Mitt. d. Ver. f. Naturwiss. u. Math. Ulm (Donau)	36/37: 145 - 166	1993/95

Flechten als Indikatoren für Änderungen der Luftqualität am Beispiel der Städte Ulm und Neu-Ulm

Von

Günter Barnikel
Hermann Muhle
Universität Ulm

In memoriam Prof. Dr. Sieghard Winkler

Lichens as bioindicators for changes of air quality in the cities of Ulm and Neu Ulm (Baden-Württemberg / Bavaria, Southern Germany)

Keywords: bioindicators, lichen, air pollution, sulphur dioxide

Abstract: Due to their special morphology and physiology, lichens are able to indicate components of acid air pollution especially sulphur dioxide. In Southern Germany liehen Vegetation growing as epiphytes on maple trees like *Acer platanoides*, *Acer pseudoplatanus*, on ash (*Fraxinus excelsior*) or poplar (*Populus nigra)* was mapped. The investigated plots yielded 40 species. In the build up urban area only scarce liehen Vegetation could be demonstrated. Low species diversity and reduced liehen coverage was found in the cities, whereas in the less populated suburban areas lichens showed an increase in species richness. An inner city-zone devoid of lichens could not be demonstrated. In the north-eastern part of the inner city a markedly acidophytic liehen Vegetation was present. The mapping data of 1990 were compared with results of a previous study ten years ago. An interesting tendency was shown that some species especially less sensitive lichens returned from the fringe areas of the cities. Some less tolerant species show either no distribution changes or only on a few sites local extinction.
If the air pollution level persists epiphytic liehen Vegetation the less populated mountain sites of the Swabian Alb will further impovrish and become more and more similar to the hemerophytic liehen Vegetation present in polluted urban sites.

Zusammenfassung

Flechten eignen sich wegen ihrer besonderen Morphologie und Physiologie zur Bioindikation saurer Luftverunreinigungen, insbesondere Schwefeldioxid.
Im Bereich der süddeutschen Städte Ulm und Neu-Ulm wurden die Rindenflechten auf *Acer platanoides* L. (Spitzahorn), *Acer pseudoplatanus* L. (Bergahorn), *Fraxinus excelsior* L. (Esche) und *Populus nigra* L. (Schwarzpappel) kartiert. Innerhalb der untersuchten Stammflächen ließen sich 40 Arten nachweisen.
Im Stadtgebiet konnten zwei "Kampfzonen" abgegrenzt werden, die sich durch reduzierte Artenzahl und Deckung der Flechten deutlich vom Umland abhoben. Eine "Flechtenwüste", also eine völlig flechtenfreie Zone, war nicht vorhanden.
Im Nordosten des Stadtzentrums (also im "Lee") war eine deutlich acidophile Flechtenvegetation nachweisbar.
Der Vergleich mit einer etwa 10 Jahre zurückliegenden Kartierung ließ erkennen, daß im Stadtgebiet eine (Wieder-)Ausbreitung einiger eher unempfindlicher Flechtenarten stattgefunden hat. Mehrere sensiblere Arten zeigten jedoch eine Stagnations- oder Rückzugstendenz.
Bei Fortbestand der momentanen Immissionssituation ist eine Angleichung der Flechtenvegetation zwischen Stadt und Umland - bei insgesamt weiterer Artenverarmung - zu erwarten.

Einleitung

Die große Bedeutung von Flechten für die Bioindikation liegt in ihrer besonderen morphologisch-physiologischen Organisation begründet. Das diffizile Gleichgewicht zwischen den Symbiosepartnern Alge und Pilz wird leicht durch veränderte Umweltbedingungen gestört. Da eine Cuticula oder vergleichbare Schutzhüllen fehlen, werden Schadstoffe über die gesamte Oberfläche aufgenommen und gegebenenfalls im Flechtenthallus über lange Zeit hinweg angereichert.
Ein erheblicher Rückgang der Flechtenvegetation industrialisierter Großstädte wurde bereits in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts konstatiert (GREMDON 1859 nach GILBERT 1973, NYLANDER 1866). Hauptursache für diese Erscheinung sind nicht - wie zeitweilig vermutet - stadtklimatische Effekte, sondern die anthropogenen Schwefeldioxidemissionen (HAWKSWORTH und ROSE 1970). Negative Auswirkungen auf die Flechtenvegetation können jedoch auch andere Luftschadstoffe haben, insbesondere wenn sie in Kombination auf- treten. Dies gilt etwa für Stickoxide und Ozon (NASH 1976, BURKHARDT 1987) oder auch für bestimmte Metallionen wie Blei und Kupfer (HERZIG, LIEBENDÖRFER und URECH 1987). Gleichfalls schädlich, jedoch von eher lokaler Bedeutung, sind Fluor- und Chlorwasserstoffdämpfe sowie massiver Staubanflug (GILBERT 1971, 1976; BÖRTITZ und RANFT 1972; JÜRGENG 1975). Von erheblicher Schadwirkung ist ferner der großflächige Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden (WIRTH 1976).
Die vorliegende Arbeit soll zeigen, wie mit Hilfe einer Kartierung der epiphytischen Flechtenvegetation in einem städtischen Raum Zonen unterschiedlich starker Luftbelastung nachgewiesen werden können. Sind bereits Kartierungen in früheren Jahren durchgeführt worden (DIEM 1981,

UHL 1981, DIEM, MUHLE und WINKLER 1983), lassen sich zugleich auch Rückschlüsse auf längerfristige Änderungen der Luftqualität ziehen.
Den folgenden Darstellungen liegen die Ergebnisse zweier Diplomarbeiten zugrunde, die in der Abteilung Spezielle Botanik (Biologie V) der Universität Ulm entstanden sind (BARNIKEL 1990, GERSTENLAUER 1990).

Material und Methoden Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfaßt mit 96 Quadratkilometern das Stadtgebiet von Ulm/Donau (Baden-Württemberg) sowie Teile von Neu-Ulm (Bayern) mit dem näheren Umland (siehe Abb. 1). Seine Begrenzungen entsprechen - bis auf eine Erweiterung nach Norden - den von DIEM und UHL (1981) getroffenen Festlegungen.
Der Norden des untersuchten Gebietes wird von der Ulmer Flächenalb eingenommen. Südlich der Donau schließen sich Schwemmfächer der Iller sowie Ausläufer der Schotterterrassen des Alpenvorlandes an. Der höchste Geländepunkt wird mit 618 m am Eselsberg erreicht, der tiefste mit 459 m am Ostrand des Untersuchungsgebietes (Donaupegel).

Flechtenkartierung

Kartiert wurde der epiphytische Flechtenbewuchs folgender Baumarten: *Fraxinus excelsior* L. (Esche), *Acer platanoides* L. (Spitzahorn), *Acer pseudoplatanus* L. (Bergahorn), an einigen Standorten auch *Populus nigra* L. (Schwarzpappel bzw. deren Hybriden).
Ausgewählte Bäume mußten folgende Bedingungen erfüllen (vgl. HEIDT 1978):
- Stammdurchmesser möglichst zwischen 30 und 70 cm, keinesfalls unter 20 cm
- Arttypische Wuchsform, höchstens 10° Stammneigung
- Unbeschädigte Borke, keine baumchirurgischen Maßnahmen
- Freier Stand (keine Waldbäume!)

Der Flechtenbewuchs wurde - unter Vermeidung von Regenabläufen und stärkerem Moosbewuchs - an der bestbewachsenen Stammseite aufgenommen (in Mitteleuropa ist dies als Folge der vorherrschenden Wind- und Niederschlagsrichtung meist Südwesten oder Westen). Auf drei in 1 - 2 m Höhe übereinander am Stamm fixierten, durchsichtigen Folien (Größe jeweils 20 x 20 cm) wurden die Thalluskonturen der Flechten mit farbigen, wasserfesten Stiften nachgezeichnet. Die Flechtendeckung war dann über einem Gitternetz mit 1 cm^2 - Raster zu ermitteln. Dazu mußten die Schnittpunkte der Flechtenthalli mit den Kreuzungspunkten des unterlegten Gitters ausgezählt und in den prozentualen Anteil der Gesamtfläche umgerechnet werden (Punktfrequenzmethode).
Je Standort wurden stets mehrere Bäume kartiert (im Mittel etwa 5) und zu einer "Station" zusammengefaßt. An 94 Stationen wurden insgesamt 475 Bäume untersucht (Artenverteilung: Spitzahorn 169, Bergahorn 143, Esche 116 und Schwarzpappel mit 47 Exemplaren). Der Maximalabstand zwischen Bäumen einer Station betrug 300 m, lag aber meist - besonders im Stadtbereich - deutlich darunter.

Die Freilandarbeiten fanden weitgehend im Sommerhalbjahr 1989 statt.

Ergebnisse

Artenliste der kartierten epiphytischen Flechten

Die Auflistung der kartierten Flechtenarten erfolgt in alphabetischer Reihenfolge (Nomenklatur vgl. WIRTH 1980 und 1987).
Unterstrichene Arten wurden an mindestens 5 Stationen kartiert. Innerhalb der kartierten Stammflächen wurden insgesamt 40 Flechtenarten vorgefunden:

Anaptychia ciliaris (L.) KOERBER (Abb. 8)
Brvoria cf. *fuscescens* (GYELNIK) BRODO & HAWSKWORTH
Caloplaca cerina (EHRH. ex HEDWIG) TH. FR.
Candelaria concolor (DICKSON) STEIN
Candelariella xanthostigma (ACH.) LETTAU (Abb. 9)
Cladonia cf. *chlorophaea* (FLÖRKE ex SOMMERF.) SPRENGEL
Evernia prunastri (L.) ACH. (Abb. 10)
Lecanora atra (HUDSON) ACH.
Lecanora carpinea (L.) VAINIO
Lecanora conicaeoides NYL. ex CROMBIE (Abb. 12)
Lecanora hageni (ACH.) ACH.
Lecanora subfusca coli. Hauptsächlich mit folgenden Kleinarten vertreten:
L. allophana (ACH.) NYL., *L. chlarotera* NYL., *L. pulicaris* (PERS.) CH.,
L. subfuscata MAGNUSSON, *L. subrugosa* NYL
Lecidella elaeochroma (ACH.) HAZSL. (Abb. 13)
Lecidella elaeochroma (ACH.) HAZSL. (Abb. 13)
Leoraria incanal (L.) ACH.
Parmelia acetabulum (NECKER) DUBY
Parmelia exasperatula NYL.
Parmelia subrudecta NYL.

Parmelia sulkatal TAYLOR (Abb. 14)
Parmelia tiliacea (H0FFM.) ACH.
Pertusaria albescens (HUDS0N) CHOJSY & WERNER;
var. *globulifera* (TURNER);
var. *corallina* (ZAHLBR.) LAUND0N
Pertusaria coccodes (ACH.) NYL.
Pertusaria cf. l*eioplaca* (ACH.) De.
Phlyctis argena (ACH.) FLOTOW
Physcia adscendens (FR.) H. OLIV. (Abb. 15)
Physcia aipolia (HUMB.) F0RNR. (Abb. 16)
Physcia *orbicularis* (NECKER) P0ETSCH
Physcia stellaris (L.) NYL.
Physcia tenella(SCOP.) DC.
Physconia enteroxantha (NYL.) P0ELT
Physconia grisea (LAM.) P0ELT
Physconia pulverulacea M0BERG (Abb. 17)
Pseudevernia furfuracea (L.) ZOPF
Ramalina farinacea (L.) ACH. (Abb. 18)
Ramalina fraxinea (L.) ACH.
Scoliciosporum chlorococcum (GRAEWE ex STEIN) VEZDA
Usnea sp. P. BROWNE ex ADANS0N
Xanthoria candelaria (L.) TH. FR.
Xanrhoria parietina (L.) TH. FR. (Abb .. 19)
Xanthoria polycarpa (H0FFM.) RIEBER

Als Folge der Beschränkung auf wenige Baumarten und der notwendigen Standardisierung der Untersuchungsflächen am Stamm sind in der Artenliste nicht alle im Gebiet vorkommenden Rindenepiphyten enthalten. So fehlen hauptsächlich Arten, die auf Borken mit besonderem Chemismus (z. B. Koniferenrinde) oder bestimmter Oberflächenstruktur (etwa glatte Borke) spezialisiert sind.

Die Abb. 1 und 2 zeigen die Zahl der kartierten Flechtenarten pro Station und die mittlere Flechtendeckung an den jeweiligen Standorten (das hier und in den folgenden Karten eingezeichnete 1km^2 - Raster entspricht den Planquadraten der Amtlichen Stadtkarte Ulm/Neu-Ulm, 1987). Aus beiden Abbildungen ist klar ersichtlich, daß vom Umland zum Stadtgebiet hin ein deutliches Gefälle sowohl der Artenzahl, als auch der Flechtendeckung besteht. Völlig flechtenfreie Zonen finden sich aber auch in den Stadtkernen nicht, eine "Flechtenwüste" (SERNANDER 1926) ist also im Untersuchungsgebiet nicht vorhanden.

Abb. 1 Anzahl der kartierten Flechtenarten pro Station

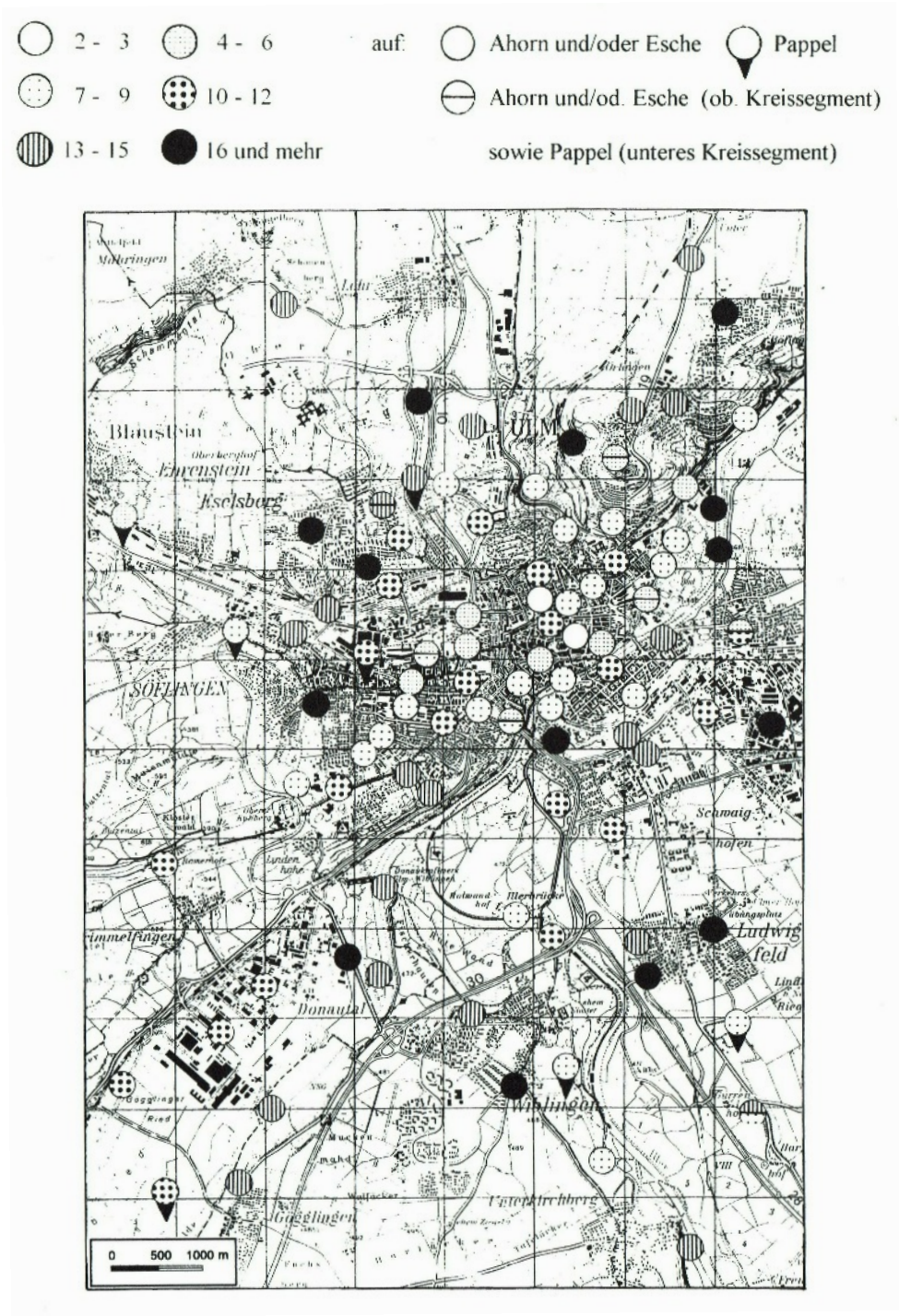
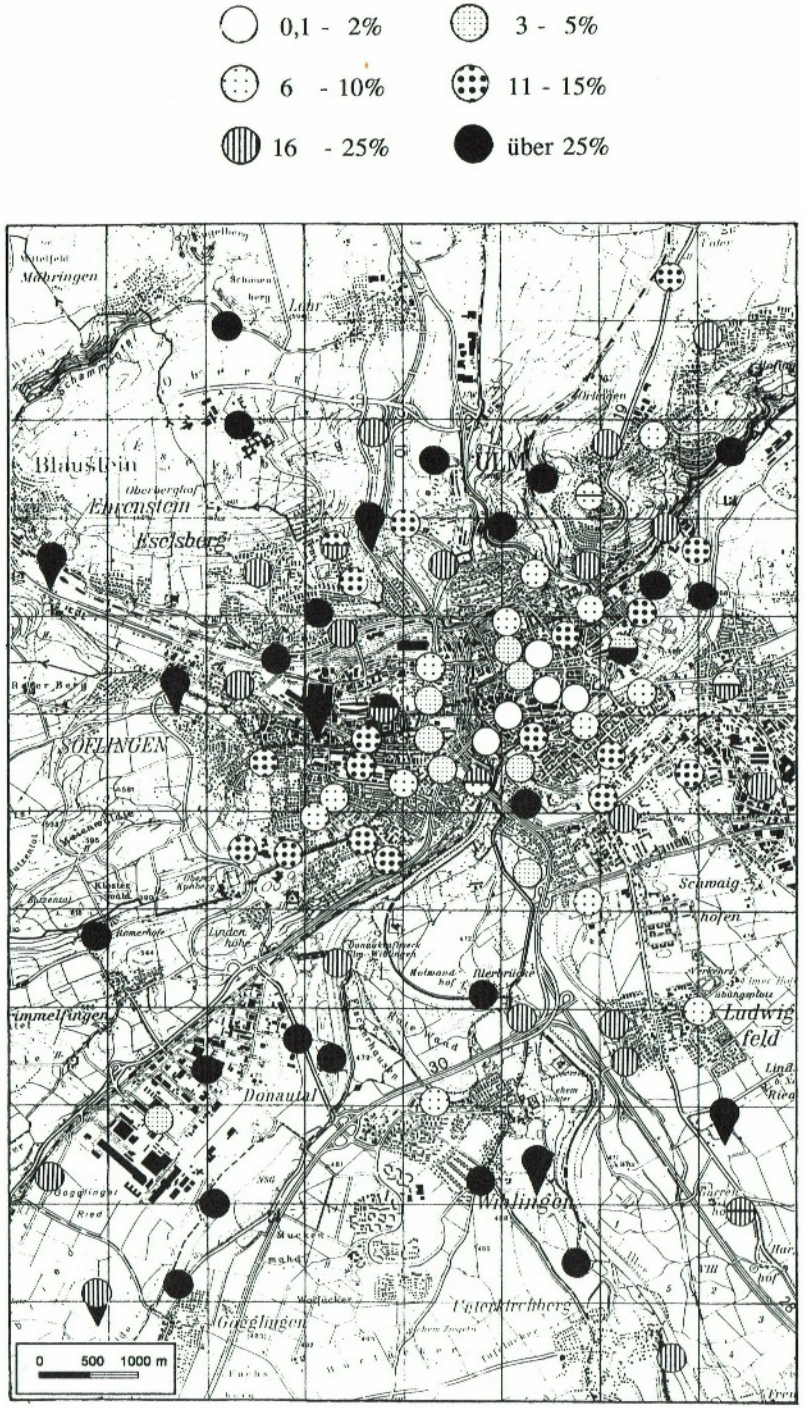


Abb. 2 Deckung der kartierten Flechtenarten pro Station (Baumart vgl. A.. 1)



Diskussion

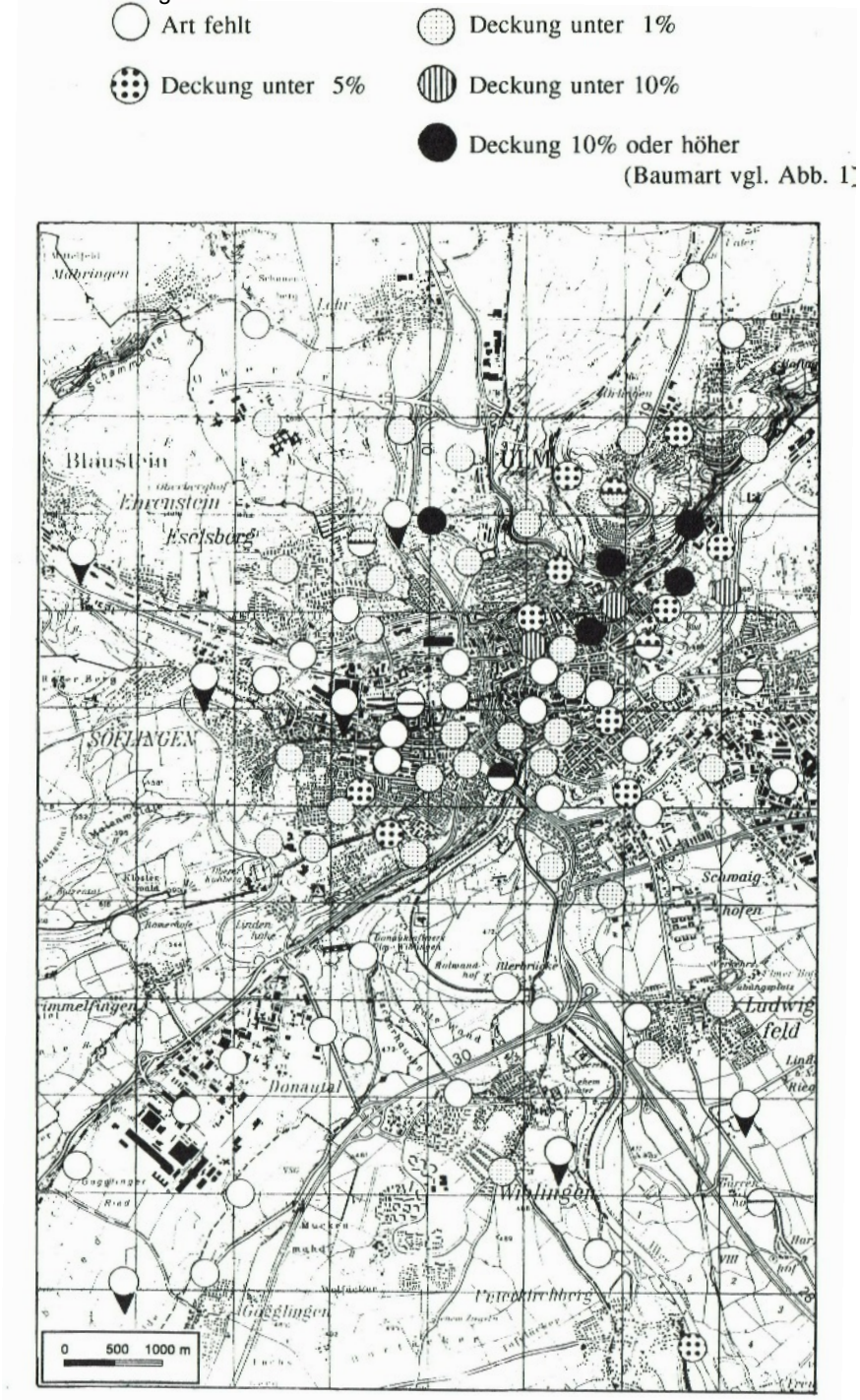
Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, daß verschiedene Baumarten infolge unterschiedlicher Borkenchemie und -Struktur an ein und demselben Standort teilweise stark differierende Flechtengesellschaften tragen können (SKYE 1968).

Die hier gewählten Baumarten *Acer platanoides*, *Acer pseudoplatanus* und *Fraxinus excelsior* sind im gesamten Gebiet verbreitet und einander hinsichtlich ihrer Borkeneigenschaften wie pH, Pufferkapazität und Nährstoffgehalt relativ ähnlich (SKYE 1968, BRODO 1973, WIRTH 1980, LINK 1981). Daher ist eine zusammenfassende Betrachtung der Flechtenvegetation dieser drei Arten zulässig, auch zum besseren Vergleich mit der Kartierung von 1981, denn DIEM und UHL verfuhren damals entsprechend.

Die an einigen Standorten ebenfalls einbezogene *Populus nigra* trägt - vor allem infolge ihrer basischen Rinde (LINK 1981) - einen im gesamten Gebiet sehr gleichförmigen Flechtenbewuchs. Dieser ist geprägt durch (sub-) neutrophile bis basophile Arten (vgl. WIRTH 1980), wobei Vertreter der Gattung *Physcia (Ph. tenella, Ph. adscendens* und *Ph. orbicularis)* sowie *Physconia grisea* und *Xanthoria parietina* dominieren. Selbst innerstädtisch treten an *Populus* oft auffallend hohe Flechtendeckungen auf (vgl. Abb. 1 und 2), ein Hinweis auf die ausgeprägten Pufferungseigenschaften dieses Substrates gegenüber sauren Immissionen. Die Borken der drei anderen untersuchten Baumarten besitzen demgegenüber niedrigere pH-Werte und geringere Pufferkapazität.

Vor allem im Osten und Nordosten Ulms läßt sich eine ausgeprägte Verschiebung des Artenspektrums hin zu stärker säureliebenden Arten beobachten. Dies wird besonders deutlich anhand der Verbreitung der Krustenflechte *Lecanora conizaeoides* (Abb. 3 und 12). Diese Art besitzt als toxitoleranteste und säureliebendste aller Flechtenarten eine hohe Affinität zu urbanen Regionen (und steht damit im Gegensatz zu fast allen übrigen Flechtenarten!). Vielfach wird sie als Mutante angesehen, die erst im Industriezeitalter entstanden ist (WIRTH 1976, SEITZ 1980). Im Ulmer Raum tritt sie im engeren Stadtgebiet teilweise großflächig auf, außerhalb davon nur spärlich. Ihr Verbreitungsschwerpunkt im Osten und Nordosten Ulms weist darauf hin, daß dort (infolge der vorherrschenden SW - Winde) eine verstärkte Deposition der städtischen, sauren Immissionen stattfindet.

Abb. 3 Verbreitung der KrustenflechteLecanoraconizaeoides NYL. ex Crombie



Mit Hilfe der auf Ahorn und Esche kartierten Blatt- und Strauchflechtenarten wurde eine Karte entwickelt, die Deckung und Artenzahl pro Station berücksichtigt. Es lassen sich folgende Zonen voneinander abgrenzen (Abb. 4):

"INNERE KAMPFZONE" (Deckung bis 5%, maximal 6 Arten pro Station):
Sie umfaßt große Teile der Ulmer Alt- und Oststadt, fehlt jedoch in Neu-Ulm. Neben der stellenweise dominierenden *Lecanora conizaeoides* treten nur wenige weitere Krustenflechtenarten auf. Bei den Blattflechten sind einige toxitolerante und staubresistente Arten zwar regelmäßig und häufig anzutreffen, oft aber nur schlecht entwickelt (hauptsächlich: *Hypogymnia physodes, Parmelia sulcata* und *Parmelia exasperatula, Physcia tenella* und *Physcia adscendens* sowie *Xanthoria parietina).* Strauchflechten fehlen völlig.

"ÄUSSERE KAMPFZONE" (Deckung bis 15%, maximal 8 Arten pro Station).
Zu ihr gehören Teile der Ulmer Weststadt sowie Neu-Ulms. Deutliche Einbuchtungen an Blau, Donau und Örlinger Tal lassen die wichtige Funktion der Flußläufe bzw. Täler als "Frischluftkanäle" erkennen.
Zum Artenspektrum der "Inneren Kampfzone" treten einige weitere Arten hinzu, teilweise aber nur verkrüppelt (z. B. *Evernia prunastri, Pseudevernia furfuracea).* Etliche anspruchsvollere Arten fehlen aber weiterhin. Die äußere Zonenbegrenzung wird etwa durch das Vorkommen der Bartflechte *Usnea* sp. (in extremer Kümmerform) markiert.

"NORMALZONE" (Mindestens 9 Arten pro Station).
Sie umfaßt den größten Teil des Untersuchungsgebietes. Auch hier herrschen allerdings keine Idealbedingungen für die Flechtenvegetation, was an den permanenten Kümmerstadien einiger sensibler Arten erkennbar wird (z. B. *Ramalina* und *Usnea* spp.). Robustere Arten sind jedoch mit gut entwickelten Thalli anzutreffen.

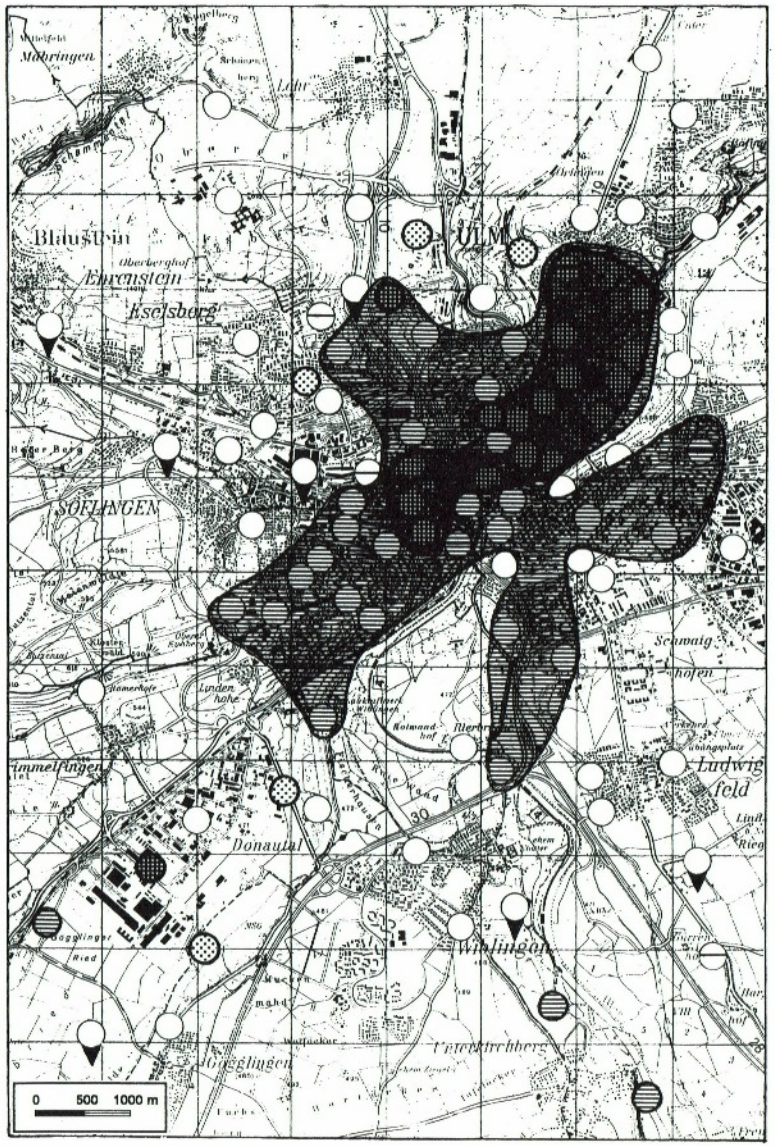
Abb.4 Flechtenzonen auf Grundlage der Batt- und Strauchflechten (auf Ahorn und Esche)

Deckung bis 5%, maximal 6 Arten pro Station ("Innere Kampfzone")

Deckung bis 15%, maximal 8 Arten pro Station ("Äußere Kampfzone")

Mindestens 9 Arten pro Station ("Normalzone")

Stationen mit vergleichsweise reicher Flechtenvegetation (Deckung über 25%, mindestens 10 Arten)



Vereinzelt (Donautal, Albsüdrand) finden sich Standorte mit überdurchschnittlich reicher Flechtenvegetation, stets an älteren Bäumen und oft in mikroklimatisch günstiger Lage. Andererseits (z. B. im Industriegebiet Donautal) gibt es auch außerhalb der Stadtkerne Stellen mit schlecht entwickelter Flechtenvegetation.

Die Vergleichbarkeit mit der von DIEM (1981) entworfenen Zonenkarte (Abb. 5) ist dadurch eingeschränkt, daß dort nur die Deckung, nicht aber die Artenzahl der Blatt- und Strauchflechten zugrunde gelegt wurde. Dennoch ist erkennbar, daß die Flechtenvegetation sowohl im Ulmer Westen als auch in Neu-Ulm (dort Wegfall einer "Inneren Kampfzone") Erholungstendenzen aufweist. Im Osten Ulms ist jedoch ein eher negativer Trend festzustellen; auch eine Optimalzone im Südwesten des Gebietes ist zumindest in diesem Umfang nicht mehr nachweisbar.

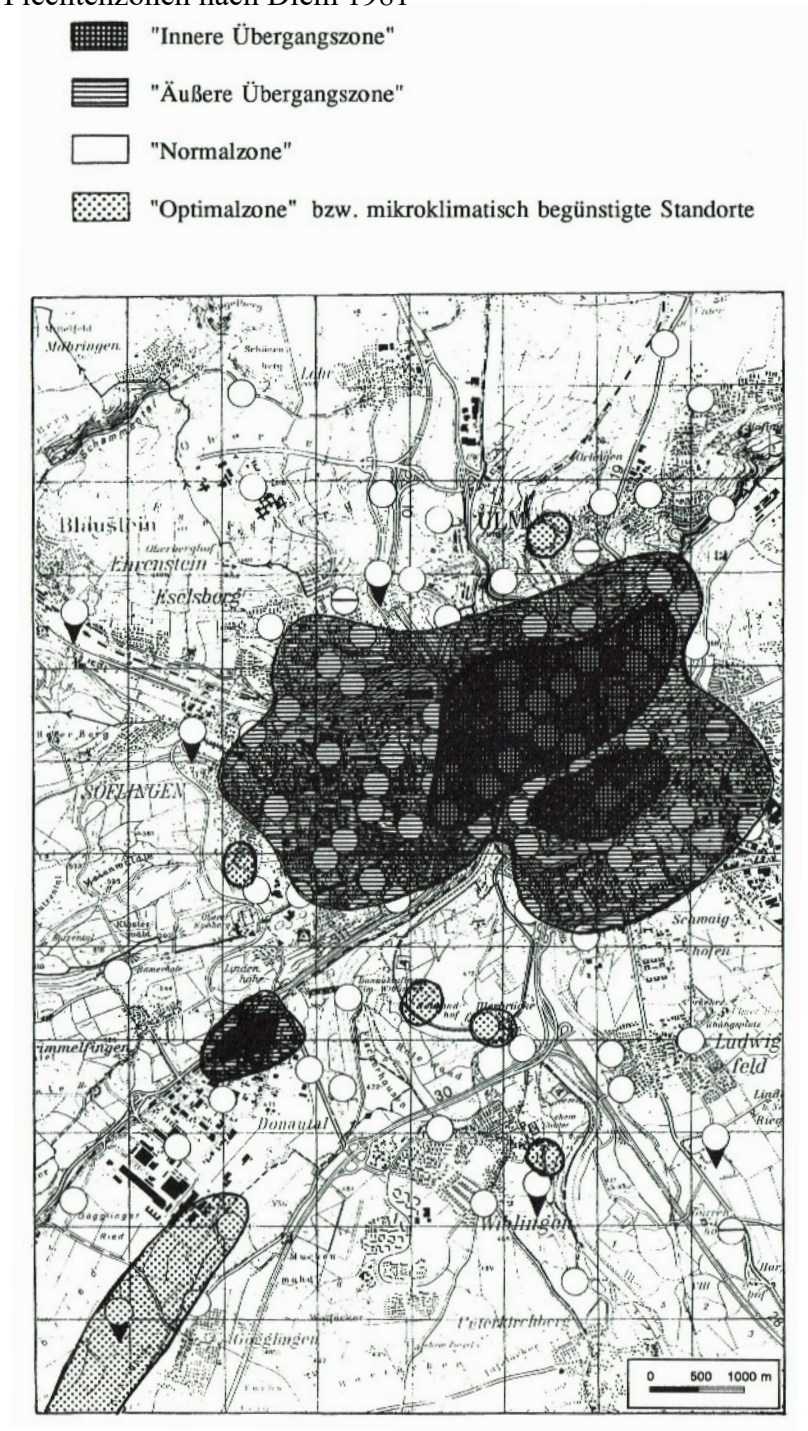
Eine differenzierte Beurteilung wird anhand der von DIEM vorgelegten Artverbreitungskarten möglich (Lage und Anzahl der Kartierungspunkte decken sich weitgehend).
Bei 30 Flechtenarten ist ein direkter Vergleich sinnvoll; die übrigen Arten werden aus ökologischen oder methodischen Erwägungen, die hier nicht näher diskutiert werden sollen, ausgespart. Es kristallisieren sich dabei - artspezifisch unterschiedlich - folgende Tendenzen heraus:

<u>A) Keine signifikanten Veränderungen hinsichtlich Verbreitung/Häufigkeit</u>
Candelaria concolor, Lecidella elaeochroma, Parmelia subrudecta, Pertusaria albescens, Physconia grisea, Physconia pulverulacea, Usnea sp.

<u>B) Klar erkennbare Häufigkeitszunahme bzw. Ausbreitungstendenz</u>
Candelariella xanthostigma, Hypogymnia physodes, Lecanora hageni, Lecanora subfusca coli., *Parmelia exasperatula, Parmelia sulcata, Phlyctis argena, Physcia aipolia, Physcia adscendens, Physcia orbicularis, Physcia tenella, Pseudevernia furfuracea, Xanthoria candelaria, Xanthoria parietina.*

<u>C) Klar erkennbare Häufigkeitsabnahme bzw. Rückzugstendenz</u> (teilw. nicht mehr aufge
funden)
Anaptychia ciliaris, Evernia prunastri, Lecanora carpinea, Lecanora symmicta, Parmelia acetabulum, Parmelia caperata, Parmelia flaventior, Parmelia tiliacea, Ramalina farinacea.

Abb. 5 Flechtenzonen nach Diem 1981



Exemplarisch ist die Entwicklung von zwei Arten in Kartenform dargestellt:

Abb 6: Die Blattflechte *Hypogymniaphysodes* (relativ toxitolerant, s. auch Abb. 11) hat die 1981 noch bestehende Verbreitungslücke in der Ulmer Altstadt nunmehr völlig besiedelt.

Abb. 7 Die Strauchflechte *Ramalina farinacea* (immissionssensibel; s. auch Abb. 18) dagegen zieht sich weiter vom Stadtgebiet zurück; insgesamt ist die Anzahl der Fundorte erheblich zurückgegangen.

Bei den Arten mit Ausbreitungstendenz handelt es sich fast ausschließlich um verhältnismäßig $S0_2$-resistente Arten (HAWKSWORTH und ROSE 1970). Dies ist zweifellos eine unmittelbare Konsequenz des Rückgangs der Schwefeldioxidbelastung, der seit den 60er Jahren in mittel- und westeuropäischen Ballungsräumen zu beobachten ist (z. B. HEIDT 1978, KANDLER und POELT 1984). Mittlerweile liegen auch Berichte über eine Wiederbesiedelung zuvor völlig flechtenfreier Innenstädte vor. Besonders gut ist dies für die Städte London (ROSE und HAWKSWORTH 1981) und München (POELT 1992) dokumentiert.

Generell dürfte die heutige Verbreitung vieler Flechtenarten nicht mehr in erster Linie auf SO_z allein, sondern auf Kombinationseffekte mit anderen Luftschadstoffen zurückzuführen sein. Von Bedeutung ist hier sicherlich die zunehmende Stickoxidbelastung. Da Stickoxide überwiegend als Nitrat in den Flechtenkörper aufgenommen werden, wirken sie bei manchen Arten - natürlich in Abhängigkeit von der Konzentration - sogar wachstumsbeschleunigend (MASUCH 1993).

Der insgesamt günstigen Entwicklung der Flechtenvegetation im Ulmer Stadtkern steht eine Stagnations- oder sogar Rückzugstendenz bei einigen sensiblen und teilweise schon seltenen Flechtenarten im Umland gegenüber. Dies weist auf eine nicht unerhebliche Belastung durch Fernimmissionen hin. Gestützt wird dies durch die Beobachtung, daß die Schwefeldioxidkonzentration in ländlichen Räumen Deutschlands im Gegensatz zu den großen Städten nicht zurückgegangen ist; hier war die Belastungssituation der letzten Jahre gleichbleibend bis leicht steigend (BAUMÜLLER et al. 1988). Ein Fortbestand dieser Verhältnisse läßt für die Zukunft eine Nivellierung der epiphytischen Flechtenvegetation zwischen Stadt und Umland erwarten, wobei insgesamt eine weitere Verarmung des Artenspektrums zu befürchten ist.

Abb. 6 Verbreitung der Blattflechte Hypogymnia physodes (L.) NYL.

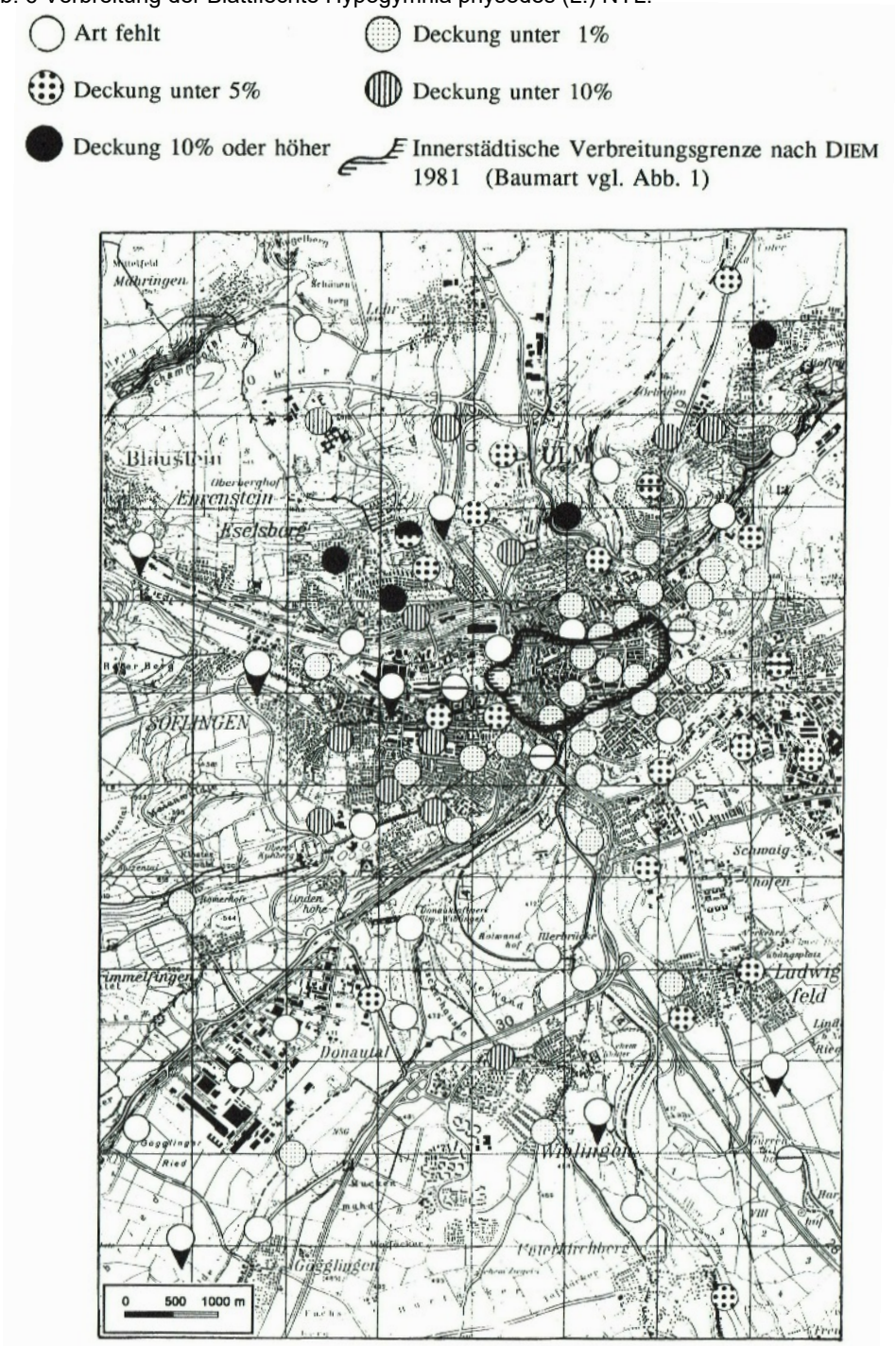


Abb. 7 Verbreitung der Strauchflechte Hypogymnia physodes (L.) NYL.

Abb. 8 Anaptychia ciliaris
(nach OZENDA u. CLAUZADE)

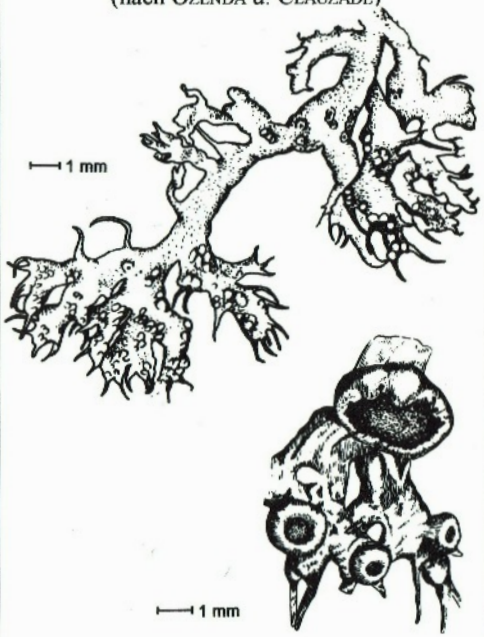


Abb. 9 Candelariella xanthostigma
(nach LINDAU)

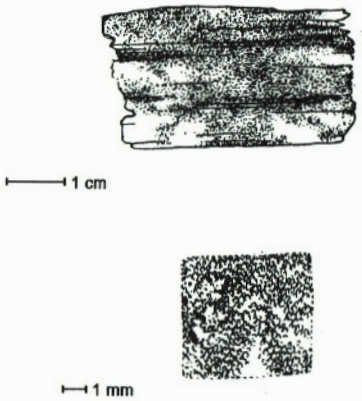


Abb. 10 Evernia prunastri
(nach NOWAK u. TOBOLEWSKI)

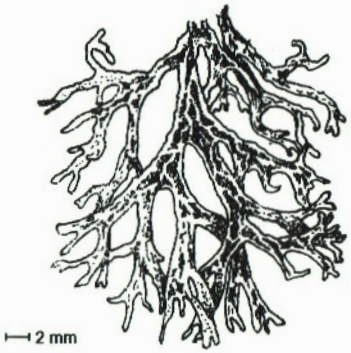


Abb. 11 Hypogymnia physodes
(nach BRODO 1981)

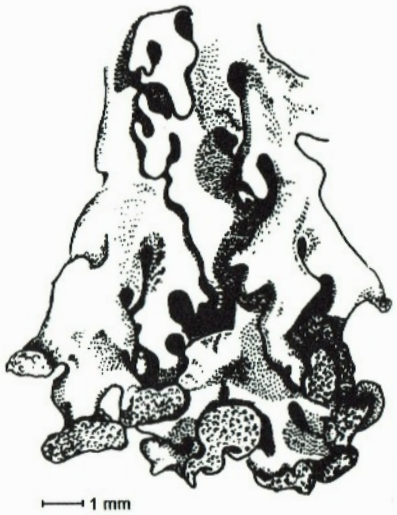


Abb. 12 Lecanora conizaeoides
(nach NOWAK u. TOBOLEWSKI)

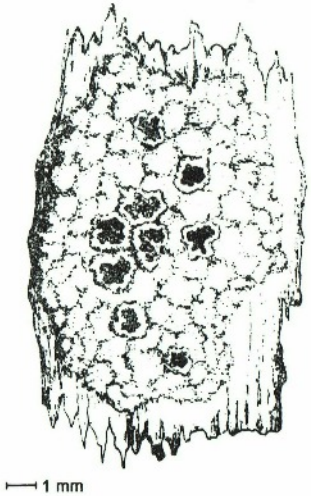


Abb. 13 Lecidella elaeochroma
(nach LINDAU sowie OZENDA u. CLAUZADE)

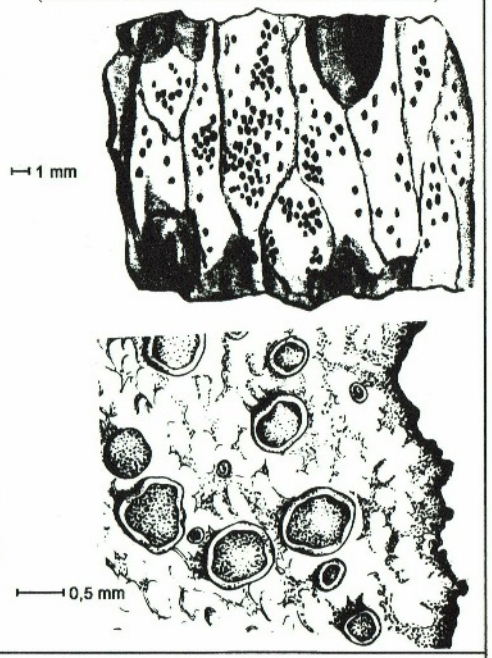
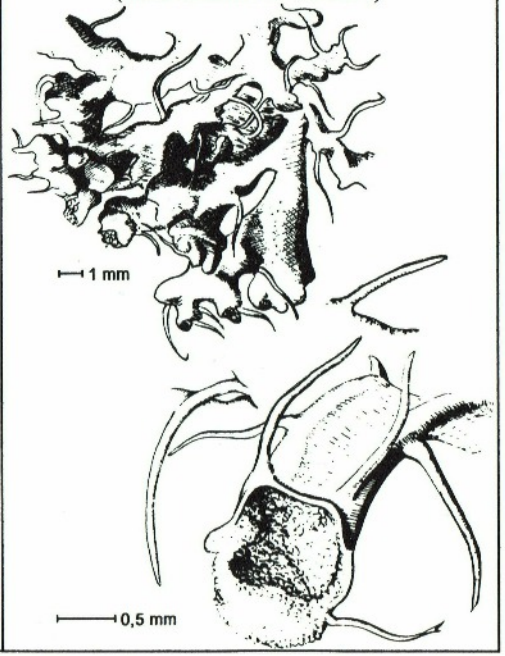


Abb. 14 Parmelia sulcata
(nach BRODO 1981)

Abb. 15 Physcia adscendens
(nach OZENDA u. CLAUZADE)



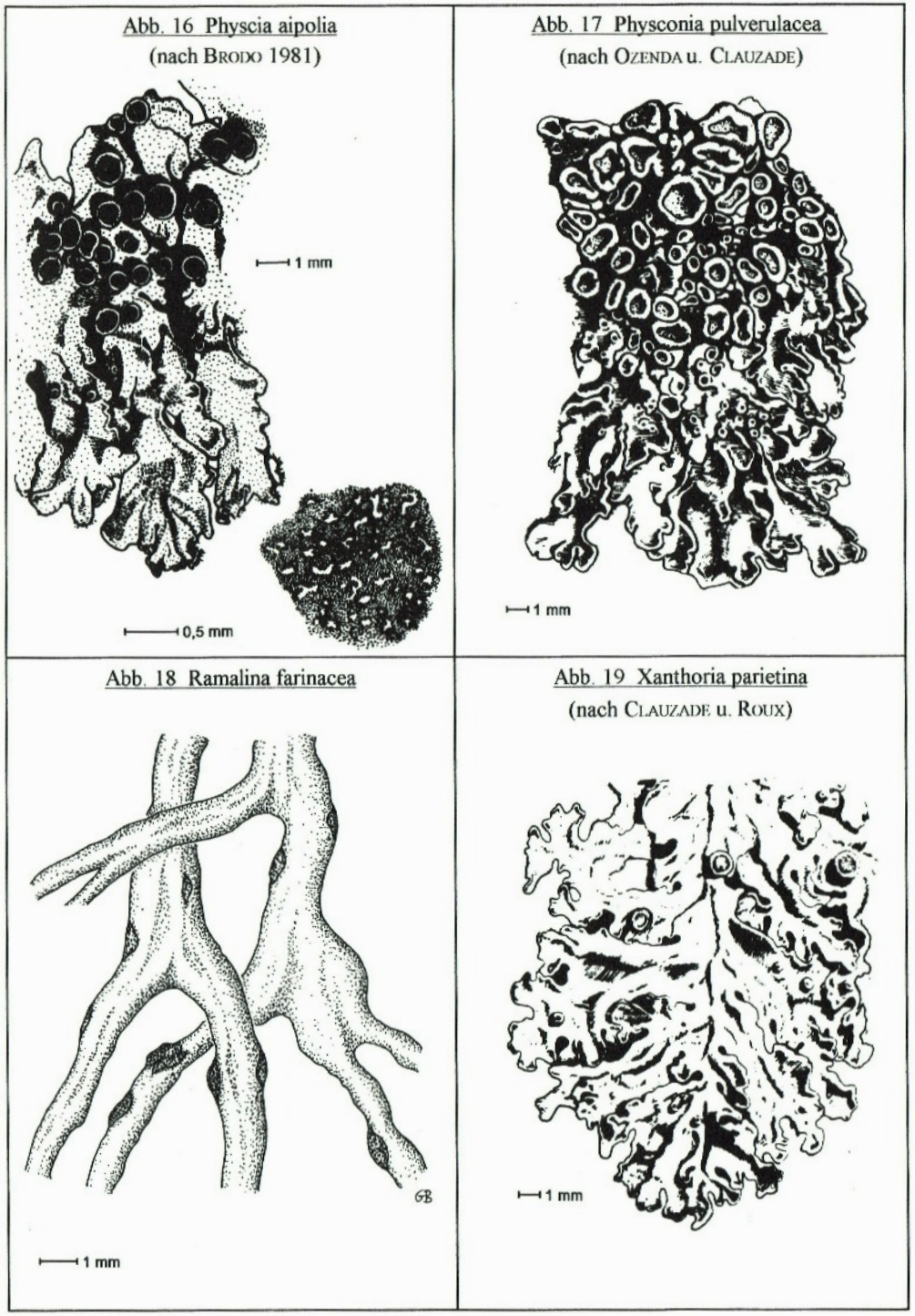


Abb. 16 Physcia aipolia (nach Brodo 1981)

Abb. 17 Physconia pulverulacea (nach Ozenda u. Clauzade)

Abb. 18 Ramalina farinacea

Abb. 19 Xanthoria parietina (nach Clauzade u. Roux)

Literaturverzeichnis

Barnikel, G. (1990): Floristische Veränderungen der Ulmer Flechtenvegetation in den letzten 10 Jahren. Diplomarbeit, Univ. Ulm.

Baumüller, J., Löbel, J., Koch, E., Thiel, W.R. (1988): Emission, Umwandlung, Immission. In: Stadtklima und Luftreinhaltung. Hrsg.: VDI - Kommission Reinhaltung der Luft. Springer, Berlin. 151 - 273.

BÖRTITZ, S., RANFT, H. (1972): Zur $S0_2$- und HF- Empfindlichkeit von Flechten und Moosen. Biol. Zbl. 91: 613 - 623.

BRODO, I. M. (1973): Substrate ecology. In: The Lichens. Hrsg.: AHMADJIAN, V., HALE, M. E. Academic Press, New York/London. 401 - 441.

BRODO, I. (1981): Lichens de la région Ottawa. Syllogeus 29, Musées nat. du Canada, Ottawa.

BURKHARDT, J. (1987): Lufthygienische Schwellenwerte und Bioindikation durch Flechten. In: Bioindikation: Wirkungsbezogene Erhebungsverfahren für den Immissionsschutz. VDI - Berichte 609, Düsseldorf. 715 - 728.

Clauzade, G., Roux, C. (1985): Likenoj de okcidenta europo. Bull. Soc. du Centre-Ouest 7/1985, Royan (France).

DIEM, E. (1981): Biologische und technologische Möglichkeiten zur Erfassung der Luftbelastung in Ulm. Zulassungsarbeit, Univ. Ulm.

Diem, E., Muhle, H., Winkler, S. (1983): Möglichkeiten und Grenzen der Luftqualitätsbewertung mit Hilfe von Flechten. Verh. Ges. Ökol. X: 473-479.

Gerstenlauer, Brigitte (1990): Kritischer Vergleich von Flechtenreaktionen im Ulmer Raum bezüglich der Luftqualität. Diplomarbeit, Univ. Ulm.

Gilbert, O. L. (1971): The effect of airborne fluorides on lichens.

Gilbert, O. L. (1973): Lichens and air pollution. In: The Lichens. Hrsg.: Ahmadjian, V., HALE, M. E. Academic Press, New York/London. 443 - 472.

Gilbert, O. L. (1976): An alkaline dust effect on epiphytic lichens. Lichenologist 8: 173 - 178.

Grindon, L. H. (1859): The Manchester flora. London.

HAWKSWORTH, D. L., ROSE, F. (1970): Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. Nature 227: 145 - 148.

HEIDT, V. (1978): Flechtenkartierung und die Beziehung zur Immissionsbelastung des südlichen Münsterlandes. Biogeographica 12.

HERZIG, R., LIEBENDÖRFER, L., URECH, M. (1987): Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz. In: Bioindikation: Wirkungsbezogene Erhebungsverfahren für den Immissionsschutz. VDI - Berichte 609, Düsseldorf. 619 - 639.

JÜRGING, P. (1975): Epiphytische Flechten als Bioindikatoren der Luftverunreinigung. Bibliotheca Lichenologica 4. J. Cramer, Vaduz.

KANDLER, O., POELT, J. (1984): Wiederbesiedlung der Innenstadt von München durch Flechten. Naturwiss. Rdsch. 37 (3): 90 - 95.

LINDAU, G. (1913): Kryptogamenflora 3: Die Flechten. J. Springer, Berlin.

LINK, U. (1981): Indikatoreigenschaften der Borke in Immissionsgebieten. Zulassungsarbeit, Univ. Ulm.

MASUCH, G. (1993): Biologie der Flechten. Quelle und Mayer, Heidelberg/Wiesbaden.

NASH, T. H. (1976): Sensitivity of lichens to nitrogen dioxide fumigations. Bryologist 79: 103 - 106.

NOWAK, J., TOBOLEWSKI, Z. (1975): Porosty Polskie. Paüstwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa/Krakö w.

NYLANDER, W. (1866): Les lichens du Jardin du Luxembourg. Bull. Soc. Bot. Fr. 13: 364 - 372.

OZENDA, P., CLAUZADE, G. (1970): Les Lichens. Masson et C^ic, Paris.

POELT, J. (1992): Das Problem Stadtklima und Flechten von München aus gesehen. Rundgespräche d. Kommission f. Ökologie 4: 33-38.

ROSE, C. I., HAWKSWORTH, D. L. (1981): Lichen recolonization in London's cleaner air. Nature 289: 289 - 292.

SEITZ, W. (1980): Studien an Rindenflechten und ihrer ökologischen Korrelation zur Luftverunreinigung in einigen Städten Süd(west)deutschlands und Ostfrankreichs. Beitr. Biol. Pflanzen 58: 1 - 46.

SERNANDER, R. (1926): Stockholm's nature. Almqvist and Wikseils, Uppsala.

SKYE, E. (1968): Lichens and air pollution. Acta phytogeogr. suec. 52: 1 - 123.

UHL, R. (1981): Die Flechtenvegetation im Stadtbereich von Ulm. Zulassungsarbeit, Univ. Ulm.

WIRTH, V. (1976): Veränderungen der Flechtenflora und Flechtenvegetation in der Bundesrepublik Deutschland. Schriftenreihe Vegetationsk. 10: 177 - 202.

WIRTH, V. (1980): Flechtenflora. Ökologische Kennzeichnung und Bestimmung der Flechten Südwestdeutschlands. E. Ulmer, Stuttgart.

WIRTH, V. (1987): Die Flechten Baden-Württembergs. E. Ulmer, Stuttgart.

Kartengrundlage:
Topograph. Karte 1:50 000, SAV - Blatt 19 (1987). Hrsg.: Landesvermessungsamt Baden-Württ., Stuttgart.
Amtliche Stadtkarte Ulm/Neu-Ulm 1:20 000, Ausgabe 1987. Hrsg.: Stadt Ulm, Stadtmessungsamt.

Dipl.-Biol. Günter Barnikel
Dr. Hermann Muhle
Universität Ulm
Spezielle Botanik
89069 Ulm