emissionen der Großfeuerungsanlagen in Regensburg - SO_2 und Staub (1979)	147
15	Planungsregion 11: Emissionsdichten (1974)	161
16	Die Verteilung der CO-Konzentration auf Gehwegen bei austauscharmen Wetterlagen (Meßhöhe 1,6 m / Meßzeit 16-18 Uhr, Stand: 1979)	182

17 Die Bleikonzentration in Böden des Regensburger Stadtgebietes (November 1978) 189

18 Die Zinkkonzentration in Böden des Regensburger Stadtgebietes (November 1978) 197

19 Die Schwefelkonzentration in Böden des Regensburger Stadtgebietes (November 1978) 219

20 Die Flechtenzonen im Stadtgebiet von Regensburg (1975) 236

21 Übersicht über den Zustand der Bäume in der Regensburger Innenstadt (August 1979) (Falttafel)

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

		Seite
1	Die Bevölkerungsentwicklung in Regensburg seit 1810	48
2	Die Verteilung der Beschäftigten im II. Sektor in Regensburg	52
3	Die mittlere Verteilung der Sonnenscheinstunden im Tages- und Jahresgang (1951-1970)	58
4	Die Abhängigkeit der Bewölkung von der Windrichtung - Bewölkungswindrosen (1951-1970)	59
5	Die Verteilung der Windrichtungen und Windstärken in Regensburg/Monat - Stärkewindrosen (1969-1973)	60-61
6	Die Tages- und Jahreshäufigkeit der Windgeschwindigkeit (1951-1970)	63
7	Der Tages- und Jahresgang der Temperatur in Abhängigkeit von der Bewölkung - Thermoisoplethen (1951-1970)	65
8	Die Abhängigkeit der Lufttemperatur in °C von der Windrichtung in Regensburg/Monat - Temperaturwindrosen (1951-1970)	66-67
9	Der Tages- und Jahresgang der relativen Feuchte in % - Kaumaisoplethen (1951-1970)	69
10	Die mittlere Niederschlagsmenge in mm in Regensburg in Abhängigkeit von der Windrichtung - Niederschlagswindrose (1951-1970)	76-77
11	Der Tagesgang der Temperatur an Oberflächen verschiedener Materialien an einem Sommertag	84
12	Kleinräumige Temperaturunterschiede in der Regensburger Altstadt an Sommertagen (in 1,5 m Höhe)	86
13	Der Tagesgang der Temperatur an verschiedenfarbigen Hauswand- und Dachflächen	87

14	Der Einfluß von Wasserflächen auf die Lufttemperatur der Umgebung in der Regensburger Innenstadt an heißen Tagen (in 1,5 m Höhe)	89
15	Vertikale Temperaturgradienten in der bodennahen Luftschicht über Asphalt-, Rasen- und Wasserflächen an Sommertagen	91
16	Der Einfluß von Gebäude-, Beton- und Rasenflächen auf die bodennahe Luftschicht	92
17	Temperatur- und Windprofil bei Boden- und Absinkinversionen	95
18	Der Jahresgang der Inversionshäufigkeit um 12 Uhr - Amberg-Gärmersdorf und Oberschleißheim (1974-1978)	98
19	Die Temperaturunterschiede im Stadtgebiet von Regensburg - Profil A	105
20	Die Temperaturunterschiede im Stadtgebiet von Regensburg - Profil B	107
21	Die Temperaturunterschiede im Stadtgebiet von Regensburg - Profil C	108
22	Die Beeinflussung nächtlicher Bodeninversionen durch Hangbebauung mit Einfamilienhäusern	115
23	Die Beeinflussung nächtlicher Bodeninversionen durch Hangbebauung mit Hochhäusern	116
24	Hochhausbebauung auf Hügelkuppen und Bodenkaltluftbildung	118
25	Die Wirkung der Talbebauung auf die Lufttemperatur in Ausstrahlungsnächten (1979)	123
26	Der vertikale Temperaturgradient bei Bodeninversion und Nebel über Freiland und über der Stadt	128
27	Die Nebelhäufigkeit in Regensburg seit 1881 (GMT)	131
28	Der Jahresgang der Nebeltage und Nebelstunden/Monat in Regensburg (1969-1978)	131

29	Die Nebelhäufigkeit in Regensburg in Abhängigkeit von der Tageszeit (MEZ) in % der Gesamtstunden (1974-1978)	133
30	Die Tages- und Jahreshäufigkeit von Bodennebel und Hochnebel in Regensburg	134
31	Nebelbildung und Nebelauflösung in Regensburg in Abhängigkeit von der Jahreszeit und Uhrzeit (MEZ) in % der aufgetretenen Fälle (1969-1978)	136
32	Die Verteilung der Emissionsmengen in Regensburg im Winter (1979)	154
33	Die Verteilung der Emissionsmengen der Einzelöfen in Regensburg (1979)	156
34	Die Verteilung der Emissionsmengen in Regensburg im Herbst und Frühjahr (1979)	157
35	Das Transmissionsschema	166
36	Der Wochenverlauf der CO-Konzentration in ppm - Station Regensburg-Dachauplatz (15.10.-21.10.1978)	174
37	Der Jahresgang der CO-Konzentration in ppm - Station Regensburg-Dachauplatz (1975-1978)	176
38	Die Verteilung der Abgaskonzentration in Straßenschluchten in Abhängigkeit von der Windrichtung	180
39	Der Verlauf der CO-Immissionskonzentration an Verkehrsampeln	186
40	Die Häufigkeit der Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier in % (1951-1960)	204
41	Die Beziehungen zwischen Ausbreitungsklasse und Immissionskonzentration	205
42	Die Beziehungen zwischen Schadstoffkonzentration und Windgeschwindigkeit	206
43	Der Tagesgang der SO_2-Konzentration in mg/m^3 in Bodennähe und in 100 m-Höhe in der Regensburger Bucht (7.9.-17.12.1979)	208
44	Der Jahresgang der SO_2-Konzentration in mg/m^3 - Station Regensburg-Dachauplatz (1975-1978)	209

45 Profile der Schwefelkonzentration in Böden des Regensburger Stadtgebietes in ppm (Korngrößen < 180 /um, November 1978) 218

46 Die SO_2-Konzentration in Regensburg in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und Windstärke (Tagesmittelwerte: Januar 1979) 224

47 Die Auswirkungen winterlicher antizyklonaler Wetterlagen auf die Schadstoffkonzentration in der Regensburger Bucht 226

48 Die SO_2 Immissionskonzentration in Abhängigkeit von der Windrichtung in mg/m^3 (1977-1978) 227

49 Die Wirkungen der städtischen Bebauung auf das Lokalklima 250

50 Die Beziehungen zwischen antizyklonalen Wetterlagen und der Schadstoffkonzentration in der Regensburger Bucht im Winter 258

ANHANG

51 Der Jahresgang der astronomischen und wirklichen Sonnenscheindauer/Tag in Stunden (1951-1970) 268

52 Die Verteilung der Windrichtungen und Windstärken in Regensburg/Jahr - Stärkewindrose (1969-1973) 271

53 Der Tagesgang der Lufttemperatur in Regensburg (1951-1970) 279

54 Der Tagesgang der relativen Feuchte ≥ 90 % und < 50 % (1951-1970) 279

55 Die Niederschlagssumme/Jahr in Abhängigkeit von der Windrichtung - Niederschlagswindrose (1951-1970) 282

VERZEICHNIS DER PHOTOS

		Seite
1	Die Wetterverhältnisse in Mitteleuropa bei stabilem Hochdruckeinfluß (Meteosat: 11.11.1978, 12 Uhr)	71
2	Die Wetterverhältnisse in Mitteleuropa bei stabilem Hochdruckeinfluß (Meteosat: 13.11.1978, 12 Uhr)	71
3	Die Wärmeabgabe eines schlecht isolierten Gebäudes, erkennbar am Abschmelzen des Schnees vom Dach (1980)	81
4	Hangabwärts fließender Kaltluftstrom (1978)	81
5	Nebel im Donautal bei Regensburg (1979)	129
6	Bodennebel in der Regensburger Bucht (1979)	129
7	Großräumige Windwirbel in der Regensburger Bucht (1979)	141
8	Plötzliche Zunahme der Windgeschwindigkeit oberhalb der Bodenkaltluftschicht (1978)	141
9	Regensburg, Zuckerfabrik: Sichtbarwerden der Schadstoffe in der Abgasfahne nach Auflösung des Wasserdampfes (1979)	149
10	Der chemisch-physikalische Gasspurenanalysator (SO_2) Picoflux	149
11	Meßanordnung für mobile Lufttemperaturmessungen	179
12	Meßanordnung für mobile CO-Konzentrationsmessungen	179
13	"Aerodynamisches Niederwaschen" der Rauchfahne durch den Gebäudeeinfluß des Schornsteins (1979)	207
14	Ausbreitung der Rauchfahne der Zuckerfabrik über das Stadtzentrum bei stabiler Schichtung (1979)	207
15	Dom Regensburg: Fratzenkopf- Gesteinszerstörung (1936)	233
16	Dom Regensburg: Fratzenkopf-Gesteinszerstörung (1958)	233
17	Ahornbaum mit schweren Schäden (1979)	240

VERZEICHNIS DER TABELLEN

		Seite
1	Die Flächennutzung in Regensburg (Stand: 1979)	46
2	Die Anzahl der Beschäftigten in den Wirtschaftsbereichen (1976)	50
3	Die Inversionshäufigkeit / Jahr in München und Erlangen (bis 1500 m Höhe)	97
4	Höhe und Häufigkeit der Inversionsuntergrenzen in % (in Erlangen)	100
5	Der Jahresgang der Inversionsuntergrenzen am Nachmittag in % (in Erlangen)	101
6	Die Häufigkeit der Nebel andauerstufen/Monat in Stunden (1969-1978 Gesamtzahl)	135
7	Die Verteilung der Wetterlagen in Regensburg im Jahresdurchschnitt und bei Nebel und Hochnebel in %	137
8	Die Windstärken bei Nebel und Hochnebel in Regensburg in %	138
9	Die Emissionen des Hausbrands in Regensburg im Winter in % (Stand:1979)	155
10	Die Schadstoffemissionen der Feuerungsanlagen in Regensburg zu verschiedenen Jahreszeiten in t (Stand: 1979)	158
11	Die Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs in der Innenstadt (in kg/16-Std.-Tagesbelastung 6-22 Uhr auf Einheitsstrecken von 100 m Länge)	164
12	Die Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs in Ausfallstraßen (in kg/16-Std.-Tagesbelastung 6-22 Uhr auf Einheitsstrecken von 100 m Länge)	165
13	Gegenüberstellung der MAK-, MIK- und IW-Werte für einige Schadstoffe in mg/m^3	170
14	Die Immissionswerte für SO_2 in verschiedenen Staaten in mg/m^3	172

15	Die CO-Konzentration in der Innenstadt bei austauscharmem Wetter in ppm (Stand: 1979 - 10 Min.-Mittelwerte)	183
16	Die CO-Konzentration in Ausfallstraßen und Wohngebieten bei austauscharmem Wetter in ppm (Stand: 1979 - 10 Min.-Mittelwerte)	184-185
17a	Die Bleikonzentration in Böden der Innenstadt in ppm (Stand: November 1978)	192
17b	Die Zinkkonzentration in Böden der Innenstadt in ppm (Stand: November 1978)	193
18a	Die Bleikonzentration in Böden an Ausfallstraßen und in Wohngebieten in ppm (Stand: November 1978)	194
18b	Die Zinkkonzentration in Böden an Ausfallstraßen und in Wohngebieten in ppm (Stand: November 1978)	195
19	Ausbreitungsklassengrundschema nach Klug (1969, 144)	200
20	Überschreitung des IW_2-Wertes der SO_2-Konzentration (0,4 mg SO_2/m^3) in Regensburg (1975-79)	211
21	Die Schwefelkonzentration in Böden im Regensburger Stadtgebiet in ppm (Stand: November 1978)	216-217
22	Der Schwermetall- und Schwefelgehalt in Gesteinsproben von Regensburger Gebäudefassaden in ppm	234

ANHANG

23	Die relative Häufigkeit der Großwettertypen in der Bundesrepublik (1951-70)	267
24	Die Sonnenscheinverhältnisse in Regensburg (1951-70)	267
25	Mittlere Sonnenscheindauer in % der Gesamtstunden (1951-70)	268
26	Die Bewölkungsverhältnisse in Regensburg (1951-70)	269

27	Der mittlere Bewölkungsgrad/Monat in Regensburg (1951-70)	269
28	Der mittlere Bewölkungsgrad in Abhängigkeit von der Windrichtung in Regensburg (1951-70)	270
29	Der mittlere Bewölkungsgrad in % in Abhängigkeit von der Windrichtung zu den Beobachtungsterminen (1951-70)	270
30	Die Windverhältnisse in Regensburg (1951-70)	271
31	Die mittlere Anzahl der Windrichtungen und Windstärken nach Bft in % in Regensburg (1969-73)	271-273
32	Die Häufigkeit einer Windstärke in Bft/Monat in % (1969-73)	274
33	Die Verteilung der Windstärken in Bft in % auf die Jahreszeiten	274
34	Stündliche mittlere Windgeschwindigkeiten in m/sec pro Monat und Jahr (1969-73)	275
35	Die mittlere Häufigkeit der Andauerstufen von Windgeschwindigkeiten 3 m/sec (1969-74)	275
36	Die Temperaturverhältnisse in Regensburg in 2 m Höhe und am Erdboden (1951-70)	276
37	Die stündliche mittlere Lufttemperatur pro Monat und Jahr (1951-70)	276
37,1	Stündliche Mitteltemperaturen pro Monat und Jahr für trübe Tage (1951-70)	277
37,2	Stündliche Mitteltemperaturen pro Monat und Jahr für heitere Tage (1951-70)	277
38	Die mittlere Tagesschwankung der Temperatur in °C in Abhängigkeit von der Bewölkung (1951-70)	278
39	Die mittlere Temperatur in °C in Abhängigkeit von der Windrichtung (1951-70)	278
40	Die relative Feuchte in Regensburg in % (1951-70)	278

	Stündliche Mittel der relativen Feuchte pro Monat und Jahr (1951-70)	280
42	Die Nebelhäufigkeit in Regensburg seit 1881	280
43	Die Niederschlagsverhältnisse in Regensburg (1951-70)	281
44	Die mittlere Niederschlagssumme in mm in Abhängigkeit von der Windrichtung (1951-70)	282
45	Beschäftigte in den Wirtschaftsbereichen in Regensburg 1974 und 1976	283
46	Die Verteilung der Arbeitsplätze in den Stadtbezirken von Regensburg 1961 u. 1970	283
47	Die Beheizung und sanitäre Ausstattung der Wohnungen in Regensburg (Stand 1968)	284
48	Die Heizwerte einzelner Brennstoffe	285
49	Spezifische Emissionswerte für Ölfeuerungen mit einer Feuerungsleistung zwischen 4 bis 40 GJ/h	285
50	Spezifische Emissionswerte für unterschiedliche Verbrennungsanlagen in g/GJ	285
51	Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen (Hausbrand und Kleingewerbe) in kg/TJ	286
52	Anzahl und Heizleistung der Hausbrandfeuerungsanlagen in Regensburg	286
53	Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr: Pkw mit Otto- und Dieselmotoren in g/Kfz/h	287
54	Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr: Lkw mit Dieselmotoren in g/Lkw/h	287
55	Umrechnungsfaktoren für Immissionswerte	287
56	Die CO-Konzentration in Regensburg bei Nebel	288
57	Die CO-Konzentration in Regensburg bei windigem, regnerischem Wetter	289

Univ.-Bibliothek
Regensburg

Donau
Fischmarkt
Thundorferstraße
Hunnen-platz
St Georgen-platz
Weißgerber graben
Arnulfs-platz
Ludwigstraße
Haidplatz
Rathaus-platz
Kohlen-markt
Am Krautermarkt
Dom-platz
Bismarck-platz
Gesandtenstraße
Gutenberg-Platz
Neu-pfarr-platz
Alter Kornmarkt
Dachau-platz
Augustiner Platz
Kassians platz
Agidienplatz
Obermunsterstraße
Obermünsterplatz
Emmerams Platz
Jesuiten platz
St Peters Weg
Straße
Fürstenpark
Ernst-Reuter-Pl.
Ernst Moritz Arndt Allee
Maximilian
Bahnhofs Straße
Bahnhof

Karte 21

Übersicht über den Zustand der Bäume in der Regensburger Innenstadt (August 1979)

○ nicht geschädigt ◑ mäßig geschädigt

⊙ leicht geschädigt ● schwer geschädigt

Quelle: Eigene Untersuchungen Entw. u. Kartogr. Ch. Dittmann

Univ.-Bibliothek Regensburg
GB3/2003