©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

Ber. Bayer. Bot. Ges.	52	15–24	31. Dezember 1981	ISSN 0373-7640

Einige Aspekte zur immissionsbedingten Verbreitung von Flechten im Stadtgebiet von Würzburg

Von U. Hopp und L. Kappen, Würzburg

Einführung

Der Grad der Verarmung der Flechtenvegetation in Städten wird in den meisten Fällen mit qualitativen und quantitativen Erhebungen der Epiphytenvegetation gemessen (z. B. Le Blanc und Rao 1973). Zahlreiche Untersuchungen bestätigen im Prinzip die schon von Sernander (1926) dargestellte Zonierung der Flechtenvegetation in Stadtgebieten: Flechtenwüste – frei von Epiphyten –, Pionier- und Kampfzone – verarmte Epiphytenflora – und Normalzone. In der Normalzone sollen Artenzahl, Artenkombination und Entwicklung der Flechten kennzeichnend für das natürliche Großklima des Untersuchungsgebietes sein (Domrös 1966). Das natürliche Zurücktreten von epiphytischen Arten im Umland einiger mittel- und osteuropäischer Städte lenkte die Aufmerksamkeit der Bearbeiter auch stärker auf das Verhalten von epilithischen Arten hin, von denen die meisten photo- und xerophil sind (Rydzak 1968). Solche Arten können aufgrund ihrer ökologischen Anpassung weit in den Stadtbereich vordringen, und einige von ihnen finden sich noch regelmäßig in der sogenannten Flechtenwüste. Das heißt, daß sie dem wärmeren und trockeneren Stadtklima gewachsen sind und es davon abhängt, inwieweit Immissionen ihre Existenz gefährden, sie also auch in diesem Sinne poleotolerant sind.

Die Stadt Würzburg (ca. 130000 E.) liegt eingetieft in die Muschelkalklagen der Fränkischen Platte. Das Makroklima ist zwar dem Typ nach nicht kontinental, jedoch charakterisiert durch warme Sommer und eine für Mitteleuropa relativ geringe Jahresniederschlagssumme (ca. 600 mm). Die umliegenden Waldgebiete sind inselhaft und nicht sehr reich an epiphytischen Flechten. Demgegenüber ist eine gute Ausbildung von Kalkflechten- und bunten Erd-

Tab. 1

Verhältnis der Wuchsformen epiphytischer Flechten einiger lichenologisch näher untersuchter Städte im mittleren Europa und ihre Beziehung zur mittleren Jahrestemperatur und Jahresniederschlagssumme.

Stadt	Zahl der Epiphyten-arten	crustos %	davon folios %	fruticos %	Jahres-mittel der Lufttemp. °C	Jahres-summe der Nieder-schläge mm	Autor
München	60	31,7	45,0	23,3	7,4	866	Schmid 1956
Hamburg	20	30,0	45,0	25,0	8,5	712	Villwock 1962
Würzburg	37	40,6	37,8	21,6	8,6	600	Hopp 1973
Lublin	32	50,0	40,6	9,4	8,3	495	Rydzak 1968

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

flechtengesellschaften sehr verbreitet (RITSCHEL 1974, 1977). Die calcicolen Flechten bilden einen Grundstock der Vegetation des Würzburger Stadtgebietes (HOPP 1973). Sie wurden bisher nur selten bei Stadtflechtenuntersuchungen berücksichtigt. Unter den von HOPP (1973) im Stadtgebiet von Würzburg insgesamt 90 nachgewiesenen Flechtenarten sind nur 40% epiphytische Vertreter. Besonders hoch ist – im Vergleich zur Epiphytenvegetation ähnlich intensiv untersuchter Städte wie München, Hamburg oder Lublin der Anteil der crustosen Lebensform (Tab. 1). Ein Vergleich mit den Angaben HEPPS (1824) über die Flechtenflora von Würzburg ist wegen der meist vagen Angaben und der Nomenklatur kaum möglich. Von den ausdrücklich im Stadtgebiet von Würzburg genannten Arten (69) sind 44% der crustosen, 36% der foliosen und 20% der fruticosen Lebensform zuzuordnen.

Die relativ hohe Artenzahl der Flechten im Stadtbereich weist darauf hin, daß in Würzburg durch Klima und Substrat ausreichende Lebensbedingungen für Flechten gegeben sind. Radikale Veränderungen oder Lücken der Flechtenvegetation in der Stadt zeigen also an, daß entweder das Substrat gestört wurde, sei es durch Baumaßnahmen, Bauwerkzerstörung oder -reinigung, oder daß durch zu hohe Konzentrationen von Stäuben und Abgasen die Existenz der Flechten vernichtet wird. Das für eine Stadt wie Würzburg spezifische Zusammenwirken von Luftverunreinigung einerseits und Flechtensubstrat und geomorphologisch-klimatischer Situation andererseits soll anhand von einigen Beispielen verdeutlicht werden.

Untersuchungsmethoden

Die Nomenklatur der gefundenen Flechten richtet sich nach GRUMMANN (1963) und POELT (1974). Alle Sammelstücke finden sich in einem Belegherbar beim Lehrstuhl Botanik II der Universität Würzburg. Das Material wurde dankenswerterweise von Herrn Dr. V. WIRTH (Ludwigsburg) revidiert.

Eine soziologische Zuordnung wurde mit der epilithischen Flechtenvegetation vorgenommen. Hierbei folgten wir dem Synusialsystem (WILMANNS und BIBINGER 1966). Die einzelnen Epilithenunionen, die den Assoziationen von KLEMENT (1955) weitgehend entsprechen, wurden nach KLEMENTS Verfahren bestimmt.

Wegen der Kleinräumigkeit des Untersuchungsgebietes wurde eine Kombination von Linien- und Punktkartierung (WILMANNS und BIBINGER 1966) angewendet. Die Ergebnisse der Punktkartierung aller im Stadtgebiet gefundenen Flechtenarten (entsprechend BESCHEL 1958) liegen bei HOPP (1979) vor. Im folgenden sollen einige charakteristische Profile besprochen werden. Die Außengrenze des Untersuchungsgebietes wurde durch das beginnende Auftreten von normal entwickelten Flechten der fruticosen Wuchsform *(Ramalina, Usnea,* z. T. *Cladonia)* gezogen.

Mit Exponaten von lebenden Flechtenthalli wurden die Kartierungsbefunde ergänzt und überprüft. Exponierte Flechtenthalli wurden aber auch zur Untersuchung der Akkumulation von Schwefel und seine Wirkung auf die Vitalität der Flechten benutzt. Zur Exposition kamen weitverbreitete, eher xerophytische und SO_2-empfindliche Arten (HAWKSWORTH 1973) wie *Lecanora varia* (Erh.) Ach., *Hypogymnia physodes* (L.) Ach. und *Evernia prunastri* (L.) Ach. Die Thalli wurden aus einem benachbarten Forst mit Teilen ihres natürlichen Substrates entnommen. Tafeln von 40×40 cm Größe wurden mit schwefel- und bleifreier Farbe blaß hellgrün gestrichen und mit je 3 Proben der genannten Flechtenarten besetzt. Die Tafeln wurden, in der Regel nach Westen ausgerichtet, in 2 m über dem Boden an Bäumen oder Häusern angebracht. Die Expositionszeit erstreckte sich von Juni 1974 bis Juli 1975.

Zur Schwefelbestimmung wurden die Flechtenproben von Staub befreit und bei 120°C getrocknet. Die zerriebene Trockenmasse (25 mg) wurde im Verbrennungskolben mit Sauerstoff aufgeschlossen (vgl. SCHÖNIGER 1955) und mit aqua bidest. auf 25 ml aufgefüllt. In 5 ml dieser Probe wird der gesamte Schwefel zu H_2S reduziert und mit Dimethyl-p-phenylendiamin und Eisen-III zu Methylenblau umgesetzt (GUSTAFSSON 1960). Die Extinktion der Farbreaktion wurde bei 667 nm gemessen. Jeder Wert ist das Mittel aus 5 Parallelproben. Die Analysen wurden von Herrn L. FISCHER in den Siemens-Forschungslaboratorien, Erlangen, durchgeführt. Ihm sei an dieser Stelle vielmals dafür gedankt.

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

Ergebnisse und Diskussion

1. Kalkflechtenvegetation

Die calcicolen Flechten sind das dominierende Element der Flechtenvegetation in Würzburg. Mehr oder weniger vollständige Einheiten oder Fragmente von im wesentlichen 3 Federationen ließen sich nachweisen:

Caloplacion pyraceae KLEMENT 1947
  Aspicilietum contortae (KAISER 1926) KLEMENT 1955
  Caloplacetum variabilis (KAISER 1926) KLEMENT 1955
Caloplacion decipientis KLEMENT 1947
  Caloplacetum murorum (D. R. 1925) KAISER 1926
  Caloplacetum citrinae BESCHEL (in litt.) 1950
Physcion caesiae MOTYKA 1924
  Physcietum nigricantis BESCHEL 1958

Arten dieser soziologischen Einheiten fanden sich jeweils auch in der Epiphytenwüste. Der Grad der Artenverarmung der epilithischen Arten wird in einem Vergleich zwischen einem Standort in der Innenstadt und einem Platz am Rand der Innenstadt ersichtlich (Tab. 2). Letzterer repräsentiert für diese Gesellschaft bereits normale Verhältnisse, für die Epiphyten befindet er sich aber noch in der Kampfzone.

Während in der Nähe von Brunnen oder an Plätzen mit Bäumen trotz Staubbedeckung sich ein Bestand von etwa 5–6 Arten des Caloplacion decipientis halten kann, kommt es in einigen Stadtgebieten infolge von Verrußung, höherer Verkehrsdichte und totaler Verbauung auf demselben Substrat zu einer Reduktion auf nur 1–2 Arten, so daß die soziologische Zuordnung nicht mehr erkennbar ist. Solche Restarten sind in Würzburg: *Lecanora dispersa, Candelariella aurella* oder Anflüge von *Candelariella citrina*. Diese Arten besitzen hier die höchste Poleotoleranz (vgl. LAUNDON 1973).

Tab. 2

Vergleich zwischen zwei Ausbildungsformen des Caloplacetum murorum (D. R. 1925) KAISER 1926 im Stadtgebiet von Würzburg. Mittlere Artenzahl der Union nach KLEMENT (1955): 10

Noch normale Ausbildung: (Thalli gut entwickelt und fertil) Hof der Rotkreuzklinik an der Kapuzinerstraße 179 m über NN Auf Quaderkalk-Kulmfläche von Bäumen leicht beschattet 40×40 cm	Verarmte Ausbildung: (Thalli steril, stark verstaubt) Dom, Nordportal, Pfeilerbasis 179 m über NN Auf Quaderkalk-Stirnfläche Ostexposition 40×40 cm
Gesamtdeckung 40%	Gesamtdeckung 5%
+ *Caloplaca murorum* + *Lecania erysibe* + *Caloplaca elegans* 3 *Verrucaria nigrescens* 2 *Lecanora dispersa* 2 *Caloplaca lithophila* + *Candelariella aurella* + *Placodium murale* + *Lecidea stigmatea*	1 *Lecanora albescens* + *Lecanora dispersa* + *Candelariella aurella*

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

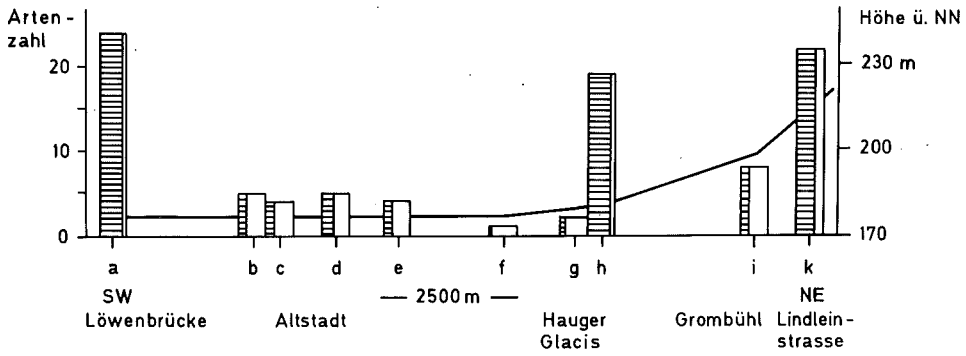

Abb. 1: Artenzahl und Deckungsgrad von epilithischen calcicolen Flechten entlang einem Linienprofil von SW nach NE durch die Stadt Würzburg. Die Säulenhöhe zeigt die Artenzahl an. Die Breite des schraffierten Teils der Säulen entspricht dem Deckungsgrad (%) der Flechten auf der Aufnahmefläche (im Mittel 40×40 cm). Die Arten der einzelnen Fundpunkte a–k sind im Anhang aufgeführt.

Wechsel von Artenzahl und Deckungsgrad epipetrischer calcicoler Flechten wurde entlang eines Linienprofils von der Innenstadt bis zum Rand der Gäufläche über der Stadt untersucht (Abb. 1). In den meisten Probeflächen dominierten die Arten des Caloplacetum murorum. Die Verarmung in der Innenstadt wird deutlich, allerdings verschwinden die Epilithen nur selten völlig, wo geeignete Substrate sind. Innerhalb des die Innenstadt umgebenden Festungsgürtels, der eine Grünzone mit z. T. dichtem Baumbestand bildet (Fundpunkte I, VII und VIII in Abb. 1), finden sich spontan stets über 10 Arten pro Aufnahme. Diese Ausbildung kommt derjenigen auf Weinbergsmauern in der Stadtperipherie nahe. Es ergibt sich also in der Stadt eine diskontinuierliche Verbreitung der Normalzone der Epilithen.

Es erwies sich für die Würzburger Verhältnisse als angemessen, die Verarmungszone flechtensoziologisch im Sinne von Klement 1955 auszuscheiden. Sie wird nach außen begrenzt durch die Minimalausbildung der Kalkflechtenunionen. Sie ergab sich – soweit erkennbar – aus der halben Durchschnittsartenzahl der betreffenden Union (Klement 1955). Aus der Linie, die die Fundpunkte verbindet, an denen erstmals Minimalausbildungen der Unionen Aspicilietum contortae, Caloplacetum variabilis, Physcietum nigricantis, Caloplacetum murorum und Caloplacetum citrinae zustandekommen, ergibt sich die Grenze zwischen Normalzone und einer stadtbedingten Verarmungszone. Die Form dieser Verarmungszone soll hier nicht näher beschrieben werden, sie ist in erster Linie durch die topographische Lage, die dadurch bedingten Wind- und Belüftungsverhältnisse und den Verlauf der Eisenbahn bedingt. Sie deckt sich mit den Stadtbereichen, die über größere Flächen hin geschlossen bebaut sind (Hopp 1979).

2. Vertikale Flechtenzonierung durch eine Inversionsgrenze

Ein in Würzburg besonders ausgeprägtes Phänomen ist die Talinversion. Sie tritt vorwiegend im Winter auf, wenn stehende Luftmassen sich übereinanderschichten. Ihre Obergrenze ist bei heiterem Wetter als stark getrübte Sperrschicht in ca. 40 m Höhe über dem Talboden erkennbar. Aufgrund des blockierten Luftaustausches kommt es darunter zu einer erhöhten Anreicherung von Luftverunreinigungen, die hier ein agressives Aerosol bilden. Beiderseits des Mains grenzt die Inversionsschicht an die Talhänge. Der Einfluß der Inversionsschicht kommt besonders durch den scharfen Wechsel zwischen nahezu normaler und verarmter Epiphytenvegetation zum Ausdruck. Zwei Linienprofile im steilsten Bereich der Hänge über der Stadt, ausgehend von der Innenstadt über die mit Park- und Obstbäumen bestellten Hänge im Süden und Norden der Stadt, machen dies deutlich (Abb. 2 und 3).

Unterhalb der Inversionsoberkante enthielten die Standorte nur bis zu 2 Arten mit sehr geringem Deckungsgrad. Es handelte sich um oft nur schlecht entwickelte Thalli von *Lecanora*

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

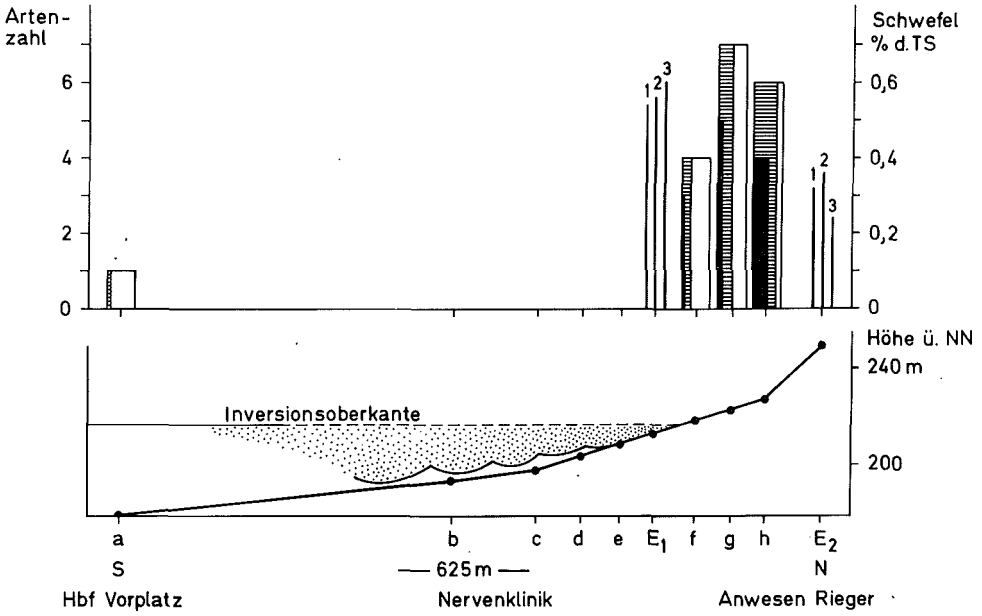

Abb. 2: Einfluß der Talinversion auf Artenzahl (Säulenhöhe) und Deckungsgrad (Schraffur der Säulenbreite) epiphytischer Flechten entlang einem N–S-Linienprofil von der Innenstadt zur Festung. Der Anteil der Blatt- und Strauchflechten (Zahl und Deckungsgrad) wird durch die schwarzen Bereiche in den Säulen ausgedrückt. Die Arten der einzelnen Fundpunkte a–h sind im Anhang aufgeführt.

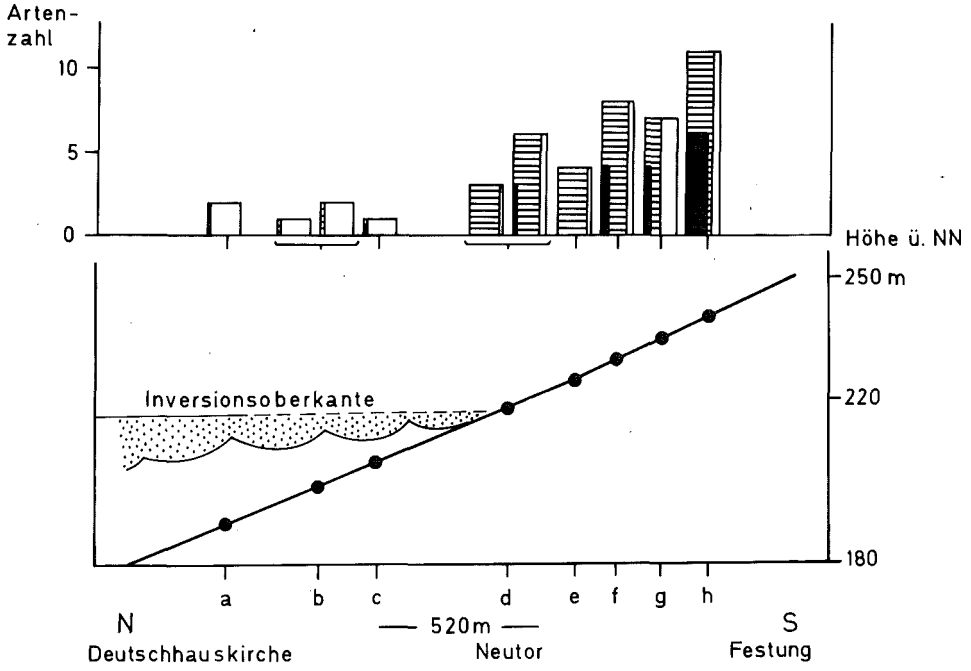

Abb. 3: Einfluß der Talinversion auf Artenzahl und Deckungsgrad (s. Abb. 2) epiphytischer Flechtenarten entlang einem Linienprofil vom Hauptbahnhof nach Norden zur Oberkante der Fränkischen Platte. Die Arten der Fundpunkte a–h sind im Anhang aufgeführt. Die Schwefelgehalte (% Trokkensubstanz) von *Lecanora varia* (1) *Hypogymnia physodes* (2) und *Evernia prunastri* (3) der Exponattafeln E_1 und E_2 sind jeweils durch Linien (1–3) angezeigt.

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

varia, L. hageni, Buellia punctata oder gelegentlich *Physcia tenella* und *Parmelia sulcata.* Hierbei ist nicht die Dichte der Bebauung von Belang, denn unterhalb der Inversionsschicht befindet sich Gartenland mit einer großen Anzahl von potentiellen Lichenophoren.

Wenige Meter oberhalb der Inversionsgrenzschicht finden sich an den meisten Bäumen jeweils 3–7 Arten von Flechten. Hierbei dominieren foliose Arten wie *Hypogymnia physodes, Parmelia sulcata, Xanthoria parietina* und *Parmelia acetabulum.* Im ganz peripheren Bereich finden sich schließlich auch *Evernia prunastri* und *Alectoria* cf. *positiva.* Der Deckungsgrad der Epiphyten und das Verhältnis der foliosen und fructicosen Arten entspricht hier ganz dem im unbeeinflußten Umland.

Um eine Vorstellung über die Stärke der Luftverunreinigung im Inversionsbereich zu gewinnen, wurden im Nordprofil 2 Tafeln mit Proben der 3 Hauptarten (s. Methodik) exponiert. Eine Tafel (E_1, Abb. 3) wurde direkt im Bereich der Inversionsoberkante (220 m über NN), die andere (E_2) in 250 m über NN, 170 m nördlich von E_1 jeweils in einem Obstgarten angebracht. Unabhängig von Art und Wuchsform enthielten alle Proben aus der Inversionsschicht nach einjähriger Expositionszeit ähnlich viel Schwefel. Im Mittel war der S-Gehalt dieser Flechten 0,55% der Trockensubstanz, während die Exponate oberhalb der Inversionsschicht im Durchschnitt nur 0,29% Schwefel in der Trockensubstanz enthielten. Proben der in der Umgebung von E_2 wild wachsenden Arten *(Hypogymnia physodes, Lecanora varia)* enthielten im Mittel 0,32% Schwefel in der Trockensubstanz.

Es wird deutlich, daß sich innerhalb einer relativ kurzen Zeit hohe und möglicherweise schon schädigende Schwefelmengen in den Flechtenthalli ansammeln können. Dies ist hinsichtlich einer SO_2- Jahresdurchschnittskonzentration von 32 µg m^{-3} im Würzburger Stadtgebiet (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz 1975 bis 1980) unerwartet. Diese SO_2-Belastung ist nach den lichenologischen Grenzwerten (GILBERT 1970) sehr niedrig und ließe eine weite Verbreitung auch anspruchsvollerer Blattflechten vermuten. Offensichtlich kommt aber größere Bedeutung den Spitzenwerten während der Heizperiode im Winter zu, wenn ohnehin die Flechten häufiger metabolisch aktiv sind. Im Stadtkern erreichen SO_2-Konzentrationen Spitzenwerte bis zu 666 µg m^{-3} 30 min^{-1} (Dezember 1979). Im Durchschnitt langfristiger Beobachtungen steigen die SO_2-Konzentrationen im Januar an 18 Tagen über 100 µg m^{-3} 30 min^{-1} (Abb. 4). Die ausgeprägte Epiphytenwüste im Würzburger Stadtkern ist daher nicht durch die mittlere Jahreskonzentration, sondern eher durch die Häufigkeit hoher SO_2-Belastungen im Winter erklärbar.

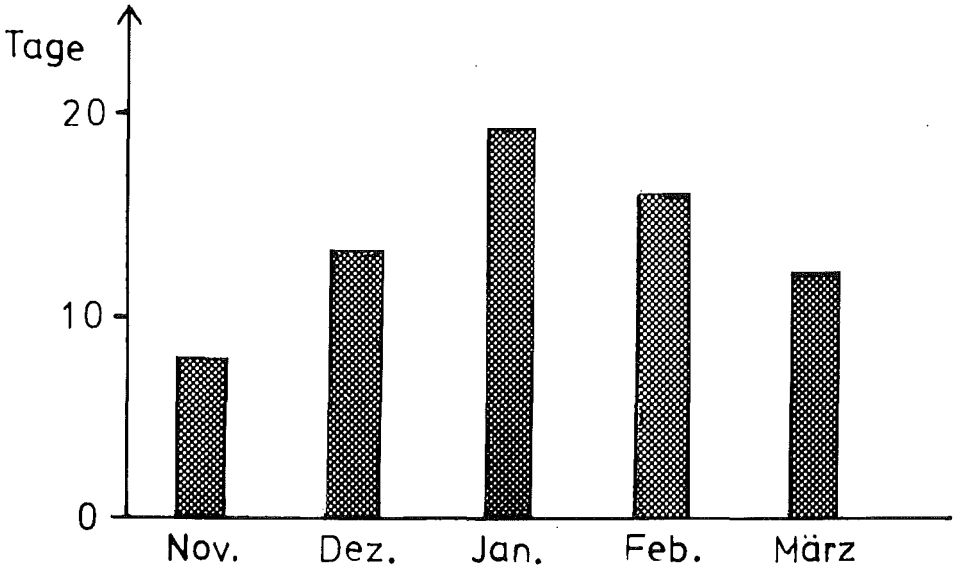

Abb. 4: Durchschnittliche Häufigkeit von Tagen mit Halbstundenmittelwerten der SO_2-Konzentration über 100 µg m^{-3} im Zentrum der Stadt Würzburg während der winterlichen Heizperiode (nach Messungen des Bayer. Landesamtes für Umweltschutz in den Jahren 1975–1980).

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

Die Schwefelakkumulation ist aber nicht irreversibel, da nachgewiesen werden konnte, daß der Schwefel aus lebenden wie abgestorbenen Flechtenthalli leicht auswaschbar ist (HOPP 1979). Es ist daher anzunehmen, daß sich bei Thalli in der Kampfzone durch den Wechsel von Immission und Auswaschung oder Verdünnung bei Regen eine noch erträgliche Schadstoffkonzentration einpendelt.

Epilithische calcicole Flechten auf den Mauern von Weinhängen über der Stadt, wie *Lecanora muralis* zeigen hingegen unabhängig von der Lage der Inversionsschicht überall gleichmäßig gut ausgebildete, gesunde Thalli. Ihre geringe Empfindlichkeit gegenüber einer erhöhten Schwefel- bzw. SO_2-Belastung wird noch durch den Befund unterstützt, daß sie im Bereich der Inversionsschicht und darüber deutlich höhere Schwefelgehalte aufweisen (Tab. 3). Sie sind um ein

Tab. 3

Schwefelgehalte (% des Trockengewichtes) bei lebenden Thalli von *Lecanora muralis* an Weinbergsmauern am Südabfall des Steinberges (nördl. Stadtrand).

Lage	Höhe über NN	S-Gehalt (%)
Hangbasis, Rand der Bebauung	190 m	1,15
Hang (Weinberg) (Mittel aus 5 Bestimmungen)	210–215 m	1,58
oberer Hang (Weinberg)	280 m	1,54
außerhalb: Gemarkung Kalkofen, 5 km v. Stadtrand	280 m	1,08

Drittel höher als in den Proben aus der Stadt unterhalb der Inversionsgrenzschicht. Die relativ hohen Schwefelgehalte in Flechten weit oberhalb der Inversionsobergrenze mögen dadurch bedingt sein, daß zeitweise schwefelhaltige Fungizide über den Weinhängen versprüht werden. Insofern wird im Bereich der Weinberge – und mithin der meisten Epilithenstandorte auf den Hängen der Stadt – eine lichenologische Aussage über die im engeren Sinne immissionsbedingte Schwefelbelastung der Luft über Würzburg in Frage gestellt.

Unter den aus der Literatur bekannten Schwefelgehaltsbestimmungen bei Flechten (GILBERT 1968, LE BLANC und RAO 1973, MOORE 1976, TÜRK und CHRIST 1978) finden sich bei SEAWARD (1973) auch Werte für *Lecanora muralis:* Im inneren Stadtbereich von Leeds enthielten die Thalli 1,2%, außerhalb der Stadt 0,6% Schwefel in der Trockensubstanz. Diese Werte liegen in derselben Größenordnung wie bei den Würzburger Proben. Folglich führte die möglicherweise zusätzliche Belastung der letzteren durch Fungizidbehandlung der Weinhänge nicht zu höheren Schwefelgehalten als in einer Industriestadt.

Es konnte also für die gesamte Stadt nur aufgrund des Verhaltens epiphytischer Flechten eindeutig eine Anzeige für die Reinheit der Luft gewonnen werden. Im Raum Würzburg ist die Epiphytenwüste nicht durch eine mittlere jährliche SO_2-Konzentration der Luft erklärbar, womit derartige Korrelationen zweifelhaft erscheinen. Vielmehr kann die zeitweise Anreicherung von SO_2 in und unterhalb der Inversionsgrenzschicht vor allem zu einer momentanen Schädigung von weniger geschützt wachsenden gerade aktiven Thalli (wie in den Laborversuchen von TÜRK et al. 1974), andererseits auch zur allmählichen Schädigung durch Akkumulation von Schwefelverbindungen im Thallus führen. Die Grenzen zwischen Epiphytenwüste und -kampfzone ist in Würzburg markant. Sie ist durch das Angrenzen eines Bereiches mit temporär gestauten Luftmassen an einen Bereich mit ständigem Luftaustausch charakterisierbar. Es ist zu vermuten, daß andere Städte in Tallage eine ähnlich scharfe Epiphytenzonierung wie Würzburg aufweisen.

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

Die Befunde bei den calcicolen Epilithen zeigen hingegen, daß für sie die Epiphytenkampfzone noch normale Bedingungen bedeuten kann. Erst in der Epiphytenwüste wird auch eine Verarmung der Kalkflechtenvegetation deutlich. Die unterschiedliche Ausbildung der Epilithenvegetation war örtlich gut mit dem Grad des Luftaustausches (also die Konzentrierung der Immissionen) im Stadtgebiet korrelierbar (HOPP 1979). Weiterhin hängt der Grad der Verarmung der Flechtenvegetation davon ab, inwieweit die Pufferwirkung der vorwiegend basischen Substrate durch die Immissionen überwunden wird. Gegenüber Fungiziden sind einige epilithische Arten der Weinhänge weitgehend resistent. Es ist übrigens anzunehmen, daß die epilithische Flechtenvegetation in Würzburg noch dichter und reichhaltiger wäre, wenn nicht durch Kriegseinwirkung und Baumaßnahmen eine große Zahl von Flechtenarten verloren gegangen wäre. Einige Beispiele (HOPP 1979) zeigten, daß solche älteren Flechtenbestände der gegenwärtigen Luftverunreinigung noch widerstehen. Hingegen ist eine Neubesiedlung für Flechten unter den heutigen Stadtbedingungen stark eingeschränkt (LAUNDON 1973, FERRY und COPPINS 1979).

Summary

Most of the 90 recorded species of the town of Würzburg belong to the calcicolous epilithic lichens, only 40% are epiphytic. The epiphyte desert zone is discontinuous, because the inner town is surrounded by a tree rich park area. The influence of the air pollution in town is apparent by the distribution of epiphytic species but much less by the epilithic species. The latter are still normal in the transitory or struggeling zone of the epiphytes. The border between struggeling zone and normal zone is clearly marked by the upper border of the inversion of air layers in the valley of Würzburg which becomes enriched with aerosols. The annual mean SO_2 concentration in the air above Würzburg is comparatively low. However, lichens contained 0.55% sulfur after one year exposure in the town area; *Lecanora muralis* contained 1.58% S in the town area, but was not damaged.

Artenliste zu den Fundpunkten a–k in Abb. 1

a) *Acarospora murorum*
Amphoridium calcisedum
Aspicilia cf. coronata
Buellia epipolia
Caloplaca citrina
Caloplaca decipiens
Caloplaca elegans
Caloplaca lithophila
Caloplaca murorum
Caloplaca teicholyta
Candelariella aurella
Candelariella medians
Collema tenax
Lecania erysibe
Lecanora albescens
Lecanora campestris
Lecanora dispersa
Lecanora variabilis
Lecidea stigmatea
Placodium murale
Rinodina bischoffii
Verrucaria nigrescens

b) *Caloplaca lithophila*
Candelariella aurella
Lecanora albescens
Lecanora dispersa
Placodium murale

c) *Caloplaca lithophila*
Candelariella aurella
Lecanora dispersa
Placodium murale

d) *Acarospora murorum*
Caloplaca citrina
Candelariella aurella
Lecanora albescens
Lecanora dispersa

e) *Caloplaca lithophila*
Candelariella aurella
Lecanora dispersa
Placodium murale

f) *Caloplaca lithophila*

g) *Candelariella aurella*
Lecanora dispersa

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

h) *Acarospora murorum*
Amphoridium calcisedum
Aspicilia contorta
Aspicilia cf. coronata
Caloplaca citrina
Caloplaca decipiens
Caloplaca lithophila
Caloplaca murorum
Caloplaca teicholyta
Candelariella aurella
Candelariella medians
Lecanora dispersa
Lecanora campestris
Lecidea stigmatea
Physcia orbicularis
Placodium murale
Rinodina bischoffii
Sarcogyne pruinosa

i) *Amphoridium calcisedum*
Aspicilia contorta
Caloplaca citrina
Caloplaca murorum
Caloplaca teicholyta
Lecanora dispersa
Rinodina bischoffii
Verrucaria nigrescens

k) *Acarospora murorum*
Amphoridium calcisedum
Aspicilia contorta
Aspicilia cf. coronata
Caloplaca citrina
Caloplaca decipiens
Caloplaca elegans
Caloplaca lithophila
Caloplaca murorum
Caloplaca teicholyta
Caloplaca variabilis
Candelariella aurella
Collema tenax
Lecania erysibe
Lecanora albescens
Lecanora campestris
Lecanora dispersa
Physcia orbicularis
Placodium murale
Rinodina bischoffii
Verrucaria nigrescens

Fundpunkte a – h in Abb. 2:

a) *Lecanora varia*
Physcia tenella

b) *Buellia punctata*
Lecanora varia
Physcia tenella

c) *Parmelia sulcata*

d) *Hypogymnia physodes*
Lecanora hageni
Lecanora varia
Buellia punctata
Lecanora varia
Lepraria aeruginosa
Parmelia acetabulum
Physcia tenella

e) *Buellia punctata*
Lecanora varia
Lepraria aeruginosa
Physcia orbicularis

f) *Buellia punctata*
Candelariella xanthostigma
Evernia prunastri
Lecanora varia
Lepraria aeruginosa
Parmelia sulcata
Physcia tenella

g) *Buellia punctata*
Hypogymnia physodes
Lecanora varia
Lepraria aeruginosa
Parmelia elegantula
Physcia tenella

h) *Buellia punctata*
Candelariella xanthostigma
Hypogymnia physodes
Lecanora hageni
Lecanora varia
Lepraria aeruginosa
Parmelia elengantula
Parmelia sulcata
Physcia tenella
Physcia ascendens
Xanthoria parietina

Fundpunkte a–h in Abb. 3:

a) *Lecanora hageni*

b–e) *Lecanora hageni*

f) *Hypogymnia physodes*
Lecanora varia
Parmelia sulcata
Physcia tenella

g) *Alectoria cf. positiva*
Bacidia chlorococca
Lecanora varia
Physcia ascendens
Physcia orbicularis
Xanthoria parietina
Hypogymnia physodes

©Bayerische Botanische Gesellschaft; download unter www.bbgev.de;www.biologiezentrum.at

h) *Alectoria cf. positiva*
Bacidia chlorococca
Hypogymnia physodes
Lecanora varia
Parmelia elegantula
Parmelia sulcata

Literatur

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ: Lufthygienische Monatsberichte von Januar 1975 bis Mai 1980. München. – BESCHEL, R. 1958: Flechtenvereine der Städte, Stadtflechten und ihr Wachstum. Ber. Naturwiss.-Med. Ver. Innsbruck **52:** 1–158. – DOMRÖS, M. 1966: Luftverunreinigung und Stadtklima im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet und ihre Auswirkung auf den Flechtenbewuchs der Bäume. Arb. Rhein. Landesk. **23:** 1–132. – FERRY, B. W. u. B. J. COPPINS 1979: Lichen transplant experiments and air pollution studies. Lichenologist **11:** 63–73. – GILBERT, O. L. 1968: Biological indicators of air pollution. Diss. Univ. Newcastle upon Tyne. – GILBERT, O. L. 1970b: A biological scale for the estimation of sulfur dioxide pollution. New Phytol. **69:** 605–627. – GRUMMANN, V. 1963: Catalogus Lichenum Germaniae. Stuttgart. – GUSTAFSSON, L. 1960: Determination of ultramicro amounts of sulphate as methylene blue. Talanta **4:** 227–243. – HAWKSWORTH, D. L. 1973: Mapping studies. In: FERRY, B. W., M. S. BADDELEY u. D. L. HAWKSWORTH (Herausg.), Air pollution and lichens, 28–73. Toronto. – HEPP, P. 1824: Lichenenflora von Würzburg. Mainz. – HOPP, U. 1973: Die epiphytische und epipetrische Flechtenvegetation von Würzburg und ihre Abhängigkeit vom Stadteinfluß. Zulassungsarbeit zur Wiss. Prüfung. Univ. Würzburg. – HOPP, U. 1979: Die Abhängigkeit der Würzburger Flechtenvegetation vom Stadteinfluß unter besonderer Berücksichtigung der Schwefel- und Bleiimmissionen. Diss. Univ. Würzburg. – KLEMENT, O. 1955: Prodromus der mitteleuropäischen Flechtengesellschaften. Feddes Repert. Beih. **135:** 5–194. – LAUNDON, J. R. 1973: Urban lichen studies. In: FERRY, B. W., M. S. BADDELEY u. D. L. HAWKSWORTH (Herausg.), Air pollution and lichens, 109–123. Toronto. – LEBLANC, F. u. D. N. RAO 1973b: Effects of sulfur dioxide on lichen and moss transplants. Ecology **54:** 612–617. – MOORE, C. C. 1976: Factors affecting the distribution of saxicolous lichens within a four kilometre distance of Dublin city centre. Proc. Roy. Acad. **76,** B: 263–283. – POELT, J. 1974: Bestimmungsschlüssel europäischer Flechten. Lehre. – RITSCHEL, G. 1974: Beitrag zur Kenntnis der Verbreitung xero- und basiphiler Erdflechten in Mainfranken. Abh. Naturw. Ver. Würzburg 15. – RITSCHEL, G. 1977: Verbreitung und Soziologie epiphytischer Flechten in Nordwestbayern. Bibliotheca Lichenologica **7:** 1–192. – RYDZAK, J. 1968: Lichens as indicators of ecological conditions of the habitat. Ann. Univ. Mariae Curie – Sklodowska, C, **23:** 131–164. – SCHMID, A. B. 1957: Die epixyle Flechtenvegetation von München. Diss. Univ. München. – SCHÖNIGER, W. 1955: Eine mikroanalytische Schnellbestimmung von Halogen in organischen Substanzen. Mikrochim. Acta (Wien), **1:** 123–129. – SEAWARD, M. R. D. 1973: Lichen ecology of the Scunthorpe heathlands. I. Mineral accumulation. Lichenologist **5:** 423–433. – SERNANDER, R. 1926: Stockholms Natur. Uppsala. – TÜRK, R., V. WIRTH u. O. L. LANGE 1974: CO_2-Gaswechsel – Untersuchungen zur SO_2- Resistenz von Flechten. Oecologia **15:** 33–64. – TÜRK, R. u. R. CHRIST 1978: Untersuchungen über den Flechtenbewuchs an Eichen im Stadtgebiet Salzburgs und über den Wasserhaushalt einiger charakteristischer Flechten. Phyton (Austria) **18:** 107–128. – VILLWOCK, I. 1962: Der Stadteinfluß Hamburgs auf die Verbreitung epiphytischer Flechten. Abh. Verh. naturw. Ver. Hamburg II, **6:** 147–166. – WILMANNS, O. u. H. BIBINGER 1966: Methoden der Kartierung kleinflächiger Kryptogamengemeinschaften. Bot. Jb. **85,** 3: 509–521.

Die Arbeit wurde am Lehrstuhl Botanik II des Botanischen Instituts der Universität Würzburg durchgeführt. Die Anschriften der Verfasser lauten jetzt:

Dr. Ulrich HOPP, Bibermühle 16, D-8170 Wackersmühle
Prof. Dr. Ludger KAPPEN, Botanisches Institut der Universität Kiel, Olshausenstr. 40–60, D-2300 Kiel

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft zur Erforschung der Flora

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: 52

Autor(en)/Author(s): Hopp U., Kappen Ludger

Artikel/Article: Einige Aspekte zur immissionsbedingten Verbreitung von Flechten im Stadtgebiet von Würzburg 15-24