

Barbara Fleischmann-Schieber, Sylvia Steitz und Uwe Treter

Flechten in Erlangen

mit 6 Abbildungen, 3 Fotos und 2 Tabellen

1 Einführung

Seit über zwanzig Jahren wird ein vermehrtes Auftreten der Flechten in den Städten beobachtet, z. B. in München (KANDLER & POELT 1984 und MACHER 1987), in Städten des Ruhrgebietes (RABE & WIEGEL 1985) und in Frankfurt a. M. (KIRSCHBAUM & STEUBING 1987). Auch in Erlangen kann eine solche Zunahme des Flechtenbewuchses an den Stadtbäumen festgestellt werden, die allerdings so allmählich vorstatten ging, dass sie zunächst fast unbemerkt blieb und erst vor wenigen Jahren bewusst zur Kenntnis genommen wurde. In seiner Untersuchung über die epiphytische (d.h. auf Baumrinden vorkommende) Flechtenvegetation im Stadtgebiet von Erlangen beschreibt KILIAS (1974) den Innenstadtbereich noch als weitgehend flechtenfrei, in dem nur die als extrem schadstoffresistent geltende epiphytische Krustenflechte *Lecanora conizaoides* vorkam. Heute wächst dort ein breites Spektrum an Flechtenarten mit einer teilweise großen Individuenzahl (FLEISCHMANN-SCHIEBER 2003).

Die Zunahme des Flechtenbewuchses im gesamten Stadtgebiet von Erlangen fällt mit dem Rückgang des Schwefeldioxids (SO_2) als Folge der Rauchgasentschwefelungen der Kraftwerke und schwefelarmen Kraftstoffe zusammen. Denn der SO_2 -Gehalt der Luft ist seit 1988 von ca. $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 1970 bis auf $<10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 1999 zurückgegangen und hat damit als Luftschadstoff völlig an Bedeutung verloren (KALUZA et al. 1999). Ob dieser Rückgang des SO_2 jedoch als alleinige Ursache für die zunehmende Verbreitung der Flechten im Stadtgebiet gelten kann, ist nicht nachweisbar, da gleichzeitig für andere Luftschadstoffe wie z.B. Photooxidantien und Stickstoffverbindungen allgemein in Stadtbereichen ein Anstieg, zumindest aber keine Abnahme zu verzeichnen ist (KALUZA et al. 1999 und WINDISCH 1999).

2 Zielsetzungen und Fragestellungen

Ausgehend von der Beobachtung einer Zunahme des Flechtenbewuchses an den Bäumen im Stadtgebiet von Erlangen wurden im Rahmen von zwei Diplomarbeiten (Barbara Fleischmann-Schieber und Sylvia Steitz) im Winter 2002 Untersuchungen und Kartierungen zur Flechtenflora durchgeführt.

Vorrangiges Ziel der Untersuchungen war zunächst die möglichst umfassende Inventarisierung aller auf Bäumen wachsenden Flechten im Stadtgebiet und zwar unabhängig von der Baumart. Es sollte also *keine* Untersuchung zur Abschätzung der Luftbelastung bzw. Luftgüte auf der Grundlage des Vorkommens, der Häufigkeit und Vitalität von epiphytischen Flechten im Sinne der VDI-Richtlinie 3799,

Blatt 1 (1995) vorgenommen werden, die sich nur auf wenige Baumarten mit bestimmten Borkeneigenschaften stützt.

Auf der Grundlage dieser Inventarisierung und gleichzeitigen Kartierung der Fundstellen sollte folgenden Fragestellungen nachgegangen werden:

- (a) Welche Baumarten werden bevorzugt von welchen Flechtenarten besiedelt?
- (b) In welchen Teilen des Stadtgebietes bzw. an welchen Wuchsorten sind die meisten Flechtenarten anzutreffen?
- (c) Welche Flechtenarten sind häufig und welche sind selten?
- (d) Welche Faktoren oder Ursachen können zur Erklärung des Vorkommens und der Verbreitung der Flechten herangezogen werden?

3 Ökologie der Flechten

Bei den Flechten handelt es sich um eine Symbiose zwischen Pilzen und Algen. Die Alge ist autotroph, d.h. sie betreibt Assimilation und führt Stoffwechselprozesse aus. Der Pilz dagegen ist heterotroph und ernährt sich von den Stoffwechselprodukten der Alge (SCHÖLLER 1993). Beide Partner bilden eine morphologische Einheit, die wir als Flechten wahrnehmen. Trotz ihrer großen Formenvielfalt können die zahlreichen Flechtenarten nur wenigen Wuchsformen zugeordnet werden, die sich aus der typischen Form des Flechtenkörpers („Lager“ oder Thallus genannt) und dessen Wuchshöhe ergeben. Es werden Krustenflechten, Blatt- oder Laubflechten und Strauchflechten unterschieden. Krustenflechten bilden krustenähnliche Lager, die unlösbar auf dem Substrat haften (Foto 1). Blatt- oder Laubflechten haben lapig und flächig entwickelte Lager (Foto 2), während Strauchflechten durch bandartige bis bärtige Lager gekennzeichnet sind (Foto 3).

Die Flechten haben keine echten Wurzeln sondern nur Haftfasern (Rhizinen), mit denen sie sich am Substrat festheften. Ihnen fehlt auch ein effizientes Wasserspeichergewebe und ein wirksamer Transpirationsschutz. Sie sind wechselfeuchte (poikilohydre) Organismen und haben im Gegensatz zu den meisten Höheren Pflanzen keinen geregelten und kontinuierlichen Wasserhaushalt, weil sie den ständig wechselnden Verhältnissen des Feuchtigkeitsmilieus ihres Wuchsortes unmittelbar ausgesetzt sind (SCHÖLLER 1993).

Ihren Wasserbedarf decken die Flechten aus den Niederschlägen und der Luftfeuchtigkeit über ihre gesamte Thallus-Oberfläche, über die auch die im Wasser gelösten Nähr- und Schadstoffe sowie die gasförmigen Schadstoffe aufgenommen werden. Wegen fehlender Ausscheidungsorgane werden Schadstoffe wie z.B. Schwermetalle, die durch Stäube (trockene Depositionen) oder im Wasser transportiert (nasse Depositionen) auf den Thallus gelangen, akkumuliert und können bei entsprechenden Konzentrationen zu Schädigungen führen. Flechten sind damit an ihrem Wuchsort in extremer Weise den vielfältigen und in der Regel stark schwankenden Umwelteinflüssen ausgesetzt. Die Summe aller Umwelteinflüsse (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag, Nähr- und Schadstoffe) entscheidet darüber, ob überhaupt Flechten gedeihen können bzw. welche Flechtenarten wie häufig und mit welcher Vitalität vorhanden sind.

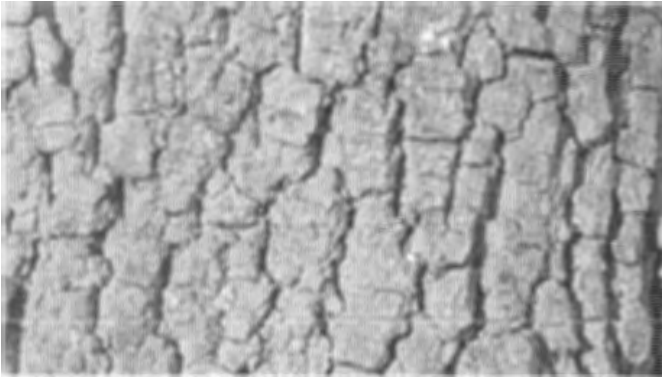


Foto 1: Krustenflechte *Candelariella xanthostigma* (Foto: U. Treter)



Foto 2: Blattflechte *Hypogymnia physodes* (Foto: S. Steitz)

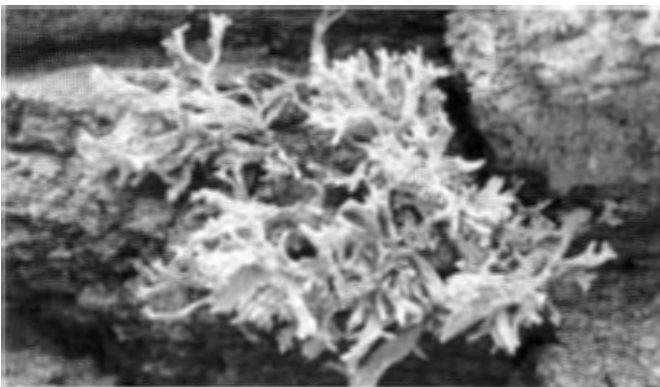


Foto 3: Strauchflechte *Evernia prunastri* (Foto: S. Steitz)

Flechten sind auf den unterschiedlichsten Substraten anzutreffen: an Baumrinde und Holz, an Felsen, Mauern, Grabsteinen und Dächern, auf dem Boden von Wäldern, in Heiden und Mooren. Die meisten auf der Baumborke lebenden Flechtenarten kommen nicht auf allen Baumarten vor. Ein Grund dafür ist, dass die Borke der verschiedenen Baumarten recht unterschiedliche chemisch-physikalische Eigenschaften aufweist, von denen die pH-Bedingungen und die Ausbildungen der Borke (glatt, rau, rissig) von besonderer Bedeutung sind, die von den verschiedenen Flechtenarten entweder bevorzugt oder gemieden werden (SCHÖLLER 1993 und KIRSCHBAUM & WIRTH 1997). Manche Arten kommen daher vorzugsweise auf „sauen“ Borken (z.B. von Fichte, Birke, Erle, Pflaume und Eiche), andere dagegen auf „basenreichen“ Borken (z.B. von Walnuss, Pappel, Apfel und Spitzahorn) vor. Manche Arten sind ausschließlich auf glatter, andere auf rauer, rissiger Borke anzutreffen.

Die Präferenz der verschiedenen epiphytischen Flechtenarten für unterschiedliche Substrateigenschaften der Bäume macht es schwierig, aus dem Vorkommen, der Verbreitung und der Häufigkeit der Flechten auf Umwelteinflüsse oder gar auf einzelne Umweltfaktoren zu schließen, wenn nicht gleichzeitig die Häufigkeit der verschiedenen Baumarten bekannt ist.

4 Flechten als Bioindikatoren

Die Empfindlichkeit der Flechten gegenüber Luftschadstoffen, von denen dem Schwefeldioxid (SO₂) bis vor rund 20 Jahren eine besondere Bedeutung zukam, hat dazu geführt, dass Flechten vor allem in urbanen Ballungsgebieten und Industrieregionen, in denen diese Schadstoffe gehäuft vorkommen, als Bioindikatoren für die Luftqualität herangezogen wurden. Bioindikatoren sind Zeigerarten bzw. Indikatororganismen, deren Vorkommen oder Fehlen in einem Lebensraum innerhalb gewisser Grenzen bestimmte Umweltfaktoren anzeigen. Die Flechten, die den Umwelteinflüssen unmittelbar ausgesetzt sind, reagieren auf Schadstoffbelastungen mit einer deutlichen und eindeutigen Veränderung ihrer Lebensfunktionen (KIRSCHBAUM und WIRTH 1997 und SCHÖLLER 1993). Die Empfindlichkeit der Flechten gegenüber der gesamten Schadstoffbelastung wird durch die Toxitaleranz in neun Stufen gekennzeichnet. Aus zahlreichen Beobachtungen abgeleitet, wird jeder Flechtenart ein Toxitaleranzwert zugeordnet. Flechten mit einem niedrigen Wert der Toxitaleranz kennzeichnen demnach eine geringe Schadstoffbelastung (KIRSCHBAUM & WIRTH 1997).

Nach SCHÖLLER (1993) ist die Korrelation zwischen der Schadstoffbelastung und dem Vorkommen und der Häufigkeit verschiedener Flechtenarten jedoch nicht so eindeutig, wie früher angenommen. Denn bestimmte Arten verhalten sich scheinbar konträr zur Luftverschmutzung und treten im Stadtbereich häufiger auf als außerhalb.

5 Durchführung der Untersuchungen

Das Untersuchungsgebiet umfasst nahezu alle bebauten Flächen des Erlanger Stadtgebietes. Das Kerngebiet besteht aus den Stadtteilen östlich der Regnitz einschließlich Eltersdorf sowie aus den Stadtteilen Alterlangen, Büchenbach und Frauenaarach, die eine weitgehend zusammenhängend bebaute Fläche westlich des Main-Donau-Kanals bilden. Von den Ortschaften aus dem stadtnahen Umland wurden Kosbach, Häusling, Steudach, Kriegenbrunn, Hüttendorf und Tennenlohe in die Untersuchung einbezogen. Nicht bebaute, aber z.T. gleichwohl mit Bäumen durchsetzte Gebiete wie das Regnitztal, das Naturschutzgebiet Tennenlohe und landwirtschaftlich genutzte Flächen blieben unberücksichtigt. Über das gesamte Untersuchungsgebiet wurde ein 1 km²-Raster gelegt, das sich an dem Gitternetz der amtlichen Erlanger Stadtkarte orientiert. In jedem der insgesamt 50 Quadrate wurden bis zu sechs mit Flechten bewachsene und möglichst gleichmäßig auf der Quadratfläche verteilte Laubbäume erfasst. War eine solche Fläche nicht vollständig bebaut, so wurden entsprechend weniger Bäume betrachtet. Für die Auswahl der Bäume galten folgende Kriterien: sie sollten einen Flechtenbewuchs haben, freistehend und gesund sein und die Neigung des Stammes sollte nicht mehr als 10 Grad betragen.

Für jeden nach diesen Kriterien ausgewählten Baum wurden folgende Informationen in einen Aufnahmebogen eingetragen: Baumnummer, Datum, Planquadratnummer, Straße und Hausnummer, Lagebeschreibung, Standortkoordinaten (mit Hilfe eines GPS-Gerätes bestimmt), Baumart, Stammumfang in 1,5 m Höhe, Borkentyp, Flächennutzungstyp der nächsten Umgebung, Verkehrseinfluss, Abstand des Baumes zur Straße. Alle vorhandenen Flechtenarten wurden bis in 2 m Stammhöhe in allen Expositionen aufgenommen. Der Flechtenbesatz auf höheren Ästen wurde zwar vermerkt, aber wegen der andersartigen Wuchsbedingungen nicht in die Erfassung einbezogen. Die Bestimmung der Flechten erfolgte nach morphologischen Merkmalen wie Wuchsform, Farbe, Größe, Apothecien, Soralen und Isidien unter Verwendung der Bestimmungsbücher von WIRTH (1995), KIRSCHBAUM & WIRTH (1997) und DÜLL & WIRTH (2000). Für jede gefundene Flechtenart wurde der Deckungsgrad nach einer vierstufigen Skala geschätzt und die Exposition sowie die Spanne der Wuchshöhe vermerkt. Um die Bestimmung im Gelände zu erleichtern und abzusichern, wurden charakteristische Flechtenexemplare gesammelt und in Zweifelsfällen zum Vergleich herangezogen. Darüber hinaus wurden die Flechtenarten an ihren verschiedenen Wuchsorten mit Hilfe einer digitalen Kamera dokumentiert. Um die Arbeit mit den erhobenen Baum- und Flechtendaten zu erleichtern, wurde eine relationale Datenbank unter Microsoft Access geschaffen (FLEISCHMANN-SCHIEBER 2003). Sie besteht aus zwei Tabellen, die über eine 1:N-Relation miteinander verknüpft sind. In der einen Tabelle stehen als Entitäten die erfassten Bäume mit ihren Merkmalen wie z. B. Baumart, Abstand zur Straße, Flächennutzung, in der anderen stehen die Einzelvorkommen der Flechtenarten mit ihren Merkmalen Wuchshöhe, Exposition und Deckungsgrad.

Tab. 1: Erfasste Baumarten und ihre absoluten und relativen Häufigkeiten

Baumart	wissenschaftlicher Name	deutscher Name	Häufigkeit	
			Anzahl	%
Acer platanoides		Bergahorn	43	24,6
Quercus robur		Stieleiche	30	17,1
Betula pendula		Hängebirke	12	6,9
Robinia pseudoacacia		Robinie	12	6,9
Tilia cordata/platyphyllos		Winter-/Sommerlinde	12	6,9
	Zwischensumme		109	62,3
Populus nigra		Schwarzpappel	7	4,0
Acer pseudoplatanus		Spitzahorn	6	3,4
Acer campestre		Feldahorn	6	3,4
Aesculus hippocastanum		Roßkastanie	5	2,9
Carpinus betulus		Hainbuche	4	2,3
Prunus domestica		Kirsche	4	2,3
Fraxinus ornus		Blumenesche	4	2,3
Malus domestica		Apfel	4	2,3
Gleditsia tricanthos		Gleditschie	4	2,3
Fraxinus excelsior		Esche	3	1,7
Sorbus aucuparia		Eberesche	3	1,7
Fagus sylvatica		Rotbuche	2	1,1
Salix alba		Silberweide	2	1,1
Sorbus intermedia		Schwedische Elsbeere	2	1,1
Alnus glutinosa		Schwarzerle	1	0,6
Crataegus monogyna		Eingrifflicher Weißdorn	1	0,6
Quercus petraea		Traubeneiche	1	0,6
Ulmus laevis		Flatterulme	1	0,6
Acer palmatum		Palmenahorn	1	0,6
Acer saccharum		Zuckerahorn	1	0,6
Crataegus laevigata		Zweigriffliger Weißdorn	1	0,6
Laburnum anagyroides		Goldregen	1	0,6
Prunus persica		Pfirsich	1	0,6
Syringa vulgaris		Flieder	1	0,6
	Zwischensumme		66	37,7
	Summe		175	100,0

6 Ergebnisse

6.1 Die Trägerbäume

Auf den 50 Rasterflächen wurden insgesamt 175 Bäume aufgenommen, die sich auf 30 Arten verteilen (Tab.1). Am häufigsten sind Bergahorn (*Acer platanoides*) mit 43 Individuen = 25% und Stieleiche (*Quercus robur*) mit 30 Individuen = 17%. Dann folgen die Baumarten Hängebirke (*Betula pendula*), Robinie (*Robinia pseudoacacia*) und Linde (*Tilia cordata* und *T. platyphyllos*) mit jeweils 12 Individuen = 7%. Die übrigen 66 erfassten Bäume verteilen sich auf 24 Arten, die nur in wenigen Exemplaren vertreten sind (vgl. Tab.1). Ahorn und Eiche sind im Stadtgebiet relativ

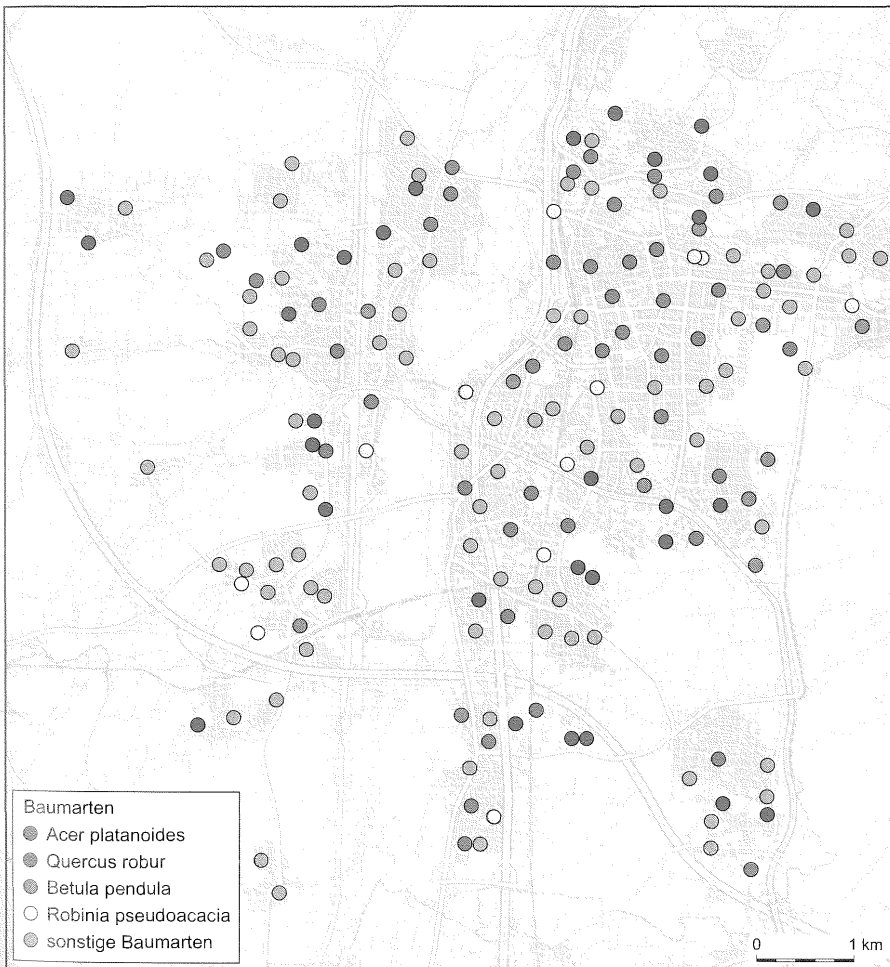


Abb. 1: Verbreitung der erfassten Baumarten im Stadtgebiet Erlangen

gleichmäßig verbreitet, allerdings kommen die Eichen im Gegensatz zu den Ahornbäumen im dicht bebauten Stadtkern etwas weniger vor (Abb. 1).

Für die Beurteilung der Flechtenvorkommen sind jedoch die Substrateigenschaften der Borke von größerer Bedeutung als die Baumarten. Insbesondere der pH-Wert der Borke bestimmt nach den gängigen Erkenntnissen das Vorkommen der verschiedenen Flechtenarten. Unabhängig von den Baumarten sind die nach den pH-Eigenschaften zusammengefassten Baumartengruppen mit \pm subneutraler, \pm mäßig saurer und \pm saurer Borke relativ gleichmäßig auf das Untersuchungsgebiet verteilt (Abb. 2). Bäume mit \pm subneutraler Borke sind dabei am häufigsten (43 %), gefolgt von Bäumen mit \pm saurer Borke (30 %).

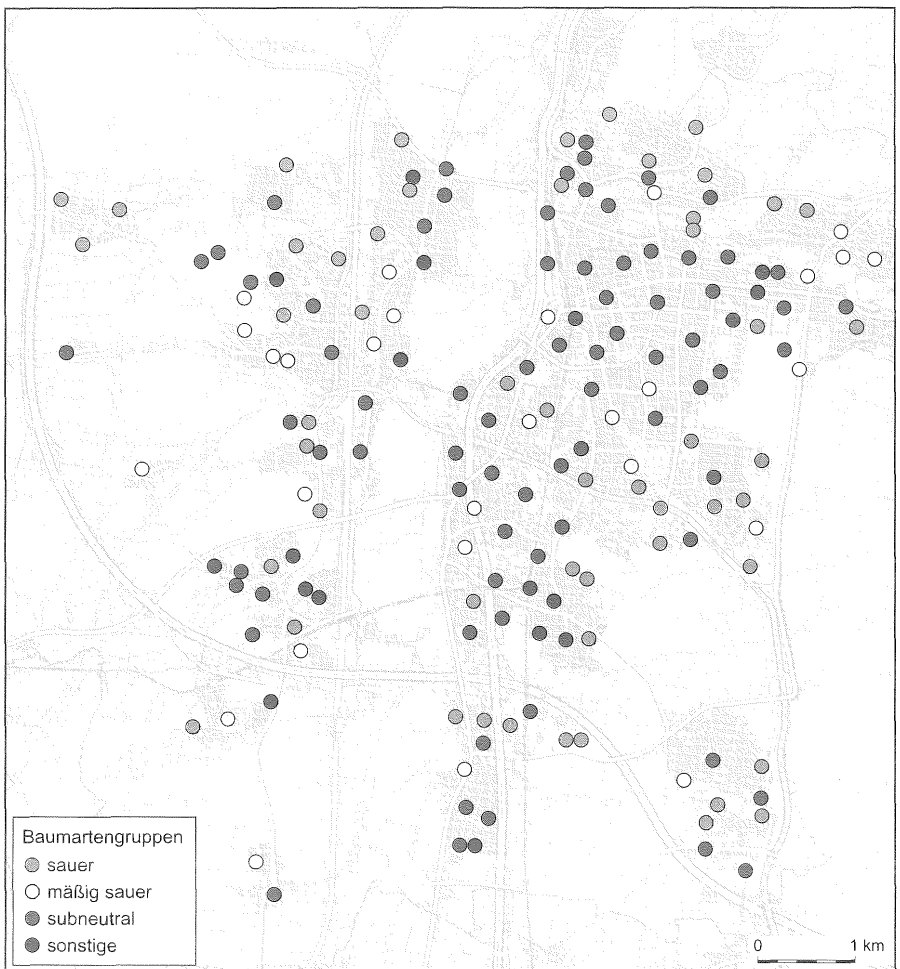


Abb. 2: Baumartengruppen mit gleichen pH-Eigenschaften der Borke

6.2 Vorkommen und Häufigkeit der Flechtenarten

Auf den 175 Bäumen wurden 51 Flechtenarten mit insgesamt 1570 Fundstellen festgestellt. Eine Fundstelle besteht aus mindestens einem Exemplar einer Art auf einem Baum. Da bis zu 21 Flechtenarten auf einem Baum gefunden wurden, ergibt sich die große Anzahl von Fundstellen. Von den 51 Flechtenarten entfallen 41 auf die Gruppe der Strauch- und Blattflechten und 27 auf die Gruppe der Krustenflechten. Da letztere sehr schwer und nicht immer eindeutig zu bestimmen sind, wird die Analyse der Flechtenvegetation ausschließlich auf die Strauch- und Blattflechten beschränkt (Tab. 2). Von diesen sind folgende Arten am häufigsten: *Physcia tenella* (mit 157 Fundstellen, d.h. auf 89,7 % der erfassten Bäume), *Physcia adscendens*

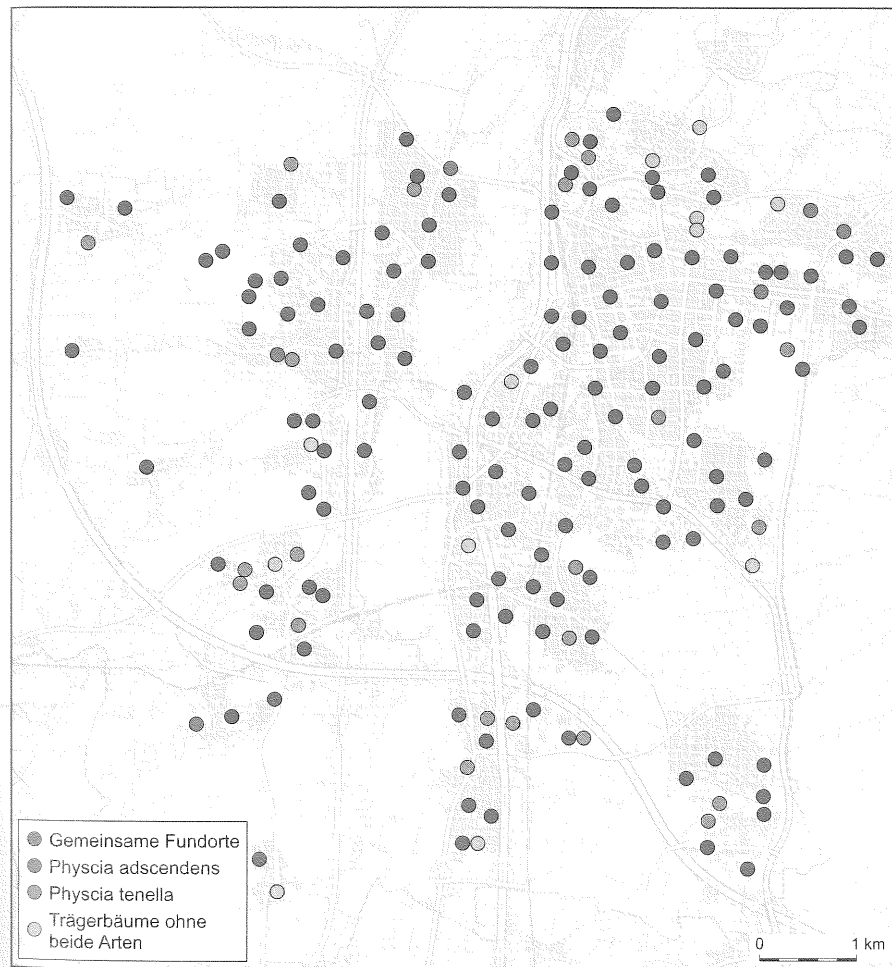


Abb. 3: Verbreitung der Blattflechten *Physcia tenella* und *Physcia adscendens*

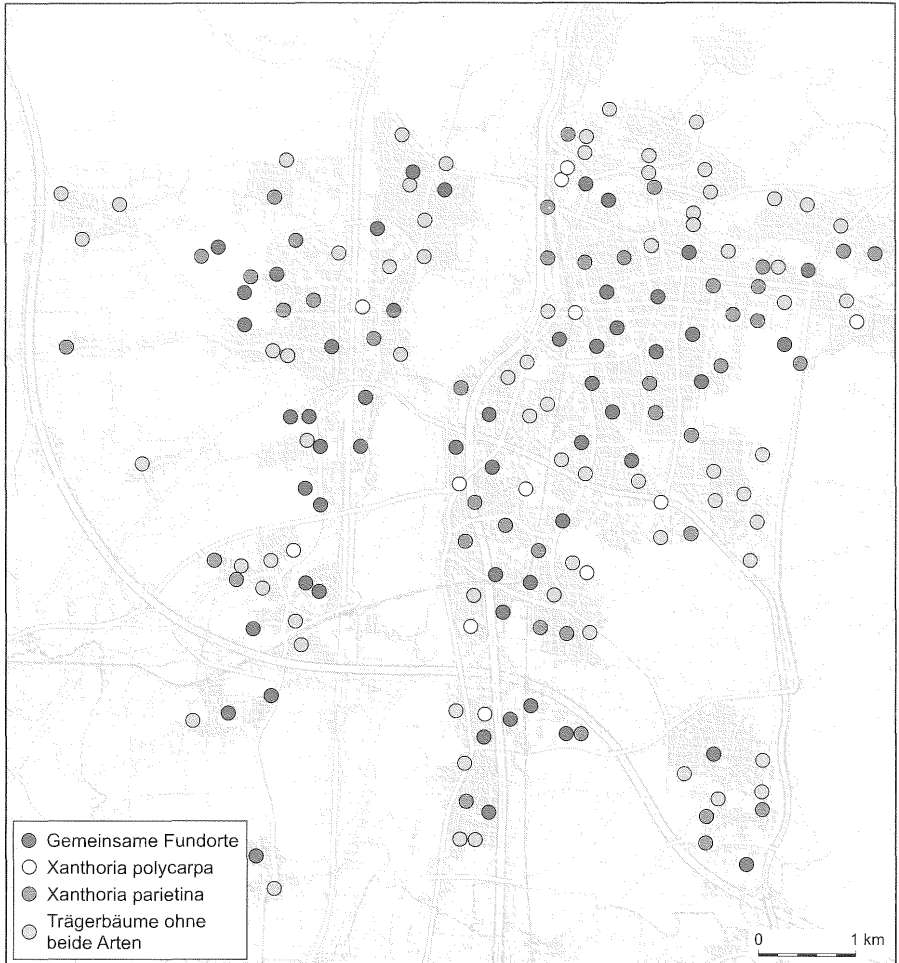


Abb. 4: Verbreitung der Blattflechten *Xanthoria parietina* und *Xanthoria polycarpa* (141 = 80,6 %) *Parmelia sulcata* (115 = 65,7 %), *Phaeophyscia orbicularis* (114 = 65,1 %), *Xanthoria parietina* (95 = 54,3 %), *Hypogymnia physodes* (79 = 45,1 %) und *Xanthoria polycarpa* (64 = 36,6 %). Diese Arten sind sämtlich Blattflechten und kommen im gesamten Stadtgebiet vor (Abb. 3 und 4).

Bis auf *Hypogymnia physodes*, für die als Wuchsort eine saure Borke gilt, bevorzugen die übrigen häufigen Arten durchwegs eine \pm subneutrale, nährstoffreiche und staubimprägnierte Borke (KIRSCHBAUM & WIRTH 1997).

Die selten vorkommenden Flechtenarten zeigen im Stadtgebiet durchwegs einen deutlichen Schwerpunkt in ihrer Verbreitung. Sie alle bevorzugen nach KIRSCHBAUM & WIRTH (1997) vor allem mäßig saure bis saure Borken. Ausschließlich

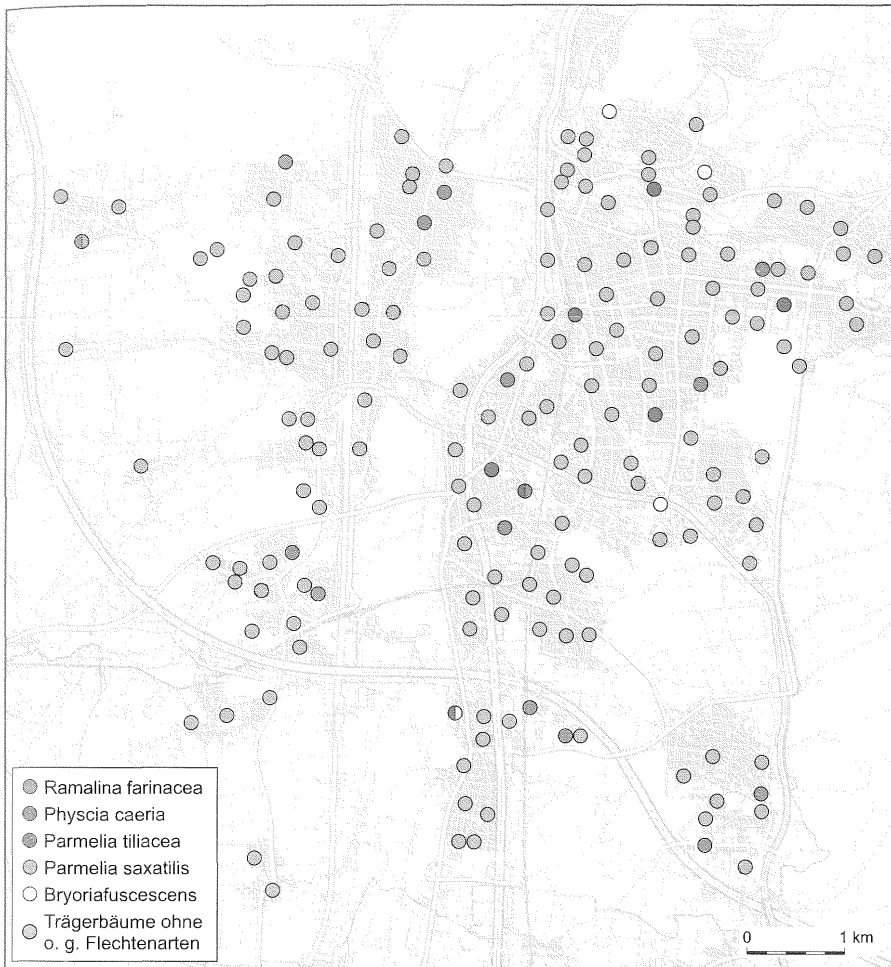


Abb. 5: Verbreitung ausgewählter, selten vorkommender Flechtenarten

oder überwiegend westlich des Main-Donau-Kanals kommen die Strauchflechte *Bryoria fuscescens* (4 x) und die Blattflechten *Parmelia tiliacea* (7 x) und *Physcia caesia* (12 x) meist unter Meidung der dicht bebauten Stadtteile vor. Auf den Norden des Untersuchungsgebietes sind z. B. die Blattflechten *Parmelia caperata* (6 x), *Parmelia flaventior* (6 x), *Parmelia glabratula* (8 x) und *Physcia stellaris* (10 x) beschränkt. Die Strauchflechte *Ramalina farinacea* (3 x) und die Blattflechte *Parmelia saxatilis* (5x) sind nur im Nordosten des Untersuchungsgebietes anzutreffen. In Abb. 5 ist die Verbreitung einiger dieser Arten dargestellt.

Die Anzahl der Flechtenarten auf den erfassten Trägerbäumen liegt einschließlich der Krustenflechten zwischen 2 und 21. Bei einer Gruppierung der Artenzahl

pro Baum in fünf Klassen ergibt sich, dass 6-10 Flechtenarten mit 57 % am häufigsten vorkommen (Abb. 6).

Schwerpunkte der Artenvielfalt (mehr als 11 Arten) sind in folgenden Gebieten zu finden: im Industriegebiet entlang der Frauenaauracher Straße, entlang der Siemens-Gerätewerke, im Bereich der Kreuzung Paul-Gossen-Straße/Hammerbacherstraße und an der Moltkestraße im Norden Erlangens. Durchwegs artenreich sind auch die Bäume in Alterlangen, in der Ortsmitte Büchenbachs, in West-Eltersdorf, im Norden von Tennenlohe sowie in kleinen unzusammenhängenden Gebieten im Osten Erlangens. Hier zeichnen sich die Gebiete Forschungszentrum und Bruck-Ost, die Gegend zwischen Autobahnkreuz und Tennenloher Straße und zwischen Bahnlinie und Karl-Zucker Straße, die Buckenhofer Siedlung und das Gebiet am Fuß des Burgberges aus. Entlang der Schwabachau sowie im Bogen zwischen Hautklinik, Schlossgarten und der Grünanlage am Färberhof finden sich stets mehr als 10 Arten an den Bäumen.

6.3 Beziehung zwischen Flechtenverbreitung und Umweltfaktoren

Die Verbreitung der verschiedenen Flechtenarten sowie deren unterschiedliche Häufigkeit legt nahe, dafür nach Ursachen und Begründungen zu fahnden.

Das Vorkommen der verschiedenen epiphytischen Flechtenarten ist zunächst einmal an das Vorhandensein von geeigneten Bäumen mit ihren spezifischen physikalischen und chemischen Borkeneigenschaften gebunden. Anzahl und Arten der Bäume wiederum hängt von der Flächennutzung und Bebauungsstruktur innerhalb des Stadtgebietes ab. So sind in den Kerngebieten mit Blockbebauung weniger Bäume und meist auch andere Baumarten vorhanden als in der lockeren Bebauung, zu der mehrgeschossige Wohnblocks mit Abstandsgrün sowie Reihenhaus- und Einzelhausbebauung mit ihren Gartenanlagen zählen. Von diesen wiederum unterscheiden sich mit Bäumen bepflanzte Friedhöfe, Parks, Grünflächen vor öffentlichen Gebäuden sowie Spiel- und Sportplätze sowohl nach Anzahl als auch nach Artenvielfalt. Die entlang der Straßen gepflanzten Bäume beschränken sich auf nur wenige Arten, vorzugsweise Eiche, Ahorn und Robinie.

Aus der Flächennutzung und den Bebauungstypen resultiert ein unterschiedlicher Grad der Versiegelung (siehe Beitrag HAID & TRETER in diesem Band), der wiederum großen Einfluss auf das Stadtklima vor allem bezüglich der Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse hat (siehe Beitrag SAMIMI & STROBEL in diesem Band). Einen Ausgleich zu bebauten Gebieten mit einem hohen Versiegelungsgrad bieten Grünflächen mit Gebüsch und Bäumen sowie stadtnahe Wälder. Parkanlagen mit hohen Bäumen haben eine höhere Luftfeuchtigkeit als reine Grünflächen, die tagsüber ähnlich geringe Werte der Luftfeuchtigkeit aufweisen wie versiegelte Plätze und Verkehrsflächen.

In diesem Mosaik der verschiedensten Flächennutzungen, Bebauungsstrukturen und Verkehrsflächen und den dadurch bedingten und beeinflussten stadt-

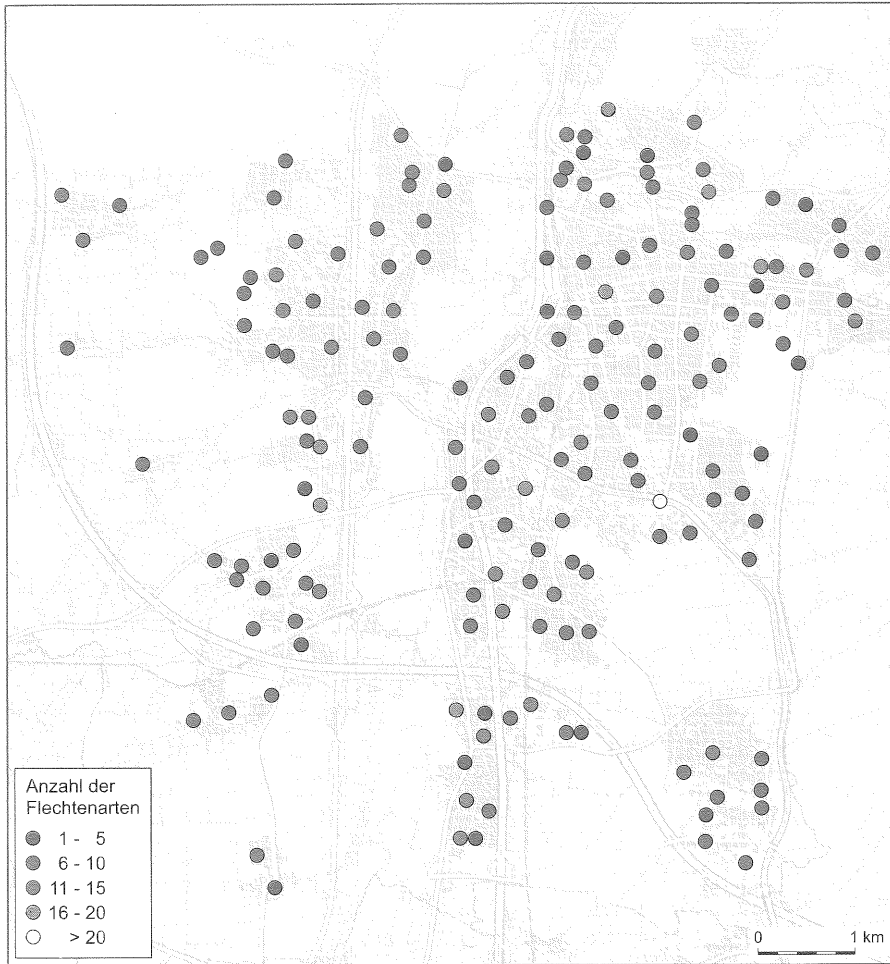


Abb. 6: Anzahl der gefundenen Flechtenarten pro Baum

klimatischen Verhältnissen wachsen die verschiedensten Flechten mit ihren mehr oder weniger spezifischen Ansprüchen an ihren Wuchsort und die Umweltverhältnisse. Von den insgesamt 49 epiphytischen Flechtenarten, die im Stadtgebiet gefunden wurden, gibt es einige, die auf einen bestimmten Typ der Flächennutzung beschränkt sind bzw. in diesem ihre größte Verbreitung haben. Strauch- und Blattflechten wie *Bryoria fuscescens*, *Usnea filipendula*, *Platismatia glauca* und *Ramalina fraxinea* (mit jeweils nur maximal 4 Fundorten) kommen ausschließlich in Parks und in Gebieten mit lockerer Bebauung vor. Sie bevorzugen ein luftfeuchtes Milieu, meiden stickstoffreiche Wuchsorte und haben eine geringe Toxizität (WIRTH 1991). Dass sie nicht wie zu erwarten an Auenrändern und Waldstandorten anzutreffen sind, mag an ihrem hohen Lichtbedürfnis liegen.

Von den Arten, die als angepasst an ein trockenes Wuchsmilieu gelten (WIRTH 1991), besiedelt nur die trockenolerante Blattflechte *Physcia caesia* in über 50 % aller Fundstellen Bereiche dichter Bebauung sowie der Industrie- und Gewerbegebiete (vgl. Abb. 5). Doch auch für einige Arten ohne spezielle Ansprüche lassen sich Schwerpunkte ihrer Verbreitung in bestimmten Flächennutzungstypen feststellen, wobei insbesondere der Gegensatz von Flächen mit einem größeren Grünflächenanteil und solchen mit dichter Bebauung und hohem Versiegelungsgrad deutlich wird. So hat die Artengruppe mit *Candelaria concolor*, *Hypogymnia physodes*, *Hypogymnia tubulosa* und *Parmelia subrudecta* ihren Verbreitungsschwerpunkt bei einem Versiegelungsgrad von 20–40 % und hohem Grünflächenanteil. Eine gute Beziehung zu dicht bebauten Gebieten mit einer Versiegelung von 60–90 % zeigen Arten, die nach den bisherigen Kenntnissen eigentlich sehr unterschiedliche Ansprüche haben (KIRSCHBAUM & WIRTH 1997). So kommen hier mit immerhin 30 bzw. 47 Fundstellen die als hygrophil und empfindliche Zeigerarten geltenden Strauchflechten *Pseudevernia furfuracea* und *Evernia prunastri* vor, ebenso die mit 7 bzw. 10 Fundstellen selteneren Blattflechten *Parmelia tiliacea* und *Physcia stellaris*, die von WIRTH (1995) als gefährdete Arten eingestuft werden. Nicht überraschend ist in diesen Gebieten dagegen das gehäufte Vorkommen der drei *Xanthoria*-Arten (*X. parietina* (95 x), *X. polycarpa* (66 x) und *X. candelaria* (32 x), die warme, trockene und gut eutrophierte Wuchsorte bevorzugen (vgl. Abb. 4).

Nährstoffeinträge, die aus Stäuben, aus der Luft oder aus dem Niederschlagswasser stammen, beeinflussen sowohl die Baumborke als Substrat für die Flechten als auch das Wachstum der Flechten. Die Wirkung von Stäuben, die im Stadtgebiet von Erlangen seit über 10 Jahren \pm konstant bei 30–50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft liegen (KALUZA et al. 1999), besteht darin, dass die primär \pm mäßig sauren oder \pm sauren Borkensubstrate zunehmend subneutral werden. Dieses Phänomen wird an der großflächigen Verbreitung von Flechten wie *Physcia tenella*, *Physcia adscendens* u.a. deutlich (vgl. Abb. 3), die eben solche subneutralen Substrate bevorzugen. Denn während nur 43 % der erfassten Bäume eine primär subneutrale Borke aufweisen, kommen diese Flechten auf 80–90 % aller Bäume vor.

Für die Flechten selbst liefern die Stäube wichtige Nährstoffe, die vor allem neutrophytische Flechten begünstigen, die einen höheren Nährstoffbedarf haben als acidophytische (WINDISCH 1999). Ein wesentlicher Nährstoff ist der Stickstoff, der u.a. aus den Stickoxid-Emissionen der Kraftfahrzeuge stammt. Diese Emissionen, die in Erlangen seit etwa 1980 relativ konstant geblieben sind (KALUZA et al. 1999), sind im Bereich verkehrsreicher Straßen besonders hoch, wie die Rasterkartierung der NO_x-Belastung Erlangens für das Jahr 1992 belegt (FLEISCHMANN-SCHIEBER 2003, nach KALUZA et al. 1999).

Rund 30 % der im Stadtgebiet gefundenen Flechtenarten gelten nach den Zeigerwerten von KIRSCHBAUM & WIRTH (1997) als nitrophil, d.h. sie werden durch eine gute bis sehr gute Stickstoffversorgung in ihrem Wuchs begünstigt. Beachtenswert ist, dass die am häufigsten vorkommenden Arten durchwegs nitrophil sind wie z.B. *Parmelia sulcata*, *Physcia adscendens*, *Physcia tenella*, *Phaeophyscia orbicula-*

Von den Arten, die als angepasst an ein trockenes Wuchsmilieu gelten (WIRTH 1991), besiedelt nur die trockenolerante Blattflechte *Physcia caesia* in über 50 % aller Fundstellen Bereiche dichter Bebauung sowie der Industrie- und Gewerbegebiete (vgl. Abb. 5). Doch auch für einige Arten ohne spezielle Ansprüche lassen sich Schwerpunkte ihrer Verbreitung in bestimmten Flächennutzungstypen feststellen, wobei insbesondere der Gegensatz von Flächen mit einem größeren Grünflächenanteil und solchen mit dichter Bebauung und hohem Versiegelungsgrad deutlich wird. So hat die Artengruppe mit *Candelaria concolor*, *Hypogymnia physodes*, *Hypogymnia tubulosa* und *Parmelia subrudecta* ihren Verbreitungsschwerpunkt bei einem Versiegelungsgrad von 20–40 % und hohem Grünflächenanteil. Eine gute Beziehung zu dicht bebauten Gebieten mit einer Versiegelung von 60–90 % zeigen Arten, die nach den bisherigen Kenntnissen eigentlich sehr unterschiedliche Ansprüche haben (KIRSCHBAUM & WIRTH 1997). So kommen hier mit immerhin 30 bzw. 47 Fundstellen die als hygrophil und empfindliche Zeigerarten geltenden Strauchflechten *Pseudevernia furfuracea* und *Evernia prunastri* vor, ebenso die mit 7 bzw. 10 Fundstellen selteneren Blattflechten *Parmelia tiliacea* und *Physcia stellaris*, die von WIRTH (1995) als gefährdete Arten eingestuft werden. Nicht überraschend ist in diesen Gebieten dagegen das gehäufte Vorkommen der drei *Xanthoria*-Arten (*X. parietina* (95 x), *X. polycarpa* (66 x) und *X. candelaria* (32 x)), die warme, trockene und gut eutrophierte Wuchsorte bevorzugen (vgl. Abb. 4).

Nährstoffeinträge, die aus Stäuben, aus der Luft oder aus dem Niederschlagswasser stammen, beeinflussen sowohl die Baumborke als Substrat für die Flechten als auch das Wachstum der Flechten. Die Wirkung von Stäuben, die im Stadtgebiet von Erlangen seit über 10 Jahren \pm konstant bei 30–50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft liegen (KALUZA et al. 1999), besteht darin, dass die primär \pm mäßig sauren oder \pm sauren Borkensubstrate zunehmend subneutral werden. Dieses Phänomen wird an der großflächigen Verbreitung von Flechten wie *Physcia tenella*, *Physcia adscendens* u.a. deutlich (vgl. Abb. 3), die eben solche subneutralen Substrate bevorzugen. Denn während nur 43 % der erfassten Bäume eine primär subneutrale Borke aufweisen, kommen diese Flechten auf 80–90 % aller Bäume vor.

Für die Flechten selbst liefern die Stäube wichtige Nährstoffe, die vor allem neutrophytische Flechten begünstigen, die einen höheren Nährstoffbedarf haben als acidophytische (WINDISCH 1999). Ein wesentlicher Nährstoff ist der Stickstoff, der u.a. aus den Stickoxid-Emissionen der Kraftfahrzeuge stammt. Diese Emissionen, die in Erlangen seit etwa 1980 relativ konstant geblieben sind (KALUZA et al. 1999), sind im Bereich verkehrsreicher Straßen besonders hoch, wie die Rasterkartierung der NO_x -Belastung Erlangens für das Jahr 1992 belegt (FLEISCHMANN-SCHIEBER 2003, nach KALUZA et al. 1999).

Rund 30 % der im Stadtgebiet gefundenen Flechtenarten gelten nach den Zeigerwerten von KIRSCHBAUM & WIRTH (1997) als nitrophil, d.h. sie werden durch eine gute bis sehr gute Stickstoffversorgung in ihrem Wuchs begünstigt. Beachtenswert ist, dass die am häufigsten vorkommenden Arten durchwegs nitrophil sind wie z.B. *Parmelia sulcata*, *Physcia adscendens*, *Physcia tenella*, *Phaeophyscia orbicula-*

ris, *Xantoria parietina* und *Xanthoria polycarpa* (vgl. Abb. 3 und 4). Aber auch einige weitere, jedoch weniger häufige Arten wie *Candelaria concolor*, *Physconia grisea* und *Xanthoria candelaria* sind als nitrophil einzustufen. Alle nitrophilen Flechtenarten sind im gesamten Stadtgebiet verbreitet, zeigen jedoch keine strenge Beziehung zu den durch hohen Kraftfahrzeugverkehr belasteten Straßen.

Ein hoher Stickstoffeintrag scheint durch die Begünstigung nitrophiler Arten keine ausschließende Wirkung für Arten zu haben, die als nitrophob, d.h. stickstoffmeidend gelten. Vielmehr ist festzustellen, dass nitrophile und nitrophobe Arten neben- und miteinander am gleichen Trägerbaum wachsen. Daraus ergibt sich in der Regel eine relativ große Artenvielfalt.

Stark versiegelte und dicht bebaute Gebiete zeichnen sich nach vielen stadtklimatischen Untersuchungen durch ein relativ trockenes und warmes Mikroklima aus. Diese Klimaverhältnisse sollten sich eigentlich in dem Vorkommen von Flechten mit geringeren Feuchtigkeitsansprüchen widerspiegeln. Tatsächlich finden sich jedoch oft am gleichen Baum Arten, die nach den bekannten Zeigerwerten (vgl. KIRSCHBAUM & WIRTH 1997) einen völlig gegensätzlichen Feuchtigkeitsbedarf haben. Insgesamt ist Erlangen so locker bebaut und mit Grünflächen und zahlreichen Straßenbäumen durchsetzt, dass sich nur einzelne Wärmeinseln ausbilden und somit kein zusammenhängendes überwärmtes Gebiet vorhanden ist. Nach verschiedenen Untersuchungen (*Deutscher Wetterdienst* 1998 und *ABSP* 1992) durchziehen zwar Frischluftschneisen die Stadt, allen voran die Schwabach- und Regnitztaue, aber sie wirken sich allenfalls auf ihre benachbarten Gebiete aus (s. Beitrag SAMIMI & STROBEL in diesem Band). Auffällig oft wachsen hier feuchteliebende oder als empfindlich gegenüber Luftschadstoffen geltende Arten. Allerdings treten gleichzeitig mit ihnen auch solche Arten auf, die einen gewissen Eutrophierungsgrad durch Stickstoff und Stäube bevorzugen.

6.4 Dynamik der Flechtenvegetation

Im Jahr 1973 wurde schon einmal eine Untersuchung über die Flechtenflora von Erlangen durchgeführt (KILIAS 1974). Im Vergleich zu dieser Untersuchung konnten bei der Erhebung im Jahr 2002 (FLEISCHMANN-SCHIEBER 2003 und STEITZ 2003) in der Gruppe der Strauch- und Blattflechten 10 neue bzw. zusätzliche Arten identifiziert werden, obgleich bei dieser Erhebung nur 175 Bäume erfasst wurden, während von KILIAS 258 Bäume aufgenommen wurden. Beachtlich ist, dass drei der neuen Arten, nämlich die Blattflechten *Parmeliopsis ambigua*, *Hypogymnia tubulosa* und *Parmelia subrudecta* an bis zu 48 Fundorten festgestellt werden konnten. *Parmeliopsis ambigua* wird nach WIRTH (1995) als eine Art mit anhaltender Ausbreitungstendenz charakterisiert. Die übrigen neuen Arten sind weitaus seltener (Tab. 2).

Die Zahl von Neufunden darf jedoch nicht überbewertet und zunächst nicht als Indiz für veränderte Umweltbedingungen herangezogen werden, weil die Erfassungsmethoden beider Untersuchungen nicht identisch sind. Bei einem deutlich

größeren Stichprobenumfang ist nicht auszuschließen, dass noch weitere Flechtenarten erfasst werden können.

Von den bei KILIAS (1974) aufgeführten Arten konnte bei der Aufnahme im Jahr 2002 nur die Blattflechte *Physconia distorta* nicht wiedergefunden bzw. nicht eindeutig identifiziert werden. Weitere Untersuchungen könnten darüber Auskunft geben, ob diese schon immer seltene Flechte tatsächlich aus dem Stadtgebiet verschwunden ist.

Viel bedeutsamer als der Nachweis neuer Arten ist die Tatsache, dass viele der Blatt- und Strauchflechten über den fast 30-jährigen Zeitraum hinweg wesentlich häufiger geworden sind. Dazu zählen insbesondere *Candelaria concolor*, *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Physcia dubia*, *Physcia tenella* und *Xanthoria parietina* (Tab.2), die sich inzwischen über das gesamte bebaute Stadtgebiet verbreitet haben. Auffällig ist, daß es sich bei ihnen meistens um stark nitrophile Arten handelt. Ebenfalls ausgebreitet haben sich auch als wenig nitrophil geltende Arten wie die Strauchflechten *Evernia prunastri*, *Pseudevernia furfuracea* und *Usnea hirta*, wobei die beiden letzteren trotz relativ hoher Feuchtigkeitsansprüche nun auch in den inneren Stadtteilen anzutreffen sind.

Daneben gibt es einige Arten wie z.B. die Blattflechte *Physconia grisea*, deren Häufigkeit und Verbreitungsareal relativ konstant geblieben ist, während andere unter Wahrung ihrer Häufigkeit aus einigen Gebieten verschwunden sind, dafür aber heute in anderen Gebieten auftreten (z. B. *Bryoria fuscescens*, *Parmelia saxatilis* und *Physcia stellaris*).

7 Zusammenfassung

Seit der Bestandsaufnahme aus dem Jahr 1973 (KILIAS 1974) hat sich die epiphytische Flechtenflora im Stadtgebiet von Erlangen stark ausgebreitet. Die damals vorhandenen Arten sind häufiger geworden oder haben sich mehr oder weniger über das gesamte bebaute Stadtgebiet ausgedehnt. Neue Arten sind aufgetaucht und führen zu einer wachsenden Artenvielfalt. Die vor 30 Jahren fast flechtenfreie Innenstadt, in der meistens nur die schadstofftolerante Krustenflechte *Lecanora conizaioides* vorkam, ist deutlich artenreicher geworden.

Doch was wissen wir über die Gründe und Ursachen, die zu einer Zunahme und Ausbreitung der Flechtenvegetation geführt haben? Sicher ist, dass der erhebliche Rückgang der SO₂-Belastung seit Ende der 1980er Jahre das Wachstum der Flechten und die Wiederbesiedlung vormals flechtenarmer Gebiete nachhaltig begünstigt hat. Sicher ist auch, dass z.B. die nitrophilen Flechten wegen der anhaltend hohen Stickoxid-Emissionen vornehmlich aus dem Straßenverkehr vermehrt

Tabelle 2 (gegenüberliegende Seite): Gefundene Flechtenarten und ihre Wuchsformen im Untersuchungsgebiet aus den Erhebungen in den Jahren 1973 und 2002 (K=Killias 1974; FS=Fleischmann-Schieber 2003 und Steitz 2003)

Flechten in Erlangen

Flechtenart	Wuchsform	Erhebungen von		258 Bäume		175 Bäume	
		1974	2002	Fundorte 1974	%	Fundorte 2002	%
<i>Bryoria fuscescens</i>	Strauchflechte	K	FS	5	1,9	4	2,3
<i>Candelaria concolor</i>	Blattflechte	K	FS	4	1,6	34	19,4
<i>Cladonia digitata</i>	Blattflechte	K	FS	6	2,3	9	5,1
<i>Cladonia fimbriata</i>	Blattflechte		FS			1	0,6
<i>Cladonia pyxidata</i>	Blattflechte	K	FS	14	5,4	1	0,6
<i>Evernia prunastri</i>	Strauchflechte	K	FS	35	13,6	47	26,9
<i>Hypogymnia farinacea</i>	Blattflechte		FS			1	0,6
<i>Hypogymnia physodes</i>	Blattflechte	K	FS	75	29,1	83	47,4
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	Blattflechte		FS			24	13,7
<i>Parmelia acetabulum</i>	Blattflechte	K	FS	36	14,0	5	2,9
<i>Parmelia caperata</i>	Blattflechte		FS			6	3,4
<i>Parmelia exasperatula/elegantula/fuliginosa</i>	Blattflechte	K	FS	44	17,1	65	37,1
<i>Parmelia flaventior</i>	Blattflechte		FS			6	3,4
<i>Parmelia glabrata</i>	Blattflechte		FS			8	4,6
<i>Parmelia saxatilis</i>	Blattflechte	K	FS	8	3,1	5	2,9
<i>Parmelia subrudecta</i>	Blattflechte		FS			20	11,4
<i>Parmelia sulcata</i>	Blattflechte	K	FS	83	32,2	115	65,7
<i>Parmelia tiliacea (scortea)</i>	Blattflechte	K	FS	2	0,8	7	4,0
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	Blattflechte		FS			48	27,4
<i>Phaeophyscia (Physicia) orbicularis</i>	Blattflechte	K	FS	35	13,6	114	65,1
<i>Physcia adscendens</i>	Blattflechte	K	FS	26	10,1	141	80,6
<i>Physcia aipolia</i>	Blattflechte		FS			3	1,7
<i>Physcia caesia</i>	Blattflechte	K	FS	2	0,8	12	6,9
<i>Physcia dubia</i>	Blattflechte	K	FS	22	8,5	40	22,9
<i>Physcia stellaris</i>	Blattflechte	K	FS	17	6,6	10	5,7
<i>Physcia tenella (s. Ph. ascendens)</i>	Blattflechte	K	FS	127	49,2	157	89,7
<i>Physconia grisea</i>	Blattflechte	K	FS	50	19,4	23	13,1
<i>Physconia perisidiosa</i>	Blattflechte		FS			1	0,6
<i>Physconia distorta (pulverulenta)</i>	Blattflechte	K		5	1,9		
<i>Platismatia glauca</i>	Blattflechte	K	FS	2	0,8	4	2,3
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	Strauchflechte	K	FS	4	1,6	30	17,1
<i>Ramalina farinacea</i>	Strauchflechte	K	FS	4	1,6	3	1,7
<i>Ramalina fraxinea</i>	Strauchflechte	K	FS	2	0,8	1	0,6
<i>Usnea filipendula (dasypoga)</i>	Strauchflechte	K	FS	1	0,4	2	1,1
<i>Usnea hirta</i>	Strauchflechte	K	FS	5	1,9	35	20,0
<i>Xanthoria candelaria</i>	Blattflechte	K	FS	33	12,8	32	18,3
<i>Xanthoria fallax</i>	Blattflechte		FS			1	0,6
<i>Xanthoria parietina</i>	Blattflechte	K	FS	42	16,3	95	54,3
<i>Xanthoria polycarpa</i>	Blattflechte	K	FS	4	1,6	66	37,7

geeignete Wuchsorte finden und sich auch abseits verkehrsreicher Straßen über das gesamte Stadtgebiet ausbreiten und an Häufigkeit zunehmen. Unklar ist dagegen, welchen Einfluss die verschiedenen kleinräumig wechselnden Flächennutzungen, Bebauungsstrukturen und Flächenversiegelungen direkt oder in ihrer Auswirkung auf das städtische Mikroklima auf das Vorkommen bestimmter Flechtenarten ausüben. Denn häufig sind an ein und demselben Baum mehrere Flechtenarten anzutreffen, die nach dem bisherigen Kenntnisstand eigentlich unterschiedliche Ansprüche z.B. hinsichtlich Feuchtigkeit und Stickstoffversorgung, an ihren Wuchsort und ihre Umgebung haben und für unterschiedliche Toleranzen gegenüber Schadstoffbelastungen ausgewiesen sind. Vor dem Hintergrund der in Erlangen gewonnenen Ergebnisse erscheint die Verwendung der Flechten als Indikatoren zur Beurteilung der Luftbelastung und anderer Umwelteinflüsse wenig geeignet und angebracht. Diese Einschätzung ist weitgehend konform mit der von SCHÖLLER (1993) gemachten Feststellung zum Wert der Flechten als Bioindikatoren.

Auch wenn die Regeln und Ursachen des Vorkommens und der Verbreitung der vielfältigen Flechtenflora im Stadtgebiet von Erlangen nicht gefunden werden konnten, so bleibt doch die Freude an der Entdeckung der verschiedenen Flechtenarten, deren Vielgestaltigkeit und Schönheit sich allerdings erst bei näherer Betrachtung erschließt.

Literatur

- ABSP 1992: s. Bayerisches Staatsministerium...
- Baumkataster der Stadt Erlangen (o.J.). Erlangen.
- Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.) 1992: Arten- und Biotopschutzprogramm (ABSP) Bayern: Stadt Erlangen – mit weitergehenden landschaftsplanerischen Fachbeiträgen. München
- Deutscher Wetterdienst (Hrsg.) 1989: Klimagutachten zur Entwicklungs- und Flächennutzungsplanung der Stadt Erlangen.
- FLEISCHMANN-SCHIEBER, B. 2003: Flechtenverbreitung in Erlangen unter besonderer Berücksichtigung der Standortverhältnisse. Diplomarbeit am Institut für Geographie der Universität Erlangen-Nürnberg.
- KALUZA, H., KIELMANN, N. & SEEBERGER, J. 1999: Luftreinhalteplan in Erlangen. Luftbelastung durch den Kraftfahrzeugverkehr 1999. Erlangen.
- KANDLER, O. & POELT, J. 1984: Wiederbesiedlung der Innenstadt von München durch Flechten. In: Naturw. Rundsch. 37: 90-95.
- KILIAS, H. 1974: Die epiphytische Flechtenvegetation im Stadtgebiet von Erlangen. In: Hoppea, 33: 101-151.
- KIRSCHBAUM, L. & STEUBING, L. 1987: Veränderungen der epiphytischen Flechtenvegetation in der Region Untermain (1971-1985) und ihre Beziehung zur Emissionssituation. In: Staub Reinh. d. Luft 47 11/12: 257-260.
- KIRSCHBAUM, L. & WIRTH, V. 1997: Flechten erkennen, Luftgüte bestimmen. Stuttgart.
- MACHER, M. 1987: Flechtenwuchszonen und die Veränderung der Luftqualität in München seit 1890. - VDI-Berichte 609:641-652.
- RABE, R. & WIEGEL, H. 1985: Wiederbesiedlung des Ruhrgebietes durch Flechten zeigt Verbesserung der Luftqualität an. In: Staub Reinh. d. Luft 45 (3):124-126.

- SCHÖLLER, H. 1993: Zur Problematik von Bioindikator-Modellen am Beispiel der Flechten. In: *Natur und Museum* 123 (10): 292-314.
- Stadt Erlangen, Amt für Stadtplanung- und -entwicklung*, o.J.: Amtliche digitale Stadtkarte von Erlangen.
- STEITZ, S. 2003: Struktur und pH-Wert der Borken als Standortfaktoren der Flechten im Stadtgebiet von Erlangen.- Diplomarbeit am Institut für Geographie der Universität Erlangen-Nürnberg.
- VDI-Richtlinie* 3799, Blatt. 1, 1995: Messen von Immissionswirkungen. Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten: Flechtenkartierung zur Ermittlung des Luftgütewertes.
- WINDISCH, U. 1999: Evaluierung der Bioindikationsverfahren mit Flechten zur Bestimmung der Luftgüte anhand landesweiter Erhebungen in Hessen und Bayern. (=Dissertationes Botanicae 314) Berlin. Stuttgart.
- WIRTH, V. 1991: Zeigerwerte von Flechten.- In: Ellenberg, H. et al.: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. In: *Scripta Geobot.* 18:215-237.
- WIRTH, V. 1995: Die Flechten Baden-Württembergs (Teil 1 und 2). Stuttgart.
- WIRTH, V. & DÜLL, R. 2000: *Farbatlas Flechten und Moose*. Stuttgart.

