Hoppea, Denkschr. Regensb. Bot. Ges. **61**, Bresinsky-Festschrift (2000): 349-407

# Kartierungen epiphytischer Flechten im Stadtgebiet von Regensburg 1976 bis 1997

von

**Christoph Goppel**, Regensburg

Abb. 1: Das *Physcietum ascendentis*, eine typische Flechtengesellschaft in Kalkwerknähe mit *Xanthoria parietina* als dominierende Charakterart

Anschrift des Verfassers: Christoph Goppel, Karthauser Str. 13, 93051 Regensburg

**Inhalt**

1. Vorwort
2. Luftgüteuntersuchungen mit Flechten
   2.1. Aktueller Stand der wissenschaftlichen Forschung
   2.2. Zielsetzungen der Flechtenkartierungen von 1987 und 1997
3. Die Flechtenkartierung von 1976 im Überblick
4. Die Erfassung von sog. „Flechtenvegetationsmustern" im Jahr 1987
   4.1. Die häufigsten epiphytischen Flechtengesellschaften im Stadtgebiet
   4.2. Festlegung der Flechtenvegetationstypen – Ermittlung ihrer Variationsbreite
   4.3. Kartierung des ökologischen Umfeldes eines Flechtenstandortes
   4.4. Charakterisierung der verschiedenen Stadtflechten-Biotope
   4.5. Die Kartierungsarbeit – Ergebnisse
5. Die Erstellung von Flechtenzonenkarten 1987 und 1997
   5.1. Methode
   5.2. Die Beurteilung der Flechtenzonen von 1987 und 1997
      5.2.1. Die geographische Lage des Stadtgebietes
      5.2.2. Die Flechtenzonen von 1987 und 1997 im tabellarischen Vergleich
6. Vergleich der Ergebnisse mit anderen lufthygienischen Untersuchungen
   6.1. Die Schadstoffmessungen des LFU (1985), Klimamessungen v. DITTMANN (1982)
      6.1.1. Tabellarische Gegenüberstellung geeigneter Parameter
      6.1.2. Ergebnisse des Tabellenvergleichs
      6.1.3. Die Luftgütekarte von Regensburg 1997
   6.2. Bürgerbefragung von 1996 – Vergleich mit den Kartierungsergebnissen
   6.3. Immissionsbezogene Kartierung epiphytischer Flechten in Bayern 1996
7. Funktionale Wechselbeziehungen zwischen Flechtenvorkommen, Stadtklima und Luftbelastung im Jahr 1997
   7.1. Zielsetzung
   7.2. Methode
   7.3. Auswertung der Ergebnisse
      7.3.1. Staubimmissionen in Abhängigkeit vom Emittentenabstand
      7.3.2. Abhängigkeit des Flechtenvorkommens von der Verkehrsfrequenz
      7.3.3. Flechtenvegetationsprofil entlang einer Straße
8. Flechten-Neufunde im Stadtgebiet von Regensburg
9. Zusammenfassung
10. Literaturverzeichnis

## 1. Vorwort

### Auf einer Exkursion in die Berchtesgadener Alpen begann es ...

Eine vegetationskundliche Exkursion im Jahre 1974 in die Berchtesgadener Alpen mit Prof. Dr. Bresinsky und Prof. Dr. Schönfelder sollte für meinen späteren Forschungsschwerpunkt ausschlaggebend werden: Ich ließ mich damals von der faszinierenden Welt der Alpenflora derart begeistern, daß in mir bald darauf der Entschluß reifte, im Fach Botanik meine Staatsexamensarbeit zu schreiben. So wurde ich schließlich einer der ersten Examenskandidaten bei Prof. Dr. Bresinsky am Lehrstuhl für Botanik der jungen Regensburger Universität mit dem Thema: „Verbreitung und Ökologie von Rindenflechten im Stadtgebiet von Regensburg – ihr Zeigerwert für Stadtklima und Luftverschmutzung."

Mein Interesse und Arbeitseifer bei dieser Zielsetzung waren kaum zu bremsen, hatte ich doch Gelegenheit, meinen Ehrgeiz bei der äußerst kniffligen Flechtenbestimmung unter Beweis zu stellen. Ich konnte darüber hinaus auch meine Arbeitskraft für eine hochbrisante und seinerzeit nicht ganz unpolitische, ökologische Fragestellung einsetzen.

Die Ergebnisse dieser ersten Untersuchung (GOPPEL, 1976) fanden nicht nur in Regensburg (OB Schlichtinger) sondern auch bayernweit reges Interesse, so daß ich mich damals entschloß, mich weiter mit der Kartierung von epiphytischen Flechten zu beschäftigen. 1983 führte ich daraufhin im Auftrag der ANL (Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege) eine Arbeit über die Verbreitung epiphytischer Flechten im Stadtgebiet von Laufen/Inn durch (GOPPEL, 1984). Angeregt durch die Ergebnisse in München (SCHMIDT, 1956; JÜRGING, 1975; MACHER, 1987) erfaßte ich schließlich im 10-Jahresabstand erneut insgesamt zweimal die Flechten im Stadtgebiet von Regensburg (1987 und 1997).

Bereits bei meiner ersten Flechten-Arbeit im Jahre 1976 fiel mir immer wieder auf, daß sich Flechten in ihrer Antwort auf das „Stadtklima" nicht in ein einfaches Ursache-Wirkungsschema pressen lassen, so wünschenswert das auch für das Ergebnis gewesen wäre. Vielmehr mußte ich feststellen, daß Flechten artspezifisch ein sehr differenziertes Antwortgefüge sowohl auf die Luftbelastung, das Mikro- und Mesoklima als auch auf den Borken-pH des Phorophyten liefern (vgl. BARKMANN, 1958).

Die in Fachkreisen ausschließlich verwendete „VDI-Methode" (VDI 3799, Blatt 1; KIRSCHBAUM, 1995; KIRSCHBAUM & WIRTH, 1997 u. v. a.) zur Luftuntersuchung mit Hilfe von Flechten kann mich bis heute nicht voll überzeugen, läßt sie doch m. E., die Kleinräumigkeit eines Stadtgebietes und seine spezielle Ökologie sowie die teilweise gegensätzlichen Indikatoreigenschaften der einzelnen

Flechtenarten weitgehend außer Betracht[1]. Mein Interesse richtete sich deshalb seit mehr als einem Jahrzehnt darauf, eine eigene Methode zu entwickeln, die vor allem der Kleinräumigkeit der Stadtbiotope und ihrer komplexen Wechselbeziehungen mit dem Mikroklima und der Stadtluft Rechnung trägt.

Trotz der nicht immer erklärbaren Reaktionen der Flechten in Abhängigkeit von Stadtklima und Luftbelastung fielen mir im Laufe meiner Kartierungen gewisse wiederkehrende komplexe Grundmuster im Erscheinungsbild der verschiedenen Flechtengesellschaften auf. Diese schienen im Zusammenhang mit der ökologischen Ausstattung des jeweiligen Flechten-Stadtbiotops zu stehen. Angeregt durch FLADE (1994), der mit Hilfe der Stadt-Avifauna die verschiedenen Stadtbiotope ökologisch bewertet, versuchte ich folglich, die unterschiedlichen Ausprägungen der Stadtflechten-Gesellschaften (sog. „Flechtenvegetationsmuster") zur Beurteilung der Ökologie der jeweiligen Stadtbiotope heranzuziehen. Die sich nach und nach herauskristallisierenden Zusammenhänge zwischen diesen Vegetationsmustern und der Stadtökologie waren so interessant, daß ich mich entschloß, meine Untersuchungen zu vertiefen und im Rahmen dieser Festschrift zu veröffentlichen.

Mein Dank gilt Prof. Dr. Schönfelder und Herrn Dr. Besl für die redaktionelle Durchsicht des Manuskripts sowie dem Umweltamt der Stadt Regensburg, das die Kartierungsarbeiten von 1997 finanziell unterstützt hat. Für den Inhalt ist der Verfasser verantwortlich.

Die Ergebnisse dieser mehr als 20jährigen Kartierungsarbeit in Regensburg seien Prof. Bresinsky, meinem Förderer in Dankbarkeit zu seinem 65. Geburtstag gewidmet. Er hat mich seinerzeit mit viel Umsicht für diese hoch interessante Thema begeistert, die Kartierungen von 1976 betreut und in mir den Ehrgeiz geweckt, die ökologischen Untersuchungen an Flechten fortzusetzen, als er 1980 im Rahmen einer Ringvorlesung über Umweltthemen in der Schriftenreihe der Universität schrieb: „Das Resultat (einer Umstellung auf umweltfeundliche Energiearten in der Regensburger Innenstadt) wird jedenfalls mit Hilfe von (weiteren) Flechtenkartierungen ablesbar sein" (BRESINSKY, 1980). Diese Hoffnung kann ich hiermit dem Jubilar zu seinem 65. Geburtstag erfüllen.

## 2. Luftgüteuntersuchungen mit Flechten

### 2.1. Aktueller Stand der wissenschaftlichen Forschung

(1) Kartierungsergebnisse der letzten Jahrzehnte

Epiphytische Flechten werden schon seit mehr als 100 Jahren als Bioindikatoren eingesetzt, um damit Luftverunreinigungen in Ballungsgebieten zu untersuchen

---

1 Raster-Kartierung des Flechtenvorkommens in Form der mittleren Frequenzsumme von einzelnen Flechtenarten an jeweils 6 geeigneten Standard-Bäumen innerhalb einer Rasterfläche

(ARNDT, NOBEL & SCHWEIZER, 1987). Schon im 19. Jahrhundert stellte man in Stadtzentren einen Rückgang der Flechten-Anzahl und ihrer Individuendichte fest. Über die Ursachen für den auffallenden Flechtenrückgang in Großstädten wurde viel diskutiert und geforscht. Einen schlüssigen Beweis dafür, daß nicht klimatische Gründe, sondern vor allem die erhöhten Konzentrationen von Luftschadstoffen ($SO_2$) zumindest großräumig als Ursache für das Flechtensterben angesehen werden müssen, versuchen neben vielen anderen Wissenschaftlern die Arbeiten von LEBLANC & RAO (1973) zu liefern. Auch die Berichte über die Wiederbesiedelung von einst flechtenleeren Stadtgebieten z. B. in München auf Grund der Durchführung von emissionsmindernden Maßnahmen weisen in dieselbe Richtung (KANDLER & POELT, 1984).

(2) Schwefeldioxid geht zurück – Schadstoffkomplexe auf dem Vormarsch

In den 70er und 80er Jahren war es die gängige Auffassung vieler Lichenologen, daß ein direkter Zusammenhang zwischen der Qualität des Flechtenwachstums und der Konzentration des Schwefeldioxids in der Luft bestünde. Diese weitverbreitete Meinung hatte verschiedene Gründe: $SO_2$ belastete damals europaweit noch in (sehr) hohen Konzentrationen die Luft. Außerdem wurde hauptsächlich nur dieser Schadstoff untersucht und in Begasungsversuchen mit Flechten eingesetzt, bei denen folglich auch dessen schädigender Einfluß auf Flechten bewiesen werden konnte (vgl. z. B. TÜRK, WIRTH & LANGE, 1974). Mit emittentenbezogenen Kartierungen und Laborversuchen konnten verschiedene Wissenschaftler aber mittlerweile beweisen, daß neben $SO_2$ auch viele andere Luftschadstoffe (dosisabhängig) das Flechtenwachstum artspezifisch beeinträchtigen, vereinzelt sogar auch fördern können: z. B. Stickstoffdioxid ($NO_2$), Ozon ($O_3$), Stäube, Fluorwasserstoff (HF), Schwermetalle oder Autoabgase.

Darüber hinaus geht die Luftschadstoff-Forschung mittlerweile davon aus, daß überall in unserer Atmosphäre komplexe Gemische verschiedenster Luftschadstoffe[2] vorliegen, die unter der Einwirkung von Sonnenlicht auf dem Wege über fotochemische Reaktionen häufig Ozon und andere besonders toxische Fotooxidantien entstehen lassen (sog. „Los Angeles Smog", „Fotosmog"). Diese können dann bestimmte Flechtenarten synergistisch verstärken (eutrophierende Wirkung) oder erheblich schädigen (vgl. z. B. GUDERIAN, KÜPPERS & SIX, 1985). Seit inzwischen viele Feuerungsanlagen von Kohle bzw. Erdöl auf Erdgas umgestellt, Rauchgasreinigungsanlagen eingebaut und der Katalysator für Benzinmotoren bundesweit eingeführt wurde, ist $SO_2$ zusammen mit vielen anderen Luftschadstoffen seit den 80er Jahren deutlich zurückgegangen (UMWELTBUNDESAMT, 1997). Auch aus die-

2 unter Mitwirkung von Stickoxiden ($NO_X$), Sauerstoff, Kohlenmonoxid und ungesättigten Kohlenwasserstoffen

sem Grund kann deshalb $SO_2$ nicht mehr als der dominierende Schadstoff in Belastungsgebieten angesehen werden.

(3) Flechten reagieren eindeutig auf Klima und Schadstoffkomplexe

Trotz der $SO_2$-Abnahme und folglich kleiner, lokal begrenzter Verbesserungen des Flechtenwachstums findet man nach wie vor in den meisten Ballungsgebieten eine seit Jahren nahezu unveränderte, flechtenreduzierte (Zone IV) bzw. flechtenfreie Zone (Zone V) im Vergleich zum unbebauten Umland[3]. Es müssen also nach Meinung des Verfassers für die unterschiedliche Ausprägung des Flechtenwachstums noch weitere Schadstoff-Faktoren sowie das Stadtklima eine maßgebliche Rolle spielen, „welche eine solide wissenschaftliche Interpretation sehr erschweren", wie auch SCHÖLLER (1993) bezüglich der Problematik der Flechtenkartierungen kritisch anmerkt.

(4) Aktuelle Kartierungsmethoden mit Hilfe von Flechten

Um diese komplexe Problematik der Luftgütebewertung mit Hilfe von Flechten in den Griff zu bekommen, werden in der Literatur verschiedene Kartierungs-Verfahren vorgeschlagen, von denen die sog. „Kalibrierte Flechtenmethode" (HERZIG, LIEBENDÖRFER & URECH, 1987) besonders erwähnenswert ist. Auf Grund einer hohen Übereinstimmung der statistisch gewonnenen Kartierungsergebnisse (sog. „IAP18") mit technischen Immissionsdaten kann die entwickelte Methode nach Meinung von HERZIG nicht nur eine Aussage über die Wirkung der Luftverschmutzung auf Flechten abgeben, sondern auch eine quantitative Auskunft über die Gesamtbelastung der Luft liefern (sog. „Luftgütewert"; LGW).

Dieses Verfahren läßt jedoch m. E. außer Betracht, daß Flechten, wie oben gesagt, in einem Belastungsgebiet auch von stadtklimatischen Verhältnissen beeinflußt werden (Wind, Licht, Luftfeuchte usw.) und regionalspezifische Verbreitungsareale besitzen[4]. Es kann deshalb nur dort Verwendung finden, wo die regionaltypische Flechtenvegetation für dieses Gebiet zu Grunde gelegt wird und genügend „Standard-Bäume" mit vergleichbarer Standard-Ökologie vorhanden sind. Folglich läßt „gleichartiger Flechtenbewuchs in klimatisch unterschiedlichen Gebieten ... nicht unbedingt den Schluß auf gleich große Schadstoffbelastung zu" (HERTEL, 1997). Die Kartierung mit Hilfe eines Frequenzgitters verlangt außerdem vom Bearbeiter eine sehr genaue Artenkenntnis und ist sehr zeitaufwendig. Dessen ungeachtet ist das Verfahren als „VDI-Methode" (VDI 3799, Blatt 1, 1995) in die Literatur eingegangen und wird z. T. in modifizierter Form zur Beur-

---

3 vgl. Flechtenkartierungen in Regensburg von 1976 und 1987; GOPPEL, 1976 und 1987.

4 Ein vermindertes oder geschwächtes Vorkommen bestimmter Flechtenarten könnte folglich auch damit erklärt werden, daß diese betreffende Flechte in diesem Gebiet klimabedingt an ihre Verbreitungsgrenze stößt.

teilung der Luftgüte größerer Gebiete z. B. von Bayern (WINDISCH & VORBECK, 1996) und als Grundlage für die ökologische Stadtplanung und Umweltverträglichkeitsprüfung vielfach eingesetzt (vgl. z. B. KIRSCHBAUM, 1995; NOBEL u. a., 1999). Auch als Bioindikatoren in Gebieten mit langfristig schwacher Immissionsbelastung (z. B. in Waldschadensgebieten im Nationalpark Bayerischer Wald) fanden Flechten im letzten Jahrzehnt Anwendung (vgl. MACHER & STEUBING, 1986). Das Interesse an diesen Zeigerorganismen, die auf einfache und kostensparende Weise komplexe Aussagen über die lufthygienische Situation eines Gebietes zu liefern vermögen, ist nach wie vor ungebrochen. So wird die VDI-Methode mittlerweile als Grundlage für die ökologische Stadtplanung und für Umweltverträglichkeitsprüfungen vorgeschlagen (vgl. NOBEL u. a., 1999). Sogar in Schulen und bei Aktionen von Umweltschutzverbänden (LBV) findet diese Kartierungsmethode in vereinfachter Form in großem Stil Anwendung (vgl. LIEBENDÖRFER, 1989, AERODATA-BIONET-Projekt in Niedersachsen, 1998)[5]. Der Verfasser hat die in dieser Arbeit vorgestellte alternative Kartierungsmethode mit sog. „Flechtenvegetationsmustern" ebenfalls für die Schule aufbereitet und empfiehlt sie für den Einsatz in der Kollegstufe (GOPPEL, 1988 und im Druck).

## 2.2. Zielsetzungen für die Flechtenkartierungen von 1987 und 1997

Im Jahre 1976 wurde bereits vom Verfasser die epiphytische Flechtenvegetation im Stadtgebiet von Regensburg aufgenommen. Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit den Ergebnissen von weiteren zwei epiphytischen Flechtenkartierungen, die der Verfasser 1987 und 1997 im Stadtgebiet von Regensburg durchgeführt hat. Neue Frageansätze und neue Methoden gegenüber 1976, die sich aus dem aktuellen Stand der Forschung ergaben, standen dabei im Vordergrund. Im einzelnen waren das folgende Zielsetzungen:

(1) Kartierung häufiger „Flechtenvegetationsmuster" in den Flechtenzonen

Im Gegensatz zur ersten Kartierung wurde 1987 und 1997 weniger dem Vorkommen (Frequenz) einzelner Flechtenarten, sondern vor allem der Stetigkeit, Dekkung und Vitalität der am Standort vorkommenden Flechtenassoziationen oder deren Fragmente (sog. „Flechtenvegetationsmuster") eine besondere Beachtung geschenkt. Daraus wurden die sog. Flechtenzonen abgeleitet und in Form von

---

5 In der Nord-Schweiz hat man versucht eine epiphytische Flechtenkartierung nach der VDI-Methode gleichzeitig von Schülern verschiedener Mittelschulen durchführen zu lassen. Das Ergebnis dieser Maßnahmen war verständlicherweise nur von geringem wissenschaftlichen Erfolg, verlangte das Verfahren doch von Schülern und Lehrern genaue Artenkenntnis und vergleichbare Methodenwahl bei der Kartierung der manchmal schwer zu unterscheidenden Flechten. Ähnlich zu beurteilen ist auch der Versuch, Ergebnisse von Flechtenkartierungen mit Schülern nach einer vereinfachten VDI-Methode sogar im Internet zu veröffentlichen (vgl. AeroData-BioNet-Projekt in Niedersachsen).

Flechtenzonenkarten dargestellt. Diese neuartige Kartierungsmethode und ihre Ergebnisse sollen in dieser Arbeit näher beschrieben und diskutiert werden.

(2) Vergleich der drei Arbeiten

Die Flechtenzonenkarten von 1976, 1987 und 1997 werden schließlich tabellarisch in Hinblick auf Veränderungen miteinander verglichen. Aus den Unterschieden sollen gegebenenfalls Rückschlüsse auf die lufthygienische Situation in Regensburg und deren Entwicklung (Verbesserung/Verschlechterung) in den letzten 23 Jahren gezogen werden.

(3) Vergleich der Flechtenzonen mit Untersuchungen anderer Verfasser

Weiterhin bietet es sich an, die Kartierungsergebnisse insbesondere von 1987 mit den vorliegenden lufthygienischen Messungen des LFU (Emissions- und Immissionskataster, 1985) sowie mit der Stadtklima-Arbeit von DITTMANN (1982) zu vergleichen, nach Ursachen der Flechtenzonierung zu forschen und daraus eine vorsichtige Beurteilung der Luftqualität in den einzelnen Flechtenzonen in Form einer Luftgütekarte abzuleiten.

(4) Erfassung der Flechtenvegetation von typischen Nutzungs-, Baustruktur- und Begrünungstypen

Mit der Erfassung des Flechtenvorkommens wurde gleichzeitig angestrebt, das kleinräumige ökologische Umfeld des Flechtenstandortes aufzunehmen und zu charakterisieren. Dies hatte zum Ziel, die für die einzelnen Nutzungs-, Baustruktur- und Begrünungstypen des Regensburger Stadtgebietes typische Flechtenvegetation zu finden. Dieses neuartige Verfahren, Stadtbiotope durch ihre sog. „Flechtenvegetationsmuster" zu charakterisieren, wird in der folgenden Arbeit näher erläutert.

(5) Identifizierung von signifikanten Immissionen/Emissionen

Weiterhin wird in dieser Arbeit geprüft, inwieweit sich diese oben genannten biotopspezifischen Verbreitungsmuster der Flechtenvegetation zur sicheren Identifizierung von Immissionen/Emissionen aus (Groß-) Emittenten in Stadtgebieten einsetzen lassen.

(6) Flechtenneufunde

Nicht zuletzt ist es bei der Kartierung 1987 und 1997 auch ein erklärtes Ziel gewesen, die Artenliste der epiphytischen Flechten in Regensburg von 1976 zu vervollständigen. Diese Flechtenneufunde werden zum Schluß vorgestellt, ihre Fundorte werden näher beschrieben.

(7) Gesamtziele

Mit den aufgezeigten Zielen unterscheidet sich diese Arbeit somit nicht grundlegend von der von 1976. Im Gegensatz zu dieser (Erfassung der Flechtenarten mit Hilfe eines Frequenzgitters), wird hier eine andere Kartierungsmethode (Deckungs-

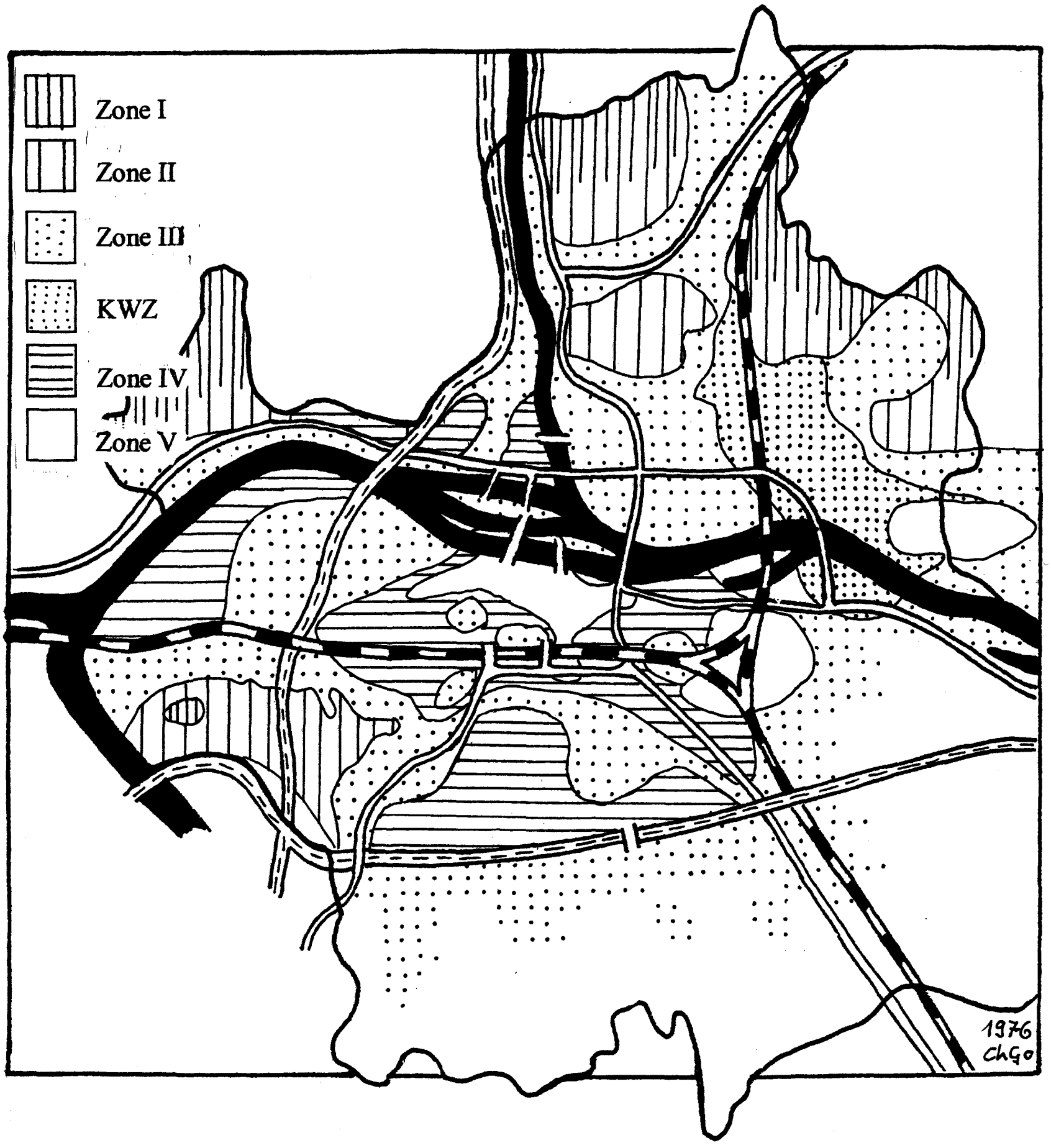


Abb. 2: Flechtenzonen von Regensburg 1976

abschätzung von Flechtenassoziationen) beschrieben. Außerdem wird im Gegensatz zu 1976 auf die Untersuchung der sehr diffizilen Wechselbeziehungen zwischen Mikroklima, Emissions-/Immissionseinfluß und spezifischem Flechtenvorkommen ein großer Wert gelegt. Darüber hinaus wird untersucht, ob sich die Kartierungsergebnisse in Zusammenhang mit den Immissionen quantifizieren lassen.

## 3. Die Flechtenkartierung von 1976 im Überblick

**(1) Die Methodik:** Im Jahr 1976 wurde vom Verfasser eine erste Kartierung epiphytischer Flechten im Stadtgebiet von Regensburg (Abb. 2) durchgeführt, die sich auf die Stadtfläche vom 31.12.1974 erstreckte (GOPPEL, 1976). An ca. 2000 ausgewählten Bäumen, gleichmäßig über das ganze Stadtgebiet verteilt, wurde mit Hilfe der Frequenzmethode nach KUNZE (1974) die Flechtenvegetation an der Rinde von Laubbäumen festgestellt. Kriterien der Vitalität, der Stetigkeit und des Baumstandortes flossen in die Bewertung ein. Die genau festgelegten Standortbedingungen des Phorophyten (Trägerbaum) wurden so weit wie möglich konstant gehalten, um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Häufige Straßen-Baumarten mit einer Borkenazidität von +/- subneutral bis mäßig sauer wurden dabei bevorzugt.

**(2) Das Arteninventar:** Bei dieser Kartierung von 1976 konnten **58** epiphytische Flechtenarten beschrieben und ihre Verbreitung in Punktkarten dargestellt werden. Flechten mit ähnlichen ökologischen Ansprüchen an den pH-Wert der Rinde wurden zu Großgruppen zusammengefaßt (Azidophyten, Neutrophyten, Basiphyten), ihr prozentualer Anteil am Standort (sog. „Frequenzmethode") in den einzelnen Stadtgebieten gemittelt (= Stetigkeit) und daraus die sog. „Flechtenzonen" abgeleitet[6]. Jede Zone wurde durch einen bestimmten Anteil an Azido-, Neutro- und Basiphyten gekennzeichnet[7].

**(3) Der Zonenverlauf:** Die Ausbreitung der Flechtenzonen, wie sie sich im Jahre 1976 darstellte, ist in Abb. 2 zu sehen. Ihr Verlauf soll im Folgenden kurz umrissen werden:

Die Zonen I und II sind gekennzeichnet durch W- und N-Lage, Verbreitung in den Stadtrandgebieten auf den Anhöhen der Stadt, in den Wäldern um Regensburg oder z. T. auch in Parkanlagen, an sog. „Frischluftschneisen" der Donau und fern von Industrie und starkem Hausbrand. Die Zonen III, IV und V liegen meist in der Nähe von Industrieanlagen, von starkem Hausbrand (in der Altstadt), in Gebieten mit großem Verkehrsaufkommen. Es sind meist die tiefer gelegenen Standorte der Stadt, die außerdem durch Ostlage und schlechte klimatische Bedingungen gekennzeichnet sind. Die Zone V mit verhältnismäßig stark sauren Immissionen (Nachweis durch pH-Messungen an Laubbaumborken) umfaßt mindestens 2 %

---

6 Zone I, II, III, Kalkwerkzone (KWZ), IV und V (= Normalzone, äußere, mittlere und innere Kampfzone, Flechtenwüste; BESCHEL, 1958).

7 Die Zone I umfaßt z. B. die Gebiete mit (sehr) guter Flechtenvegetation, Zone V beschreibt dagegen die Stadtbereiche mit (nahezu) flechtenfreien Stammabschnitten, die Kalkwerkzone jedoch ist durch eine Eutrophierung der Basiphyten, in der vor allem *Xanthoria parietina* vorherrscht ausgewiesen; dazwischen liegen die Flechtenzonen mit abnehmender Deckung, Vitalität und Stetigkeit ihrer Flechtengruppen.

des Stadtzentrums und erstreckt sich auf die Gebiete der Altstadt, des Hauptbahnhofs und den Ostteil der Stadt um die Zuckerfabrik sowie auf kleinere „Inseln" in Steinweg und Schwabelweis. Dagegen schließt die Kalkwerkzone mit basischen Immissionen (ca. 9 % der Stadtfläche) die Wohngebiete im NO um die Kalkwerke ein (Konradsiedlung, Brandlberg, Schwabelweis, Tegernheim) und hat nach SO ihre größte Ausbreitung. Der Einfluß der Kalkstaubimmissionen auf die Flechten der Kalkwerkzone konnte evident nachgewiesen werden. Eine eutrophierende Wirkung des Kalkstaubes war unverkennbar.

**(4) Die Ursachen der Flechtenzonierung**: Die Ursachen der Flechtenzonen in den anderen Stadtteilen dagegen waren verschiedenfältig; teils waren sie klimatischer Natur (hohe Lufttrockenheit in der Innenstadt, Lichtarmut usw.), teils waren sie auf Immissionen von Hausbrand und Großindustrie zurückzuführen (Stadtosten). Welcher der genannten Faktoren im Einzelfall überwogen hat, ließ sich 1976 anhand der vorliegenden Ergebnisse nur vermuten bzw. nur in wenigen Einzelfällen eindeutig klären. Die vorherrschenden Winde sowie der Verlauf der Donau als auch die Grüngürtel der Stadt beeinflußten die Flechtenzonen augenfällig in ihrer Ausdehnung über das Stadtgebiet. Ebenso schien das Industrieviertel im Stadtosten (Zuckerfabrik, ehem. Heyden-Chemie usw.) einen deutlichen Einfluß auf die Ausprägung der Zone IV und V zu haben. Eine quantitative Zuordnung der Zonen zu physikalisch-chemisch gemessenen Emissions- bzw. Immissionswerten konnten jedoch damals nicht vorgenommen werden, da bis zu diesem Zeitpunkt noch keine flächendeckenden Luftmessungen des LfU (Landesamt für Umweltschutz) u. a. vorlagen. Bezüglich der Neubaugebiete Isarstraße (NO), Universität (S), Prüfening (W), Sallerner Berg (N) konnten nur vage Aussagen über die Flechtenvegetation gemacht werden, da diese Wohngebiete damals noch neu, und die dort angepflanzten Flechten-Phorophyten noch sehr jung waren (jünger als 15 Jahre).

Die Erdgas-Umstellung bei der Industrie und den Haushalten war 1976 bereits angelaufen, deckte aber zu diesem Zeitpunkt lt. REWAG (Regensburger Stadtwerke) nur 15 % des Gesamtenergiebedarfs der Stadt, d. h. 14 % des industriellen und 50 % des häuslichen Energieverbrauchs). Da die Umstellung der Heizungen auf Erdgas seit den 70iger Jahren finanziell von der Stadt gefördert wurde und wird, war in den darauffolgenden Jahren mit einer weiteren Verbesserung der Luftsituation in Regensburg zu rechnen (bedingt vor allem durch die fortschreitende Erdgasumrüstung bei der Großindustrie). Inwieweit sich die Einführung von Erdgas sowie die Verbesserung der Heizungsanlagen und Abgasfilter auf die Luftsituation und somit möglicherweise auch auf die Flechtenvegetation ausgewirkt haben, sollten **zwei weitere Vergleichskartierungen** im Jahre 1987 und 1997 (d. h. 11 bzw. 21 Jahre danach) ähnlich wie in München (MACHER, 1987) untersuchen.

## 4. Die Erfassung von sog. „Flechtenvegetationsmustern" im Jahr 1987 und 1997

### 4.1. Die häufigsten epiphytischen Flechtengesellschaften im Stadtgebiet von Regensburg

Um in kurzer Zeit eine größtmögliche Anzahl an Bäumen untersuchen zu können, wurde 1987 und 1997 anstatt einer Einzelarten-Erfassung eine Kartierung der epiphytischen Flechtengesellschaften vorgenommen. Interessant waren dabei vor allem die beiden folgenden, häufigsten Flechtenassoziationen dieses Gebietes, wie sie KLEMENT (1950) auch als charakteristisch für die gesamte Oberpfalz beschreibt. Beiden Assoziationen kann positive bzw. negative Indikatorfunktionen für die Untersuchung von Klima und Luftverschmutzung zugesprochen werden:

- das ***Physcietum adscendentis* Ochsner** aus dem Verband des *Xanthorion parietinae* Ochsner (vgl. Abb. 1).

Es ist geeignet als nitrophiler, basiphytischer (Kalk-)staubzeiger (Vorzugs-pH-Bereich > 6) und wird vorwiegend repräsentiert durch Flechten wie *Physcia adscendens* (4), *Physcia orbicularis* (3), *Physcia tenella* (1), *Candellaria concolor* (2), *Parmelia exasperatula* (+), *Xanthoria candellaria* (1), *Parmelia sulcata* (2) und vor allem geprägt durch *Xanthoria parietina* (5) als Verbandscharakterart. Sie überwuchert insbesondere im engeren Kalkwerksbereich alle Phorophyten mit hoher Deckung und Stetigkeit (vgl. KLEMENT, 1950, 1955; die Zahlen beziehen sich auf die Deckung).

An kalkimprägnierter Rinde in der Kalkwerkzone wird das Bild durch folgende Arten erweitert: *Physcia stellaris* (2) und *Physcia aipolia* (+), *Physconia pulverulacea* (2) und *Physconia grisea* (2).

- das ***Parmelietum furfuraceae* Ochsner** aus dem Verband des *Usneion barbatae* Ochsner als nitrophober, azidophytischer „Kalkstaubflüchter"

Sie ist nach KLEMENT (1950) „die wohl häufigste und überall zumindest in Fragmenten vorkommende Rindenflechtengesellschaft der Oberpfalz". Aufgrund der relativ seltenen Nebelbildung und der geringen Jahresniederschläge in der Oberpfalz im Vergleich zur montanen Stufe Oberbayerns (Regensburg zählt zu den niederschlagsärmsten Gebieten Bayerns) ist diese Gesellschaft in der Region sehr verarmt und deshalb auch in Regensburg nur rudimentär vorhanden[8]. So trifft man dort lediglich wenige Arten dieser genannten Gesellschaft an, wie z. B. *Parmelia furfuracea* (+), *Evernia prunastri* (+), *Usnea* spec. (+), *Alectoria jubata* (+) usw. aber vor allem *Hypogymnia physodes* (4) und *Parmelia sulcata* (2) als Klassen-

8 Selbst die häufigen Nebeltage des Donautals in den Wintermonaten im Vergleich zur restlichen Oberpfalz scheinen die Flechtenvegetation nicht wesentlich zu verändern.

charakterarten, die hier in staubarmen Bereichen der Stadt vorwiegend das Vegetationsbild der Äste und Stämme bestimmen.

Andere, im Voralpenland recht häufige epiphytische Flechtengesellschaften wie z. B. das *Parmelietum acetabulae* Ochsner oder das *Parmelietum caperatae* Ochsner waren in Regensburg ähnlich wie in der gesamten Oberpfalz nur an ganz wenigen Standorten und dann nur sehr relikthaft anzutreffen. Für die emittentenbezogene Kartierung hatten sie somit keinen Aussagewert.

Beurteilt wurde die Deckung und Stetigkeit der Flechtengesellschaften nach BRAUN-BLANQUET (1964) auf der halben Stammabwicklung in Augenhöhe. Die Einzelergebnisse wurden, getrennt nach Flechtengesellschaften (Neutrophyten + Basiphyten = grob vereinfacht *Physcietum adscendentis*; Azidophyten = *Parmelietum furfuraceae*) und nach Fundort, Stetigkeit und Vitalität usw. in entsprechende Formblätter eingetragen (vgl. Abschn. 6.1).

Unabhängig von der emittentenbezogenen Kartierung der wichtigsten Flechtengesellschaften wurde natürlich auch den einzelnen Arten aus floristischem Interesse Beachtung geschenkt, sofern sie 1976 noch nicht angesprochen wurden. Diese Flechten-Neufunde für das Stadtgebiet von Regensburg sind in Punkt 7 zu finden.

## 4.2. Festlegung der Flechtenvegetationstypen – Ermittlung ihrer Variationsbreite im Stadtgebiet

Der ökologische Indikatorwert einzelner Flechtenarten ist m. E. in einem Stadtgebiet weit weniger aussagefähig als der einer gesamten Assoziation. Außerdem stellt es eine enorme Zeitersparnis für den Bearbeiter dar, statt der Auszählung und Mittelung einzelner Flechtenarten in einem Frequenzgitter die Deckung, Stetigkeit und Gesamtvitalität der dazugehörigen Flechtengesellschaft oder des Mosaiks verschiedener Assoziationen zu erfassen, so rudimentär sie auch immer im Stadtgebiet vertreten sein mögen.

Die Grundlage dafür bildeten die Erfahrungswerte des Verfassers aus den Flechtenkartierungen von 1976, 1984 und 1987: So ließ sich aus der Fülle der verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten von Deckung, Stetigkeit und Vitalität der beiden oben genannten, wichtigsten Flechtengesellschaften in Regensburg grob vereinfacht acht verschiedene, häufig vorkommende Kombinationsmuster der Flechtenvegetation unterscheiden, die sog. „Flechtenvegetationstypen“: Typ 1az, 2az, 3az, 3bas, 3xanth, 4az, 4bas und Typ 5 (flechtenfreie Stammabschnitte), wie sie in Tabelle 1 dargestellt sind[9]. Mit Ausnahme von Typ 5 kann jeder der Vege-

[9] Für Typ 5 erübrigt sich eine Darstellung in der Tabelle 1, da ja in diesem Fall keine Flechten an den Bäumen wachsen.

tationstypen wiederum stark vereinfacht durch einen gewissen prozentualen Anteil an azidophytischen, neutrophytischen und/oder basiphytischen Blattflechtenarten und azidophytischen Krusten (repräsentiert durch *Lecanora conizaeoides*)[10] charakterisiert werden, die sich jeweils in ihrer besonderen Vorliebe für einen bestimmten pH-Bereich der Borke unterscheiden (siehe Name!)[11]. Diejenige Flechtenassoziation, deren Quotient aus Deckung × Stetigkeit/Vitalität am größten ist, ist namensgebend für das gesamte Vegetationsmuster. Eine Sonderrolle stellt dabei der Vegetationstyp „3xanth" dar, der vor allem durch ein eutrophiertes Auftreten der basiphytischen Blattflechte *Xanthoria parietina* und anderer Flechtenarten aus dem *Xanthorion parietinae* gekennzeichnet ist (Quotient 7300). Die später daraus abgeleiteten Flechtenzonen I-V und die Kalkwerkzone „KWZ" repräsentieren gleichzeitig das Hauptverbreitungsgebiet des der jeweiligen Zonennummer entsprechenden Vegetationstyps (s. u.!)[12]. Durch den Quotient aus Dekkung × Stetigkeit/Vitalität der einzelnen Gesellschaften wurde versucht, den Vegetationstyp mathematisch näher zu charakterisieren. Er wurde durch Kreise mit unterschiedlichem Durchmesser in der Tabelle optisch zum Ausdruck gebracht, so daß die quantitativen Unterschiede zwischen den einzelnen Vegetationstypen dem Leser deutlicher ins Auge fallen dürften.

Hauptziel der Kartierung von 1987 und 1997 war es außerdem, wie gesagt, die Stetigkeit der einzelnen Vegetationstypen im Stadtgebiet möglichst vollständig zu erfassen. Das war besonders dann interessant, wenn sie eine von der Normalerwartung in diesem Gebiet abweichendes Vegetationsmuster aufwiesen. Dabei wur-

---

10 Die Krustenflechte *Lecanora conizaeoides* wird hier im Gegensatz zur VDI-Methode als integraler Bestandteil der Flechtenvegetation in einem Stadtgebiet betrachtet. Ihr abweichendes Verhalten gegenüber Immissionen dient zur Identifizierung bestimmter Vegetationstypen, z. B. von Typ 2az und 4az und kann deshalb nicht übergangen werden.

11 Bekanntlich kann die Azidität von Borken in den toten Außenschichten von den auf sie einwirkenden Immissionen beeinflußt sein (siehe pH-Werte von *Tilia cordata*-Borken im Stadtgebiet von Regensburg; GOPPEL, 1976; S. 83 ff). An ein und demselben Rindenabschnitt können je nach Grad des Immissionseinflusses und Mikroklimas nebeneinander verschiedene Flechtengesellschaften mit unterschiedlicher pH-Präferenz auftreten (BARKMANN; 1958). Dieser Umstand bildete die Grundlage für die Entwicklung der sog. „Flechtenvegetationsmuster". Die Bezeichnung wurde so gewählt, weil die jeweiligen Flechten-Assoziationen eigentlich nicht miteinander verwandt sind, sondern sich in ihrer Ökologie deutlich voneinander unterscheiden (vgl. KLEMENT, 1950; KIRSCHBAUM & WIRTH, 1997 u. v. a.).

12 Es versteht sich von selbst, daß die Prozentangaben für die einzelnen Vegetationstypen aufgrund der besonderen Klima- und Emissionslage von Regensburg nur als lokalspezifische Größen gelten. Sie können nur dann auf andere Städte übertragen werden, wenn diese nach KLEMENT (1955) auf einer vergleichbaren Meereshöhe (ca. 400 m ü. N.N. ) liegen, ein ähnliches Jahresmittel der Niederschläge (ca. 650 mm) und Nebelhäufigkeit (71-100 T/a) aufweisen. Außerdem müssen die betreffenden Flechten dort einen vergleichbares Verbreitungsareal besitzen und auf ähnlichem Borkensubstrat vorkommen.

**Tab. 1 Charakteristik der versch. Flechtenvegetationstypen in einem Belastungsgebiet**

| *Vegtyp* | Azidophyt. Blattflechten | | | | Neutro- u. Basiphyt. Blattflechten | | | | Azidoph. Krusten (*Lecan. coniz.*) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Deckung D | Vitalität V | Stetigkt St | Quotient D x St /V | Deckung D | Vitalität V | Stetigkt St | Quotient D x St /V | Deckung D | Vitalität V | Stetigkt St | Quotient D x St /V |
| *Typ 1az* | 50-90% | V 1 | 100% | 7000 | 1-5% | V 1-2 | 15% | 30 | 5-10% | V 2-3 | 85% | 170 |
| *Typ 2az* | 30-50% | V 1-2 | 100% | 2666 | 1-15% | V 1-4 | 20-33% | 85 | 1-40% | V 1-2 | 100% | 1333 |
| *Typ 3az* | 10-30% | V 2 | 100% | 800 | 1-10% | V 2-4 | 50-80% | 109 | 10-30% | V 2 | 40% | 320 |
| *Typ 3bas* | 1-10% | V 2-3 | 45% | 90 | 20-90% | V 1 | 70-100% | 3117 | 0% | V - | 0% | 0 |
| *Typ 3xanth (Xanthoria parietina)* | 0% | V - | 0% | 0 | 50-95% | V 1 | 100% | 7300 | 0% | V - | 0% | 0 |
| *Typ 4az* | 1-10% | V 3-4 | 100% | 143 | "+"-2% | V 3-5 | 25-30% | 7 | 10-70% | V 1-4 | 100% | 2000 |
| *Typ 4bas* | "+"-1% | V 4-5 | 30% | 3 | 1-30% | V 1-5 | 33-100% | 358 | "+"-5% | V 3-4 | 20% | 30 |

den mit Hilfe eines dafür angefertigten Formblattes möglichst viele der dafür geeigneten Straßen- und Parkbäume mit verwandter Borkenazidität (subneutral - mäßig sauer: *Tilia cordata*, *Acer platanoides*, (*Fraxinus excelsior*)) an einem geeigneten Flechtenstandort abgezählt und der prozentuale Anteil der einzelnen Flechtenvegetationstypen 1az–4bas ermittelt (= Stetigkeit). Im Gegensatz zu 1976 wurden diesmal somit auch die Bäume erfaßt, die aufgrund ihres Flechtenvegetationsmusters scheinbar „nicht ins Bild der Zone paßten“ und deshalb 1976 vom Verfasser irrtümlicherweise ausgeklammert wurden (sog. „Abweichler“).

### 4.3. Kartierung des ökologischen Umfeldes eines Flechtenstandortes

Gleichzeitig war mit der statistischen Erfassung der Flechtenvorkommen angezeigt, das ökologische Umfeld des Flechtenstandortes aufzunehmen. Bekanntlich sind gerade die standorttypischen Ökofaktoren für die charakteristische, kleinklimatische Ausprägung und Variabilität der Flechtenvegetation innerhalb eines Gebietes verantwortlich. So wurden, wie bei früheren Erhebungen auch, alle wesentlichen Faktoren der Umgebung grob erfaßt, die für das Vorkommen oder Nichtvorkommen der Flechten (in bebauten oder unbebauten Gebieten) ausschlaggebend sein konnten (Bebauungs-, Nutzungstypen usw.).

In **bebauten Gebieten** war von Bedeutung: die Art der Häuser (Einfamilien-, Mehrfamilienhäuser, Wohnblöcke, Hochhäuser usw.), die Bebauungsdichte, Straßenbreite, Gärten, Baumdichte, Verkehrsfrequenz (hoch, mittel, mäßig, niedrig), Industrialisierung und Emittenten (Hausbrand, Kleinbetriebe, Heizwerk, Großbetrieb), Nähe zu einem Gewässer usw.

Bei **Parkanlagen und Wäldern** war entscheidend: die Größe der Anlage, Lage in der Stadt (Freiland, Stadtrand oder -mitte), das Alter der Bäume (geschätzt nach Stammumfang), der Bestockungsgrad (dicht, mittel, locker), die Lichtverhältnisse (schattig, hell, Mischlicht), Art und Ausdehnung der Bodenbedeckung (Rasen, Buschwerk, Wege usw.), Beeinträchtigung durch Häuser, Verkehr und Industrie (soweit erkennbar), Lage zu einem bedeutenden Gewässer usw.

Aus dieser Kartierung konnten vier häufige Großgruppen von Flechtenstandorten (= Stadtflechten-Biotope) ermittelt werden: Wälder, Park-/Grünanlagen, Bebautes Gelände, Straßen, die sich wiederum je nach Bestockungsgrad, Bebauungs- oder Verkehrsdichte weiter untergliedern ließen (vgl. Tab. 2-6). Da es in Regensburg keine reinen Industriestandorte gibt (stets befinden sie sich in einem Mischgebiet), wurde die Industrienähe lediglich als Differenzierungsmerkmal der o. g. Großgruppen herangezogen (s. u.!). Zur Erfassung des ökologischen Umfeldes wurden darüber hinaus keine weiteren physikalisch-technischen Meßverfahren eingesetzt. Einzelheiten der Kartierungsmethode sind im Abschnitt 6.1 dargestellt. Diese Flechten-Stadtbiotope ähneln bzw. entsprechen teilweise den von SUKOPP & WITTIG (1998; S. 320 ff) vorgeschlagenen „Nutzungs- und Baustrukturtypen" einer ökologischen Stadtgliederung.

### 4.4. Charakterisierung der verschiedenen Stadtflechten-Biotope entsprechend ihrer Flechtenvegetation

Die Erfassung des ökologischen Umfeldes hatte zum Ziel, **standortspezifische Flechtenvegetationsmuster** für die verschiedenen Stadtflechten-Biotope zu ermitteln. Zu diesem Zweck wurden ähnlich wie bei der Auswertung von Vegetationstabellen von Gefäßpflanzen-Gesellschaften die einzelnen Kartierungsergebnis-

se (Flechtenvegetationstypen) zuerst in einer Rohtabelle zusammengetragen und danach entsprechend den Prozentanteilen der einzelnen Typen 1az-5 am Gesamtbaumbestand eines Flechtenstandortes (= Stetigkeit) aufgegliedert. Anschließend wurde versucht, sie den in Regensburg häufigen vier Großgruppen von Stadtflechten-Biotopen zuzuordnen: den Standorten in Wäldern, Grün-/Parkanlagen, Wohngebieten oder an Straßen verschiedener Art. Schließlich wurden die Rohtabellen der ökologischen Großgruppen nach Ähnlichkeiten in den Prozentzahlen der einzelnen Vegetationstypen weiter unterteilt und somit in Untergruppen mit ähnlichen Mustern der einzelnen Flechtenvegetationstypen aufgegliedert. Die Ergebnisse mußten schließlich dahingehend überprüft werden, ob sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen diesen somit gewonnenen sog. „**Flechtenvegetationsmustern**" und der Ökologie der Stadtbiotope herstellen läßt. Von Ausnahmen abgesehen – nicht überall wuchs eine genügende Anzahl geeigneter Bäume – erschien dem Verfasser erfahrungsgemäß ein Zusammenhang zwischen den Flechtenvegetationsmustern und den Standortbedingungen dann als statistisch signifikant, wenn den jeweiligen Ergebnissen mehr als ca. 40 untersuchte Bäume zugrunde lagen (vgl. Tab. 2-6). Fand man folglich an insgesamt mehr als 40 Bäumen vergleichbarer Stadtbiotope ein ähnliches Flechtenwachstum, wurden die entsprechenden Kombinationsmuster der vorkommenden Flechtenvegetationstypen als **„Standardmuster der Flechtenvegetation"** für diese Art von Stadtbiotop bezeichnet.

Lag dagegen bei einer ausreichenden Anzahl untersuchter Bäume mit vergleichbarer Ökologie ein vom zu erwartenden Standardwert deutlich abweichendes Muster der einzelnen Vegetationstypen vor, konnte dies folglich als klarer Beweis für eine außergewöhnliche Störung (i. d. R. starke Luftbelastung, verursacht durch einen benachbarten Emittenten) gewertet werden.

Ein vergleichbares Verfahren schlägt MACHER (1992) für die Untersuchung der Ursachen von immissionsbedingten Waldschäden vor.

## 4.5. Die Kartierung von Flechtenvegetationsmustern – Ergebnisse

Das oben aufgezeigte Verfahren lieferte folgende Ergebnisse (vgl. Tab. 2-6 ):

(1) **Charakteristische Vegetationsmuster**: Fast jedes der untersuchten Stadtbiotope (= Nutzungstypen) besitzt ein nahezu unverwechselbares, charakteristisches Muster der verschiedenen Flechtenvegetationstypen. Diese Ergebnisse korellieren mit Untersuchungen zur Verbreitung von höheren Pflanzen oder der Avifauna in diesen „Stadtzonen" (SUKOPP & WITTIG, 1998; S. 316 ff).

(2) **Spiegel der ökologischen Verhältnisse**: Das Flechtenvegetationsmuster jedes Biotops ist somit umgekehrt ein Spiegel der komplexen ökologischen Verhältnisse am Flechtenstandort, d. h. die jeweiligen Verteilungsmuster der einzelnen Flechtenvegetationstypen lassen durch den Vergleich mit anderen ähnlichen

**Tab. 2 Waldflächen am Stadtrand von Regensburg, 1987**

2.1. Prozentuale Verteilung der Vegetationstypen in verschiedenen Waldformationen (Standardmuster)

| Waldformationen | Stetigkeit der Vegetationstypen | | | | | | N | N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 az | 2 az | 3 az + bas | 3 xanth | 4 az + bas | 5 ohne Fl. | Bäume | Standorte |
| **Typ a: Waldrand nach W,** Eichenbestand, lichte Bestockung, krautiger Unterwuchs, im W Straße (Hohengebr. Wald) | 57 % | 30 % | 13 % | – | – | – | (23) | 3 |
| **Typ b: Waldrand nach N,** Eichenbestand, lichte Bestockung, krautiger Unterwuchs, im N Felder (Hohengebr. Wald) | 26 % | 20 % | 19 % | – | 35 % | – | (45) | 4 |
| **Typ c: Waldesinnere**: Eichen-Eschenbestand, lichte Bestockung, Kräuter 80%, Sträucher 30% (Hohengebr. Wald) | 19 % | 38 % | 12 % | – | 30 % | – | (26) | 3 |

2.2. Waldformationen mit Abweichungen der Vegetationstypen vom Standardmuster 2.1., aber mit vergleichbarer Ökologie

| Waldformationen | Stetigkeit der Vegetationstypen | | | | | | N | N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 az | 2 az | 3 az + bas | 3 xanth | 4 az + bas | 5 ohne Fl. | Bäume | Standorte |
| **Pfaffensteiner Hg / Weintinger Hzl**: **Waldrand nach N,** Eichen, lichte Bestockung, Kräuter 80%, nach N Felder, **Trockenheit / Immissionen, vgl. Typ b** | 1 % | 6 % | 6 % | – | 87 % | – | (96) | 3 |
| **Pfaffensteiner Hg / Weintinger Hzl**: Waldesinnere, Eichen, lichte Bestockung, Kräuter 80%, Sträucher 30%,**Trockenheit / Immissionen, vgl. Typ c** | 2 % | 2 % | 6 % | – | 90 % | – | (62) | 4 |
| **Eichenwäldchen Keilstein: Waldrand nach W**, niederwüchsige Eichen, lichte Bestokkung, Kräuter 80%, **Kalkstaubimmissionen, vgl. Typ a** | – | – | – | 76 % | – | 24 % | (46) | 7 |
| **Eichenwäldchen Keilstein: Waldesinnere**, niederwüchsige Eichen, lichte Betockung, Kräuter 80% **Kalkstaubimmissionen, vgl. Typ c** | – | – | – | 45 % | – | 55 % | (56) | 11 |

**Tab. 3 Grünanlagen im Stadtgebiet von Regensburg, 1987**

3.1. Prozentuale Verteilung der Flechten-Vegetationstypen in verschiedenen Grünanlagen (Standardmuster)

| Grünanlagen | Stetigkeit der Vegetationstypen | | | | | | N | N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 az | 2 az | 3 az + bas | 3 xanth | 4 az + bas | 5 ohne Fl. | Bäume | Standorte |
| **Typ a:** **Parkanlagen am Stadtrand** alter Baumbestand, dichte Bestockung, viel Schatten, **kein** Verkehr | -- | 77 % | 15 % | -- | 5 % | 3 % | (40) | 4 |
| **Typ b:** **Parkanlagen um den Stadtkern** alter Baumbestand, lichte Bestockung, mäßig Schatten, **wenig** Verkehr | -- | -- | 23 % | -- | 74 % | 3 % | (65) | 4 |
| **Typ c:** **Parkanlagen im Stadtkern** alter Baumbestand, lichte Bestockung, mäßig Schatten, **mäßig** Verkehr | -- | -- | 7 % | -- | 69 % | 24 % | (64) | 4 |

3.2. Grünanlagen mit Abweichungen der Vegetationstypen vom Standardmuster 3.1.

| Grünanlagen | Stetigkeit der Vegetationstypen | | | | | | N | N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 az | 2 az | 3 az + bas | 3 xanth | 4 az + bas | 5 ohne Fl. | Bäume | Standorte |
| **Oberer kath. Friedhof** Grünanlage am Stadtrand, alter Baumbestand, lichte Bestockung, viel Licht, **kein** Verkehr, **Windtrocknis vgl. 3.1. Typ b** | -- | -- | 4 % | -- | 86 % | 10 % | (30) | 1 |
| **Park am Bahnhof,** alter Baumbestand, lichte Bestockung, viel Licht, **viel** Verkehr, **Immissionen, vgl. 3.1. Typ b / c** | -- | -- | 10 % | -- | 20 % | 70 % | (20) | 2 |
| **Park am Flachlberg,** mittelalter Baumbestand mäßige Bestockung, mäßig Schatten, **kein** Verkehr, **Kalkstaub, vgl. 3.1. Typ a** | -- | -- | -- | 100 % | -- | -- | (45) | 3 |

**Tab. 4 Wohngebiete im Stadtgebiet von Regensburg, 1987**

4.1. Prozentuale Verteilung der Flechten-Vegetationstypen in verschiedenen Wohngebieten (Standardmuster)

| Wohngebietstypen | Stetigkeit der Vegetationstypen | | | | | | N | N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 az | 2 az | 3 az + bas | 3 xanth | 4 az + bas | 5 ohne Fl. | Bäume | Standorte |
| **Typ a:** **Einfamilienhäuser am Stadtrand,** alte Gärten, schmale Straßen, Anliegerverkehr | -- | 17 % | 56 % | -- | 27 % | 1 % | (89) | 5 |
| **Typ b:** **Alte Villen um den Stadtkern** lockere Bebauung, alte Gärten, viele Grünanlagen, breite Straßen, **mäßiger** Verkehr | -- | -- | 7 % | -- | 69 % | 24 % | (64) | 4 |
| **Typ c:** **Altstadthäuser im Stadtkern** dichte Bebauung, wenig Bäume breite Straßen, **reger** Verkehr | -- | -- | -- | -- | 32 % | 68 % | (134) | 8 |
| **Typ d:** **Altstadthäuser im Stadtkern** dichte Bebauung, wenig Bäume schmale Straßen, **viel** Verkehr | -- | -- | -- | -- | -- | 100 % | (27) | 7 |

4.2. Wohngebietstypen mit Abweichungen der Flechtenvegetation vom Standardmuster 4.1., aber mit vergleichbarer Ökologie

| Wohngebietstypen | Stetigkeit der Vegetationstypen | | | | | | N | N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 az | 2 az | 3 az + bas | 3 xanth | 4 az + bas | 5 ohne Fl. | Bäume | Standorte |
| **Guerike-Straße /Kasernen Stadtrand,** niedere Wohnblöcke, enge Innenhöfe, mäßig Bäume, Anliegerverkehr, **Industrienähe, vgl. 4.1. Typ a** | -- | -- | -- | -- | -- | 100 % | (20) | 3 |
| **Konradsiedlung /Brandlberg** Einfamilienhäuser am Stadtrand, alte Gärten mit viel Grün, Anliegerverkehr, **Kalkstaub, vgl. 4.1. Typ a** | -- | -- | -- | 100 % | -- | -- | (48) | 4 |
| **Albertstraße / Margaretenstr.** um den Stadtkern, Hohe Wohn- und Geschäftshäuser, mäßig Bäume, reger Verkehr, **gutes** Stadtklima **vgl. 4.1. Typ c** und **3.1. Typ b** | -- | -- | 25 % | -- | 33 % | 52 % | (36) | 2 |

## Tab. 5 Straßen im Stadtgebiet von Regensburg, 1987

### 5.1. Prozentuale Verteilung der Flechten-Vegetationstypen an Straßenbäumen verschiedener Straßen (Standardmuster)

| **Straßentypen / (Straßenbäume)** | **Stetigkeit der Vegetationstypen** | | | | | | **N** | **N** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **1 az** | **2 az** | **3 az + bas** | **3 xanth** | **4 az + bas** | **5 ohne Fl.** | **Bäume** | **Standorte** |
| **Typ a:**<br>**Ausfallstraßen am Stadtrand**<br>ländliche Gegend, breite Straßen mäßig Bäume, **reger Verkehr Verkehrsstaub** | -- | -- | ● 62 % | -- | ● 31 % | ○ 7 % | (41) | 3 |
| **Typ b:**<br>**Wohnviertelstraßen am Stadtrand**<br>schmale Straßen, viele Gärten, verkehrsarm, **Anliegerverkehr, Immissionen (?)** | -- | • 4 % | ● 38 % | -- | ● 58 % | -- | (212) | 9 |
| **Typ c:**<br>**Wohnviertelstraßen um den Stadtkern**, breite Straßen, mäßig Bäume, **reger** Verkehr | -- | -- | ● 50 % | -- | ● 37 % | ○ 13 % | (56) | 5 |
| **Typ d:**<br>**Hauptstraßen um den Stadtkern**<br>dichte Bebauung, breite Straßen mäßig Bäume,<br>**Industrienähe, reger** Verkehr | -- | -- | • 1 % | -- | ● 59 % | ○ 40 % | (105) | 9 |

### 5.2. Straßentypen mit Abweichungen der Flechtenvegetation vom Standardmuster 5.1., aber mit vergleichbarer Ökologie

| **Straßentypen /(Straßenbäume)** | **Stetigkeit der Vegetationstypen** | | | | | | **N** | **N** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **1 az** | **2 az** | **3 az + bas** | **3 xanth** | **4 az + bas** | **5 ohne Fl.** | **Bäume** | **Standorte** |
| **Hohes Kreuz, 1987**<br>Wohnviertelstraße am Stadtrand, viel Grün, Anliegerverkehr, **vgl. Typ 5.1. b Immissionen durch Zuckerfabrik** | -- | -- | -- | -- | -- | ○ 100 % | (50) | 2 |
| **Dechbettener Str.**<br>Seitenstr. (erhöht) am Rande des Stadtkerns, viele Gärten mit Bäumen, mäßig Verkehr,<br>**Rindentrocknis vgl. Typ 5.1. b** | -- | -- | • 2 % | -- | ● 95 % | ○ 3 % | (43) | 1 |

**Tab. 6 Ökologische Untersuchung eines Stadtviertels von Regensburg**
(Innerer Stadtosten, Kasernenviertel)

Vergleich der Flechtenvegetation in Abhängigkeit von den Standortfaktoren (Kleinklima, Immissionen)

| **Ortsbeschreibung** | **Stetigkeit der Vegetationstypen** | | | | | | **N** | **N** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **1 az** | **2 az** | **3 az + bas** | **3 xanth** | **4 az + bas** | **5 ohne Fl.** | **Bäume** | **Standorte** |
| **Standort a** (Ostpark): **Kleine Parkanlagen,** viel Licht jüngere Bäume, viel Rasen, Wohnhäuser in der Nähe, **verkehrsfrei** | -- | • 3 % | • 18 % | -- | ● 59 % | ○ 20 % | (71) | 3 |
| **Standort b** (Alfons-Auer-Str.): **Seitenstraßen** breit und hell, mäßig Bäume, niedere Häuser, **reger Verkehr** | -- | -- | ● 50 % | -- | ● 37 % | ○ 13 % | (56) | 5 |
| **Standort c** (Landshuter Str.): Hauptstraßen **breit und hell,** wenig Bäume, dichte Bebauung, **sehr reger Verkehr** | -- | -- | -- | -- | ● 78 % | ○ 22 % | (40) | 3 |
| **Standort d** (Staudinger Block): **Innenhöfe von Wohnblöcken** schattig und eng, mäßig Bäume | -- | -- | • 3 % | -- | ● 37 % | ○ 60 % | (43) | 4 |
| **Standort e** (Guerike-Straße): Innenhöfe von Wohnblöcken, schattig und eng, mäßig Bäume, **Industrienähe** | -- | -- | -- | -- | -- | ○ 100 % | (20) | 2 |

Stadtbiotopen differenzierte Rückschlüsse auf die Klima- und Immissionsbedingungen vor Ort zu.

(3) **Große ökologische Vielfalt im Hohengebrachinger Wald:** Dieser Wald (S) besitzt eine große Vielfalt ökologisch unterschiedlicher Biotopverhältnisse, ausgedrückt durch die ganze Palette der verschiedenen Flechtenvegetationstypen am Standort. Dies weist auf die hohe ökologische Wertigkeit dieses Waldes hin; ganz im Gegensatz zu den Waldformationen Pfaffensteiner Hang-Wald (N) und Burgweintinger Hölzl (O), die bei vergleichbarem Waldtyp und Bestockungsgrad eine stark verarmte Flechtenvegetation (vorwiegend Vegtyp 4az) besitzen: deutlicher Hinweis auf saure Immissionen und/oder sehr niedrige Luft- und Stammfeuchte (vgl. Tab. 2.1. mit Tab. 2.2.).

(4) **Richtung Zentrum nimmt Vegtyp 4 und 5 (flechtenfrei) zu:** Mit zunehmender Annäherung an das Stadtzentrum verschlechtern sich die klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse am Flechtenstandort, was sich in einer deutlichen Zunahme von Vegtyp 4 und 5 widerspiegelt (vgl. Tab. 4.1. und Tab. 6).

(5) **Typ 3xanth weist auf Kalkstaubniederschlag hin:** Die ungewöhnlich starke Verbreitung von *Xanthoria parietina* in der Konradsiedlung (NO) ist auf einen nicht unerheblichen Staubniederschlag in diesem Gebiet, verursacht durch die Kalkwerke, zurückzuführen (eine Tatsache, die die Kalkwerksbetreiber immer bestritten hatten). Dies geht aus einem Vergleich von Tab. 4.1. Typ a) mit Tab. 4.2. hervor.

(6) **Typ 5 (flechtenfrei) am Hohen Kreuz zeigt saure Immissionen an:** Die „Flechtenwüste" (Typ 5/Zone V) von 1987 am Hohen Kreuz (O) ist mit hoher Wahrscheinlichkeit durch saure Immissionen aus der Zuckerfabrik und/oder von anderen benachbarten Emittenten verursacht. Vergleiche hierzu das Standard-Vegetationsmuster von Tab. 5.1. Typ b) mit der Abweichung in Tab. 5.2.

(7) **Luftbelastung in der Guerikestraße ist hoch:** Aus dem Vergleich der entsprechenden Vegetationsmuster in Tab. 4 bzw. Tab. 6 ist zu entnehmen, daß saure Immissionen aus benachbarten Industrieanlagen als Ursache für das Ausbleiben der Flechtenvegetation im Gebiet um die Guerikestraße (O) angenommen werden müssen (vgl. Tab. 4.1. Typ a mit Tab. 4.2. bzw. mit Tab. 6 Standort e).

(8) **Eichenwald am Keilstein schützt vor Staubniederschlag:** Ein Tabellenvergleich zwischen Tab. 2.1.a) und c) und Tab. 2.2. macht deutlich, daß im Eichenwald am Keilstein (N) Kalkstaub aus dem Kalkwerk niedergeht (vorwiegend Vegtyp 3xanth). Dieser Wald fungiert folglich als ein idealer Staubfilter für den angrenzenden Ort Keilberg und muß somit aus ökologischer Sicht erhalten bleiben (mittlerweile NSG).

(9) **Methode für ökologische Untersuchungen geeignet:** Die geschilderte Methode eignet sich deshalb hervorragend als vielseitig einsetzbares, ökologisches Verfahren wie z. B. zur:

- differenzierten Beurteilung der Verkehrsbelastung in einem Gebiet (vgl. Tab. 5 sowie Abb. 9),
- Kartierung der Abgasfahne eines Emittenten in Abhängigkeit von Windrichtung und Emittentenabstand (vgl. Abb. 8),
- Erarbeitung eines Grünordnungsplans für ein Gewerbegebiet,
- Kartierung von Flechten in Gebieten mit langfristiger Immissionsbelastung w. z. B. in Waldschadensgebieten, vgl. MACHER & STEUBING, 1986; MACHER, 1992,

**Tab. 7 FLECHTEN - ZONENTABELLE**

| ZONE | Stetigkeit der Fllechtenvegetationstypen in % | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Typ 1az | Typ 2az | Typ 3az + 3bas | Typ 3xanth | Typ 4az + 4bas | Typ 5 (flechtenfrei) |
| Zone I | ● 100-40% | ● 30-10% | ● 15-0% | ○ 0% | ○ 0% | ○ 0% |
| Zone II | ● 20-0 % | ● 100-50% | ● 45-0% | ○ 0% | ● 30-15% | ● 5-0% |
| Zone III | ○ 0% | ● 15-0% | ● 100-50% | ● 15-10% | ● 40-0% | ● 15-0% |
| Kalk-werk-zone | ○ 0% | ○ 0% | ● 30-0% | ● 100-70% | ● 5-0% | ○ 0% |
| Zone IV | ● 2-0% | ● 5-0% | ● 40-0% | ○ 0% | ● 100-45% | ● 40-5% |
| Zone V | ○ 0% | ○ 0% | ○ 0% | ○ 0% | ● 0-40% | ● 100-70% |

- Beurteilung von Grünanlagen, Parks und Wäldern in Hinblick auf ihre ökologische Wertigkeit ( z. B. als Hilfestellung bei der Eingriffsregelung in der Bauleitplanung nach dem Baugesetzbuch),
- ökologischen Gesamtbeurteilung eines Wohngebietes (vgl. Tab. 6) oder Umweltverträglichkeitsprüfung geplanter Vorhaben (vgl. NOBEL u. a., 1999).

## 5. Die Erstellung von Flechtenzonen-Karten im Jahre 1987 und 1997

### 5.1. Methode

Weiterhin wurden 1987 und 1997 mit den in Abschnitt 4 genannten Kartierungsmethoden erneut eine Flechtenzonenkarte vom Stadtgebiet von Regensburg erstellt. Die einzelnen Arbeitsschritte dafür seien kurz skizziert:

- Kartierung der Flechtenvegetation mittels eines Formblattes an allen Laubbäumen des Stadtgebietes, die den vom Verfasser festgelegten Standardbedingungen für eine Kartierung entsprachen (Punkt-Kartierung; vgl. GOPPEL, 1976);
- Aufnahmefläche: halbe Stammabwicklung in Augenhöhe, meist ausgerichtet nach der Haupt-Wetterseite;
- Erfassung der verschiedenen Flechtenvegetationstypen (siehe Tabelle 1) am Stamm aller Bäume einer Station anhand ihrer Deckung und Feststellung deren Stetigkeit innerhalb einer Station; Eintragung in das Formblatt (= Vegetationsmuster der Flechtenvegetation einer Station);
- Zusammenfassung der Vegetationsmuster aller Flechtenstationen in einer Auswertungstabelle;
- Ermittlung der Flechtenzonen-Zugehörigkeit (Zonennummern) der Stationen durch Vergleich der Vegetationsmuster der einzelnen Stationen mit der Flechtenzonentabelle Tab. 7;
- Eintragung der Zonennummern der einzelnen Flechtenstationen in eine Karte des Untersuchungsgebietes;
- Zusammenfassung der Stationen mit gleichen Zonennummern zu größeren Flächen, den bekannten „Flechtenzonen I-V", ähnlich wie sie in der Literatur beschrieben sind (vgl. BESCHEL, 1958; EHRENDORFER, MAURER & KARL, 1971; KILIAS, 1974; JÜRGING, 1975; MACHER, 1987 u. v. a.)[13].

Die Zonenkarten von 1987 und 1997, wie sie sich somit in Abb. 3 und 4 darstellen, geben aus Gründen der Übersichtlichkeit und besseren Vergleichbarkeit nur ein vereinfachtes Bild der tatsächlichen Vegetationsverhältnisse und Flechtenzonierung wieder. Dahinter verstecken sich in Wirklichkeit zahlreiche Übergangssituationen, z. B. von Zone I nach II, von Zone II nach III usw. Ökologisch notwendig war eine klare Abgrenzung der Kalkwerkzone von der normalen Zone III: Beide sind staubbelastete Gebiete. Hier war für eine Eingliederung in die Kalkwerkzone neben der formalen Statistik letztlich ausschlaggebend, ob auch auf **querliegenden Ästen** höherer Stammabschnitte, also auch dort, wo normalerweise der übliche Verkehrsstaub der Zone III nicht mehr abgelagert wird, noch die calci-

---

13 Die Flechtenzonen I-V entsprechen den von BESCHEL (1958) und vielen anderen verwendeten fünf Zonen: Normalzone, äußere, mittlere, innere Kampfzone und Flechtenwüste.

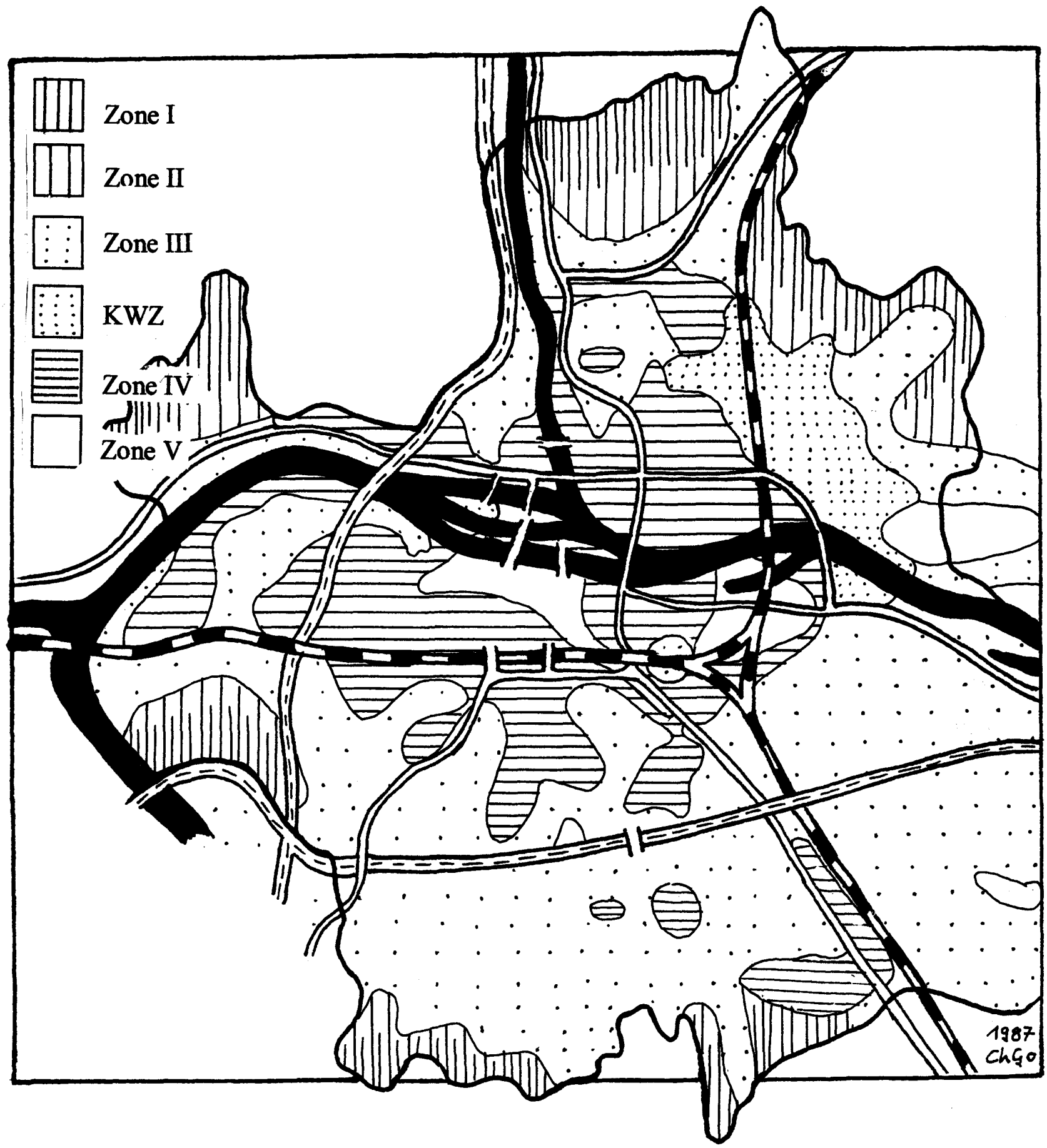


Abb. 3: Flechtenzonen von Regensburg 1987

philen Charakterarten des *Xanthorion parietinae*, insbesondere die auffallend gelbe Blattflechte *Xanthoria parietina* anzutreffen waren.

Nicht eindeutig abzugrenzen war die Zone I von der Zone II. Eine großflächig ausgeprägte Zone I ist wohl aus regionalklimatischen Gründen im Stadtgebiet von Regensburg kaum zu finden. Selbst innerhalb eines kleineren Abschnittes des wenig belasteten Hohengebrachinger Waldes wechseln die Zonen mehrmals zwischen I und II, je nach Kleinklima (vgl. Tab. 2.1.). Es wurden deshalb die Zonen I und II nicht flächenscharf voneinander getrennt, sondern zur Zone I/II zusammengefaßt.

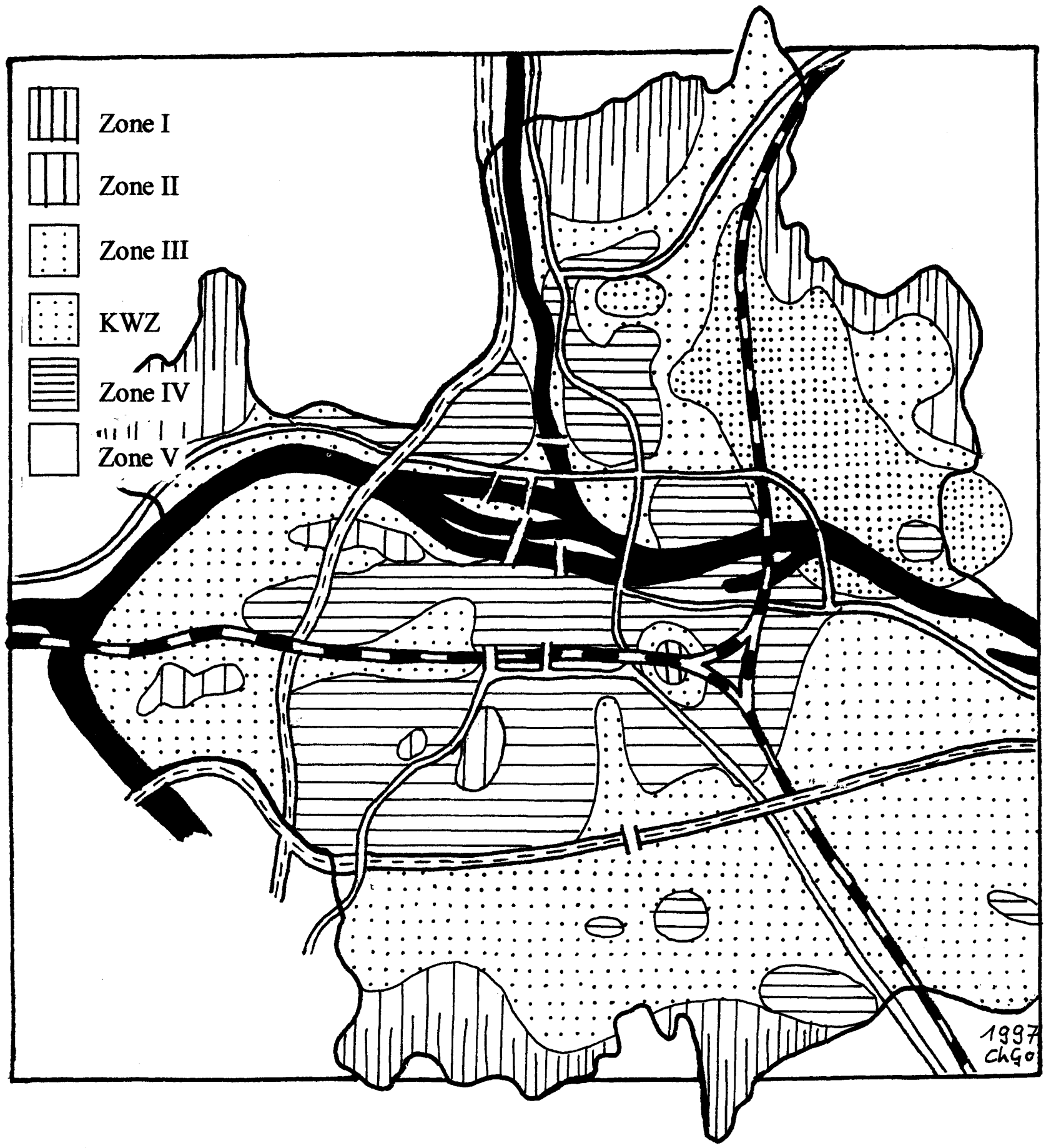


Abb. 4: Flechtenzonen von Regensburg 1997

## 5.2. Die Beurteilung der Flechtenzonen von 1987 und 1997

### 5.2.1. Die geographische Lage von Regensburg

Zur Beurteilung der Flechtenzonen ist die Kenntnis der geographischen Lage und des Klimas von Regensburg notwendig. Die Stadt besitzt eine reich gegliederte Bebauungsstruktur, mit Wohngebieten, die bis zu 100-140 m höher liegen als der donaunahe Altstadtkern (333 m ü. NN). Südlich der Autobahn Nürnberg-Passau befinden sich noch große landwirtschaftliche Nutzflächen, während sich westlich und nördlich davon die dicht bebauten Wohngebiete anschließen. Im Osten und

teilweise im inneren Westen ist die Industrie angesiedelt (Mittel- und Großbetriebe, z. B. Zuckerfabrik, Kalkwerke, Fernheizwerke, BMW, Teppichwerk u. a.), im Norden und Süden wird die Stadt von größeren Waldgebieten umsäumt (teilweise auf Jura im N/NO, teilweise auf tertiären Böden des Dungaues im S gegründet). Mit seiner geschützten Tallage südlich der sog. Mittleren Frankenalb zählt Regensburg zu den niederschlagsärmsten Gebieten Bayerns (600 mm im Jahresmittel). Nachteilig für die Luftqualität sind in Regensburg die häufigen austauscharmen Nebel- und Inversionslagen, meist im Dezember und Januar, die sich oft über mehrere Tage hinziehen und somit zu einer Anreicherung der Immissionen in den unteren Luftschichten führen. Während im Jahresmittel die W-/NW-Winde vorherrschen, die für ausreichend Frischluft sorgen, lassen sich in den Wintermonaten vor allem bei Inversionswetterlagen häufig O- bzw. SO-Winde feststellen, die die Luftschadstoffe der Industrieanlagen aus den östlichen Stadtteilen nach Westen in das Stadtinnere verfrachten (nach DITTMANN, 1982).

### 5.2.2. Die Flechtenzonen von 1987 und 1997 im tabellarischen Vergleich zu 1976

Im Rahmen der Kartierungen in den Jahren 1987 und 1997 wurde vom Verfasser schwerpunktmäßig der Frage nachgegangen, ob sich die von BRESINSKY (1980) geäußerte Hoffnung bewahrheitet, und „der für die Regensburger Innenstadt ... tatsächlich geplante Betrieb der Heizungen mit umweltfreundlichen Energiearten (im Laufe der Jahre) ähnlich positive Erfolge zeitigen wird“ wie in München. Die Einzelergebnisse des Vergleichs der drei Flechtenkartierungen des Verfassers im Stadtgebiet von Regensburg (Abb. 2, Abb. 3 und 4) können aus der Tabelle 8 entnommen werden.

Bei einer undifferenzierten Gegenüberstellung der drei Zonenkarten fällt auf, daß sich die Form und Flächenmaße der Flechtenzonen im Verlauf der letzen 23 Jahre deutlich gewandelt zu haben scheinen, sieht man einmal von den 1980 neu dazu gekommenen Flächen der Stadtrandgemeinden im Süden ab. Aus genaueren Untersuchungen der neuen Flechtenzonenkarten geht jedoch hervor, daß aus den äußerlichen Veränderungen des Zonenverlaufs nicht immer zwingend auch auf eine entsprechende Luftveränderung im Laufe der Jahre geschlossen werden kann. Hinter den veränderten Zonenbildern von 1987 und 1997, die scheinbar eine Luftverbesserung bzw. -verschlechterung gegenüber 1976 anzeigen, verstecken sich vielmehr ganz verschiedene Ursachen, die im folgenden näher aufgeführt werden sollen.

#### 5.2.2.1. Veränderungen mit rein formalem Hintergrund

(1) Baum-Neupflanzungen innerhalb der letzten 23 Jahre:

In verschiedenen neu begrünten Stadtteilen, in denen es keine älteren Bäume gab, war der Verfasser abweichend von den Standardbedingungen eines idealen Flech-

tenbaumes auf die Kartierung der Flechten an jüngeren Bäumen (Stammdurchmesser < 50 cm) angewiesen. An diesen wurden jedoch auf Grund ihrer glatten Rindenoberfläche häufig **nur Krustenflechten** („Krustenpioniere", Erstbesiedler) vorgefunden und folglich per definitionem der **Flechtenzone IV** zugeordnet (vgl. Tab. 1 und Tab. 7)[14]. Diese Kartierungsergebnisse täuschen somit relativ schlechte Luft- und Klimabedingungen vor, obwohl diesbezüglich meist kein Zusammenhang bestand. Dies war z. B. 1987 der Fall: im Norden der Stadt an der Nordgaustraße, am Donaueinkaufszentrum, an der Isarstraße, am Sallerner Berg; im Westen am Donaupark, an der Killermannstraße/am Roten-Brachweg; im Süden an der Universitätsstraße/den Unianlagen und in Königswiesen, sowie im Osten an der Bajuwarenstraße. Nach weiteren 10 Jahren „Expositionszeit" der Rinde am neuen Standort wurde diese meist so rissig, daß sich auch größere, azidophytische (und basiphytische) Blattflechten am Stamm ansiedeln konnten, falls es die klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse zuließen. Dieser Zuwachs wurde bei einer erneuten Kartierung im Jahre 1997 laut Tab. 7 als Zone III gewertet, was gegenüber früher wiederum rein formal einer Verbesserung der Flechtenvegetation um eine Zonenstufe gleichkam. Da es sich jedoch in diesen Fällen häufig nur um eine reine, natürliche Sukzession handelte, konnten diese oben genannten Flechtenbefunde meist nicht als Indiz für eine Luft- oder Klimaverbesserung bzw. -verschlechterung an diesem Standort gewertet werden (vorausgesetzt, die ökologischen Bedingungen waren in diesem Beobachtungszeitraum gleichgeblieben; vgl. V. D. DUNK, 1994).

(2) Korrekturen in der Zonenbeurteilung von 1976:

Um die Ergebnisse von 1976 und 1987 miteinander wissenschaftlich vergleichen zu können, muß vorausgesetzt werden können, daß bei allen drei Untersuchungen die Zoneneinteilung nach ähnlichen Kriterien vorgenommen wurde. Nach eingehender Überprüfung der Daten von 1976 kommt der Verfasser jedoch zu dem Schluß, daß die Zonenbeurteilung, wie sie damals vorgenommen wurde, nach seinem jetzigen Kenntnisstand in einigen Bereichen des Stadtgebietes nicht mehr ganz haltbar ist. Dies betrifft besonders die Gebiete, die 1976 noch keinen oder einen sehr mäßigen **jungen Baumbestand** aufwiesen, z. B. in Königswiesen (Süden, Hochhausgebiet), Universität (S) oder im Donaupark/Westprüfening (W). Diese Gebiete wurden damals jeweils um einen bzw. zwei Zonengrade besser eingestuft, als es nach dem jetzigen Kenntnisstand angemessen gewesen wäre. Die Karte von 1976 (Abb. 2) wurde deshalb dementsprechend korrigiert.

---

[14] Die Zone IV ist vor allem durch den Vegetationstyp 4 definiert, der sich durch eine Dominanz der azidophytischen Krustenflechten auszeichnet (vgl. Tab. 1).

tenbaumes auf die Kartierung der Flechten an jüngeren Bäumen (Stammdurchmesser < 50 cm) angewiesen. An diesen wurden jedoch auf Grund ihrer glatten Rindenoberfläche häufig **nur Krustenflechten** („Krustenpioniere", Erstbesiedler) vorgefunden und folglich per definitionem der **Flechtenzone IV** zugeordnet (vgl. Tab. 1 und Tab. 7)[14]. Diese Kartierungsergebnisse täuschen somit relativ schlechte Luft- und Klimabedingungen vor, obwohl diesbezüglich meist kein Zusammenhang bestand. Dies war z. B. 1987 der Fall: im Norden der Stadt an der Nordgaustraße, am Donaueinkaufszentrum, an der Isarstraße, am Sallerner Berg; im Westen am Donaupark, an der Killermannstraße/am Roten-Brachweg; im Süden an der Universitätsstraße/den Unianlagen und in Königswiesen, sowie im Osten an der Bajuwarenstraße. Nach weiteren 10 Jahren „Expositionszeit" der Rinde am neuen Standort wurde diese meist so rissig, daß sich auch größere, azidophytische (und basiphytische) Blattflechten am Stamm ansiedeln konnten, falls es die klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse zuließen. Dieser Zuwachs wurde bei einer erneuten Kartierung im Jahre 1997 laut Tab. 7 als Zone III gewertet, was gegenüber früher wiederum rein formal einer Verbesserung der Flechtenvegetation um eine Zonenstufe gleichkam. Da es sich jedoch in diesen Fällen häufig nur um eine reine, natürliche Sukzession handelte, konnten diese oben genannten Flechtenbefunde meist nicht als Indiz für eine Luft- oder Klimaverbesserung bzw. -verschlechterung an diesem Standort gewertet werden (vorausgesetzt, die ökologischen Bedingungen waren in diesem Beobachtungszeitraum gleichgeblieben; vgl. V. D. DUNK, 1994).

(2) Korrekturen in der Zonenbeurteilung von 1976:

Um die Ergebnisse von 1976 und 1987 miteinander wissenschaftlich vergleichen zu können, muß vorausgesetzt werden können, daß bei allen drei Untersuchungen die Zoneneinteilung nach ähnlichen Kriterien vorgenommen wurde. Nach eingehender Überprüfung der Daten von 1976 kommt der Verfasser jedoch zu dem Schluß, daß die Zonenbeurteilung, wie sie damals vorgenommen wurde, nach seinem jetzigen Kenntnisstand in einigen Bereichen des Stadtgebietes nicht mehr ganz haltbar ist. Dies betrifft besonders die Gebiete, die 1976 noch keinen oder einen sehr mäßigen **jungen Baumbestand** aufwiesen, z. B. in Königswiesen (Süden, Hochhausgebiet), Universität (S) oder im Donaupark/Westprüfening (W). Diese Gebiete wurden damals jeweils um einen bzw. zwei Zonengrade besser eingestuft, als es nach dem jetzigen Kenntnisstand angemessen gewesen wäre. Die Karte von 1976 (Abb. 2) wurde deshalb dementsprechend korrigiert.

---

[14] Die Zone IV ist vor allem durch den Vegetationstyp 4 definiert, der sich durch eine Dominanz der azidophytischen Krustenflechten auszeichnet (vgl. Tab. 1).

5.2.2.2. Luftbelastung und Stadtklima als Ursache der Zonenveränderungen – Kriterien für eine gesicherte Beurteilung:

Als Voraussetzung für eine nachweisliche Verbesserung bzw. Verschlechterung der Flechtenvegetation auf Grund veränderter Luftverhältnisse galt, daß sich eine Flechtenzone um mindestens **eine** (halbe) **Stufe** gegenüber der vorhergehenden Kartierung gewandelt hat. Weiterhin war entscheidend, ob die Zahl an Bäumen, die für die Standortuntersuchungen zur Verfügung standen, für ein statistisch abgesichertes Ergebnis ausreichten.

(1) Flechtenzuwachs, der auf eine **Verbesserung** der lufthygienischen Situation hinweist

(1.1) Statistisch nicht gesicherte Ergebnisse (N Bäume/Station < 10): Karthauser Straße und Ganghofer Siedlung in Kumpfmühl (S), Lappersdorfer Straße in Steinweg (N), Ägidienplatz (Zentrum); mögliche Ursache: Umstellung der Heizungen auf Erdgas.

(1.2) Statistisch gesicherte Luftverbesserung (N Bäume/Station > 30): Eindeutige Verbesserungen des Flechtenwachstums im Laufe der letzten 23 Jahre, bedingt durch eine Korrektur der Luft- und Klimaverhältnisse sind nur an einigen Stellen im Stadtgebiet statistisch sicher nachweisbar:

- am **Hochweg/Dr. J.-Meier-Straße** (nähe Stadtpark, innerer Westen), mit einer signifikanten **Verbesserung** der Flechtenvegetation um **zwei Zonenstufen** von Zone IV im Jahre 1976 auf Zone II im Jahre 1997. Gründe: Anstelle der ehemaligen Pechfabrik (sog. „Pechbarthel") war Anfang der 80er Jahre eine Wohnanlage mit viel Begleitgrün getreten;
- im **Stadtzentrum (Altstadt):** Die 1976 und 1987 aufgezeigte Zone V im Stadtzentrum ist 1997 nicht mehr auffindbar: **Verbesserung** um **eine Zonenstufe** auf Zone IV; Ursache: Umstellung vieler Altstadthäuser auf das umweltfreundliche Erdgas;
- in **Schwabelweis (N-Osten):** 1976 und 1987 wurden im Umkreis der pharmazeutischen Fabrik in Schwabelweis eine Zone V festgestellt, die 1997 verschwunden ist. Verbesserung um eine Zonenstufe auf Zone IV durch Einstellung der Flußsäureanlage;
- am **Hohen Kreuz (S-Osten):** Die Zone V, die 1976 und 1987 am Hohen Kreuz in der Nähe der Zuckerfabrik auftrat, hat sich nach 10 Jahren in die bessere Zone IV umgewandelt (Umstellung der Feuerung in der Zuckerfabrik von schwerem Heizöl auf Erdgas, Anfang der 80er Jahre). Mittlerweile heizt die Fabrik leider wieder aus marktwirtschaftlichen Gründen mit Erdöl.

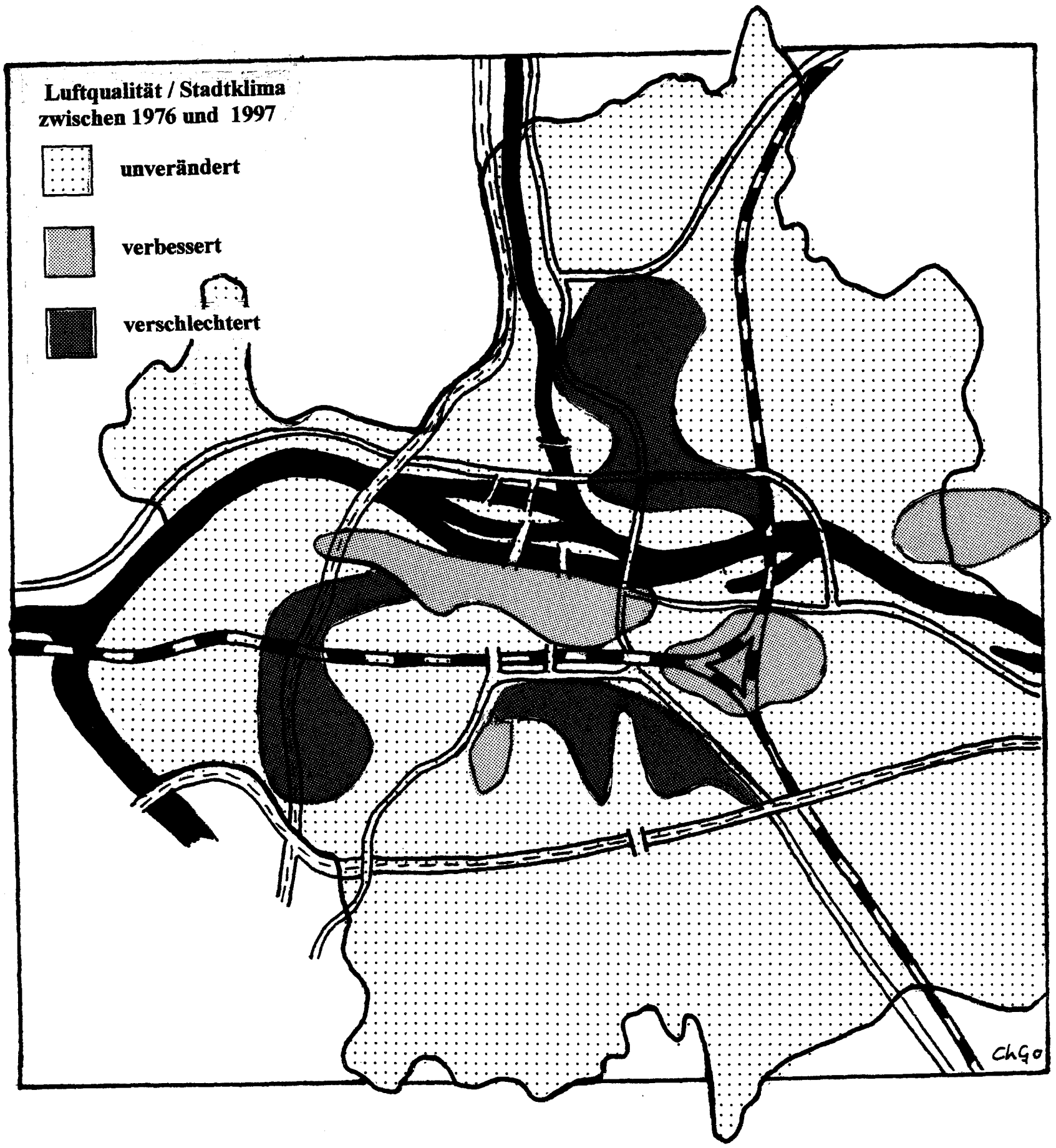


Abb. 5: Die Entwicklung der Luftqualität zwischen 1976 und 1997 – Ergebnisse des Kartierungsvergleichs

- am **Safferlingsteg/Ecke Guerikestraße (S-Osten)**: Dort sind die Zonenverhältnisse im Laufe der letzten 20 Jahre teils gleichgeblieben (Zone III) teils haben sie sich um eine Stufe verbessert: von Zone III auf Zone II.

Weitere Ergebnisse des Kartierungsvergleichs sind in der Tabelle 8 und Abb. 5 zusammengefaßt.

**Tab. 8: Vergleich der Flechtenzonenkarten von 1976, 1987 und 1997 im Stadtgebiet von Regensburg**

| Lage | 1976 | 1987 | 1997 | Beurteilung |
|---|---|---|---|---|
| **Stadtmitte** (Westumgehung bis Landshuter Str. im Osten) | **Zone III:** kleine "Inseln" (Parkanlagen) in Zone IV; **Zone IV:** dicht bebaute Flächen des Stadtzentrums; **Zone V:** Prüfeninger Str., Altstadt, Weißenburger Str.; | **Zone III:** "Inseln" von 1976 fehlen; neu am Hochweg; **Zone IV:** angewachsen durch Baum-Neupflanzungen; **Zone V:** wie 1976; | **Zone II:** neu am Hochweg; **Zone III:** neu i. d. Kirchmeierstr.; **Zone IV:** die gesamte Innenstadt; **Zone V:** verschwunden; | **Luftverbesserung:** Hochweg, Altstadt (Einführung von Erdgas?); **Stadtklima unverändert** im Zentrum; |
| **Westen** (Prüfening) | **Zone III**: Wohngebiete, Parkanlagen; **Zone IV:** Westpark (Baum-Neupflanzungen !); | **Zone III:** verkleinert ; **Zone IV:** angewachsen (weitere Baumpflanzungen); | **Zone II:** neu am Hochweg; **Zone IV:** im W verschwunden, wird verdrängt durch **Zone III;** | **Verbesserung** von Zone IV auf Zone III durch Blattflechten-Sukzession an jüngeren Bäumen; kein Hinweis auf Luftverbesserung ! |
| **S-Westen** (Dechbetten, Prüfening, Königswiesen) | **Zone II**: kleiner Wald zwischen Autobahn u. Westumgehung; **Zone III**: Straßen in Königswiesen (Staub durch Landwirtschaft und Verkehr); | **Zone II**: verkleinert sich; **Zone III:** vergrößert (Köw-S); **Zone IV**: neu i. d. Kirchmeierstr.; | **Zone II:** kleines Gebiet beim Prüfeninger Schloßpark; **Zone III**: Dechbetten; **Zone IV:** angewachsen in Königswiesen, Köw.-S., Uni und Ziegetsberg; | **Verschlechterung** der Luft- und Klimasituation durch Gewerbeansiedlung in Köw-Süd; **Vortäuschung** einer Verschlechterung in der Kirchmeierstr. (neue Bäume mit Krustenflechten); |
| **Süden** (Kumpfmühl, Ziegetsberg, Universität, Eisbuckl) | **Zone II:** Karl-Freitag-Park; **Zone III:** Augsburger Str.; **Zone IV:** Ob. Kath. Friedhof und Uni; Baum-Neupflanzungen mit Krustenflechten im ganzen Gebiet der Universität; | **Zone II:** kleine Fläche in der Ganghofersiedlung; **Zone III:** ausgeweitet auf Ziegetsberg, Unterislinger Weg; **Zone IV:** verkleinert auf Bereich Uni und Eisbuckl; | **Zone II:** fast unverändert; **Zone III:** deutlich kleiner; nur mehr Unterislinger Weg; **Zone IV:** vergrößert durch Baum-Neupflanzungen in Köw-S.; | **Verschlechterung** des Stadtklimas durch Ansiedlung von Wohngebieten in Köw-S.; **Vortäuschung** einer Verschlechterung (= Zone IV) an neu gepflanzten Bäumen in Köw.; **Windtrocknis** der Rinde (Uni, Eisbuckl) täuscht Zone IV vor; |
| **Süden** (südlich d. Autobahn) | **Zone III:** Graß, Leoprechting, Hohengebrachinger Wald usw.; Gebiet nicht vollständig erfaßt, da 1976 noch außerhalb des Stadtgebietes gelegen; | **Zone I / II**: Hohengebr. Wald, Burgweintinger Hölzl (Südteil); **Zone III** : Felder (Oberisling); **Zone IV**: "Inseln" in Oberisling, Leoprechting und Nordrand des Burgweintiger Hölzls; | Zonen unverändert wie 1976 und 1987; | **keine Veränderung** der Luft- und Klimasituation in diesem Gebiet gegenüber 1976 und 1987; |

| Lage | 1976 | 1987 | 1997 | Beurteilung |
|---|---|---|---|---|
| **S-Osten** (Landshuter-, Straubinger Str., Gewerbe- und Industriegebiet) | **Zone III**: "Insel" am Safferlingsteg, Ausfallstraßen im Osten; **Zone IV**: Straubinger Str., Landshuter Str., Kasernen; **Zone V**: Zuckerfabrik, Hohes Kreuz; | **Zone III**: nahezu unverändert; **Zone IV**: unverändert wie 1976, neu in Burgweinting-Mitte; **Zone V**: unverändert am Hohen Kreuz (Zuckerfabrik); | **Zone II**: neu am Safferlingsteg; **Zone III**: unverändert; **Zone IV**: wie 1976; neu am Hohen Kreuz (ersetzt Zone V); in Burgweinting verschwunden; **Zone V**: verschwunden ! | **Luftverbesserung** am Safferlingsteg und Hohen Kreuz durch Umstellung der Zuckerfabrik auf Erdgas vor ca. 15 Jahren; Luftverbesserung (?) in Burgweinting (neue Umgehungsstraße); |
| **Osten / N-Osten** (Keilberg, Schwabelweis, Kalkwerke) | **Zone I / II**: alle Anhöhen, Keilberger Wald, Mühlenberg; **Zone III**: Ortschaft Keilberg; **KWZ**: von Wutzlhofen über Konradsiedlung bis Schwabelweis; **Zone V**: ehem. Heyden-Chemie (Schwabelweis); | **Zone I / II**: unverändert; **Zone III**: unverändert; **KWZ**: Ausdehnung wie 1976; **Zone V**: Schwabelweis (ehem. Heyden-Chemie), unverändert wie 1976; | **Zone I / II**: unverändert; **Zone III**: unverändert; **KWZ**: unverändert; **Zone IV**: ersetzt Zone V von 1976 bei ehem. Heyden-Chemie; **Zone V**: verschwunden; | **Unverändert**: Kalkstaubniederschlag der Kalkwerke in der KWZ, Ausbreitung nach SO längs der Hauptwindrichtung; **Verbesserung** der Luft- Verhältnisse in Schwabelweis (Aufgabe der Heyden-Chemie): Anstelle saurer Immissionen (HF) tritt Kalkstaub aus den Kalkwerken; |
| **Norden** (Reinhausen, Weichs, Sallern, Sallerner Berg, Mühlberg) | **Zone II**: Sallerner Berg, Mühlberg (höher gelegene Gebiete); **Zone III**: Ausfallstraßen (Nordgau-, Amberger-, Donaustaufer Str., B16), Weichs; | **Zone II**: verkleinert (Mühlberg); **Zone III**: verkleinert; verdrängt Zone II am Sallerner Berg ; **Zone IV**: weitet sich aus in Reinhausen, Weichs, Sallerner Berg (Baum-Neupflanzungen mit Krustenflechten); | **Zone II**: unverändert; **Zone III**: weitet sich aus, verdrängt Zone IV in Reinhausen, Weichs und Einkaufszentrum; **Zone IV**: Frankenstr., Amberger Str., unverändert; **KWZ**: Neubildung am Sallerner Berg (Baum-Neupflanzungen); | **Luftverschlechterung**: Franken- und Amberger Str., Sallerner Berg (Verkehr und Immissionen aus SO); **Vortäuschung** einer Luftverbesserung durch Sukzession von Blattflechten an jüngeren Bäumen in Reinhausen und Weichs; **Unverändert**: Kalkstaubniederschlag am Sallerner Berg-Gipfel; |
| **Nord-W** (Steinweg, Dreifaltigkeitsberg, Winzerer Höhen) | **Zone I / II**: Kager, Tremelhauserer Höhe; **Zone III**: Ausfallstraßen (Franken-Lappersdorfer Str., B8), Ob. Wöhrd, Stadtamhof; **Zone IV**: Winzerer Höhen; | **Zonen I / II / III und IV** weitgehend unverändert wie 1976; | **Zonen I / II / III** fast unverändert; **Zone IV** breitet sich aus am Pfaffensteiner Hang; **Zone III** am Hochbehälter verschwunden; | **Unverändertes Stadtklima**: relativ niedrige Luftfeuchte; Immissionen aus hohen Kaminen (?) am Dreifaltigkeitsberg und Pfaffensteiner Hang bei Inversionslagen mit SO-Winden; |

(2) **Verschlechterung** der Flechtenvegetation zwischen 1976, 1987 und 1997

Gebiete, deren Flechtenvegetation auf eine eindeutige Verschlechterung der Luft- bzw. Klimasituation zwischen 1976 und 97 hinweisen dürften, sind in Regensburg ebenfalls vorhanden. Man kann sie z. B. dort finden, wo sich in den genannten zwei Jahrzehnten im Rahmen von Stadtentwicklungsmaßnahmen die Infrastruktur wesentlich geändert und sich somit automatisch das Stadtklima verschlechtert hat oder sich die Verkehrsbelastung erhöht hat. Dies ist z. B. der Fall:

- in **Königswiesen-Süd** (SW), wo in den letzten 15 Jahren eine starke Bautätigkeit eingesetzt hat. Aus dem ursprünglich vorwiegend landwirtschaftlich geprägten Gebiet (Zone III) wurde mittlerweile ein Wohn- und Geschäftsviertel (Mischgebiet). In der Folge haben sich auch die Luft- und Klimaverhältnisse deutlich verschlechtert, was durch das Absterben der ursprünglich gut entwikkelten, ombrophilen *Evernia-* und *Ramalina*-Bestände der Königswiesener Parkbäume zum Ausdruck kommt. Auch die basiphytischen und nitrophilen Flechten aus dem früher intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebiet finden keine Nahrung mehr und sind deutlich am Abnehmen: **Rückgang um eine Zonenstufe:** von Zone III nach Zone IV.
- in der **Franken- und Amberger Str.: Verschlechterung um eine Zonenstufe:** von Zone III (1976) auf Zone IV (1997) durch Zunahme der Immissionen aus dem Straßenverkehr und hohen Schornsteinen (?).
- im **Süd-Osten (Kasernenviertel)** entlang der immer stärker frequentierten Verkehrswege, vermutlich verursacht durch das neugeschaffene Gewerbegebiet an der Bajuwaren- und Johann-Hösl-(ehem. Seidel-) Straße.

(3) Kartierungsflächen, die unverändert geblieben sind

In der Abb. 5 fällt sofort ins Auge, daß interessanterweise weite Teile der Flechtenzonen des Stadtgebietes gegenüber 1976 **unverändert** geblieben sind, auch wenn der erste Anschein der Flechtenzonenkarten gerade das Gegenteil vermuten läßt. Es handelt sich bei diesen Flächen in der Regel meist um Stadtgebiete, deren Nutzungsstruktur in den letzten Jahrzehnten keine wesentliche Änderung erfahren hat. Unverändert geblieben sind z. B.:

- **Alt-Kumpfmühl,** der südliche Teil des **Eisbuckels (S), Prüfening (W, Villenviertel), die Parkanlagen der Innenstadt, Steinweg,** der **Dreifaltigkeitsberg, Sallern (N),** die alten Wohnviertel entlang der **Weißenburg-, Landshuter-** und **Straubinger Straße** im Stadtosten und Norden.
- jüngere Stadtviertel, die vor dem Zweiten Weltkrieg erbaut wurden: die Wohn- und Industriegebiete im Ostteil der Stadt z. B. an der **Furtmeier- und Landshuter Straße.**

- die gesamte **Kalkwerkzone;** sie hat noch dieselbe Ausdehnung wie 1976, (vgl. die Stadtteile Konradsiedlung und Schwabelweis im NO).
- die Zone III entlang der **Ausfallstraßen der Stadt**; dort findet man an den Bäumen unverändert die gleichen Flechtengesellschaften der Zone III wie 1976, was auf eine gleichbleibend hohe Verkehrsfrequenz seit 1976 hinweist.
- die Zonen besserer Luft (Zone I/II) auf den **Anhöhen der Stadt** im **Norden** (ausgenommen Sallerner Berg), **N-Osten** (Hohe Linie) und **Süden** (Hohengebrachinger Wald) genauso wie die **landwirtschaftlich genutzten Gebiete** südlich der Autobahn (Zone III).

5.2.2.3. Zusammenfassung und allgemeine Schlußfolgerungen aus dem Kartierungsvergleich 1976/1987/1997

(1) Es gibt keinen einheitlichen Trend im Laufe der letzten zehn Jahre:

Aus dem Vergleich der drei Flechtenkartierungen läßt sich insgesamt kein einheitlicher Trend erkennen, in welche Richtung sich das Flechtenvorkommem im Laufe der letzten 23 Jahre insgesamt entwickelt hat: Zum größten Teil ist die Flechtenvegetation gleichgeblieben (äußerer Stadtkern), an einigen Standorten läßt sich eine erfreuliche Flechtenneubesiedelung feststellen (Stadtzentrum, aufgelassene Industriegebiete), an anderen Standorten wiederum ist eine Verschlechterung des Wachstums erkennbar (Stadtrand). Dieser Umstand verwundert nicht, weiß man doch, daß die Flechten von ganz verschiedenen Umweltfaktoren beeinflußt werden können, die sich entweder synergistisch oder antagonistisch auf die Verbreitung der Flechten auswirken können und darüber hinaus von Stadtteil zu Stadtteil verschieden sind. In anderen Städten wurden bei einem Vergleich von Flechtenkartierungen aus verschiedenen Jahren ähnliche Ergebnisse erzielt: z. B. in München (MACHER, 1987) oder im Ruhrgebiet (RABE, 1985).

(2) Die Hauptverursacher der Zonenausprägung und -veränderung sind unterschiedlich:

Bei der Beurteilung der Kartierungsergebnisse war weiterhin die Frage entscheidend, welche Hauptursachen für die Ausprägung und Veränderung der Flechtenzonen ausschlaggebend waren. Zur Ursachenforschung wurde dabei erstmals eine Erfassung von sog. „zonenspezifischen Flechtenvegetationsmustern" durchgeführt, mit deren Hilfe gewisse Rückschlüsse auf die Auslöser der Flechtenzonierung in Belastungsgebieten möglich waren (vgl. Abschn. 4.5.). Auch anhand des Kartierungsvergleichs 1976/1987/1997 konnten an verschiedenen Stellen die vermutlichen Hauptverursacher der Flechtenzonen ermittelt werden:

- Im Stadtzentrum und in weiten Teilen des älteren Stadtgebietes dürfte mit einer großen Wahrscheinlichkeit die **niedrige Relative Luftfeuchte** (xerisches Stand-

ortklima) als Hauptverursacher der Flechtenzonen gelten (vgl. Abb. 6), wie bereits KLEMENT (1955) von der Oberpfalz im allgemeinen bestätigt[15].

- An lokal begrenzten Standorten auch außerhalb des Zentrums dagegen ist es aller Wahrscheinlichkeit nach die **Luftbelastung**, die das Flechtenwachstum begrenzt und im Laufe der letzten 23 Jahre verändert hat.
- Den deutlichsten Einfluß auf das Flechtenwachstum in Regensburg übt dabei die **Schwebstaubbelastung** aus Verkehr und Industrie aus. Diese Vermutungen werden in den folgenden Abschnitten durch die physikalischen Messungen des LfU gestützt (vgl. Abschn. 6.1.2.(7)).
- Die gebietsweise deutliche Verbesserung der Flechtenzonen im Laufe der Jahre kann mit einer **günstigeren lufthygienischen Situation** im Vergleich zu 1976 erklärt werden, eine Annahme, die ebenfalls durch die kontinuierlich erhobenen Meßdaten des LfU bestätigt wird;

(3) Die Stadtentwicklung hat einen maßgeblichen Einfluß auf die Flechtenvegetation:

Gewisse Veränderungen der Flechtenvegetation wurden durch die Stadtentwicklung verursacht, die im Laufe der letzten zwanzig Jahre verschiedenen Strömungen unterlag. Sie hatten entweder eine günstige oder eine ungünstige Auswirkung auf die Luft- und Klimaqualität und somit auch auf das Flechtenwachstum in den betreffenden Stadtteilen. Am südlichen Stadtrand hat sich z. B. die Flechtenvegetation teilweise verschlechtert, weil dort einschneidende Veränderungen der Nutzungsstruktur (Mischgebiet) zum Nachteil des Stadtklimas und folglich der Flechtenvorkommen stattgefunden haben.

(4) Das Zusammenwirken verschiedener Ökofaktoren wirkt sich auf die Reaktionsbreite des Flechtenwachstums aus

Der Umfang, in dem Flechten auf eine ökologische Veränderung eines Umweltfaktors reagieren, wird auch entscheidend von der relativen Gewichtigkeit (Größe) der übrigen Umwelteinflüsse geprägt. Die Frage nach weiteren Ökofaktoren, die auf das Flechtenwachstum gleichzeitig fördernd oder hemmend einwirken, erwies sich deshalb als notwendig, hing doch ganz wesentlich auch davon die Reaktionsbreite ab, in der sich die Flechten im Laufe der Vergangenheit verändert haben (Neubesiedelung/Absterben).

Hatte nur ein Störfaktor das Flechtenwachstum begrenzt (z. B. die Emissionen aus einer Fabrik), so konnte nach Beseitigung/Verminderung dieser Umweltbelastung eine deutliche Verbesserung des Flechtenvorkommens innerhalb des Unter-

---

15 „Auch die 'Flechtenwüsten' der Städte ... gehen weniger auf Rauchschäden als auf das künstlich geschaffene Wüstenklima zurück" (KLEMENT, 1955; S. 11 ff).

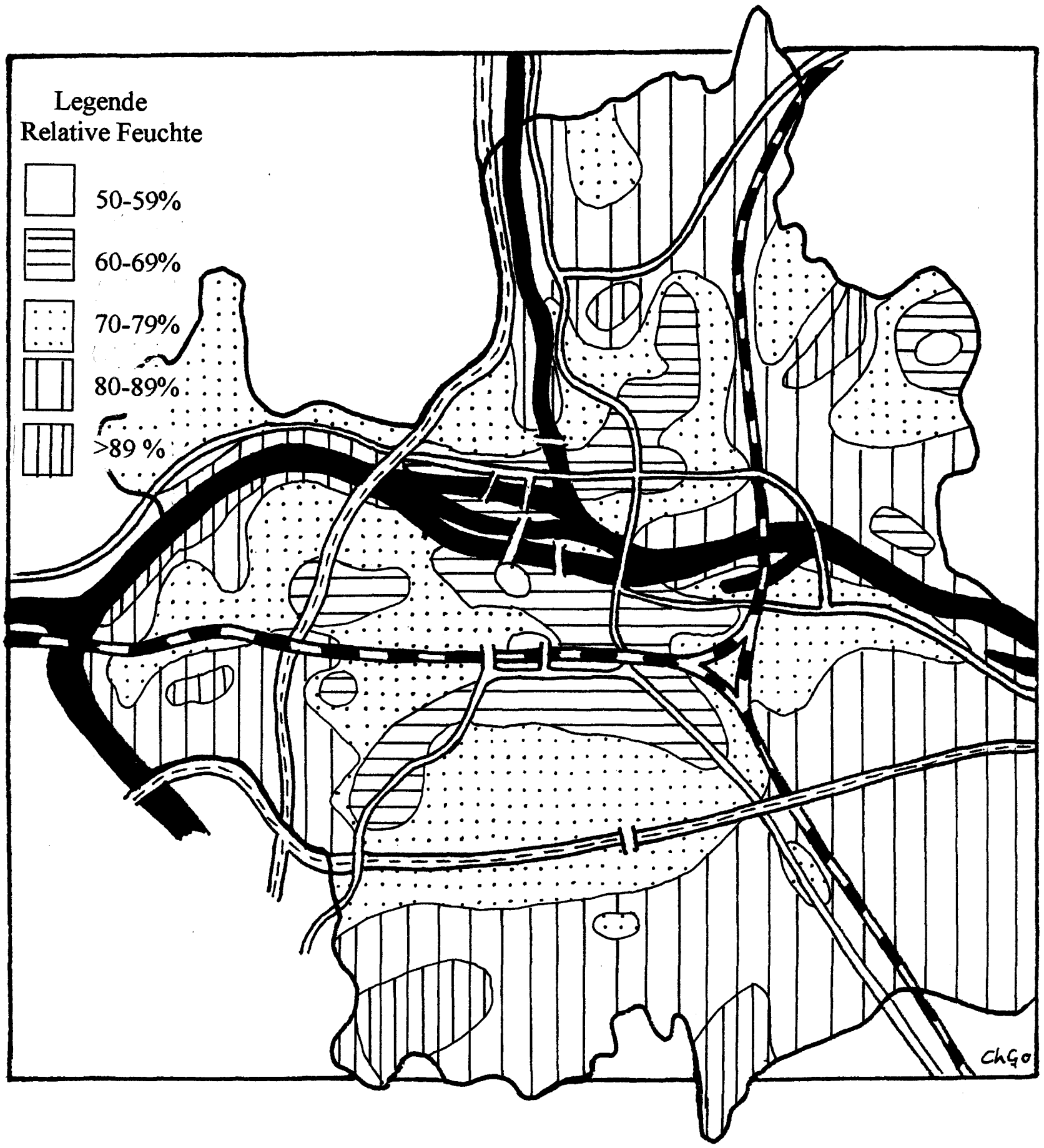


Abb. 6: Verteilung der Relativen Luftfeuchte (11.7.79) nach DITTMANN (1982)

suchungszeitraumes beobachtet werden. Als Beispiele seien hier die Flechtenstandorte an der Dr. J.-Meier-Straße (Innerer Stadt-Westen), am Hohen Kreuz (Osten, Zuckerfabrik) und in Schwabelweis (ehem. Heyden-Chemie) genannt, deren Flechtenwachstum sich innerhalb von 23 Jahren um eine, teilweise sogar um zwei Zonenstufen nach oben bewegte.

Lagen dagegen mehrere wachstumshemmende Ökofaktoren vor (z. B. neben den sauren Immissionen zusätzlich Lufttrockenheit und/oder Lichtmangel), war das Flechtenwachstum nach Verminderung eines dieser Störfaktoren nur mäßig

bzw. statistisch kaum nachweisbar. Als Beispiel können genannt werden: Kumpfmühl (S), Villapark (O), Ägidienplatz (Zentrum), Steinweg (N), Bahnhof (Zentrum). An allen anderen Stellen dürften nach KLEMENT (1955) neben der Luftbelastung auch andere Ökofaktoren im Pessimum gelegen haben (so z. B. die Luft- und Rindentrocknis), so daß selbst nach einer deutlichen, regionalen Luft-Schadstoffreduzierung mit keiner Verbesserung des Flechtenwachstums ebendort im Laufe der Jahre zu rechnen war: z. B. xerisches Mikroklima am Oberen Kath. Friedhof und Universitätsgelände, Kasernenviertel, Altstadt usw. (vgl. Minimumgesetz nach LIEBIG, zit. b. KLEMENT, 1955).

## 6. Vergleich der Kartierungsergebnisse mit anderen lufthygienischen Untersuchungen

### 6.1. Die Schadstoffmessungen des LfU (1985) und die Klimamessungen von DITTMANN (1982)

Während der Zeit von 1976 bis 1989 wurden verschiedene Untersuchungen über die Luftqualität und das Stadtklima in Regensburg durchgeführt und veröffentlicht. Hervorzuheben sind: die Dissertation über „Stadtklima und Luftverunreinigung in Regensburg" von DITTMANN (1982), die Erstellung eines Emissions- und Immissionskatasters von Regensburg (BAYER. LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ, 1985) sowie der Umweltschutzbericht der Stadt Regensburg (STADT REGENSBURG, 1989).

Es bestand somit die einmalige Gelegenheit, die Flechtenkarte von 1987 mit diesen physikalisch-chemischen Untersuchungen der lufthygienischen Situation in Regensburg zu vergleichen und damit den Ursachen der Flechtenzonierungen in Regensburg von 1987 näher auf den Grund zu gehen.

#### 6.1.1. Tabellarische Gegenüberstellung geeigneter Parameter

Aus der Fülle an Daten der oben genannten Arbeiten wurden die **Meßgrößen** herausgegriffen, die für die Beurteilung der Flechtenzonen nach Auffassung des Verfassers eine **flechtenspezifische Relevanz** besaßen, und tabellarisch gegenübergestellt:

- die Rasterkarten (1 km × 1 km) der **$SO_2$-Emissionen**, errechnet aus den Emissionserklärungen der Betreiber von genehmigungspflichtigen Anlagen, aus den umfangreichen Erhebungen des LfU, der Stadt und der Kaminkehrerbetriebe;
- die Rasterkarten der **Immissionen** (Jahresmittelwerte „MW" aus 12 diskontinuierlichen Stichprobenmessungen des LfU an 59 Meßpunkten des Stadtgebietes): **Schwebestaub, $SO_2$, $O_3$** und **$NO_2$**;

- die **„Relative Luftfeuchte"** (Abb. 6), flächendeckend gemessen von DITTMANN am 11.7.79 [16].

Umgekehrt wurden exemplarisch nur einige charakteristische Flechten-Zonenbereiche zum Vergleich herangezogen, für die gleichzeitig auch entsprechende flächendeckende LfU- und Luftfeuchtemessungen von DITTMANN (1982) vorlagen. Sie stehen stellvertretend für viele andere Flechten-Zonenbereiche des Stadtgebietes, die ähnliche Ergebnisse erwarten ließen. Die Meßwerte wurden zusätzlich in Relation zu einander bewertet und mit den Begriffen „relativ niedrig", „relativ mittel" oder „relativ (sehr) hoch" versehen. Eine Absolutbewertung der Immissionswerte bezüglich der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft) war für die Beurteilung der Flechtenzonen nicht notwendig[17].

6.1.2. Ergebnisse des Tabellenvergleichs

(1) Im **OSTEN (Ostenviertel)** drängt sich ein Zusammenhang zwischen der Flechten-Zone V, und den entsprechend hohen bzw. mittel-hohen Emissions- und Imissionswerten des LfU auf. Als Gegenbeweis kann gelten, daß man trotz einer relativ guten Luftfeuchtigkeit nahezu keine Flechten in diesem Bereich vorfindet. Daß die $SO_2$-Immissions-Werte niedriger ausfallen, als man angesichts der Zone V und Industrienähe erwarten könnte, dürfte damit zusammenhängen, daß es sich hier um Jahresmittelwerte aus 15 Messungen handelt. Dahinter verbergen sich bedeutend höhere Werte während der sog. Rüben-Kampagne der Zuckerfabrik, die mit den deutlich niedrigeren Ergebnissen außerhalb der Kampagne zu einem Mittelwert verrechnet wurden. In etwas abgeschwächter Form (Zone IV) gilt dieser Zusammenhang ebenso für die an-

---

16 Auf einen Vergleich der Flechtenzonen mit dem Temperaturprofil im Stadtgebiet vom 11.7.1979 (vgl. DITTMANN, 1982) wurde verzichtet, da bekanntlich Temperatur und Relative Luftfeuchte in ursächlicher Beziehung zueinander stehen.

17 Die **flächenbezogenen Mittelwerte** (MW) für **$SO_2$** erreichen 1984 in Regensburg **18-28 %** des Vergleichswertes IW 1, die **95 %-Werte 12-29 %** des Vergleichswertes IW 2 der TA-Luft in Regensburg; sie weisen insgesamt ein niedriges Niveau auf. Der **flächenbezogene MW** von **$NO_2$** kommt auf **41-75 %** des IW 1, der **95 %-Wert** für **$NO_2$ auf 20-40 %** des IW 2 der TA-Luft. Die **Schwebstaubmessungen** bewegen sich 1984 zwischen **47-67 %** des Vergleichswertes IW 1, der **95 %-Wert** erreicht im Jahresmittel **50-83 %** des Vergleichswertes IW 2 der TA-Luft. Die höchsten Flächenbelastungen mit **Ozon (MW)** erreichen max. **60 %** des Jahres-MIk-Wertes der Richtlinie VDI 2310. Somit sind die Jahresimmissionen 1984 insgesamt in Regensburg als durchschnittlich bzw. unterdurchschnittlich bezüglich der tolerierbaren Obergrenzwerte (IW 1 und 2) nach der TA-Luft zu betrachten (LfU, 1985). Die TA-Luft enthält Vorschriften für die Behörden bei der Betriebsgenehmigung neuer Anlagen, die Emissions- und Immissionsgrenzwerte ausweisen, die nicht überschritten werden dürfen (TA-Luft als Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz).

grenzenden Ost- und Süd-Ost-Bereiche: Alter Hafen, Landshuter Straße, Kasernenviertel.

(2) Im **NORDEN (Nordgaustr., Reinhausen)** kommen als Erklärung für das verkümmerte Flechtenwachstum (Zone IV) mehrere Faktoren in Frage: Neben einer relativ niedrigen Luftfeuchte können als Verursacher sowohl ein hoher Staubniederschlag (Verkehrsstaub) als auch relativ hohe $SO_2$- und $O_3$-Immissionen genannt werden.

(3) Der **Stadt-WESTEN** weist trotz eines recht guten Flechtenwachstums (Zone III, stellenweise sogar II) relativ hohe Emissionswerte für $SO_2$ auf, die allerdings relativ niedrigen Immissionswerten für Staub, $SO_2$ und $O_3$ und günstigen Luftfeuchte-Ergebnissen gegenüberstehen. Dieser scheinbare Widerspruch kann damit aufgeklärt werden, daß die recht häufigen Westwinde im Jahresmittel (20 %) die Luftschadstoffe (Emissionen) aus dem westlichen Industriegebiet der Stadt (ehem. Teppichwerk, Siemens usw.) meist zum Stadtzentrum hin verfrachten, so daß die Flechten eben dort weniger davon betroffen sind als die in der Stadtmitte.

(4) Für die Flechtenwüste (Zone V) im **Stadt-ZENTRUM** kommen laut Tabelle als Verursacher mehrere Faktoren in Betracht: Neben einem recht ungünstigen Stadtklima – das Zentrum weist die relativ niedrigste Luftfeuchte im Stadtgebiet auf – wurden 1984 im Jahresmittel relativ hohe $SO_2$- und $NO_2$-Immissionen gemessen, die neben dem lokalen Hausbrand und Verkehr bei Inversionslagen aus den östlichen Industriegebieten stammen dürften.

(5) **Gallingkofen** und **Sallern,** im **NORDEN** gelegen, besitzen trotz guter Luftfeuchte- und niedriger Emissionswerte für $SO_2$ (wenig Industrie) eine schlecht entwickelte Flechtenvegetation (Zone IV), die nach der Tabelle nur durch die Verfrachtung von Luftschadstoffen (Staub, $SO_2$) aus dem Südosten und die Bildung von $O_3$ erklärt werden kann (relativ hohe Immissionswerte).

(6) **Der SÜDEN** diesseits der Autobahn gehört im Bereich Eisbuckl und Universität ebenso zur ungünstigen Flechten-Zone IV. Andererseits zeichnen sich diese Gebiete laut Tabelle durch eine gute Relative Luftfeuchte (70-80 %) und vergleichsweise niedrige Emissions- und Immissionswerte aus. Im Vergleich zu anderen Zonen des Stadtgebietes ist somit auf den ersten Blick kein eindeutiger Zusammenhang zwischen dieser Flechtenzone und den guten Luft- und Klimadaten erkennbar. Da sich in dieser Zone viele windexponierte Bäume befinden – Oberer Kath. Friedhof und Universitätsgelände liegen freigestellt auf einer Anhöhe ca. 100 m über dem Zentrum – könnte nach KLEMENT (1950) ein „xerisches Standortklima" (Windtrocknis der Rinde) als Erklärung für die schlechte Flechtenzone herangezogen werden. Als Beweis kann gelten, daß an vielen Bäumen z. B. des Oberen Kath. Friedhofs, windgeschützt hinter

Büschen, das Flechtenwachstum zur besseren Zone III, stellenweise sogar zur Zone II tendiert (vgl. Fußnoten [18] und [19]).

(7) Ganz anders verhält sich die Kalkwerkzone (KWZ) im **Stadt-OSTEN**: Hier wird an Hand der Tabelle ein klarer Zusammenhang zwischen der extrem ausgeprägten Basiphytenflora (vor allem *Xanthoria paietina*) in diesem Bereich und den relativ hohen (Kalk-) Staub-Emissionen und -Immissionen deutlich, die dort gemessen wurden[20].

(8) Als Erklärung für die gute Flechtenentwicklung (Zone I/II) im Hohengebrachinger Wald im äußersten **Stadt-SÜDEN** kann dagegen die hohe Relative Luftfeuchte (> 80 %) gelten (hygrisches Mikroklima). Ähnliches gilt für den Wald am Keilberg. Leider liegen hierfür zur Bestätigung keine entsprechenden Immissionsmessungen vor.

Weitere Vergleiche zwischen den Flechtenzonen von 1987 und der Tabelle sind schwer möglich, da die Emissionen und Immissionen jeweils großflächig für eine Rasterfläche von 1 km × 1 km erhoben wurden, die Flechtenzonen dagegen meist sehr kleinflächig variieren, so daß eine genaue Zuordnung häufig nicht möglich war.

### 6.1.3. Die Luftgütekarte von Regensburg – Schlußfolgerungen aus dem Tabellenvergleich

(1) **Ähnliche Zonenausprägungen können verschiedene Ursachen haben:** Die Flechtenzonen kann man, von Ausnahmen wie der Kalkwerkzone abgesehen, im tabellarischen Vergleich meist nicht automatisch bestimmten Belastungsgrößen zuordnen. Ähnliche Zonenausprägungen können je nach Standortbedingungen verschiedene Ursachen haben, z. B. Zone IV im Stadt-Süden: Wind-Trocknis der Rinde dagegen Zone IV im Stadt-Norden: Immissionen verschiedener Art. Aus einer Flechtenzone bestimmter Ausprägung kann folglich in der Regel nicht zwingend auf einen bestimmten Grad von Luftbelastung geschlossen werden, wie das andererseits mit der VDI-Methode durch die Einteilung der gemittelten Flechtenfrequenzen in verschiedene Luftgüte-

---

18 Es waren dies i. d. R. Bäume, die auf Grund ihrer Abschattung durch Büsche nicht die Standardbedingungen für eine Kartierung erfüllten und deshalb mit ihrem positiven Flechtenbefund nicht in die Zonenbewertung eingegangen sind.

19 KLEMENT (1955) berichtet von ähnlichen Befunden an windexponierten Bäumen auf den Ostfriesischen Inseln.

20 In anderen Stadtteilen ist der Zusammenhang zwischen Flechtenwachstum und Staubniederschlag nicht so deutlich zu erkennen, da aus Gründen einer besseren Übersicht, insbesondere bei der Festlegung der Flechtenzonen III und IV nicht zwischen basiphytischen und azidophytischen Gesellschaften unterschieden wurde.

klassen zum Ausdruck kommt (vgl. KIRSCHBAUM und WINDISCH, 1995; KIRSCHBAUM & WIRTH, 1997)[21].

(2) **Für die Zonenausprägung kommen meist mehrere Umweltfaktoren in Frage:** Aus den Ergebnissen der Tabelle läßt sich leicht erkennen, daß für die Flechtenzonierung meist mehrere Umweltfaktoren in unterschiedlichem Ausmaß in Frage kommen: vor allem das Stadtklima und die Luftschadstoffe verschiedener Art. Ein monokausaler Zusammenhang wie z. B. im Kalkwerksbereich (Kalkstaub), bei der ehem. Heyden-Chemie (früherer HF-Emittent) oder der Zuckerfabrik ($SO_2$) ist in Regensburg eher die Ausnahme!

(3) **Zusätzliche Einzelbeobachtungen am Standort sind hilfreich:** Zur weiteren Eingrenzung der Verursacher der Flechtenzonen sind Einzelbeobachtungen am Standort sehr von Nutzen wie z. B. der Flechtenbewuchs an windgeschützten, beschatteten Stellen sowie die Erfassung der Flechtenvegetationsmuster (s. Abschn. 4.4. und 4.5.).

(4) **Die Ozon- und $NO_2$-Belastung sind nicht nachweisbar:** Ein direkter Zusammenhang zwischen Flechtenbewuchs und Ozon- bzw. $NO_2$-Belastung ist an Hand der Tabelle im Stadtgebiet von Regensburg nicht erkennbar, möglicherweise bedingt durch die bekannte chemische Wechselwirkung der beiden Schadstoffe.

(5) **Die Relative Luftfeuchte ist für die Zonenbeurteilung wichtig:** Die Einbeziehung der Relativen Luftfeuchte ist zur Beurteilung der Flechtenzonen unerläßlich, selbst (oder gerade) in den Fällen, wo sie als Verursacher der entsprechenden Flechtenzone direkt **nicht** in Frage kommt (als Gegenbeweis oder Bestätigung).

(6) **Die Luftgütekarte für das Stadtgebiet von Regensburg 1997:** Unter Berücksichtigung der oben diskutierten verschiedenen Ursachen für die Zonenausprägung der Flechten im Jahre 1997 und unter Zugrundelegung der Ergebnisse der Tabelle 9 wurde vom Verfasser empirisch eine Luftgütekarte von Regensburg für das Jahr 1997 erstellt (vgl. Abb. 7)[22]. Sie berücksichtigt auch

---

21 MACHER (1987) legt für München nach der biologischen Indikation der Zone I (Normalzone) < 0,04 mg/m$^3$, der Zone II (äußere Kampfzone) 0,06-0,04 mg/m$^3$ und der Zone III (mittlere Kampfzone) 0,1-0,06 mg/m$^3$ $SO_2$ zugrunde; für Zone IV und V liegen keine Angaben vor. Diese Werte entsprechen in keinem der Fälle den Immissionswerten für $SO_2$ in den Regensburger Flechtenzonen (vgl. Tab. 9), eine Tatsache, die nicht verwundert, herrscht in Regensburg doch ein anderes Klima als in München.

22 Im Gegensatz zu dieser empirisch erstellten Luftgütekarte werden bei der VDI-Methode Luftgütekarten nur mit Hilfe von mathematisch erfaßten Frequenzsummen (sog. „Luftgütewerte") angefertigt (vgl. z. B. WINDISCH & VORBECK, 1996). Dabei finden lokalspezifische, kleinklimatische Ursachen des Flechtenvorkommens im Gegensatz zur oben aufgezeigten

**Tab. 9: Vergleich Flechtenzonen - Luftschadstoffe in Regensburg 1987 (Emissionen - Immissionen - Klima)**

| Stadtteil | Flechtenzone | $SO_2$-Emission. t / km² x a | Staub-Immission. $10^{-3}$mg/m³ (MW) | $SO_2$-Immission. $10^{-3}$ mg/m³ (MW) | $O_3$-Immission. $10^{-3}$mg/m³ (95 %) | $NO_2$-Immission. $10^{-3}$mg/m³ (MW) | Luftfeuchte (relativ) % | Ursachen der Zonenbildung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **OSTEN** Zuckerfabr. Alter Hafen, | V | > 100 t rel. **hoch** | 78-84 rel. **gering** | 33-35 rel. **mittel** | 52-82 rel. **mittel** | 33-43 rel. **gering** | 70-80% **gut** | **$SO_2$-Immissionen** |
| **NORDEN** Nordgaustr. Reinhausen Einkaufsz. | IV | 20-50 t rel. **mittel** | 85-91 rel. **mittel** | 35-39 rel. **hoch** | 52-120 rel. **hoch** | 39-48 rel. **mittel** | 60-70% **schlecht** | **Lufttrocknis, Verkehrsstaub, $SO_2$ und $O_3$-Immissionen** |
| **N-WESTEN** Hochweg, Westbad | III | 50-100 t rel. **hoch** | 78-84 rel. **gering** | 30-32 rel. **gering** | 34-66 rel. **gering** | 39-48 rel. **mittel** | 70-80% **gut** | **hohe Luffeuchte, geringe Luftbelastung** |
| **ZENTRUM** | V | 20-50 t rel. **mittel** | 85-91 rel. **mitttel** | 35-39 rel. **hoch** | 34-66 rel. **gering** | 44-60 rel. **hoch** | 60-70% **schlecht** | **ungünstiges Stadtklima, $SO_2$- und $NO_2$-Belastung** |
| **NORDEN** Gallingk., Sallern | IV | 10-20 t rel. **gering** | 85-91 rel. **mittel** | 33-39 rel. **hoch** | 68-108 rel. **hoch** | 33-45 rel. **gering** | 70-90% **s. gut** | **$SO_2$-, Staub- und $O_3$-Immissionen** |
| **SÜDEN** Eisbuckl, Universität | IV | 1-5 t **s. gering** | 78-84 rel. **gering** | 33-35 rel. **mittel** | 34-66 rel. **gering** | 44-48 rel. **mittel** | 70-80% **gut** | **Windtrocknis der Rinde** |
| **KALK-WERK** N-Osten | KWZ | 40-67 t rel. **hoch** | 92-102 rel. **hoch** | 33-35 rel. **mittel** | 52-66 rel. **gering** | 44-53 rel. **hoch** | 80-90% **s. gut** | **Kalkstaub-Niederschlag** |
| **SÜDEN** Hohengebr. Wald | I / II | keine Werte vorhanden | keine Werte vorhanden | keine Werte vorhanden | keine Werte vorhanden | keine Werte vorhanden | >80% **s. gut** | **hohe Luftfeuchte niedrige Immissionen** |

Methode keine Berücksichtigung. Die VDI-Methode eignet sich somit vor allem für großräumige Luftgüteuntersuchungen, wo kleinräumige Klimaverhältnisse und Geologie statistisch gesehen keine Rolle mehr spielen.

die Ergebnisse des Kartierungsvergleichs der Untersuchungen von 1976, 1987 und 1997 und spiegelt somit ein recht differenziertes Bild der lokalspezifischen, lufthygienischen Verhältnisse im Stadtgebiet von Regensburg wider: Den flächenmäßig größten Anteil nehmen die Gebiete mit **guten** oder **mäßig guten Luftverhältnissen** ein (ca. **2/3 des Stadtgebietes**): das sind insbesondere die Wohngebiete, Gewerbeflächen, Felder, Grünflächen und Wälder im Stadtsüden, Westen und N-Westen. Auch der Grüngürtel im Stadtzentrum zählt dazu, eine Tatsache, die zum sorgsamen Umgang mit diesen Bäumen mahnt, liegt diese „grüne Lunge" doch in unmittelbarer Nähe zu dem kritisch belasteten Stadtkern. Über die Gebiete im S-Osten können nur Vermutungen angestellt werden, da hier zu wenig geeignete Bäume für eine Kartierung zur Verfügung standen.

Zu der als **„kritisch belastet"** zu beurteilenden Luftgütezone mit sauren Immissionen zählt erwartungsgemäß der eng bebaute **Stadtkern** und die benachbarten Wohngebiete im inneren Westen, Süden und Osten. Dort befinden sich auch einige Gewerbegebiete. Ebenso zählt auch der Stadt-Norden im Bereich der Franken-Nordgaustraße und das Donau-Einkaufszentrum dazu (gewerbliches Stadtentwicklungsgebiet mit hoher Verkehrsbelastung). Eine eigene, beträchtlich große Luftgütezone, die ebenfalls als „kritisch belastet" einzustufen ist, ist die **Kalkstaubzone** (basische Stäube) im Bereich der Kalkwerke im N-Osten (Konradsiedlung, Brandlberg, Schwabelweis). Insgesamt nehmen die als „kritisch belastet" eingestuften Gebiete ca. **1/3 des gesamten Stadtgebietes** ein.

### 6.2. Bürgerbefragung von 1996 – Vergleich mit den Kartierungsergebnissen

Als eine indirekte Bestätigung des oben Genannten ist die Bürgerbefragung von 1996 „Leben in Regensburg" des Lehrstuhls für Wirtschaftsgeographie der Universität Regensburg anzusehen (STADT REGENSBURG, 1997). Auch wenn „eine direkte Wertung der Ergebnisse im Hinblick auf Wohlbefinden und Gesundheit der Menschen in der Stadt nicht möglich ist" (BRESINSKY, 1980), so beurteilen die nach einer Zufallsverteilung ausgewählten Bürger erstaunlicherweise dennoch die Umweltsituation in ihrem Wohngebiet ähnlich positiv bzw. negativ wie es auch durch den Flechten-Zonenvergleich der verschiedenen Jahre in den oben genannten Stadtbezirken zum Ausdruck kommt (!). In den Gebieten, die gegenüber den West- und Süd-Bezirken schlechter abschneiden (vor allem die Ost- und N-Ost-Stadtteile), herrscht also nach Auffassung des Verfassers dringender Handlungsbedarf für die Stadtverwaltung. Hier könnte eine Feinkartierung des ökologischen Umfeldes dieser Stadtbezirke mit Hilfe von Flechten wertvolle Dienste leisten (vgl. Tab. 6 und Abb. 10).

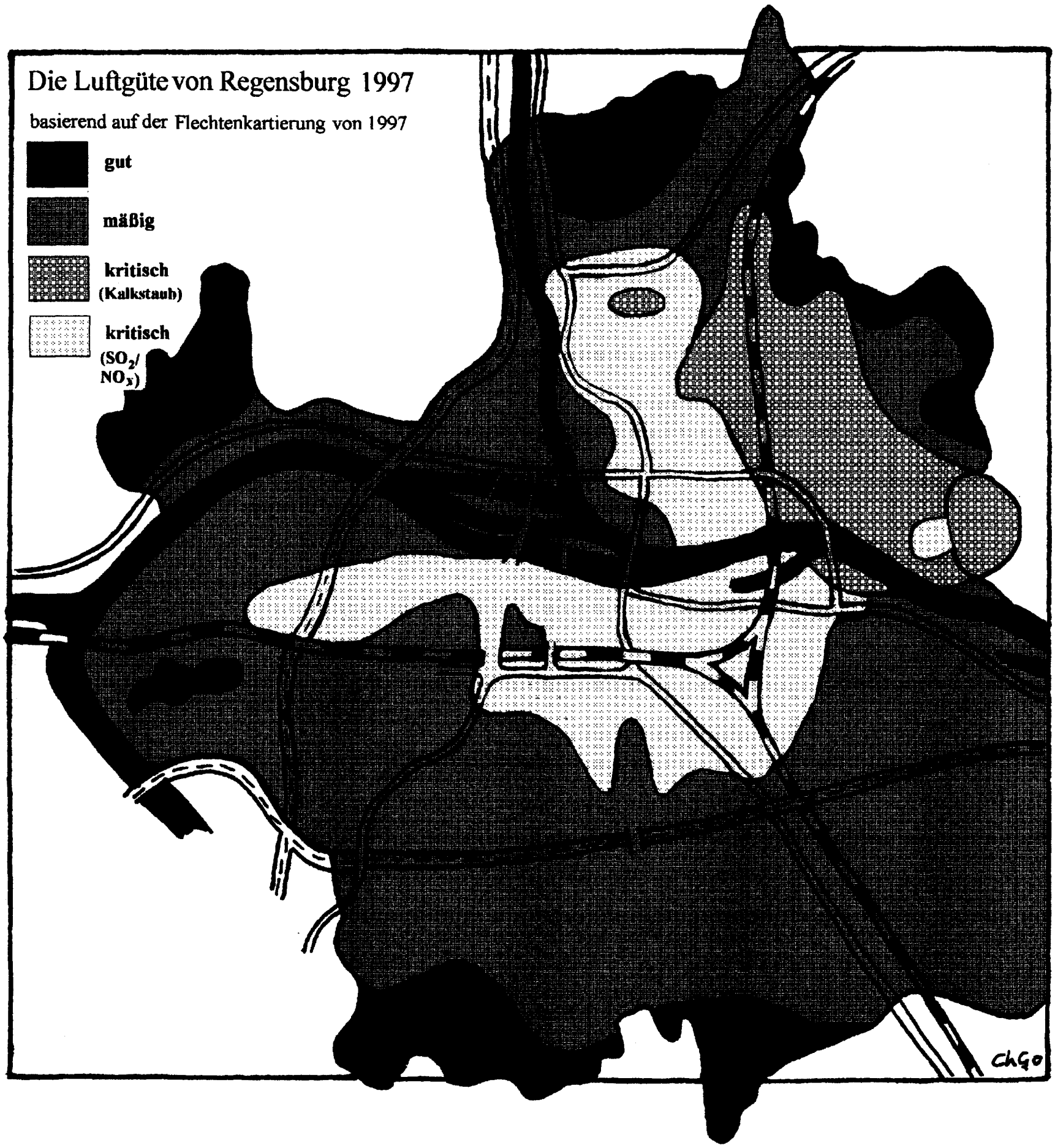


Abb. 7: Die Luftgüte im Stadtgebiet von Regensburg 1997

## 6.3. Immissionsbezogene Kartierung epiphytischer Flechten in Bayern 1996

Im Auftrag des LfU wurde 1996 bayernweit eine Rasterkartierung epiphytischer Flechten mit Hilfe der VDI-Methode 3799 durchgeführt (WINDISCH & VORBECK, LfU, 1996). Sieht man einmal davon ab, daß die lufthygienisch relevanten Flechtengesellschaften Nordbayerns klimatisch und geologisch bedingt eine andere Artenzusammensetzung haben als die Südbayerns (vgl. KLEMENT, 1950; GOPPEL, 1984) und somit die Ergebnisse der Arbeit im Norden m. E. etwas anders zu be-

urteilen sind als die im Westen, Osten und Süden, so kann man dennoch weitgehend davon ausgehen, daß die Methode eine gewisse Aussagefähigkeit über die lufthygienische Situation in den einzelnen Gebieten zuläßt (vgl. auch Fußnote [22]!). Regensburg liegt auf der Luftgütekarte von Bayern im Schnittpunkt der Diagonalen eines Quadrates aus den Luftgüteklassen: „hoch-mäßig", 2× „mäßig" und „gering belastet", was für die Stadt einem Mittelwert von „mäßig belastet" entsprechen dürfte. Dieses Ergebnis stimmt mit der Aussage der Luftgütekarte in dieser Arbeit weitgehend überein: Der größte Teil des Stadtgebietes (ca. 2/3) ist ebenfalls nach Meinung des Verfassers wie o. g. als **„mäßig belastet - gering belastet"** einzustufen (vgl. Abb. 7).

## 7. Funktionale Wechselbeziehung zwischen Flechtenvorkommen, Stadtklima und Luftbelastung im Jahr 1997

### 7.1. Zielsetzung

Die Komplexität der Wechselbeziehungen zwischen den epiphytischen Flechten, dem Stadtklima und der Luftbelastung macht es schwer, einen eindeutigen Zusammenhang zwischen dem Flechtenvorkommen und dem Einfluß von Stadtklima und Immissionen herzustellen: Die verschiedenen Flechtenarten reagieren nämlich, wie bereits erwähnt, sehr unterschiedlich, stellenweise sogar gegensätzlich auf die jeweiligen Umweltverhältnisse in einer Stadt. Bei der Kartierung von 1997 war es somit das erklärte Ziel des Verfassers, neben der erneuten Ermittlung der Flechtenzonen zu prüfen, inwieweit sich ein sogenannter funktionaler Zusammenhang zwischen Flechtenvorkommen, Immissionen und Stadtklima herstellen läßt; d. h. im folgenden Abschnitt wurde exemplarisch der Zusammenhang zwischen dem Flechtenvorkommen und Emittentenabstand bzw. Verkehrsaufkommen und Stadtklima untersucht und in geeigneten Diagrammen dargestellt.

### 7.2. Methode

Ähnlich wie 1987 wurde dazu das Flechtenvorkommen im Jahr 1997 in Form der verschiedenen Vegetationstypen erfaßt, wie sie in Tab. 1 definiert wurden. Diese Kartierungsmethode macht es möglich, eine differenzierte Betrachtung des Flechtenvorkommens vorzunehmen. Die einzelnen Vegetationstypen und ihre verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten spiegeln nämlich die unterschiedlichen ökologischen Verhältnisse (Klima, Luft) vor Ort wider (vgl. Pkt. 4.5.).

Zur Untersuchung einer funktionalen Beziehung zwischen Flechtenvorkommen und Umwelt in Form eines Diagramms wurde wie folgt vorgegangen:

- **Kartierung der epiphytischen Flechtenvegetation** an Standard-Bäumen mit Hilfe der Vegetationstypen entlang einer ökologisch interessanten Leitlinie (i. d. R. eine Straße), die z. B. beim Fall 1 vom zu untersuchenden Emittenten weg-

führt; Erfassung von je 20 Bäumen z. B. alle 100 m (= eine Station) entlang dieser Straße;

- **Berechnung der Stetigkeit der verschiedenen Vegetationstypen** in % an jeder Station;
- **Mittelwertberechnung der verschiedenen Vegetationstypen einer Station.** Dazu wurden z. B. jeweils die Stetigkeitswerte der häufigsten Vegetationstypen 2az, 3az und 4az einer Station, sofern vorhanden, je nach ihrer ökologischen Wertigkeit mit einem entsprechenden Faktor versehen und anschließend gemittelt: Vegtyp 2az mit Faktor 4; Vegtyp 3az mit Faktor 3; Vegtyp 4az mit Faktor 1. Diese Mittelwertberechnungen wurden **getrennt** für die Azidophyten und Basiphyten angestellt[23].
- **Beispiel:** Mittelwertberechnung (Ges.Az) der Stetigkeit aller **azidophytischen** Vegetationstypen einer Station (2az, 3az, 4az, soweit vorhanden):

$$\text{Ges.Az} = \frac{(2\text{az} \times 4) + (3\text{az} \times 3) + 4\text{az}}{8 \text{ (Anzahl der Faktoren)}} \quad (\%)$$

Ein entsprechendes Verfahren wurde für alle basiphytischen Vegetationstypen (Ges.Bas) einer Station angewendet[24]. Die Ermittlung der Stetigkeit von *Xanthoria parietina* (Ges.Xanth) und der Krustenflechte *Lecanora conizaeoides* (Ges.AzKrust) erfolgte dagegen, falls nötig, separat, da diese Flechten in ihrem Reaktionsverhalten auf Umwelteinflüsse eine Sonderstellung einnehmen[25].

- **Darstellung der Ergebnisse als Kurven oder Säulendiagramm;**

  Hochwertachse: Mittelwerte der Stetigkeit der drei Vegetationstypen: Ges.Az, Ges.Bas, Ges.Xanth gegebenenfalls Ges.azKrust an den einzelnen Stationen

  Rechtswertachse: je nach Aufgabenstellung z. B. Abstand von einem Emittenten (in Metern); Verkehrsfrequenz an verschiedenen Straßen (Anzahl Autos/10 Min.) o. ä. Drei ausgewählte Beispiele sind in Abb. 8, Abb. 9 und 10 zu sehen.

---

23 Der Vegetationstyp (Vegtyp) 1 kam praktisch nie vor und fand deshalb rechnerisch keine Berücksichtigung. Er müßte, falls vorhanden, gegenüber den anderen Vegtypen noch höher gewichtet werden als Vegtyp 2az.

24 Diese Mittelwertberechnung wurde im Einzelfall durch die Darstellung einzelner Vegetationstypen ersetzt, wenn dies in Hinblick auf die Fragestellung geeigneter erschien.

25 Dies war allerdings nur dann der Fall, wenn deren Vorkommen für die Fragestellung von Interesse war.

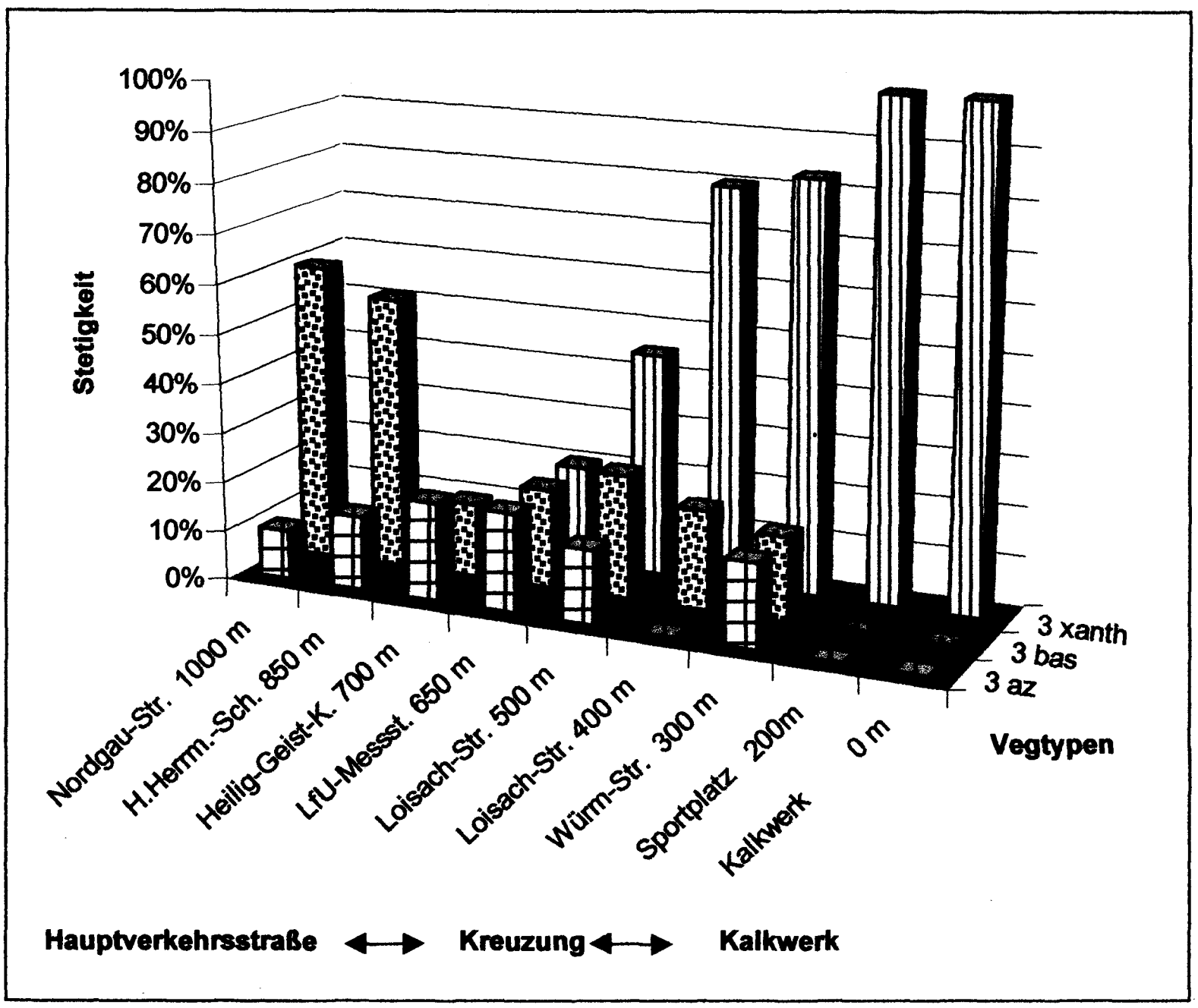


Abb. 8: Der Einfluß von Staubimmissionen auf das Flechtenwachstum (Kalkwerk)

## 7.3. Auswertung der Ergebnisse

### 7.3.1. Staubimmissionen in Abhängigkeit vom Emittentenabstand

Anstatt einer Mittelwertberechnung aller Azidophyten und Basiphyten (wie oben beschrieben) wurden hier lediglich die Vegetationstypen 3az, 3bas und 3xanth betrachtet, da sie im Hinblick auf die Fragestellung den größten Aussagewert besaßen.

Aus der Abb. 8 ist zu entnehmen:

(1) **Zunahme von *Xanthoria parietina* in Emittentennähe:** Mit wachsender Annäherung an das Kalkwerk (< 700 m) ist eine deutliche **Zunahme** der calciphilen, gelben Blattflechte *Xanthoria parietina* festzustellen. Alle Gebiete, wo diese Flechte dergestalt massiv auftritt, wurden vom Verfasser zur sog. „Kalkwerkzone" (KWZ) zusammengefaßt. Die Luftüberwachungsstation (LfU-Meßstation) befindet sich mit 650 m Abstand zum Emittenten am Rande dieser Zone im Umkreis des lufthygienisch am geringsten belasteten Bereichs dieser Straße und ist folglich m. E. nicht aussagefähig für den Kalkstaubniederschlag in diesem Gebiet.

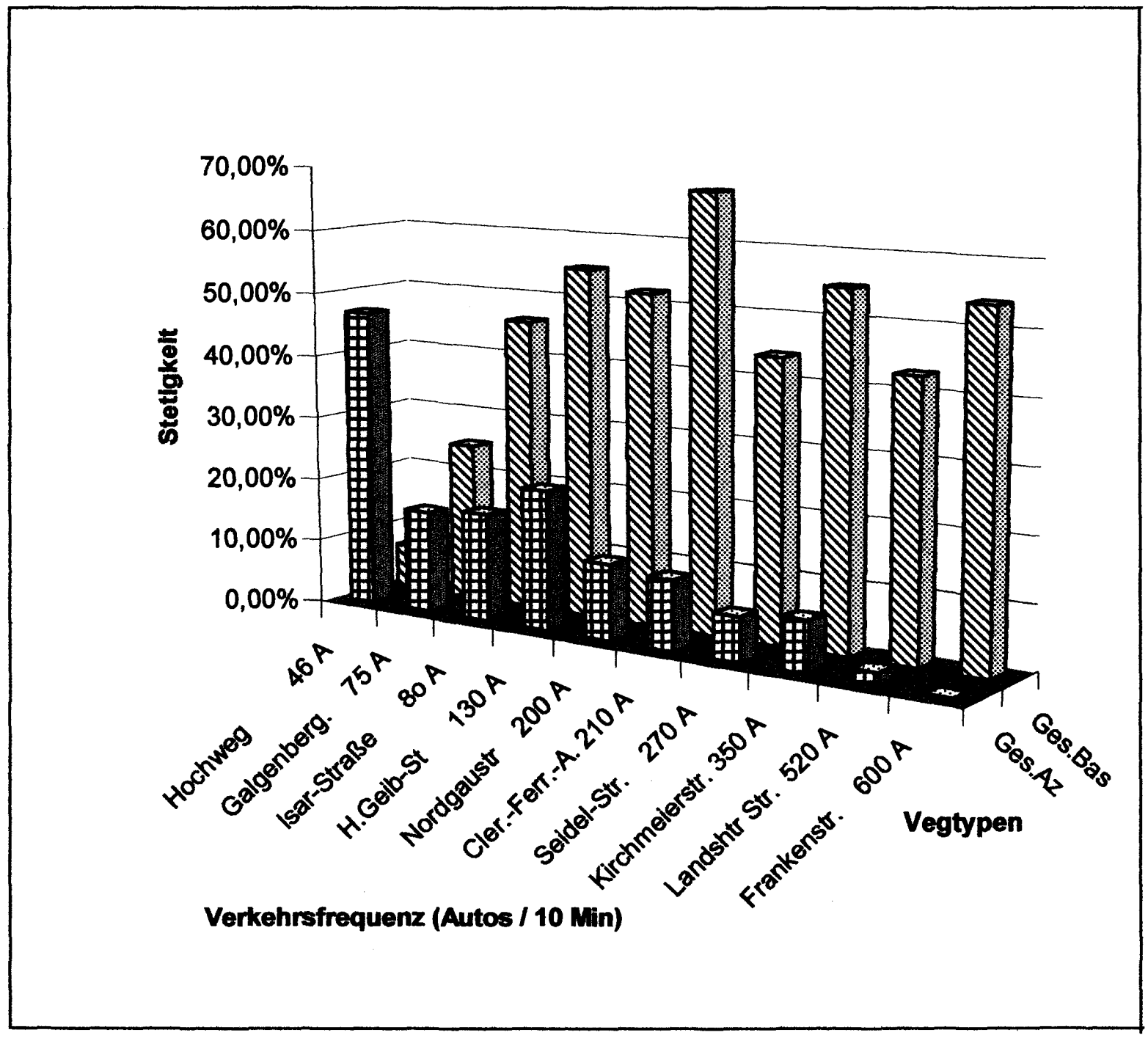


Abb. 9: Abhängigkeit des Flechtenvorkommens von der Verkehrsfrequenz verschiedener Straßen

(2) **Abnahme der Azidophyten und Basiphyten in Emittentennähe:** Reziprok dazu gehen mit wachsender Annäherung an den Kalkstaubemittenten die Azidophyten als auch die Basiphyten (im allgemeinen) deutlich zurück, bis sie beide (!) ab 200 m Abstand vollständig verschwinden; möglicherweise haben sie neben dem hohen pH-Wert der Rinde ein interspezifisches Konkurrenzproblem mit *Xanthoria parietina* (vgl. SCHÖLLER, 1993), die hier alles überwuchert.

(3) **Zunahme der Basiphyten zur Hauptverkehrsstraße hin:** Je mehr man sich umgekehrt vom Kalkwerk entfernt und der entgegengesetzt gelegenen Nordgaustraße (Hauptverkehrsstraße) nähert, um so mehr steigt die Stetigkeit wiederum der Basiphyten (gefördert durch den Verkehrsstaub und Autoabgase dieser Hauptverkehrsstraße).

(4) **Abnahme der Azidophyten im Bereich der Hauptverkehrsstraße:** Im Gegensatz dazu sinkt die Kurve der Azidophyten zur Nordgaustraße hin wieder

auf Null ab, nachdem sie ihr Maximum zwischen 700-650 m Emittentenabstand erreicht hat. Bei 700 m (Hl.-Geist-Kirche) liegt also der lufthygienisch am geringsten belastete Bereich der Isarstraße.

(5) **Metergenaue Angabe des Immissionseinflusses**: Mit dieser Kurvendarstellung kann man somit z. B. metergenau angeben, wie weit der Einfluß der verschiedenen Immissionen in einem Gebiet reicht, welche Immissionen im einzelnen vorliegen oder an welcher Stelle z. B. eine Luft-Meßstation am sinnvollsten betrieben werden sollte, wollte man das Gebiet luftmeßtechnisch erfassen.

### 7.3.2. Abhängigkeit des Flechtenvorkommens von der Verkehrsfrequenz

Im Diagramm Abb. 9 wurde die Flechtenvegetation verschiedener Straßen mit ähnlicher Standortökologie in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen verglichen. Es sind stets breite Straßen in Ost-West-Ausrichtung mit freiem Witterungs- und Lichtzutritt; Wohnblöcke aus den 60er Jahren liegen meist zurückversetzt hinter einer kleinen Grünanlage („Abstandsgrün"); kein direkter Industrieeinfluß.

Die Verkehrsfrequenz wurde ermittelt, indem innerhalb von 10 Minuten außerhalb der Stoßzeiten die vorbeifahrenden Autos auf beiden Fahrbahnseiten gezählt wurden[26]. Folgende Zusammenhänge zwischen Verkehrsfrequenz und Flechtenvorkommen lassen sich aus dem Diagramm ableiten:

(1) **Bei wenig Verkehr ist die Stetigkeit der Azidophyten hoch** (< 46 Autos/10 Min.), die der Basiphyten geht statt dessen gegen Null.

(2) **Mit zunehmendem Verkehrsaufkommen wächst die Stetigkeit der Basiphyten**, während die der Azidophyten wiederum sinkt (basischer pH-Wert der Rinde, fördernder Einfluß der Staubimmissionen).

(3) **Hohe Verkehrsfrequenz läßt auch die Stetigkeit der Basiphyten absinken** (> 210 Autos/10 Min.), allerdings nicht so stark wie die der Azidophyten: schädliche Wirkung der KfZ-Immissionen.

Das Diagramm macht somit den unterschiedlichen Einfluß des Straßenverkehrs auf das Flechtenwachstum deutlich: Einerseits wirken die Verkehrsstäube bis zu einer bestimmten Konzentration auf die Basiphyten fördernd, andererseits verdrängen sie die Azidophyten durch den basischen pH-Wert der Rinde. Ab einer bestimmten Schadstoffkonzentration werden auch die relativ resistenten Basiphyten beeinträchtigt. *Xanthoria parietina* trifft man interessanterweise in diesem Le-

---

26 Diese Verkehrsfrequenzzählung hatte nicht zum Ziel, Absolutwerte der Verkehrsbelastung an dieser Straße zu ermitteln, sondern diente lediglich dazu, relative Bezugsgrößen zu erhalten, an denen die Kartierungsergebnisse des Flechtenvorkommens gemessen werden konnten.

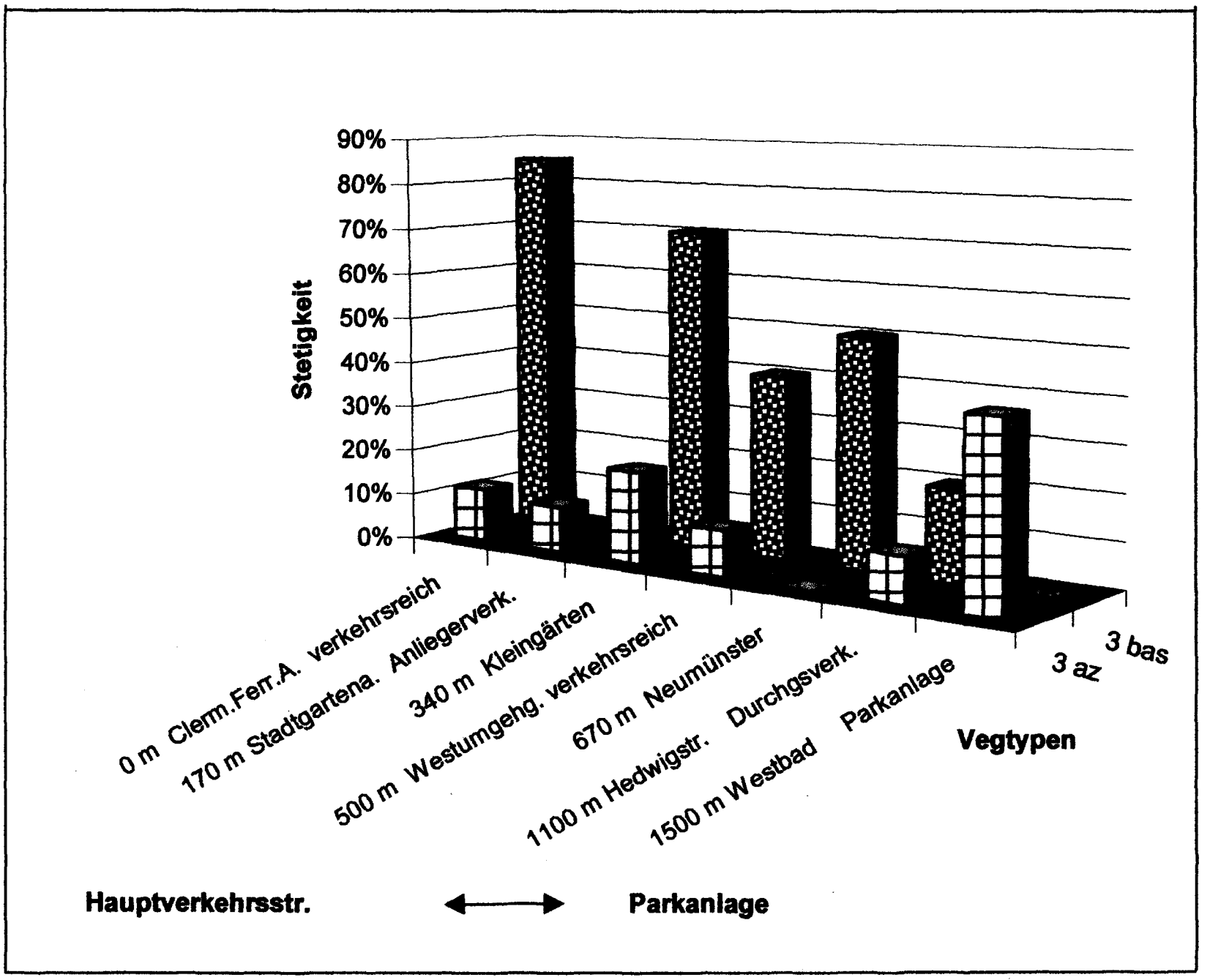


Abb. 10: Vegetationsprofil entlang einer Straße (Weinweg)

bensraum im Gegensatz zum Kalkwerkbereich nur recht selten an, so daß eine funktionale Betrachtung hier nicht von Interesse war. Ihr Fehlen weist auf eine andere chemische Zusammensetzung der Verkehrsstäube an dieser Stelle hin als im Kalkwerksbereich.

Somit läßt sich anhand der Stetigkeit der verschiedenen Flechtenvegetationstypen auf die Höhe der Verkehrsbelastung der betreffenden Straße und die Art der Immissionen schließen, indem man die fragliche Flechtenvegetation einer Straße mit dem vorliegenden Diagramm (= „Eichkurve") vergleicht.

### 7.3.3. Flechten-Vegetationsprofil entlang einer Straße

Auf Grund der oben erörterten Zusammenhänge eignet sich die Erfassung der Stetigkeit häufiger Flechtenvegetationstypen in Form eines Diagrammes auch zur funktionalen Darstellung der Ökologie eines Stadtteils, einer Straße oder einer Parkanlage usw. Am Beispiel des Weinweges (Wohngebietsstraße im Stadt-Nord-Westen an der Donau gelegen) in Abb. 10 soll diese Anwendungsmöglichkeit aufgezeigt werden. Das Auf und Ab der Basiphyten- und Azidophyten-Stetigkeit vom Vegetationstyp 3 in Abhängigkeit von der Straßenlänge ist ein Spiegel der unter-

schiedlichen ökologischen und kleinklimatischen Bedingungen entlang dieser Straße[27]:

(1) **0 m: hohe Stetigkeit der Basiphyten:** An der Kreuzung zur Clermont-Ferrand-Allee sind die **Basiphyten** mit einer **sehr hohen Stetigkeit** vertreten (90 %), ein Phänomen, das auf eine **starke Verkehrsbelastung** an dieser Stelle hinweist.

(2) **170 m: Rückgang der Basiphyten:** 170 m von der Kreuzung entfernt (Stadtgartenamt) sind die KfZ-Immissionen der Kreuzung nicht mehr meßbar, belegt durch einen Rückgang der Basiphyten gegen Null.

(3) **340 m: leichte Zunahme der Azidophyten und Basiphyten:** Mit fortschreitendem Abstand zur Kreuzung nimmt die Stetigkeit der Azidophyten leicht zu, ein Umstand, der mit der zunehmenden Luftfeuchte durch die angrenzenden Kleingärten und Parkanlagen erklärt werden kann. Gleichzeitig steigen jedoch auch die Basiphyten wieder deutlich an (ab 430-670 m), was auf das starke Ausmaß der KfZ-Immissionen durch die hier kreuzende Westumgehung im Umkreis von 300 m hinweist.

(4) **1500 m: Azidophyten stark angestiegen, Basiphyten gehen gegen Null:** Im Bereich der Westbad-Parkanlage wiederum zeigt eine 30prozentige Stetigkeit der Azidophyten und 0 % Stetigkeit der Basiphyten vom Vegetationstyp 3 relativ ideale Wohn- und Lebensbedingungen für die dort lebenden Menschen an; Ursache: hohe Luftfeuchte und sehr niedrige Luftbelastung.

An diesem Beispiel wird deutlich, wie differenziert man mit Hilfe der Kartierung von Vegetationstypen und deren funktionalen Darstellung die ökologische Gesamtsituation eines Gebietes erfassen kann. In gleicher Weise läßt sich auch z. B. die Luftfilterwirkung von Parkanlagen oder Waldgebieten überprüfen, der ideale Standort einer Luftmeßstation ermitteln, die lufthygienische Wirksamkeit eines Begrünungsplanes beurteilen oder die Wohnqualität eines Gebietes ermessen usw. Die beschriebene Methode stellt somit ein ideales Instrument für die Hand des Stadtplaners dar.

## 8. Flechten-Neufunde 1987 und 1997 im Stadtgebiet von Regensburg

Während der Vergleichskartierung von 1987 und 1997 wurde zwar in erster Linie auf eine emittentenbezogene Flechtenkartierung Wert gelegt, dennoch achtete der Verfasser nach Möglichkeit auch darauf, neben den Flechten mit Indikatorfunkti-

---

27 Dieses Diagramm wurde nur mit Hilfe des Vegetationstyps 3az und 3bas erstellt, da diese Betrachtungsweise aussagefähiger erschien als eine Mittelwertberechnung aller Vegetationstypen.

on auch die Flechten zu erfassen, die im Stadtgebiet vorwiegend von vegetationskundlichem Interesse waren.

Neben den bereits 1976 beschriebenen 58 epiphytischen Flechtenarten im Stadtgebiet von Regensburg (GOPPEL,1976) konnten bis 1997 noch weitere **14 Flechtenarten** auf Rinde angesprochen werden, die in der Stadt jedoch mehr oder weniger selten vorkommen oder gern übersehen werden. Einige dieser Flechten-Neufunde wurden vor allem im luftfeuchten Hohengebrachinger Wald angetroffen, ein Gebiet das erst nach 1976 eingemeindet wurde.

Insgesamt gesehen kann sich Regensburg mit seinen **insgesamt 72 epiphytische Flechtenarten** durchaus mit anderen Städten Bayerns und Österreichs messen; vgl. Erlangen 52 Arten (KILIAS, 1974), Laufen 67 Arten (GOPPEL, 1984), Salzburg 75 Arten (TÜRK & ZIEGELBERGER, 1982), Graz 67 Arten (EHRENDORFER, MAURER & KARL, 1971) u. a.

So ähnlich die Städte sich von ihrer Größe her auch sind, so unterschiedlich sind sie dennoch in ihrem Flechtenspektrum, unterscheiden sie sich doch nicht unerheblich in ihrem Stadtklima. Mit der Tatsache, daß Regensburg zu den niederschlagsärmsten Städten Bayerns zählt (600 mm/Jahr), kann erklärt werden, daß in dieser Stadt vorwiegend trockenheitsliebende, basiphytische Rindenflechtengesellschaften besonders gut ausgeprägt sind und mit ihren zahlreichen xerophilen Mitgliedern wesentlich zum Arteninventar Regensburgs beitragen.

Unterstützt wird dieser Trend durch die charakteristische Immissionslage in Regensburg, an der vor allem die kalkhaltigen Schwebestäube einen großen Anteil haben. Mit einem relativ geringen Prozentsatz sind dagegen aus klimatischen Gründen im Vergleich zu Städten im Voralpenland die aero-, hygro- und ombrophilen Flechtenarten und ihre Gesellschaften vertreten. Es fehlen z. B. ubiquitäre Flechtenarten des regenreichen bayerischen Voralpenlandes, wie z. B. *Parmelia tiliacea*, *P. caperata*, *P. flaventior*, *P. subrudecta*, *Platismatia glauca* oder die verschiedenen *Ramalina*-Arten nahezu völlig. Auch die hygrophilen Strauchflechten wie z. B. *Pseudevernia furfuracea*, *Evernia prunastri*, *Bryoria*- und *Usnea*-Arten haben vergleichsweise nur eine sehr geringe Verbreitung und Vitalität.

Diese Verarmung an ozeanisch bestimmten Flechtenarten ist nicht nur für Regensburg, sondern auch für den gesamten Oberpfälzer Wald und dessen Vorland feststellbar. So findet man laut KLEMENT (1950) in der Oberpfalz nur drei Flechtenverbände, von denen das *Xanthorion parietinae* mit dem *Physcietum adscendentis* und das *Parmelietum acetabulae* (selten) sowie das *Usneion barbatae* mit dem *Parmelietum furfuraceae* nur relikthaft auch in Regensburg anzutreffen sind.

Das epiphytische Flechtenspektrum wird darüber hinaus durch epilithische Flechtenarten erweitert, die in unmittelbarer Kalkwerksnähe stellenweise auch auf kalkimprägnierte Rinde übergreifen.

Die Flechtenliste von 1976 für das Stadtgebiet von Regensburg wird vom Verfasser durch folgende Flechten-Neufunde auf Rinde ergänzt (Stand 1997):

- *Caloplaca holocarpa* (Hoffm.) Wade (*C. pyracea* (Ach.) Th. Fr.): auf kalkstaubimprägnierter Rinde in Kalkwerksnähe; häufig in Gesellschaft von *Lecanora hageni*, *Candellariella vitellina* u. a. Möglicherweise befand sich darunter auch *C. congrediens*.
- *Candellariella vitellina* (Hoffm.) Müll. Arg.: Die Flechte wurde wohl 1976 übersehen, da sie leicht mit anderen gelben Blattflechten verwechselt werden kann; nur zweimal im Stadtgebiet am staubigen Straßenrand auf *Acer*.
- *Coniocybe farinacea* (Chevall.) Nyl.: Diese seltene, coniocarpe Krustenflechte im Regensburger Raum fand sich zweimal im laubholzreichen, luftfeuchten Hohengebrachinger Wald auf *Quercus* (+++).
- *Hypogymnia tubulosa* (Schaerer) Hav.: Da diese Blattflechte mit ihren röhrigen Lappen der Schwester *H. physodes* ähnlich und gerne mit ihr vergesellschaftet ist, kann nicht ausgeschlossen werden, daß sie öfters übersehen wurde; dreimal im Hohengebrachinger Wald auf *Quercus* bzw. *Prunus spinosa*; viel seltener als *H. ph.* (++).
- *Hypogymnia farinacea* Zopf: einmal an *Pinus sylvestris* im Hohengebrachinger Wald in einer luftfeuchten Senke gefunden (+++).
- *Lecanora carpinea* (L.) Vainio: Zwei weitere Funde dieser im Stadtgebiet an sich seltenen Krustenflechte (auf *Fraxinus*) unterstreichen deren Vorliebe für landwirtschaftlich genutzte Standorte (nitrophytisch) (+++).
- *Physica caesia* (Hoffm.) Fürnrohr: Die zwei Fundorte an staubimprägnierten Borken in Kalkwerknähe bestätigen, daß diese an sich epilithische Blattflechte unter extremem Staubniederschlag auch auf Rinde übergeht.
- *Parmelia exasperatula* Nyl.: Die zahlreichen Neufunde veranlassen zu der Vermutung, daß diese Flechte aufgrund ihrer dunkelgrünen Farbe 1976 wohl übersehen wurde (vorwiegend in Zone III an mäßig staubbelasteten Stellen).
- *Parmelia subaurifera* Nyl.: Als azidophytische Flechte ist sie häufig in staubfreien Parkanlagen des Stadtrandes an schattigen Stellen anzutreffen. Ähnlich wie *P. exasperatula* wird sie wegen ihrer dunklen Farbe leicht übersehen.
- *Parmelia elegantula* (Zahlbr.) Szat.: Für diese Blattflechte gilt dasselbe wie für *P. saubaurifera*. Sie ist im Gegensatz zu dieser jedoch zu selten (zwei Fundorte in Zone II auf *Acer*).
- *Parmelia tiliacea* (Hoffm.) Ach. (syn. *P. scortea*): Ein beachtliches Exemplar mit hoher Deckung dieser für Regensburg an sich sehr seltenen Blattflechte (im Gegensatz zum luftfeuchten Voralpenland) befindet sich an der sog. „Schillerwiese“ in unmittelbarer Nähe der Donau (auf *Acer*) (+++).

- *Physcia dubia* (Hoffm.) Lettau: Sie kann sehr leicht verwechselt werden mit ähnlichen Flechten aus dem *Physcietum adscendentis* und wurde deshalb 1976 wohl nicht angesprochen, obwohl sie an sich im Stadtgebiet an staubimprägnierten Stellen nicht selten anzutreffen ist (z. B. Straubinger Straße, Tegernheim, Hohes Kreuz (O) usw.
- *Physica tenella* (Scop) DC.: Einige sehr schöne Exemplare dieser im Gegensatz zu *Ph. adscendens* seltenen Art des *Physcietum adscendentis* aus dem Stadtgebiet machen deutlich, daß diese Flechte zwar leicht zu übersehen ist, aber dennoch eindeutig angesprochen werden kann. Tritt an staubimprägnierten Rinden häufig nicht arttypisch (verkümmerte Wimpern usw.) in enger Vergesellschaftung mit *Ph. adscendens* auf.
- *Physconia perisidiosa* (Erichsen) Moberg: Eine sehr seltene Blattflechte, ähnlich wie im Voralpenland, mit deutlich rechtwinklig auffasernden Rhizinen; ein Fundort im Prüfeninger Schloßpark (W) auf *Hypnum cupressiforme* (+++).

## 9. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden drei emittentenbezogene Flechtenkartierungen von Regensburg, die der Verfasser **1976, 1987** und **1997** durchgeführt hat, vorgestellt und miteinander verglichen. Folgende Gesichtspunkte sind dabei von Bedeutung:

(1) Es wird **eine neue Kartierungsmethode** beschrieben, die 1987 und 1997 vom Verfasser erstmals eingesetzt wurde: die Erfassung der Flechtenvegetation in Form ihrer sog. „Flechtenvegetationsmuster". Dieses Verfahren hat gegenüber der klassischen „VDI-Methode" (Artenerfassung mit einem Frequenzgitter) den Vorteil, daß es innerhalb kürzester Zeit mit Hilfe der Deckungsabschätzung von den häufigen Flechtengesellschaften der Region kleinräumige Verhältnisse eines Ballungsgebietes erfassen hilft. Außerdem vermag es nicht nur den Einfluß von Immissionen sondern auch den des Stadtklimas auf das Flechtenwachstum aufzuzeigen. Weiterhin berücksichtigt diese Methode die klimabedingte, regionalspezifische Verbreitung der einzelnen Flechtenassoziationen.

(2) Das Stadtgebiet läßt sich ökologisch in **verschiedene Bebauungs-, Nutzungs- und Begrünungstypen** unterscheiden, denen spezifische Flechtenvegetationsmuster der häufigsten Stadtflechtengesellschaften zugeordnet werden können. Abweichungen von diesen Standardmustern der Flechtenvegetation weisen auf außergewöhnliche Belastungen des betreffenden Gebietes hin. Somit ist dieses Verfahren hervorragend geeignet, spezielle Immissionen und deren Ausbreitung aufzuspüren, eine gesamtökologischen Beurteilung eines Gebietes vorzunehmen oder wertvolle Erkenntnisse im Rahmen einer ökologischen Stadtpla-

nung oder Eingriffsregelung bei der Bauleitplanung nach dem Baurecht zu liefern.

(3) **Vergleich der verschiedenen Flechtenzonenkarten.** Die Flechtenzonenkarten von Regensburg der verschiedenen Jahre werden schließlich miteinander verglichen. Dabei lassen sich im Laufe der vergangenen 23 Jahre auffallende Veränderungen der Flechtenzonen feststellen: **Verbesserungen** des Flechtenvorkommens, die auf eine erfreuliche lufthygienische Verbesserung durch emissionsmindernde Maßnahmen im Stadtgebiet hinweisen (Altstadt, Zuckerfabrik, aufgelassene Industriegebiete im Osten); **Verschlechterungen** der Flechtenzonen im Stadtrandgebieten (Königswiesen-Süd) durch Ausweisung von Mischgebieten, die eine Verschlechterung des Stadtklimas zur Folge hatten; **unveränderte Gebiete** dort, wo keine strukturellen Umwandlungen stattgefunden haben (der Großteil des Stadtgebietes).

(4) **Vergleich mit den Stichprobenmessungen des LfU.** Außerdem wird die Flechtenzonenkarte von 1987 den flächendeckenden Stichprobenmessungen der Luftschadstoffe (LfU, 1984) und den Klimamessungen von DITTMANN (1982) tabellarisch gegenüber gestellt. Aus dem Tabellenvergleich läßt sich eindeutig ableiten, daß der Ausbildung der Flechtenzonen im Stadtgebiet unterschiedliche Ursachen zugrunde liegen: teils sind es **Immissionen** (Zentrum, Regensburg-Nord und -Ost, Kalkwerke), teils sind es **klimatische Gründe** (Rinden- und Lufttrocknis), die für die Verkümmerung der Flechten verantwortlich zu machen sind (Stadt-Süden). Meistens sind es entgegen der weitverbreiteten Meinung über Flechtenzonierung **mehrere Ökofaktoren**, die gleichzeitig im Pessimum liegen; ein monokausaler Zusammenhang z. B. mit $SO_2$ oder HF ist eher die Ausnahme (Zuckerfabrik, ehem. Heyden-Chemie).

(5) Unter Berücksichtigung der verschiedenen Ursachen für die Ausprägung der Flechtenzonen im Jahr 1997 wird von Verfasser erstmals eine Bewertung der lufthygienischen Situation in Regensburg für das Jahr 1997 in Form einer **Luftgütekarte** vorgenommen: Es werden drei Luftgütezonen im Stadtgebiet entsprechend der jeweiligen Flächennutzung unterschieden, wo entweder gute, mäßige oder kritische Luftverhältnisse vorherrschen. Die mäßig gute Zone im Stadtgebiet nimmt die größte Fläche ein (Stadtperipherie), gefolgt von der kritisch belasteten Luftgütezone (Stadtzentrum, Stadtnorden und N-Ostgebiete bei den Kalkwerken). Im Durchschnitt lagen in Regensburg somit im Jahr 1997 **mäßig gute Luftbedingungen** vor.

(6) **Funktionale Zusammenhänge**. Bei der Kartierung von 1997 wird auch ein funktionaler Zusammenhang zwischen der Flechtenreaktion und verschiedenen relevanten Umwelteinflüssen in Form von Säulendiagrammen untersucht: den Staubimmissionen, der Verkehrsfrequenz bzw. dem Stadtklima. Es kann gezeigt werden, daß Flechten je nach Assoziation unterschiedlich, teilweise

sogar gegensätzlich auf Umwelt- und Klimaeinflüsse reagieren. Der teils fördernde, teils schädigende Einfluß der Kalkstaub- bzw. KfZ-Immissionen kann schlüssig bewiesen werden. Die Darstellung der Flechtenreaktion in Form eines Diagramms eröffnet dem Stadtplaner vielfältige Möglichkeiten zur punktgenauen bzw. gesamtökologischen Beurteilung eines Gebietes.

(7) Schließlich werden **14 epiphytische Flechten-Neufunde** gegenüber 1976 für das Stadtgebiet von Regensburg beschrieben Somit erhöht sich die Gesamtartenzahl gegenüber 1976 auf **72**. Darunter sind viele meso- und xerophile Arten. Dies ist eine weitere Bestätigung für die Annahme, daß die Flechten in ihrem Auftreten in der „Trockeninsel" Regensburg neben den Immissionen vorwiegend durch das trockene Meso- und Mikroklima der Stadt beeinflußt sind.

## 10. Literaturverzeichnis

AERODATA-BIONET – 1998 – Bioindikation mit Flechten – Jugendliche untersuchen Luftqualität. Arb.gemeinsch. Bioindikation, 106 S., Hannover.

ARNDT, U., W. NOBEL & B. SCHWEIZER – 1987 – Bioindikatoren: Möglichkeiten, Grenzen und neue Erkenntnisse. 388 S., Stuttgart.

BARKMANN, J. – 1958 – Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes. 1-127, Assen.

BESCHEL, R. – 1958 – Flechtenvereine der Städte. Stadtflechten und ihr Wachstum. – Ber. nat. med. Ver. Innsbruck. **52**: 1-158.

BRESINSKY, A. – 1980 – Pflanzen als Umweltzeiger. Der Mensch und seine Umwelt. – Schriftenr. d. Univ. Regensburg **2**: 61-85.

BRAUN-BLANQUET, J. – 1964 – Pflanzensoziologie. 865 S., Wien, New York.

DITTMANN, Ch. – 1982 – Regensburg, Stadtklima und Luftverschmutzung. – Acta Albert. Ratisbon. **41**: 336 S.

DUNK, K. V. D. – 1994 – Sukzession und Konkurrenz von Moosen und Flechten. – Hoppea, Denkschr. Regensb. Bot. Ges. **55**: 541-559.

EHRENDORFER, F., W. MAURER & R. u. E. KARL – 1971 – Rindenflechten und Luftverunreinigung im Stadtgebiet von Graz. – Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark **100**: 151–189.

ELLENBERG, H. – 1979 – Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. 2. Aufl., Scripta Geobotanica **9**: 122 S.

FLADE, M. – 1994 – Die Brutvogelgemeinschaften Mittel- und Norddeutschlands. Grundlagen für den Gebrauch vogelkundlicher Daten in der Landschaftsplanung. 458 S., Eching.

GOPPEL, Ch. – 1976 – Verbreitung und Ökologie von Rindenflechten im Stadtgebiet von Regensburg – Ihr Zeigerwert für Stadtklima und Luftverschmutzung. – Hoppea, Denkschr. Regensb. Bot. Ges. **35**: 5-102.

GOPPEL, Ch. – 1984 – Emittentenbezogene Flechtenkartierung im Stadtgebiet von Laufen. – Ber. ANL **8**: 4-21, Laufen.

GOPPEL, Ch. – 1988 – Luftbelastung in einem Stadtteil. – Schriftr. Unterricht Biologie (UB) **131**/12: 36-40, Seelze.

GOPPEL, Ch. – im Druck – Wie rein ist unsere Luft? Luftuntersuchungen mit Flechten. Manuskript für die ISB-Handreichung: Umweltprojekte im Unterricht. München.

GUDERIAN, R., K. KÜPPERS & R. SIX – 1985 – Wirkungen von Ozon, Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid auf Fichte und Pappel bei unterschiedlicher Versorgung mit Magnesium und Kalzium sowie auf die Blattflechte *Hypogymnia physodes*. – VDI-Bericht **560**: Waldschäden, 657-701.

HERZIG, R., L. LIEBENDÖRFER & M. URECH – 1987 – Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz: Methoden, Evaluation und Eichung mit wichtigen Luftschadstoffen. – VDI Berichte **609**: 619-639, Bern.

HERTEL, H. – 1997 – Vorwort zur „Anleitung zur Flechtenkartierung nach der Schüler-Methode". Tu was-Arbeitskreis der Volkshochschule-Grafing, S. 5 ff.

JÜRGING, P. – 1975 – Epiphytische Flechten als Bioindikatoren der Luftverunreinigung. Bibliotheca Lichenologica **4**: 174 S., Lehre.

KANDLER, O. & J. POELT – 1984 – Wiederbesiedelung der Innenstadt von München durch Flechten. – Naturwissenschaftliche Rundschau **37/3**: 90-95.

KILIAS, H. – 1974 – Die epiphytische Flechtenvegetation im Stadtgebiet von Erlangen. – Hoppea, Denkschr. Regensb. Bot. Ges. **33**: 99-170.

KIRSCHBAUM, U. – 1995 – Immissionsbezogene Flechtenkartierung von Hessen nach der neuen VDI-Richtlinie 3799 Blatt 1. – Staub-Reinhaltung der Luft **55**: 305-309.

KIRSCHBAUM, U. & V. WIRTH – 1997 – Flechten erkennen – Luftgüte bestimmen. 128 S., Stuttgart.

KLEMENT, O. – 1950 – Zur Flechtenvegetation der Oberpfalz. – Ber. Bayer. Bot. Ges. **28**: 250-275.

KLEMENT, O. – 1955 – Prodromus der mitteleuropäischen Flechtengesellschaften. – Feddes Repert., Beitr. z. Veg.kunde **1-2**: 5-194.

KÖSTNER, B. & O. L. LANGE – 1986 – Epiphytische Flechten in Bayerischen Waldschadensgebieten des nördlichen Alpenraumes. Floristisch-soziologische Untersuchungen und Vitalitätstests durch Photosynthesemessungen. – Ber. ANL **10**: 1-64, Laufen.

KUNZE, M. – 1974 – Flechten als Indikatoren für Luftverunreinigung. Beih. Veröff. Landesst. Natursch. u. Landschaftspf. Baden-Württemberg. 27 S., Ludwigsburg.

LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ, BAYER. (LFU) – 1985 – Belastungsgebiet Regensburg – Emissionskataster, Immissionskataster. 163 S., München.

LEBLANC, F. & J. DESLOOVER – 1970 – Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses. – Can. J. Bot. **48**: 1485-1496.

LEBLANC, F. & D. RAO – 1973 – Evaluation of the pollution and drought hypotheses in relation to lichens and bryophytes in urban environments. – Bryologist **76**: 1-19.

LIEBENDÖRFER, L. – 1989 – Schüler/innen untersuchen Flechten als Zeiger der Luftqualität – Ergebnisse des WWF-Projekts Flechtenkartierung 1988. Arbeitsgem. Bioindikation, Bern.

MACHER, M. – 1987 – Flechtenwuchszonen und Entwicklung der Luftqualität in München ab 1890. VDI-Koll. „Bioindikation – Wirkungsbezogene Erhebungsverfahren für den Immissionsschutz". Okt. 1986, Freising-Weihenstephan.

MACHER, M. – 1992 – Epiphytische Flechten im Nationalpark Bayerischer Wald. – Schriftenr. Bayer. Staatsmin. Ernährung, Landw. u. Forsten **13**: 113 S., Grafenau.

MACHER, M. & L. STEUBING – 1986 – Flechten als Bioindikatoren zur immissionsökologischen Waldzustandserfassung im Nationalpark Bayerischer Wald. – Verh. Ges. Ökol. **14**: 335-342.

NOBEL, W., R. WORM, C. SCHRITZ, J. BERON & C. NITSCHKE – 1999 – Flechtenkartierung nach VDI 3799: Methodische Modifikationen und Grundlage für eine ökologische Stadtplanung. – Verh. Ges. Ökologie **29**: 571-577.

RABE, R. – 1985 – Wiederbesiedelung des Ruhrgebietes durch Flechten zeigt Verbesserung der Luftqualität an. – Staub Reinh. Luft **45** (3): 124-126.

SCHMID, A. – 1956 – Die epixyle Flechtenvegetation von München. Diss. Univ. München.

SCHÖLLER, H. – 1993 – Kritische Anmerkungen zum Einsatz von Flechten als Bioindikatoren für Luftschadstoffe. – Schriftenr. Natur und Museum **10**/93, Frankfurt.

SCHUSTER, G. – 1985 – Die Jugendentwicklung von Flechten. – Bibliotheca Lichenologica **20**: 194 S., Vaduz.

STADT REGENSBURG – 1989 – Umweltschutzbericht Regensburg – Luftreinhaltung.

STADT REGENSBURG (Hrsg.) – 1997 – Leben in Regensburg – Ergebnisse der Bürgerbefragung 1996. Amt für Stadtentwicklung, 91 S.

SUKOPP, H. & R. WITTIG (Hrsg.) – 1998 – Stadtökologie – Ein Fachbuch für Studium und Praxis. 473 S., Stuttgart.

TÜRK, R., V. WIRTH & O. L. LANGE – 1974 – $CO_2$-Gaswechseluntersuchungen zur $SO_2$-Resistenz von Flechten. – Oecologia **15**: 33-64.

TÜRK, R. &. G. ZIEGELBERGER – 1982 – Die Luftqualität im Stadtgebiet von Salzburg, dargestellt anhand der Verbreitung epiphytischer Flechten. – Schriftenrh. Luftgüteunters. Amt d. Salzb. Landesreg: 78-141, Salzburg.

UMWELTBUNDESAMT – 1997 – Daten zur Umwelt: S. 150 ff, Berlin.

VDI-RICHTLINIE 3799, Blatt 1 – 1995 – Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten – Flechtenkartierung zur Ermittlung des Luftgütewertes (LGW) – VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Berlin.

WILMANNS, O. – 1962 – Rindenbewohnende Epiphytengemeinschaften in Südwestdeutschland. – Beitr. naturk. Forsch. SW-Deutschl. **21**/2: 87-164.

WINDISCH, U. & A. VORBECK – 1996 – Flechten als Bioindikatoren der Luftgüte in Bayern. – Schriftenr. i. A. d. Bayer. Landesamts f. Umweltsch. (LfU), 62 S., München.

WIRTH, V. & R. TÜRK – 1974 – Der Einfluß des Wasserzustandes und des pH-Wertes auf die $SO_2$-Schädigung von Flechten. – Verh. Ges. Ökol.: 173-179, Erlangen.

WIRTH, V. – 1980 – Flechtenflora, ökologische Kennzahlen und Bestimmung der Flechten Südwestdeutschlands und angrenzender Gebiete. UTB **1062**: 552 S., Stuttgart.