

Flechten als Bioindikatoren der Luftgüte in Bayern

Bearbeitung:

Fraxinus GbR

Dipl.-Biologin Ute Windisch

Dipl.-Ing. Umweltschutz Alexander Vorbeck

Auftraggeber:

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Projektleitung:

Dr. Ludwig Peichl

Dr. Jutta Köhler

Aschaffenburg, im November 1996

INHALTSVERZEICHNIS

1 EINLEITUNG	1
2 DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET	2
2.1 Naturräumliche Gliederung	3
2.2 Geologie	4
2.3 Meereshöhe	5
2.4 Klima	6
3 FLECHTEN ALS BIOINDIKATOREN	7
4 METHODIK	10
4.1 Meßnetz	10
4.2 Trägerbäume	11
4.3 Erfassung der Flechten	13
5 ERGEBNISSE UND DISKUSSION	14
5.1 Artenliste	14
5.2 Anteile der Baumarten an den kartierten Trägerbäumen	17
5.3 Berechnung und Klassifizierung der Luftgütewerte	17
5.4 Luftgütekarte von Bayern	20
5.5 Auswertung der Zeigerwerte nach Ellenberg	24
5.6 Vergleich der Luftgütewerte mit anderen Umweltfaktoren	28
5.7 Verbreitung ausgewählter Arten	32
5.8 Diskussion der Methodik	42
5.8.1 Baumartenvergleich	42
5.8.2 Meßnetz und Meßflächengröße	52
5.8.3 Anwendbarkeit der VDI-Richtlinie in Bayern	52
5.9 Vergleich mit anderen immissionsbezogenen Flechtenkartierungen	54
6 ZUSAMMENFASSUNG	57
7 LITERATURVERZEICHNIS	59
ANHANG	
Anhang 1: Datenblatt	
Anhang 2: Ergebnistabelle	

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 01: Naturräumliche Gliederung Bayerns	3
Abb. 02: Verteilung der Stationen mit karbonatischem bzw. karbonatfreiem Untergrund	4
Abb. 03: Meereshöhe der untersuchten Stationen	5
Abb. 04: Verteilung der mittleren Niederschläge	6
Abb. 05: Schematischer Querschnitt durch eine Blattflechte	7
Abb. 06: Größe des Meßnetzes	10
Abb. 07: Flechtenaufnahmegitter am Baum	13
Abb. 08: Anteile der Baumarten an den kartierten Trägerbäumen	17
Abb. 09: Einteilung und Bewertung der Luftgüteklassen	19
Abb. 10: Luftgütekarte von Bayern	21
Abb. 11: Mittlere Toxitoleranz an den Stationen	25
Abb. 12: Mittlere Reaktionszahl an den Stationen	26
Abb. 13: Mittlere Nährstoffzahl an den Stationen	27
Abb. 14: Schwefelgehalte in Fichtennadeln	31
Abb. 15: Mittlere Häufigkeit von <i>Physcia adscendens/tenella</i>	33
Abb. 16: Mittlere Häufigkeit von <i>Parmelia subargentifera</i>	34
Abb. 17: Mittlere Häufigkeit von <i>Parmelia pastillifera</i>	35
Abb. 18: Mittlere Häufigkeit von <i>Parmelia tiliacea</i>	36
Abb. 19: Mittlere Häufigkeit von <i>Xanthoria parietina</i>	37
Abb. 20: Mittlere Häufigkeit von <i>Hypogymnia physodes</i>	38
Abb. 21: Mittlere Häufigkeit von <i>Parmelia saxatilis</i>	39
Abb. 22: Mittlere Häufigkeit von <i>Lecanora conizaeoides</i>	40
Abb. 23: Korrelation der Luftgütewerte von Linden mit denen der Baumarten der Gruppe 1	44
Abb. 24: Verteilung der kartierten Linden	44
Abb. 25: Korrelation der Luftgütewerte von Birnbäumen mit denen der Baumarten der Gruppe 1	45
Abb. 26: Verteilung der kartierten Birnbäume	45
Abb. 27: Korrelation der Luftgütewerte von Bergahornen mit denen der Baumarten der Gruppe 1	46
Abb. 28: Verteilung der kartierten Bergahorne	46
Abb. 29: Korrelation der Luftgütewerte von Apfelbäumen mit denen der anderen Baumarten der Gruppe 1	47
Abb. 30: Verteilung der kartierten Apfelbäume	47

Abb. 31: Korrelation der Luftgütewerte von Pappeln mit denen der anderen Baumarten der Gruppe 1	48
Abb. 32: Verteilung der kartierten Pappeln	48
Abb. 33: Korrelation der Luftgütewerte von Eschen mit denen der anderen Baumarten der Gruppe 1	49
Abb. 34: Verteilung der kartierten Eschen	49
Abb. 35: Korrelation der Luftgütewerte von Spitzahornen mit denen der anderen Baumarten der Gruppe 1	50
Abb. 36: Verteilung der kartierten Spitzahorne	50
Abb. 37: Korrelation der Luftgütewerte von Walnußbäumen mit denen der anderen Baumarten der Gruppe 1	51
Abb. 38: Verteilung der kartierten Walnußbäume	51

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 01: Baumartengruppen nach VDI-Richtlinie 3799, mit Baumumfang in cm	11
Tab. 02: Artenliste	15
Tab. 03: Statistische Daten des Projekts	19
Tab. 04: Ergebnisse der Korrelationsberechnungen zwischen den Luftgütewerten (LGW) und anderen Umweltparametern	29
Tab. 05: Ergebnisse des Baumartenvergleichs	43
Tab. 06: Vergleich der landesweiten Flechtenkartierungen in Bayern und Hessen	55

1 EINLEITUNG

Der Eintrag anthropogener Luftverunreinigungen größeren Umfangs begann mit der Industrialisierung und hat sich mit zunehmender Technisierung immer weiter verstärkt. Die Gewinnung zuverlässiger Immissionsdaten ist zeit- und kostenaufwendig. So erstreckt sich das Spektrum der regelmäßig gemessenen Komponenten nur auf folgende Leitstoffe: SO₂, CO, NO, NO₂, O₃, C_nH_m und Gesamtstaub (STEUBING et al. 1995).

Liegen Immissionsmessungen vor, so stellt sich im nächsten Schritt die Frage, wie diese auf Organismen und Sachgüter wirken. So kann es bei gleichzeitiger Einwirkung mehrerer Schadstoffe zu synergistischen Wirkungen kommen. Um Wirkungen faßbar zu machen, werden Bioindikatoren verwendet. Nach SCHUBERT (1991) sind Bioindikatoren Organismen, bei denen enge Beziehungen zwischen ihren Reaktionen und bestimmten Umweltbedingungen bestehen.

Für die Beurteilung von Luftverunreinigungen haben sich Flechten als gute Bioindikatoren erwiesen. Dabei reagieren sie nicht nur auf einzelne Schadstoffkomponenten, sondern auf einen Komplex von Schadgasen (HERZIG et al. 1987). Sie sind Zeiger für die biologisch wirksame Gesamtbelastung. RABE & BECKELMANN (1987) fanden, daß mit abnehmendem Flechtenbewuchs die Häufigkeit von menschlichen Atemwegserkrankungen steigt.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine landesweite Erhebung der lufthygienischen Situation in Bayern anhand einer Flechtenkartierung. Diese soll das vorhandene bayernweite Biomonitoringprogramm ergänzen. Es besteht bisher aus:

- einem Depositionsmeßnetz mit 23 Stationen
- einem Standortfichtenmeßnetz mit 190 Stationen
- einem Moosmeßnetz mit 297 Stationen
- sechs Dauerbeobachtungsstationen

Die drei immissionsökologischen Meßnetze (Depositions-, Standortfichten- und Moosmeßnetz) liefern Grundinformationen über den landesweiten Eintrag ausgewählter chemischer Elemente und Verbindungen. Mit den sechs Dauerbeobachtungsstationen wird mit umfassenden physikalisch-chemischen und biologischen Untersuchungen versucht, die Wirkung

auf Flora und Fauna abzuschätzen. Aufgrund des notwendigen Aufwandes sind diese aber nur punktuell durchführbar. Die Flechtenkartierung ermöglicht mit vergleichsweise geringem Aufwand großräumig Daten über die Gesamtbelastung der Luft zu erhalten. Als Forschungs- und Entwicklungsvorhaben soll gleichzeitig untersucht werden, inwieweit die bereits bestehende VDI-RICHTLINIE 3799 zur Flechtenkartierung für die Anwendung in Bayern geeignet ist. Die Arbeit hat zum jetzigen Zeitpunkt nahezu Pioniercharakter. Nach der hessischen ist die bayerische immissionsbezogene Flechtenkartierung erst die zweite landesweite Erhebung.

2 DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

Bayern ist mit einer Fläche von 70.546 km² das größte Land der Bundesrepublik Deutschland. Mit 168 Einw./km² ist es im Vergleich zu anderen Bundesländern dünn besiedelt. Bayern erstreckt sich in einer Länge von rund 330 km zwischen der unteren Mainebene und den nördlichen Kalkalpen. Es ist vielfach gegliedert durch seinen Anteil an der Mittelgebirgsschwelle (Spessart und Rhön), am süddeutschen Schichtstufenland, am Alpenvorland und den Alpen. Das Mittelfränkische Becken (Nürnberg) wird von der Fränkischen Schweiz im Norden und der Fränkischen Alb (Jura) im Süden und Osten umrahmt. Der Fränkische Wald schließt die Alb nach Norden ab. Fichtelgebirge, Bayerischer Wald und Böhmerwald sind die Grenzgebirge zur Tschechischen Republik. Die Donau grenzt die nördlichen Gebiete Bayerns vom Alpenvorland mit seinen zahlreichen großen Seen ab. In den nördlichen Kalkalpen ist die Zugspitze mit 2.963 m die höchste Erhebung Deutschlands. Bayern verfügt über die größte landwirtschaftliche Nutzfläche der Bundesrepublik, wobei südlich der Donau im Alpenvorland bei steigender Höhe Grünlandwirtschaft überwiegt. Die Großräume München, Nürnberg, Augsburg und Würzburg sind die wichtigsten Zentren von Industrie und Dienstleistungssektor (MUNZINGER 1995).

Die Flechtenvegetation eines Gebietes wird nicht nur vom Grad der Luftverunreinigung bestimmt. Vielmehr wird sie auch durch die Geologie und klimatische Faktoren beeinflusst. Deshalb wird auf diese natürlichen Gegebenheiten im Untersuchungsgebiet kurz eingegangen. Die Naturräumliche Gliederung Bayerns ist in Abb. 01 dargestellt.

2.1 Naturräumliche Gliederung

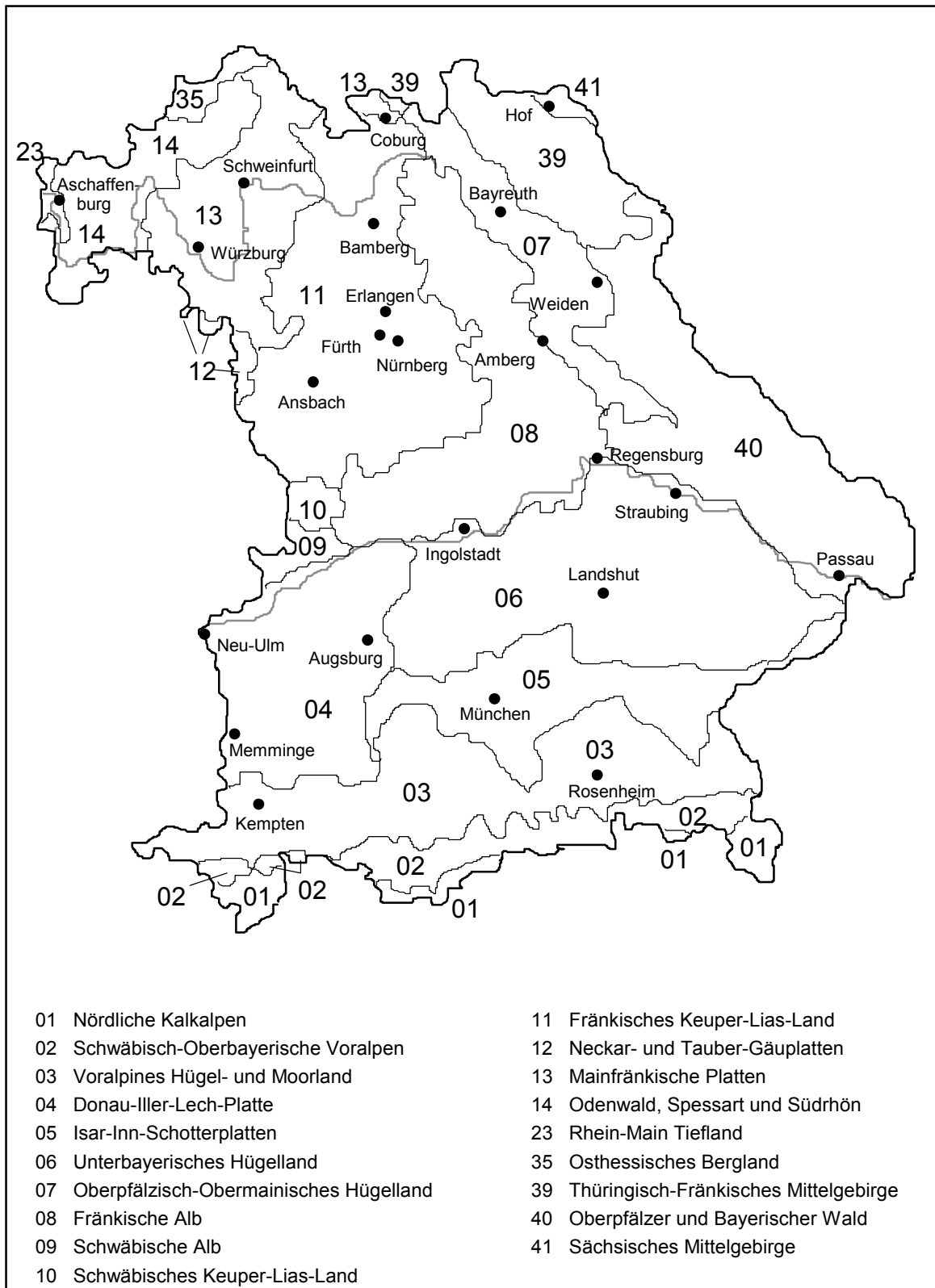


Abb. 01: Naturräumliche Gliederung Bayerns
(Quelle: DWD 1952)

2.2 Geologie

Für die Flechtenkartierung Bayerns wurde die große geologische Vielfalt stark vereinfacht dargestellt. Die Standorte wurden, je nach geologischem Untergrund, als karbonatisch oder karbonatfrei bzw. als indifferent eingestuft. Diese Einteilung ist für die zu untersuchenden Stationen in Abb. 02 dargestellt.



Abb. 02: Verteilung der Stationen mit karbonatischem bzw. karbonatfreiem Untergrund (Quelle: Bayerisches Geologisches Landesamt 1981)

2.3 Meereshöhe

Mit 110 m über NN ist die Mainebene der am niedrigsten gelegene Landesteil Bayerns. Der größte Teil des Landes liegt zwischen 300 und 600 m über Meereshöhe. In den Mittelgebirgen Ostbayerns werden Höhen bis 1.456 m erreicht (Großer Arber). Der bayerische Teil der Alpen hat mit der Zugspitze (2.963 m) seine höchste Erhebung. In der Abb. 03 sind die Meereshöhen der untersuchten Stationen angegeben; sie liegen zwischen 115 und 1.560 m über NN.

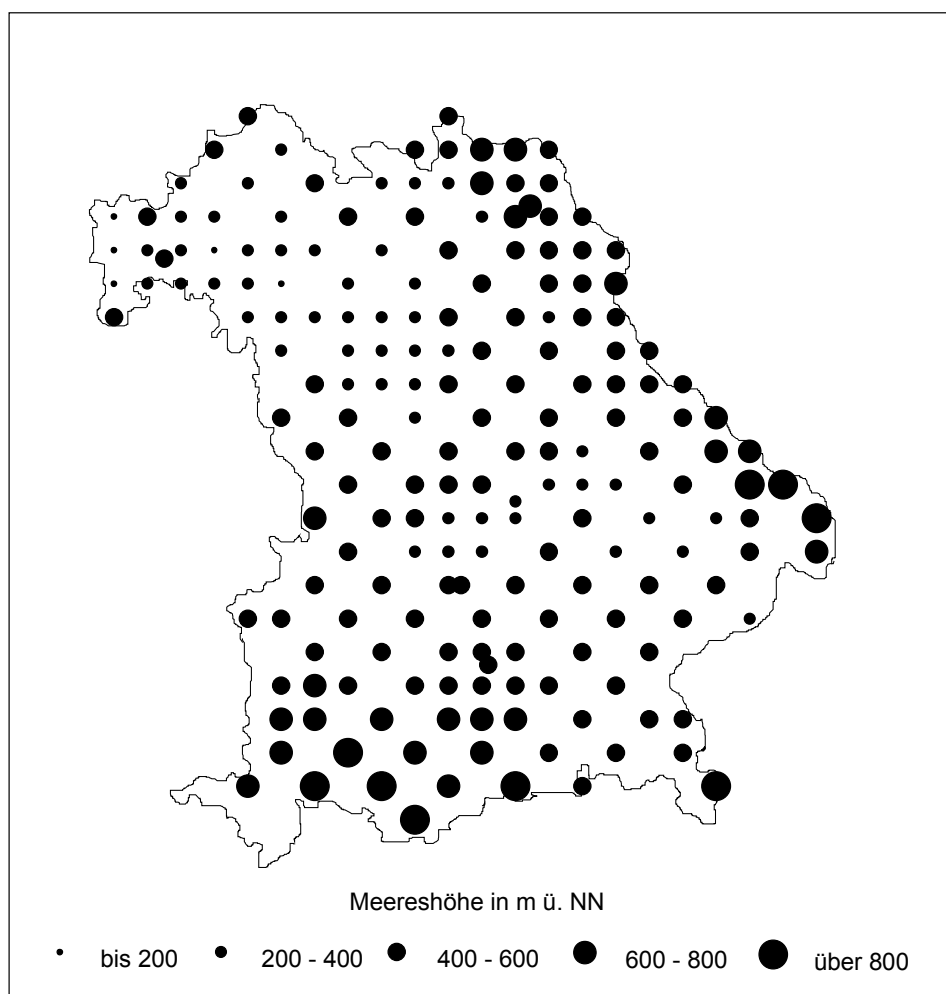


Abb. 03: Meereshöhe der untersuchten Stationen

2.4 Klima

Die bayerische Hochebene des Alpenvorlandes hat ein rauheres und mehr kontinentales Klima als das wärmere Bodenseegebiet. Ähnlich ist die Mainsenke deutlich wärmer als etwa Spessart und Rhön. Die Fränkische Alb zählt wegen des Kalkgesteins trotz jährlicher Niederschläge zwischen 650-750 mm zu den trockensten Gebieten Bayerns. Die Donauniederung ist verhältnismäßig warm, kennt aber starke tägliche Temperaturschwankungen. Feucht und schneereich sind die bayerisch-böhmischen Grenzgebirge und der vom Alpenklima beeinflusste Teil des Alpenvorlandes (MUNZINGER 1995).

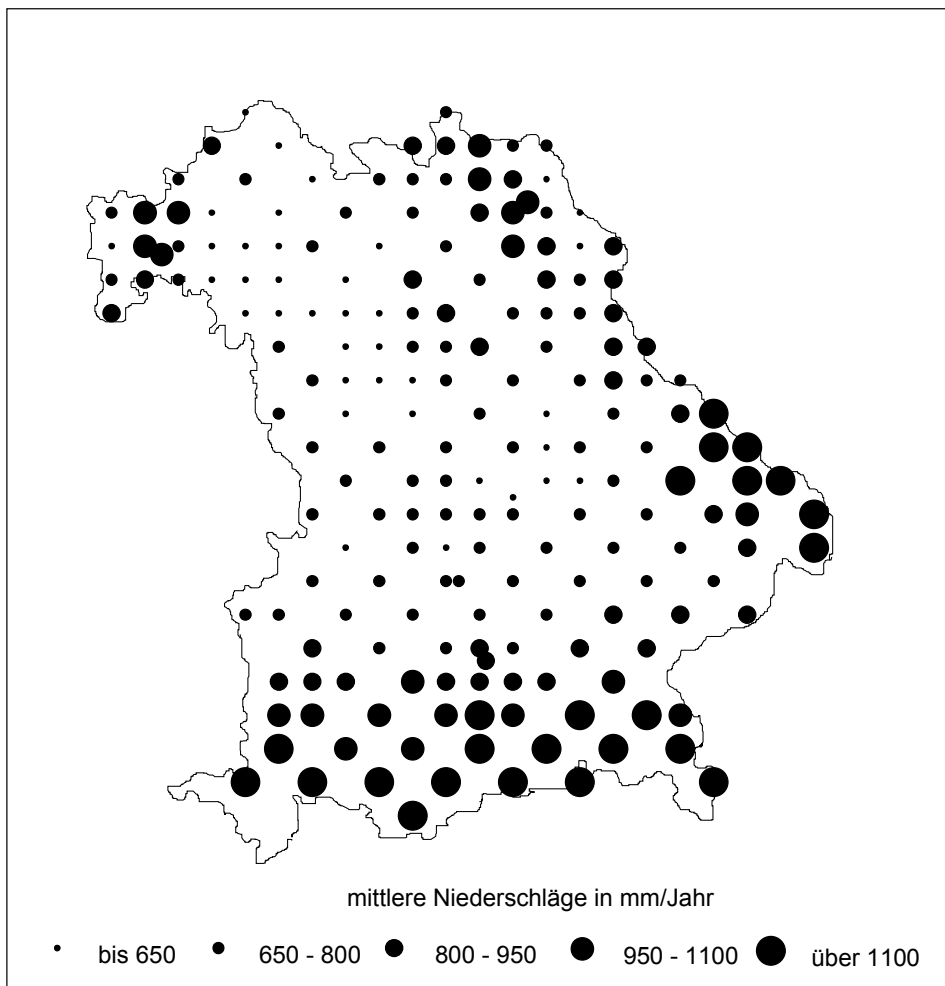


Abb. 04: Verteilung der mittleren Niederschläge
(Quelle: DWD 1952)

3 FLECHTEN ALS BIOINDIKATOREN

Die Flechte sieht aus wie ein einheitlicher Organismus, besteht aber stets aus zwei Individuen verschiedener Artzugehörigkeit: aus Alge und Pilz, die eine sehr enge Verflechtung miteinander eingegangen sind. Sie stehen hinsichtlich ihrer Ernährung in Wechselbeziehung. Die Alge betreibt Photosynthese und gibt die dabei gewonnenen Kohlehydrate an den Pilz ab. Sie wird quasi vom Pilz parasitiert. Der Pilz hingegen umgibt die Alge in der Regel mit Hyphen (Pilzfäden) und bildet einen Schutzmantel.

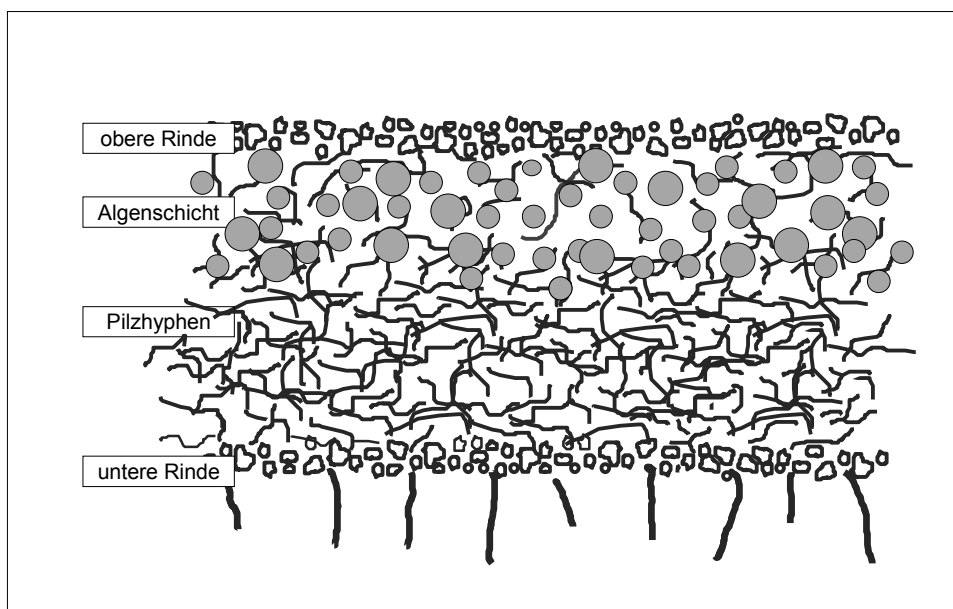


Abb. 05: Schematischer Querschnitt durch eine Blattflechte

Durch die vorliegende Lebensgemeinschaft können sich Flechten extreme Lebensräume erschließen. Diesem Vorteil steht jedoch eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Veränderungen der Umwelt durch den Menschen gegenüber. Flechten sind empfindliche „Meßorganismen“, um Umweltveränderungen anzuzeigen. Sie werden als Bioindikatoren für Luftverunreinigungen eingesetzt. Die hohe Empfindlichkeit der Flechten gegenüber Luftschadstoffen hat mehrere Ursachen:

- Das fein ausbalancierte Stoffwechselgeschehen zwischen Pilz und Alge ist störanfällig.
- Aufgrund der geringen Stoffwechselrate können entstandene Schädigungen nur bedingt regeneriert werden.
- Flechten besitzen keine Spaltöffnungen und können ihren Gasaustausch dadurch nicht regulieren. Sie haben keine schützende Wachsschicht (Cuticula), so daß Schadstoffe ungehindert und ungefiltert über die gesamte Oberfläche in den Flechtenkörper eindringen können.
- Einmal aufgenommene Schadstoffe können nicht wieder abgegeben werden, da Ausscheidungsorgane fehlen. Die Schadstoffe werden akkumuliert.
- Die Stoffwechselaktivität bleibt auch bei niedrigen Temperaturen aufrechterhalten. Phytotoxische Schadstoffe wirken daher auch im Winter, bei erhöhten Emissionen, auf die Flechtenlager ein.

Die hohe Empfindlichkeit der Flechten gegenüber Luftverunreinigungen wurde schon sehr früh erkannt. Als NYLANDER 1866 die epiphytische (rindenbewohnende) Flechtenvegetation von Paris erfaßte und die Untersuchung dreißig Jahre später wiederholte, stellte er einen starken Rückgang der Flechten fest, den er auf die Luftverschmutzung zurückführte.

Zu Zeiten hoher SO₂-Belastungen war die Wirkung der auf die Flechten einwirkenden SO₂-Konzentrationen der alles überlagernde Faktor. In zahlreichen Veröffentlichungen (HAWKSWORTH & ROSE 1970, JOHNSEN & SÖCHTING 1973) wurden direkte Zusammenhänge zwischen SO₂-Jahresmittelwerten und dem Flechtenvorkommen hergestellt. SERNANDER (1926) prägte den Begriff „Flechtenwüste“, mit dem er das völlige Fehlen von Flechten in hoch belasteten Stadtzentren beschrieb. Effektive Luftreinigungsmaßnahmen ab den 80er Jahren in Westdeutschland und somit auch in Bayern führten zu kontinuierlich sinkenden SO₂-Belastungen (STMLU 1994). Die positiven Folgen für die Flechtenvegetation wurden erstmals in München Anfang der 80er Jahre nachgewiesen. Dort beobachteten KANDLER & POELT 1984 die Wiederbesiedelung der um die Jahrhundertwende flechtenfreien Innenstadt von München durch Lichenen und führten dies auf den Rückgang von SO₂ zurück. In München konnte im Vergleich zu anderen deutschen Großstädten eine Wiederbesiedelung sehr rasch erfolgen, da die Flechten aus dem südlich angrenzenden Voralpenraum wieder einwandern konnten.

Für Bayern liegen weitere immissionsökologische Flechtenkartierungen vor. Die Städte Erlangen (KILIAS 1974), Regensburg (GOPPEL 1976), Laufen (GOPPEL 1984), München (MACHER 1987), Ingolstadt (HEITMANN 1991), Aschaffenburg (WIEGEL et al. 1991) und Neu-Ulm (BARNIKEL & MUHLE 1995), aber auch der Raum München-Ingolstadt (JÜRGING 1975) und der Bayerische Wald (MACHER 1987) wurden detailliert untersucht. WIRTH & FUCHS (1980) zogen Rückschlüsse von floristischen Daten auf die SO₂-Belastung in Bayern.

Durch die erfreuliche rückläufige Tendenz für SO₂ gewannen andere Faktoren bei der Interpretation der Flechtenverbreitung an Bedeutung. Es sind dies die Vielzahl der übrigen Luftschadstoffe und die klimatischen Bedingungen. Nur in wenigen Fällen wurden Synergismen mehrerer Schadstoffe untersucht (PUNZ 1979, EVERSMAAN & SIGAL 1987). Auch über das in Reinluftgebieten verstärkt auftretende Ozon liegen erst wenige Arbeiten vor. RUOSS et al. (1992) und MÜLLER et al. (1993) gehen davon aus, daß Flechten vor Einwirkung hoher Ozonkonzentrationen geschützt sind, da sie bei strahlungsreichem, trockenem Wetter nicht stoffwechselaktiv sind.

Eine Untersuchung im Schweizer Mittelland (HERZIG et al. 1987) lieferte wertvolle Erkenntnisse über die Reaktionen der Flechten auf das Gemisch der einwirkenden Immissionskomponenten. Es wurden parallel zur Flechtenkartierung technische Messungen von insgesamt 8 Schadstoffkomponenten (SO₂, NO₃, Cl, Staub, Zn, Cd, Pb und Cu) vorgenommen. Die statistische Auswertung ergab, daß ein sehr hoher Prozentsatz (98%) der Flechtenverbreitung durch die Gesamtheit aller dieser Schadstoffe gedeutet werden konnte. 95% der Verbreitungsdaten ließen sich immer noch allein mit der Belastung durch SO₂, Staub, NO₃ und Cd deuten, wobei sich im Modell Cd weitgehend durch andere Schwermetalle austauschen ließ. Bei nur drei Immissionsvariablen hatten SO₂, Staub und NO₃ den besten Zusammenhang mit dem Flechtenwert. Dies bestätigt einerseits die in vielen Arbeiten hervorgehobene Bedeutung der sauren Immissionen und dokumentiert gleichzeitig das integrative Verhalten der Flechten gegenüber Luftschadstoffen. Sie sind somit Zeiger der gesamten lufthygienischen Belastung. Die Ergebnisse der Arbeit gingen in die VDI-RICHTLINIE 3799 ein, die seit 1995 vorliegt. Die Richtlinie bietet die Möglichkeit, Flechtenkartierungen nach einem standardisierten Verfahren vorzunehmen. Die bisher erste flächendeckende Flechtenkartierung eines Bundeslandes nach dieser Methode wurde in Hessen durchgeführt (KIRSCHBAUM & WINDISCH 1995). Die VDI-Methode hat sich dabei als praxisnahes Instrument zur Darstellung großräumiger Immissionsverhältnisse bewährt.

4 METHODIK

Die Methodik, die für die Flechtenkartierung Bayerns gewählt wurde, entspricht weitgehend der VDI-RICHTLINIE 3799. Die Richtlinie hat Gültigkeit für Mitteleuropa. Sie wurde an die bayerischen Verhältnisse angepaßt. Von dem in der Richtlinie vorgeschlagenen Meßraster wurde abgewichen. Weiterhin wurde das Baumartenspektrum erweitert.

4.1 Meßnetz

Das Meßnetz entspricht dem landesweiten Standortfichtenmeßnetz des bayerischen Landesamtes für Umweltschutz (LfU) mit einer Maschenweite von 16 bzw. 32 km (vgl. Abb. 06). An 190 Punkten des Meßnetzes wurden Rasterquadrate mit einer Seitenlänge von 4 x 4 km ausgewiesen. Diese Rasterquadrate werden im folgenden als „Stationen“ bezeichnet. An jeder Station wurden, sofern vorhanden, 10 bis 15 Bäume auf ihren Flechtenbewuchs untersucht.

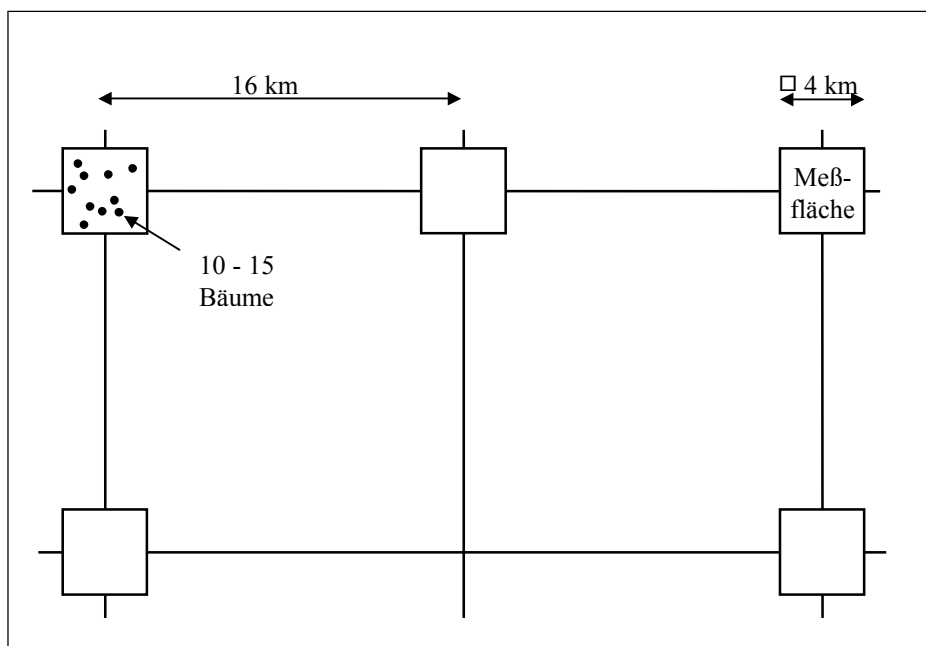


Abb. 06: Größe des Meßnetzes

Zusätzlich wurden nach der gleichen Methode die 6 Dauerbeobachtungsstationen des LfU kartiert. Die hier erhobenen Daten wurden auf gleiche Weise ausgewertet und erscheinen in den Darstellungen als zusätzliche, von den verwendeten Rasterlinien abweichende Punkte.

4.2 Trägerbäume

Um mit Hilfe der Flechtenvegetation den Faktor Luftverunreinigung so genau wie möglich bestimmen zu können, ist es nötig, alle anderen Einflußfaktoren so konstant wie möglich zu halten. Deshalb soll nach der VDI-RICHTLINIE 3799 nur die Flechtenvegetation solcher Baumarten gemeinsam kartiert werden, die vergleichbare Borkeneigenschaften aufweisen. Die Baumarten wurden deshalb entsprechend ihrem Borken-pH-Wert in Gruppen eingeteilt (Tab. 01). Bäume innerhalb einer Gruppe gelten als vergleichbar und können gemeinsam kartiert werden.

Tab. 01: Baumartengruppen nach VDI-Richtlinie 3799, mit Baumumfang in cm

GRUPPE 1 Bäume mit +/- subneutr. Borke	GRUPPE 2 Bäume mit mäßig saurer Borke	GRUPPE 3 Bäume mit +/- saurer Borke
Spitzahorn <i>Acer platanoides</i> (90 bis 280)	Bergahorn <i>Acer pseudoplatanus</i> (100 bis 280)	Schwarzerle <i>Alnus glutinosa</i> (60 bis 280)
Esche <i>Fraxinus excelsior</i> (90 bis 280)	Birnbaum <i>Pyrus communis</i> (80 bis 280)	Birke <i>Betula pendula</i> (80 bis 280)
Walnußbaum <i>Juglans regia</i> (60 bis 280)	Robinie <i>Robinia pseudacacia</i> (90 bis 280)	Vogelkirsche <i>Prunus avium</i> (60 bis 280)
Apfelbaum <i>Malus spec.</i> (60 bis 160)	Winterlinde <i>Tilia cordata</i> (100 bis 280)	Pflaumenbaum <i>Prunus domestica</i> (60 bis 160)
Pappel <i>Populus spec.</i> (80 bis 280)	Sommerlinde <i>Tilia platyphyllos</i> (100 bis 280)	Stieleiche <i>Quercus robur</i> (90 bis 280)
Ulme <i>Ulmus carpinifolia</i> (90 bis 280)		Traubeneiche <i>Quercus petraea</i> (90 bis 280)

Nach ersten stichprobenartigen Geländebegehungen und der Auswertung der Literatur wurde zunächst die erste Baumartengruppe mit subneutraler Borke für die Flechtenkartierung in Bayern ausgewählt. Diese Gruppe erschien am besten geeignet, in allen Landesteilen genügend

geeignete Trägerbäume für die Kartierung zu gewährleisten. Der höhere pH-Wert der Borken dieser Gruppe kann saure Immissionen bis zu einem bestimmten Grad abpuffern. Auf den Bäumen kommen dann auch in höher belasteten Gebieten noch genügend Flechten vor, um dort die Luftbelastung noch differenzieren zu können. Betrachtet man die drei ausgewiesenen Gruppen hinsichtlich ihres Flechtenbewuchses, so ist davon auszugehen, daß die Flechtenvegetation der Bäume mit sinkendem Borken-pH abnimmt. Die Verwendung von Baumarten der Gruppe 1 (subneutrale Borke) läßt also höhere Luftgütewerte erwarten als die der Gruppe 2 (mäßig saure Borke).

Ein grundsätzliches Problem bei epiphytischen Flechtenkartierungen besteht darin, an den Meßstationen genügend geeignete Trägerbäume zu finden. Um das Baumartenspektrum zu erweitern, sollte geprüft werden, ob der Birnbaum und der Bergahorn aus der zweiten Gruppe mit den Baumarten aus der ersten Gruppe zusammen kartiert werden können. Der Birnbaum erwies sich in Hessen als mit den Baumarten der Gruppe 1 vergleichbar (KIRSCHBAUM & WINDISCH 1995). HEITMANN (1991) belegt die Eignung des Bergahorns für Ingolstadt und GOLDBERGER & TÜRK (1982) für die Alpentäler. Erst im Laufe der Kartierung wurden auch die Linde und einzelne Weiden mit berücksichtigt. Die hinzugenommenen Baumarten erhöhen die Wahrscheinlichkeit, an allen Meßstationen ausreichend Trägerbäume zu finden. Zusätzlich sollte mit den erhobenen Daten geprüft werden, inwieweit die Gruppeneinteilung der VDI-Richtlinie auf Bayern übertragbar ist.

Aus der Flechtenkartierung in Hessen (KIRSCHBAUM & WINDISCH 1995) wurde die Forderung abgeleitet, das Baumartenspektrum einer Kartierung so weit wie möglich einzuengen. Um den Einfluß des Substrates (Baumborke) so einheitlich wie möglich zu gestalten, wurden möglichst wenige Baumarten kartiert. Für Bayern wurde bewußt von dieser Forderung abgewichen. Es sollten an jeder Station möglichst mehrere Baumarten kartiert werden. Diese Vorgehensweise hat verschiedene Gründe. Bayern weist in Bezug auf die Geologie und das Klima eine besonders große Heterogenität auf. Diese Faktoren beeinflussen den Flechtenbewuchs der einzelnen Baumarten unterschiedlich stark. Durch die Verwendung mehrerer Baumarten soll vermieden werden, daß diese Einflüsse sich stark auf den Luftgütewert auswirken. Außerdem ist bei keiner Baumart ein ausreichendes Vorkommen gewährleistet, um damit an allen Stationen genügend Trägerbäume zu finden.

An jeder Station wurden also möglichst über 10 Bäume verschiedener Baumarten aufgenommen. Von jeder Baumart sollten drei Bäume erfaßt werden. Die Bäume sollten möglichst

gleichmäßig über die Meßfläche verteilt sein, um einen repräsentativen Querschnitt durch die Station zu bekommen. Die Stämme durften nicht mehr als 5° geneigt sein und sollten frei stehen. Die kartierten Trägerbäume wurden auf der Topographischen Karte (TK 25), die Gauß-Krüger-Koordinaten in ein Datenblatt eingetragen. Somit können die Bäume für eine Wiederholung der Untersuchung wieder aufgefunden werden. Weitere Angaben zu den erfaßten Bäumen sind dem Datenblatt im Anhang zu entnehmen.

4.3 Erfassung der Flechten

Zur Erfassung der Flechten wurde ein Meßgitter an der am stärksten bewachsenen Stammseite angelegt (Abb. 07).

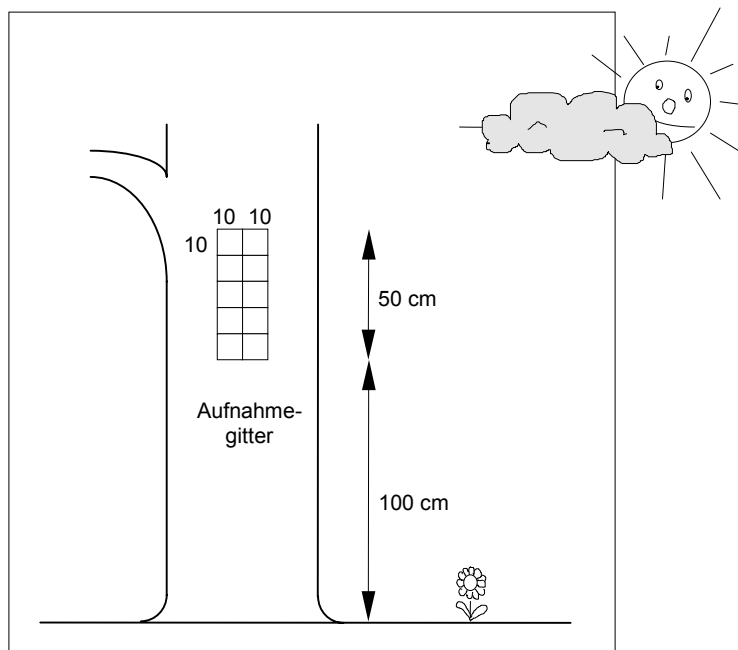


Abb. 07: Flechtenaufnahmegitter am Baum

Für jede vorgefundene Flechtenart wurde notiert, in wie vielen der 10 Felder des Gitters die Art vorkommt (Frequenz). Arten, die nicht innerhalb des Gitters vorkamen, aber in unmittelbarer Nachbarschaft zu finden waren, wurden mit der Frequenz 1 mitaufgenommen. Da die Blattflechtenarten *Parmelia elegantula* und *P. exasperatula* sowie *Parmelia subaurifera* und *P. glabratula* im Gelände oft schwer zu unterscheiden sind, wurden sie zusammengefaßt. Funde weiterer Arten wurden zusätzlich notiert und in die Artenliste aufgenommen. Zur der Berechnung der Luftgütwerte wurden die vom VDI festgelegten Arten herangezogen.

5 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Von den insgesamt 196 Meßstationen wurden 193 untersucht. An zwei Stationen in den Alpen (Nr. 291, 298) konnten nicht genügend geeignete Trägerbäume gefunden werden. Die Dauerbeobachtungsstation Grassau südlich des Chiemsees liegt unmittelbar bei der Station 270; die beiden Stationen wurden zusammengefaßt.

5.1 Artenliste

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden insgesamt 84 Arten an freistehenden Laubbäumen gefunden. In der Artenliste fett gedruckt sind die 64 Arten, die in die Berechnung des Luftgütewertes eingingen. Die Nomenklatur richtet sich nach WIRTH (1995). Neben weiteren Epiphyten wurden Arten gefunden, die ihren Schwerpunkt auf anderen Substraten haben und nur ausnahmsweise auf Borke übergehen. Die epigäische (bodenbewohnende) *Peltigera praetextata* und die epilithischen (gesteinsbewohnenden) Arten *Physcia caesia* und *Lecanora muralis* gehören dazu.

Für die gefährdeten Arten ist die Kategorie der Roten Liste angegeben. Da Bayern eines der wenigen Länder ist, für das keine Rote Liste für Flechten vorliegt, mußte auf die Einstufung für die gesamte Bundesrepublik (WIRTH et al. 1996) zurückgegriffen werden. Danach sind die Hälfte der vorgefundenen Flechtenarten gefährdet. Die Blatflechte *Lobaria pulmonaria* ist vom Aussterben bedroht (Kategorie 1). Jeweils sieben Arten gelten als stark gefährdet (Kategorie 2) und als gefährdet (Kategorie 3).

Tab. 02: Artenliste

NAME	Kategorie der Roten Liste BRD (WIRTH et al. 1996)
<i>Amandinea punctata</i> (Hoffm.) Coppins & Scheideg.	
<i>Anaptychia ciliaris</i> (L.) Koerber ex Massal.	2
<i>Bryoria fuscescens</i> (Gyelnik) Brodo & B.Hawksw.	2
<i>Bryoria spec.</i>	
<i>Buellia griseovirens</i> (Turner & Borrer ex Sm.) Almb.	3
<i>Caloplaca cerina</i> (Ehrh. ex Hedwig) Th.Fr.	2
<i>Caloplaca cerinella</i> (Nyl.) Flagey	2
<i>Caloplaca holocarpa</i> (Hoffm. ex Ach.) Wade	
<i>Candelaria concolor</i> (Dickson) Stein	2
<i>Candelariella reflexa</i> (Nyl.) Lettau	
<i>Candelariella xanthostigma</i> (Ach.) Lettau	
<i>Cetraria chlorophylla</i> (Willd.) Vainio	
<i>Cetrelia olivetorum</i> (Nyl.) W.Culb. & C.Culb.	3
<i>Cladonia spec.</i>	
<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach.	
<i>Hypocenomyce scalaris</i> (Ach. ex Lilj.) Choisy	
<i>Hypogymnia farinacea</i> Zopf	3
<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.	
<i>Hypogymnia tubulosa</i> (Schaerer) Hav.	3
<i>Lecanora argentata</i> (Ach.) Malme	2
<i>Lecanora carpinea</i> (L.) Vainio	3
<i>Lecanora chlarotera</i> Nyl.	
<i>Lecanora conizaeoides</i> Nyl. ex Crombie	
<i>Lecanora expallens</i> Ach.	
<i>Lecanora hagenii-Gr.</i> (Ach.) Ach.	
<i>Lecanora muralis</i> (Schreber) Rabenh.	
<i>Lecanora pulicaris</i> (Pers.) Ach.	
<i>Lecanora saligna</i> (Schrader) Zahlbr.	
<i>Lecanona subfusca-Gr.</i>	
<i>Lecanora symmicta</i> (Ach.) Ach.	3
<i>Lecanora varia</i> (Hoffm.) Ach.	2
<i>Lecidella elaeochroma</i> (Ach.) Choisy	3
<i>Lepraria incana</i> (L.) Ach.	
<i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm.	1
<i>Normandina pulchella</i> (Borrer) Nyl.	Gefährdung anzunehmen
<i>Ochrolechia turneri/microstictoides</i> (Sm.) Hasselr./Räsänen	3/-
<i>Parmelia acetabulum</i> (Necker) Duby	3
<i>Parmelia caperata</i> (L.) Ach.	2
<i>Parmelia elegantula</i> (Zahlbr.) Szat.	
<i>Parmelia exasperatula</i> Nyl.	
<i>Parmelia flaventior</i> Stirton	
<i>Parmelia glabra</i> (Schaerer) Nyl.	3
<i>Parmelia glabratula</i> (Lamy) Nyl.	
<i>Parmelia pastillifera</i> (Harm.) Schubert & Klement	3
<i>Parmelia saxatilis</i> (L.) Ach.	
<i>Parmelia subargentifera</i> Nyl.	3
<i>Parmelia subaurifera</i> Nyl.	2
<i>Parmelia subrudecta</i> Nyl.	3

Tab. 02 Artenliste (Fortsetzung)

NAME	Kategorie der Roten Liste BRD (WIRTH et al. 1996)
<i>Parmelia sulcata</i> Taylor	
<i>Parmelia tiliacea</i> (Hoffm.) Ach.	3
<i>Parmeliopsis ambigua</i> (Wulfen) Nyl.	
<i>Peltigera praetextata</i> (Flörke ex Sommerf.) Zopf	3
<i>Pertusaria albescens</i> (Hudson) Choisy & Werner	3
<i>Pertusaria amara</i> (Ach.) Nyl.	3
<i>Pertusaria coccodes</i> (Ach.) Nyl.	3
<i>Pertusaria flavida</i> (DC.) Laundon	2
<i>Pertusaria hemisphaerica</i> (Flörke) Erichsen	2
<i>Pertusaria pertusa</i> (Weigel) Tuck.	3
<i>Phaeophyscia nigricans</i> (Flörke) Moberg	
<i>Phaeophyscia orbicularis</i> (Necker) Moberg	
<i>Phlyctis argena</i> (Sprengel) Flotow	
<i>Physcia adscendens</i> (Fr.) Oliv.	
<i>Physcia aipolia</i> (Erh. ex Humb.) Fűrnr.	2
<i>Physcia caesia</i> (Hoffm.) Fűrnr.	
<i>Physcia dubia</i> (Hoffm.) Lettau	
<i>Physcia tenella</i> (Scop.) DC	
<i>Physconia distorta</i> (With.) Laundon	2
<i>Physconia enteroxantha</i> (Nyl.) Poelt	3
<i>Physconia grisea</i> (Lam.) Poelt	
<i>Physconia perisidiosa</i> (Erichsen) Moberg	3
<i>Platismatia glauca</i> (L.) W.Culb. & C.Culb.	
<i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf	
<i>Ramalina farinacea</i> (L.) Ach.	3
<i>Ramalina fastigiata</i> (Pers.) Ach.	2
<i>Ramalina fraxinea</i> (L.) Ach.	2
<i>Ramalina pollinaria</i> (Westr.) Ach.	2
<i>Ramalina spec.</i>	
<i>Scoliciosporum chlorococcum</i> (Graewe ex Stenham.)	
<i>Strangospora pinicola</i> (Massal.) Koerber	
<i>Usnea filipendula</i> Stirton	2
<i>Usnea hirta</i> (L.) Weber ex Wigg.	3
<i>Vulpicidia pinastris</i> (Scop.) J.-E.Mattson & Lai	3
<i>Xanthoria candelaria</i> (L.) Th.Fr.	
<i>Xanthoria fallax</i> (Hepp) Arnold	3
<i>Xanthoria fulva</i> (Hoffm.) Poelt & Petutschnig	3
<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th.Fr.	
<i>Xanthoria polycarpa</i> (Hoffm.) Rieber	
<i>Xanthoria ulophyllodes</i> Räsänen	3

5.2 Anteile der Baumarten an den kartierten Trägerbäumen

Insgesamt wurden 2.185 Bäume kartiert. Die Abb. 08 zeigt die Anteile der kartierten Baumarten. 74% der Bäume stammen aus der Gruppe der Subneutrophyten (vgl. Tab. 01).

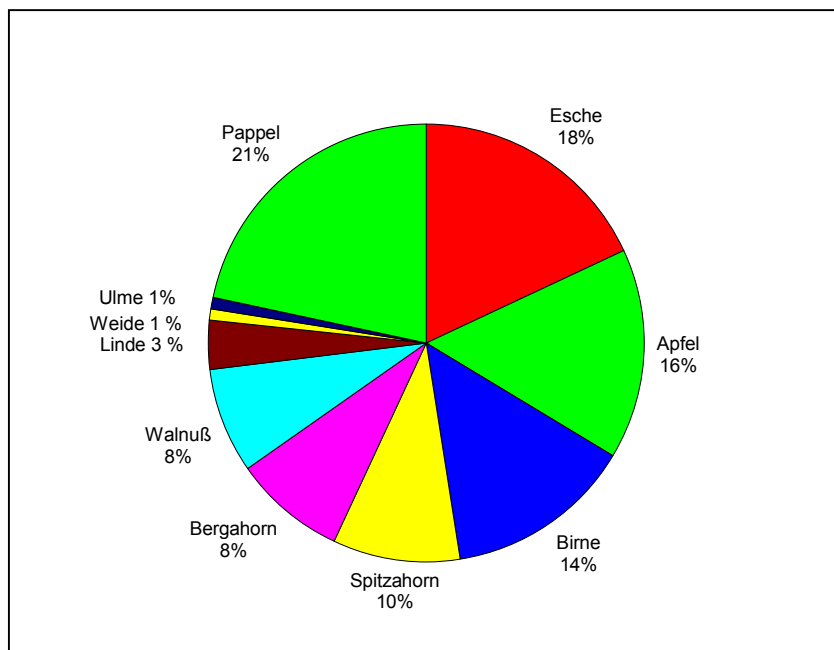


Abb. 08: Anteile der Baumarten an den kartierten Trägerbäumen

5.3 Berechnung und Klassifizierung der Luftgütewerte

Das umfangreiche Datenmaterial wurde in eine EDV-Datenbank eingegeben. Die Auswertung erfolgte mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogrammes nach der VDI-RICHTLINIE 3799.

Zunächst wurden aus den erhobenen Flechtendaten die Frequenzsummen aller VDI-Flechtenarten auf den einzelnen Bäume errechnet. Der Mittelwert der Frequenzsummen der Bäume einer Meßfläche entspricht dem Luftgütewert (LGW). Dieser stellt eine Schätzung der wahren lufthygienischen Verhältnisse in der Meßfläche dar.

$$\boxed{LGW_j = \frac{\sum F_{ij}}{n_j}}$$

LGW_j = Luftgütewert der Meßfläche j

$\sum F_{ij}$ = Frequenzsumme des Baumes i in der Meßfläche j

n_j = Anzahl der kartierten Bäume in der Meßfläche j

Für die Bewertung wurden die Luftgütewerte (LGW_j) in Luftgüteklassen eingeteilt. Diese repräsentieren bei der Ergebnisdarstellung die unterschiedlichen Stufen der lufthygienischen Belastung. Die Klassenbreite der Luftgüteklassen richtet sich nach der Fehlerstreuung des Projektes. Ist die Fehlerstreuung groß, so sind die Luftgüteklassen breit, und es können innerhalb eines gegebenen Gradienten nur wenige Stufen unterschiedlicher Luftgüte erkannt werden. Bei kleiner Fehlerstreuung kann dagegen der Belastungsgradient differenzierter erfaßt werden. Nicht benachbarte Luftgüteklassen unterscheiden sich signifikant. Zum Beispiel unterscheiden sich die Meßflächen der Luftgütekategorie 1 signifikant von denen der Luftgütekategorie 3. Die Klassenbreite (KB) wird über die mittlere Standardabweichung aller Meßflächen des Projektes ermittelt:

$$\boxed{s_p = \sqrt{\frac{\sum_j \sum_i (F_{ij} - LGW_j)^2}{m(n_p - 1)}}$$

$$\boxed{KB = t_p \frac{s_p}{\sqrt{n_p}}}$$

s_p mittlere Standardabweichung der Meßflächen im gesamten Projekt

n_p mittlere Anzahl kartierter Bäume pro Meßfläche im gesamten Projekt

m Anzahl der kartierten Meßflächen im gesamten Projekt

KB Klassenbreite der Luftgüteklassen

t_p kritischer Wert der Studentverteilung für n_p-1 Freiheitsgrade

$\sum_j \sum_i (F_{ij} - LGW_j)^2 = \sum Q$ Summe der quadrierten Abweichungen

Die statistischen Daten für die Flechtenkartierung Bayern sind in Tab. 03 dargestellt.

Tab. 03: Statistische Daten des Projekts

Anzahl der untersuchten Stationen	m = 193
Anzahl der in die Bewertung eingegangenen Bäume	n = 2185
Mittlere Anzahl kartierter Bäume pro Meßfläche	n _P = 11,3
Summe der quadrierten Abweichungen	ΣQ = 232.731,9
Mittlere Standardabweichung des Projektes	s _P = 10,81
Kritischer Wert der Studentverteilung	t _P = 2,228
Klassenbreite der Luftgüteklassen	KB = 7,16
Meßflächengröße	4 x 4 km
Abstand der Meßflächen	16 bzw. 32 km
Mittlere Flechtenartenzahl pro Baum	6,9
Kleinster Luftgütewert	1,6
Größter Luftgütewert	59,2

Aus den Berechnungen ergibt sich eine Klassenbreite von 7,2. Mit Hilfe der Bewertungsskala nach der VDI-RICHTLINIE 3799 erfolgt die Farbgebung und Bewertung der daraus resultierenden Luftgüteklassen (Abb. 09).

	0	12,5	25,0	37,5	50,0	
	violett	rot	orange	gelb	grün	blau
	extrem hoch	sehr hoch	hoch	mäßig	gering	sehr gering

Bewertungsskala nach VDI-Richtlinie 3799

Luftgütewert	0	7,2	14,4	21,6	28,8	36,0	43,2	50,4
Farbgebung in der Luftgütearte	rot	rot / orange	orange	orange / gelb	gelb	grün	grün / blau	blau
Lufthygienische Belastung	sehr hoch	sehr hoch bis hoch	hoch	hoch bis mäßig	mäßig	gering	gering bis sehr gering	sehr gering
Luftgüteklasse	1	2	3	4	5	6	7	8

Klasseneinteilung für die Flechtenkartierung Bayern

Abb. 09: Einteilung und Bewertung der Luftgüteklassen

5.4 Luftgütekarte von Bayern

Das zentrale Ergebnis der Flechtenkartierung ist die Luftgütekarte (Abb. 10). Sie zeigt die räumliche Verteilung der farbig dargestellten Luftgüteklassen. Zur Orientierung dient die Karte der Naturräumlichen Gliederung (Abb. 01). In Bayern sind sämtliche Belastungsklassen - von sehr hoher bis hin zu sehr geringer Belastung - vertreten. 61% der untersuchten Stationen sind mäßig bis gering belastet, was den Farben gelb und grün entspricht. Insgesamt läßt sich für Bayern ein Nord-Süd-Gefälle der Luftqualität feststellen.

Flächenhaft **hohe bis sehr hohe Belastungen** (orange, rot-orange und rot) sind im Nordosten des Landes im Fränkischen Mittelgebirge (Fränkischer Wald und Fichtelgebirge) zu verzeichnen. Die Belastung nimmt dabei zur thüringischen Landesgrenze hin zu. Der saure Untergrund des Fränkischen Waldes würde zunächst ein Artenspektrum aus Acidophyten erwarten lassen. Diese konnten nicht angetroffen werden. Die Flechtenvegetation ist vielmehr stark reduziert auf den toxisoleranten Acidophyten *Lecanora conizaeoides*. Dieses Muster ist typisch für den Eintrag von sauren Immissionen. Unterstützt werden die Ergebnisse durch technische Luftmessungen. So weist der Bericht des STMLU (1995) den Nordosten Bayerns als SO₂-Belastungsgebiet aus. In Hof lagen die winterlichen Belastungsspitzen in den 80er Jahren bei Monatsmittelwerten bis zu 200 µg/m³ (Februar 1986). Der Jahresmittelwert lag 1986 um 50 µg SO₂/m³. Nach HAWKSWORTH & ROSE (1970) stellt der SO₂-Jahresmittelwert von 170 µg/m³ die Grenze für das Vorkommen von Flechten dar. Es ist davon auszugehen, daß die damals vorliegenden SO₂-Konzentrationen zumindest in den Wintermonaten die Toleranzgrenzen einer Reihe von Flechtenarten überschritten hatten. Der Trend der SO₂-Einträge in Hof ist rückläufig. In den 90er Jahren sanken die winterlichen SO₂-Spitzenwerte unter 90 µg/m³, die Jahresmittelwerte unter 30 µg/m³, mit weiter abnehmender Tendenz. So finden Arten wie *Hypogymnia physodes* und *Parmelia saxatilis* mit ihrer Toleranzgrenze von 70 µg SO₂/m³ (HAWKSWORTH & ROSE 1970) heute wieder ausreichende lufthygienische Voraussetzungen. Beide Arten sind aufgrund ihres Verbreitungsmusters hier zu erwarten. *Hypogymnia physodes* konnte an den Meßstationen um Hof erfaßt werden, *Parmelia saxatilis* dagegen (noch) nicht.

Die Belastungen **hoch** (orange) bzw. **hoch bis mäßig** (gelb-orange) der Ballungsräume nördlich der Donau sind im Vergleich zur Situation im Fränkischen Mittelgebirge eher kleinräumig. So fanden sich an den Stationen südlich von Aschaffenburg, um Würzburg,

nördlich von Bamberg, nordöstlich von Nürnberg und südlich von Regensburg mäßige bis hohe Belastungen, die sich vom lufthygienisch günstigeren Umland unterschieden.

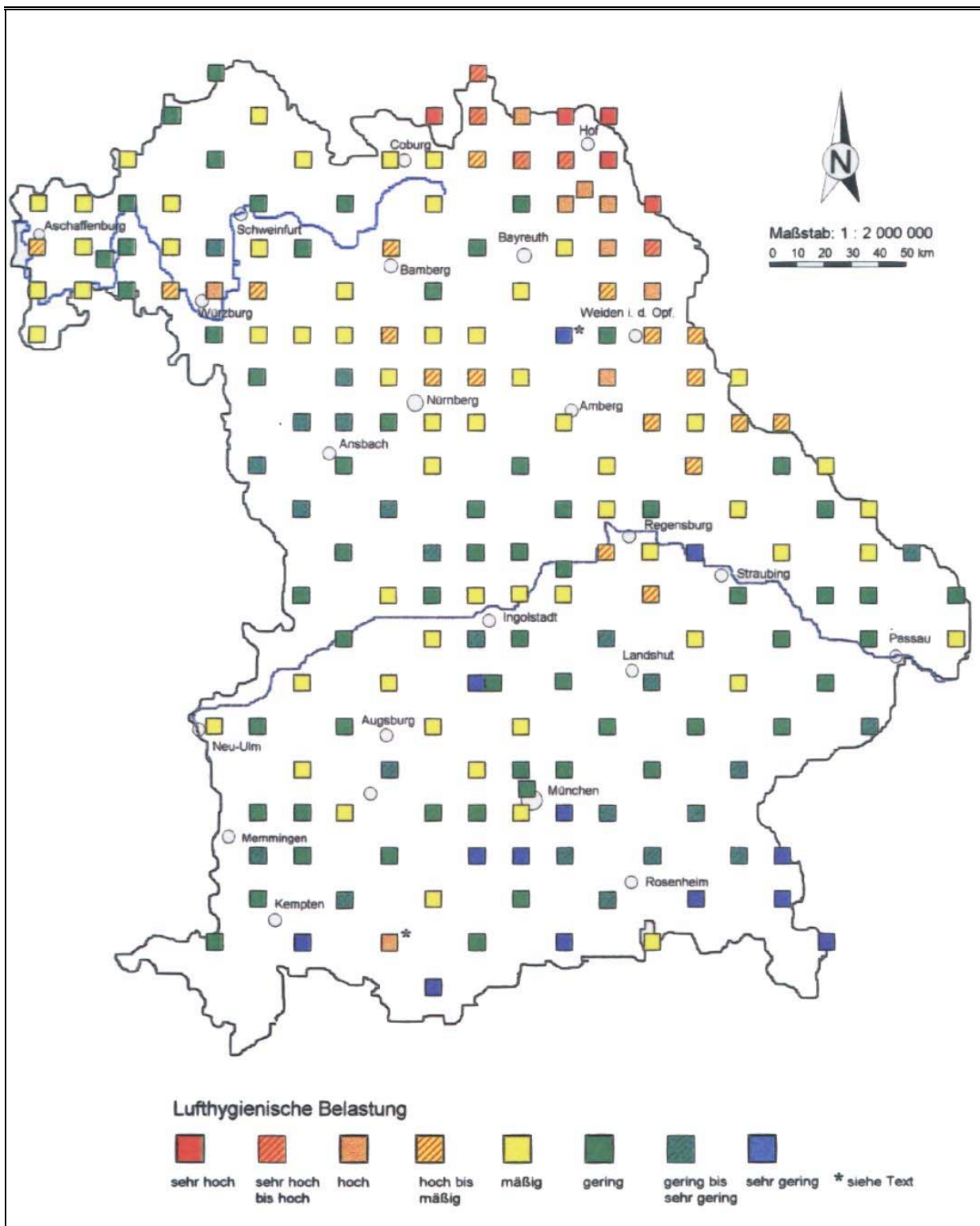


Abb. 10: Luftgütekarte von Bayern

Die Lage der Stationen ist meßnetzorientiert, die Entfernungen zur nächsten Stadt daher zufällig. Die genannten Städte haben als Emissionsquellen die lufthygienische Situation des näheren Umlandes beeinträchtigt. Das Belastungsmuster sollte hier durch weitere detaillierte Untersuchungen beleuchtet werden.

Im Spessart östlich von Aschaffenburg liegt bei Hauptwindrichtung Südwest offensichtlich eine „Auskämmung“ der durch den westlichen Ballungsraum verursachten Luftschadstoffe vor. So sind die Luftgütewerte am Ostrand des Spessarts im Vergleich zur Westseite höher.

Im Voralpenraum östlich von Kempten ist eine Station als „hoch belastet“ ausgewiesen (in Abb. 10 mit * markiert). Die Ursache ist hier nicht in der ungünstigen Immissionssituation zu sehen, sondern in den Standortverhältnissen. Die Station ist dicht bewaldet. Lediglich in einem engen Bachtal konnten freistehende Trägerbäume gefunden werden. Aufgrund der dort herrschenden hohen Luftfeuchte waren die Baumstämme allerdings stark bemoost. Flechten waren den konkurrenzstärkeren Moosen offensichtlich unterlegen. Unter den vorkommenden Arten befand sich die gegen Luftschadstoffe sehr empfindliche Blattflechte *Lobaria pulmonaria*. Deren Vorkommen deutet auf eine ähnlich gute Luftqualität wie an den umgebenden Stationen hin. Trägerbäume mit starkem Moosbewuchs erwiesen sich als ungeeignet für die vorliegende Fragestellung.

Weite Teile Bayerns sind **mäßig** bzw. **gering belastet** (gelb, grün). Insbesondere auf den Trägerbäumen der landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebiete (Fränkisches Keuper-Lias-Land, Fränkische Alb, Unterbayerisches Hügelland) wurde ein reiches Spektrum eutrophierungstoleranter Arten angetroffen.

Eine **geringe** bzw. **geringe bis sehr geringe Belastung** (grün, grün-blau) zeichnet den Südwestteil des Fränkischen Keuper-Lias-Landes (Frankenhöhe) um Ansbach und die Gebiete südlich der Donau aus. Selbst im Stadtgebiet von München konnte eine reiche Flechtenvegetation kartiert werden. Eine Meßstation lag im Englischen Garten, der als großflächige innerstädtische Grünanlage entlang der Isar eine Frischluftschneise für die Stadt darstellt. Die Flechtenkartierungen von JÜRGING (1975), KANDLER & POELT (1984) und MACHER (1987) belegen eine Verbesserung der lufthygienischen Situation der Stadt in den letzten Jahrzehnten.

Im Norden Bayerns, zwischen den Belastungsgebieten Nürnberg und Weiden, fällt eine als „**sehr gering belastet**“ eingestufte Station auf (in Abb. 10 mit * markiert).

Artenreiche Flechtenbestände mit den gegenüber Luftschadstoffen empfindlichen Gattungen *Ramalina* und *Usnea* konnten dort angetroffen werden. Sowohl die Trägerbäume als auch die klimatischen und geologischen Gegebenheiten der Station fielen nicht aus dem Rahmen. Umgeben ist die Meßfläche von einem großen Waldgebiet (Truppenübungsplatz Grafenwöhr). Offensichtlich ist die Station durch ihre Lage vor ferntransportierten Immissionen geschützt.

Im Voralpinen Hügel- und Moorland und den Voralpen wurden Stationen als „sehr gering belastet“ (blau) ausgewiesen. Die Einstufung ist mit Vorbehalt zu sehen. Einerseits stellt die Zufuhr schadstoffarmer Luftmassen aus den Alpen in den Voralpenraum hinein einen Faktor dar, der eine sehr geringe lufthygienische Belastung plausibel macht. Andererseits haben wir es hier mit einer für Flechten besonders günstigen klimatischen Situation zu tun (WIRTH & FUCHS 1980). Die Niederschläge steigen bis auf 2600 mm an (vgl. Abb. 04). Hohe Niederschläge fördern das Wachstum der wechselfeuchten Flechten. So wurden die hygisch anspruchsvollen Blatflechtenarten *Parmelia pastillifera* (Kap. 5.5) und *Parmelia glabra* ausschließlich an den niederschlagsreichen voralpinen Stationen angetroffen.

Die vorliegenden steilen klimatischen Gradienten im Voralpenraum schränken die Vergleichbarkeit der Luftgütwerte mit denen des übrigen Landes ein. So wird auch in der VDI-RICHTLINIE 3799 für den Alpenraum aufgrund seiner andersartigen ökologischen Bedingungen eine gesonderte Belastungsskala empfohlen. Die Zahl der Stationen, die zum Alpenraum gerechnet werden können, ist sehr klein, so daß auf eine gesonderte Auswertung verzichtet wurde.

5.5 Auswertung der Zeigerwerte nach Ellenberg

WIRTH (1991) ergänzte die Zeigerwerte von Pflanzen nach ELLENBERG (1991) um ökologische Kennzahlen für Flechten. In einer neunstufigen Skala werden dabei die Ansprüche der Arten gegenüber wichtigen ökologischen Faktoren wie Temperatur, Feuchte, Nährstoffangebot und pH-Wert ausgedrückt. Die Zeigerwerte dürfen allerdings nicht mit Meßwerten verwechselt werden. Die Berechnungsergebnisse sind als Trendaussagen für den betrachteten Faktor zu sehen. Sie können für die Interpretation der Luftgütekarte hilfreich sein. Für Bayern wurden ungewichtete Mittelwerte der Faktoren Reaktionszahl, Nährstoffzahl und Toxizität ausgewertet. Eine Übersicht über die statistischen Beziehungen der mittleren Zeigerwerte zum Flechten-Luftgütwert gibt Tab. 04.

Mittlere Toxizität

Die Toxizität ist ein Maß für die Empfindlichkeit der Arten gegenüber Luftbelastungen. Da einzelne Schadstoffe unterschiedlich auf Flechten wirken und zahlreiche Umweltparameter die Resistenz von Flechten beeinflussen, sind die Werte nur als grobe Orientierung zu sehen (WIRTH 1991). Hohe Toxizitätswerte findet man im Nordosten Bayerns. Ansonsten sind nur kleinräumig erhöhte Mittelwerte festzustellen. Die mittlere Toxizität an den Stationen weist eine deutliche Beziehung zu den Luftgütwerten auf. Weichen die Luftgütwerte einzelner Stationen stärker von denen der Nachbarstationen ab, so können die Toxizitätswerte Anhaltspunkte liefern, ob dies an den Immissionsverhältnissen oder etwa an anderen Störeinflüssen liegt. So fällt in der Luftgütekarte östlich von Kempten eine orange dargestellte Station

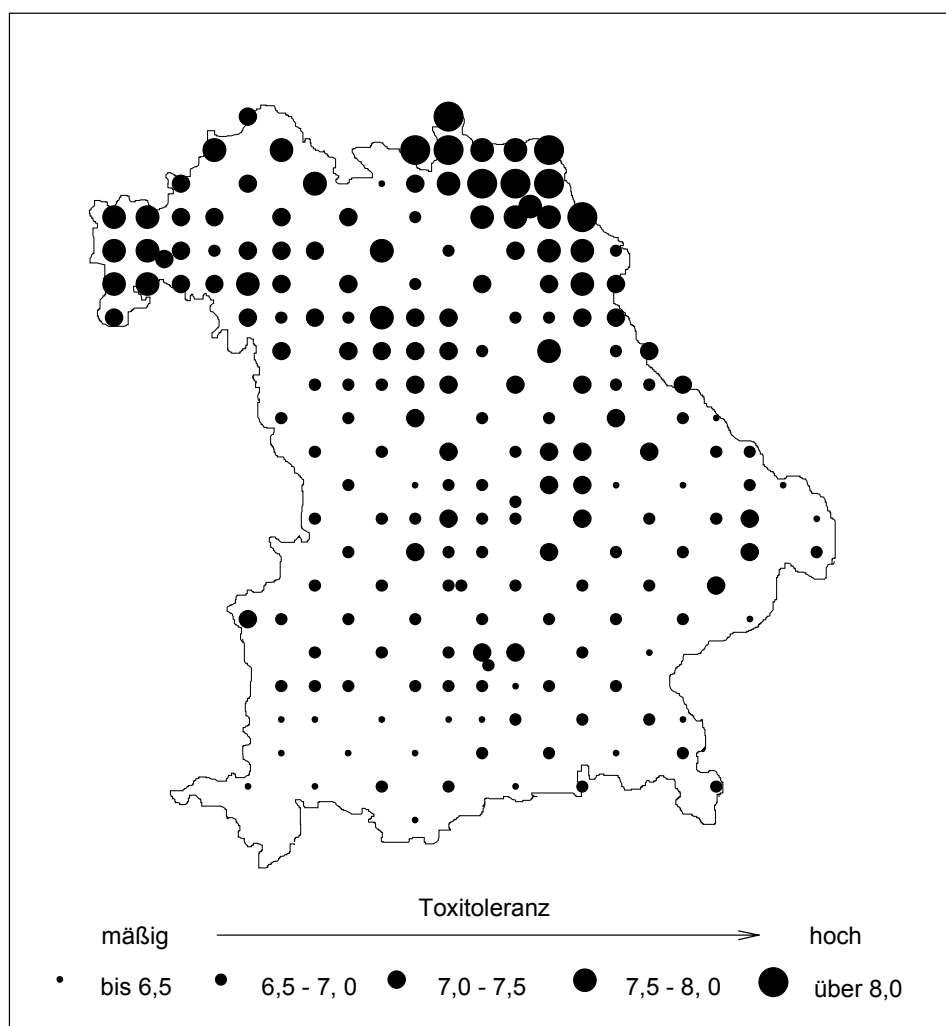


Abb. 11: Mittlere Toxizität an den Stationen

auf (mit * markiert). Die geringe mittlere Toxizität der vorkommenden Arten läßt jedoch vermuten, daß die lufthygienischen Verhältnisse im Vergleich zu den Nachbarstationen nicht schlechter sind. Durch einen dichten Moosbewuchs der Bäume konnten sich hier die Flechten nicht optimal entwickeln.

Mittlere Reaktionszahl

Die Reaktionszahl spiegelt die pH-Verhältnisse an den Baumborken wider. Niedrige Reaktionszahlen deuten auf saures, hohe auf neutrales bis basisches Milieu hin. Die Stationen im Nordosten Bayerns weisen niedrige Reaktionszahlen auf. Die vergleichsweise hohen SO_2 - Immissionen in diesem Bereich (STMLU 1994) verstärken den Einfluß des „sauren“ Unter-

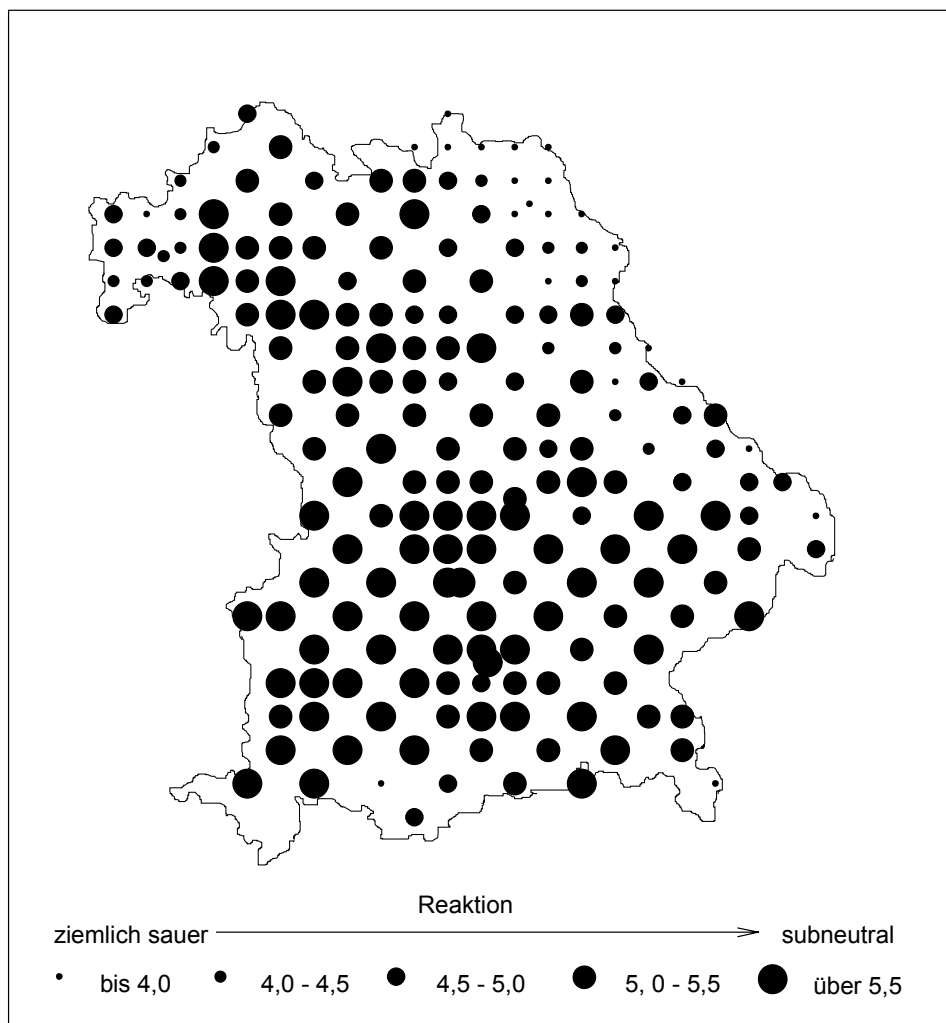


Abb. 12: Mittlere Reaktionszahl an den Stationen

grundes zusätzlich. Im übrigen Gebiet liegen die Reaktionszahlen meist um 6, das entspricht einem Borken-pH-Wert um 5,6. In den landwirtschaftlichen Intensivgebieten, insbesondere südlich der Donau, treten stellenweise auch höhere Werte auf. Die Reaktionszahl weist eine mittlere Korrelation mit dem Luftgütwert auf. Dies ist nicht verwunderlich, da saure Immissionen den pH-Wert der Borken so weit senken können, daß Flechten nicht mehr gedeihen können.

Mittlere Nährstoffzahl

Die Nährstoffzahl schätzt die Versorgung mit Mineralsalzen ab. Auffällig ist, daß die Höhe der mittleren Nährstoffzahl anscheinend ein konformes Verhalten zur mittleren Reaktionszahl

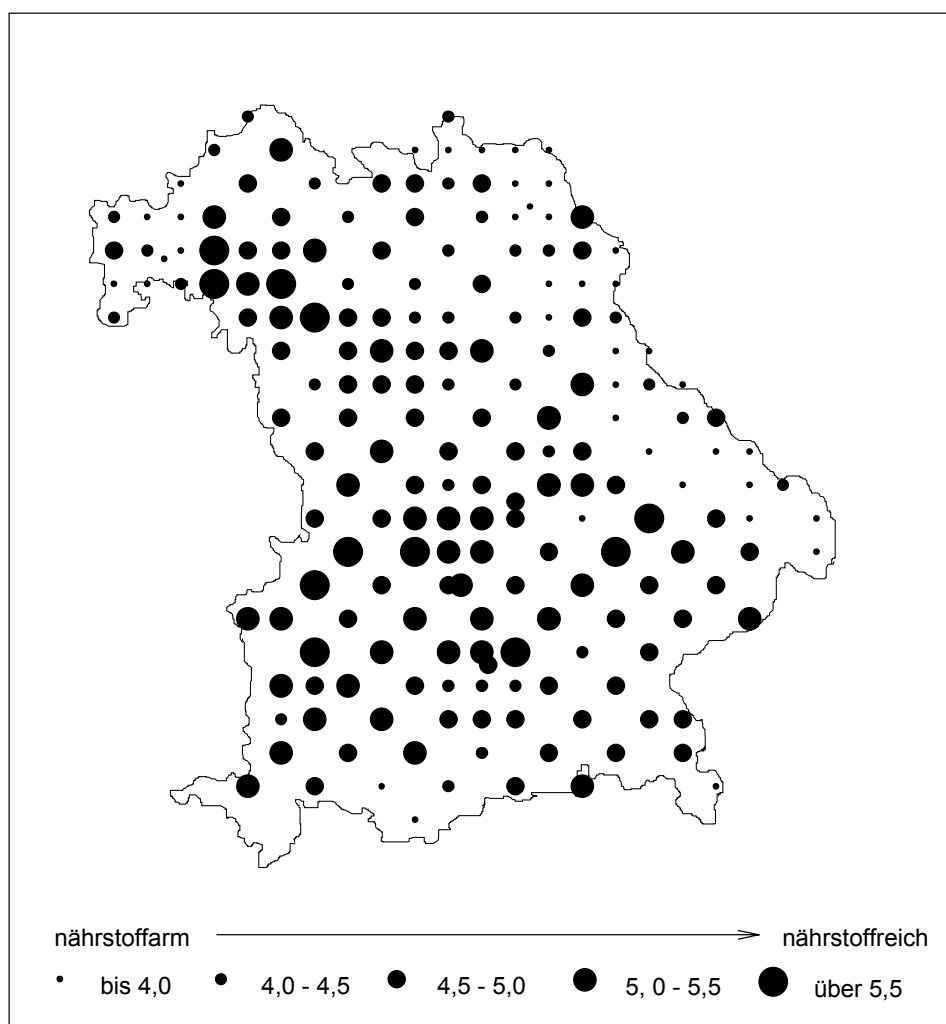


Abb. 13: Mittlere Nährstoffzahl an den Stationen

aufweist. In den „sauren“ Gebieten Nordwest- und Ostbayerns herrschen niedrige Nährstoffzahlen vor. Steigt die Reaktionszahl an, wie etwa im Alpenvorland, sind auch höhere Nährstoffzahlen festzustellen. Eine Erklärungsmöglichkeit ist, daß bei mittleren bis höheren pH-Werten die Nährstoffverfügbarkeit für Pflanzen besser ist.

Die Nährstoffzahl weist eine mittlere Beziehung zum Luftgütwert auf. Zum einen sinken die Nährstoffzahlen ab, wenn saure Immissionen ein großes Ausmaß angenommen haben. Zum anderen besteht auch die Möglichkeit, daß der Luftgütwert durch Einflüsse aus der Landwirtschaft (Düngung etc.) beeinflußt wird. Deshalb muß bei der Auswahl der Trägerbäume auf beeinträchtigte Bäume verzichtet werden.

5.6 Vergleich der Luftgütwerte mit anderen Umweltfaktoren

In Bezug auf die Zuverlässigkeit der erhobenen Flechtendaten als Indikator für die Luftbelastung sind folgende Fragestellungen von besonderem Interesse:

- Inwieweit bestehen Zusammenhänge zwischen den errechneten Luftgütwerten und gemessenen Konzentrationen von Luftschadstoffen?
- Bestehen Beziehungen zu anderen vorhandenen Bioindikator-Meßnetzen?
- Inwieweit wird der Luftgütwert von den Umweltparametern Geologie, Niederschläge und Topographie beeinflußt?

Grundsätzliches Problem bei der Beantwortung dieser Fragen ist, daß die Umweltsituation an einem Standort von sehr vielen Parametern abhängt. Auf die Flechten wirken zum einen eine Vielzahl von Luftschadstoffen ein, zum anderen sind auch klimatische Einflüsse relevant. Zur genauen Bestimmung der kleinklimatischen Verhältnisse an einem Standort wären eine Vielzahl von Messungen nötig. Im Rahmen dieser Arbeit konnte nur auf vorhandenes Datenmaterial zurückgegriffen werden. Für die natürlichen Umwelteinflüsse ist das vor allem der Klimaatlas Bayern (DWD 1952). Technisch gemessene Immissionsdaten liegen für Bayern nicht flächendeckend vor. Für die untersuchten Stationen stehen Schwefelkonzentrationen in Fichtennadeln zur Verfügung (LFU 1990-1995). Aus dem Depositionsmeßnetz liegen Daten über Ioneneinträge in bulk-Sammlern vor. Einschränkend ist allerdings zu sagen, daß diese Meßstellen bis zu 10 km von den Flechten-Meßstationen entfernt liegen.

Tab. 04: Ergebnisse der Korrelationsberechnungen zwischen den Luftgütwerten (LGW) und anderen Umweltparametern

Vergleichsgrößen	Quelle	Statistische Methode	Stichprobenzahl	Ergebnisse
Natürliche Umwelteinflüsse Geologie karbonatisch / karbonatfrei Höhe über NN Mittlere Jahresniederschläge	BAYER. GEOLOGISCHES LANDESAMT 1981 TK 25 DWD 1952	t-Test ($\alpha = 0,05$) Korrelationsanalyse Korrelationsanalyse	37 / 40 193 193	$t_{\text{berechnet}} < t_{\text{Tabelle}}$ 1,079 < 1,992 $r = 0,18$ $r = 0,28$
Zeigerwerte nach ELLENBERG 1991 Nährstoffzahl Reaktionszahl Toxizität	eigene Berechnungen	Korrelationsanalyse	193 193 193	$r = 0,30$ $r = 0,47$ $r = 0,77$
Verkehrsbeeinflussung unbefestigter Weg / unbeeinflusst schwach befahrene Straße / unbeeinflusst stark befahrene Straße / unbeeinflusst	Datenerhebungen vor Ort	t-Test ($\alpha = 0,05$)	194 / 992 886 / 992 118 / 992	$t_{\text{berechnet}} < t_{\text{Tabelle}}$ 1,467 < 1,961 1,255 < 1,961 0,354 < 1,961
Standortfichtenmeßnetz Mittelwert der Schwefelkonzentration in Fichtennadeln 1989 - 1995	LFU 1990-1995	Korrelationsanalyse	188	$r = -0,41$
Ionengehalte im bulk-Sammler im Depositionsmeßnetz 1994 Ammoniumeintrag Nitrateintrag Chlorideintrag Sulfateintrag H ⁺ -Eintrag	LFU 1995	Korrelationsanalyse	24	$r = -0,02$ $r = -0,01$ $r = -0,04$ $r = -0,17$ $r = -0,36$

Bei der Interpretation der Korrelationsanalysen von biologischen Untersuchungen wird - nach COHEN (1969) - von folgenden Annahmen ausgegangen (aus KIRSCHBAUM 1995):

$r = 0,1$ bis $0,3$: Die Beziehung zwischen zwei Faktoren ist gering

$r = 0,3$ bis $0,5$: Die Beziehung zwischen zwei Faktoren ist mittel

$r = 0,5$ bis $1,0$: Die Beziehung zwischen zwei Faktoren ist deutlich

In der Gruppe der natürlichen Umwelteinflüsse zeigt die Geologie unter der hier verwendeten statistischen Methode keinen signifikanten Zusammenhang mit den Luftgütwerten. Sowohl bei der Meereshöhe als auch bei den Niederschlägen lassen sich geringe statistische Zusammenhänge mit den Luftgütwerten herstellen. Mit zunehmender Höhe und Niederschlägen

kann es zu einer Erhöhung der Luftgütwerte kommen. Die Gründe liegen zum einen in der Förderung des Flechtenwachstums durch das mit der Höhe zunehmende Niederschlagsaufkommen, zum anderen gibt es in den höher gelegenen Regionen weniger Emittenten und damit weniger „hausgemachte“ Immissionen.

Die Ergebnisse für die Zeigerwerte nach ELLENBERG (1991) wurden in Kap. 5.5 diskutiert. Der Zusammenhang der Luftgütwerte mit der Verkehrsbeeinträchtigung wurde mit dem t-Test überprüft. Bei Bäumen an unbefestigten Wegen läßt sich durch den Anflug von düngenden Stäuben eine leichte Erhöhung der Luftgütwerte feststellen. Diese liegt unter einem statistisch signifikanten Niveau. Auch für Bäume, die direkt an Straßen standen, wurden die Luftgütwerte überprüft. Durch den Kraftfahrzeugverkehr werden vor allem Stickoxide, Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Ruß ausgestoßen. Die Luftgütwerte der Straßenbäume waren jedoch nicht, wie zu vermuten, signifikant niedriger als die der unbeeinflussten Bäume. Dies gilt sowohl für die der wenig wie auch für die der stark befahrenen Straßen. Eine mögliche Erklärung ist der auch hier anfallende, düngende Staubeintrag an die Stämme. Dieser kann die Wirkung gasförmiger Schadstoffe kompensieren, solange die Schadstoffbelastung des Staubes selbst niedrig ist.

Die Luftgütwerte der Flechtenkartierung wurden mit den Schwefelgehalten in Fichtennadeln verglichen. Dazu wurden die Ergebnisse herangezogen, die das LfU im Rahmen seines Standortfichtenmeßprogramms gewonnen hat. Die Mittelwerte der Schwefelkonzentrationen in Fichtennadeln der Jahre 1989, 1991, 1993 und 1995 wurden gebildet (an 13 Stationen liegen nur Daten aus drei Jahren vor). Die Werte sind in Abb. 14 dargestellt. Es handelt sich bei den Nadel-Schwefelgehalten nicht um direkte Messungen von SO_2 in der Luft. Vielmehr stellt die Messung der Schwefelanreicherung in Fichtennadeln - ebenso wie die Erfassung des Flechtenvorkommens - eine Wirkungserhebung dar. Die Nadel-Schwefelgehalte erlauben eine Aussage über den Schwefeleintrag aus der Atmosphäre, während das Flechtenvorkommen die Gesamtheit der auf die Flechte einwirkenden Luftschadstoffe, inklusive des Schwefels, widerspiegelt.

Die Nadel-Schwefelgehalte weisen einen mittleren Zusammenhang mit dem Luftgütwert auf. Das $r = -0,41$ bedeutet, daß der Luftgütwert mit steigendem Schwefelgehalt sinkt. Dabei lassen sich 41% des Luftgütwertes mit den Schwefelwerten der Standortfichten erklären. Die restlichen 59% werden von anderen Schadstoffparametern sowie von Störfaktoren bestimmt.

Die Schwefelwerte in Abb. 14 zeigen ein ähnliches Belastungsmuster wie die Luftgütekarte (Abb. 10).

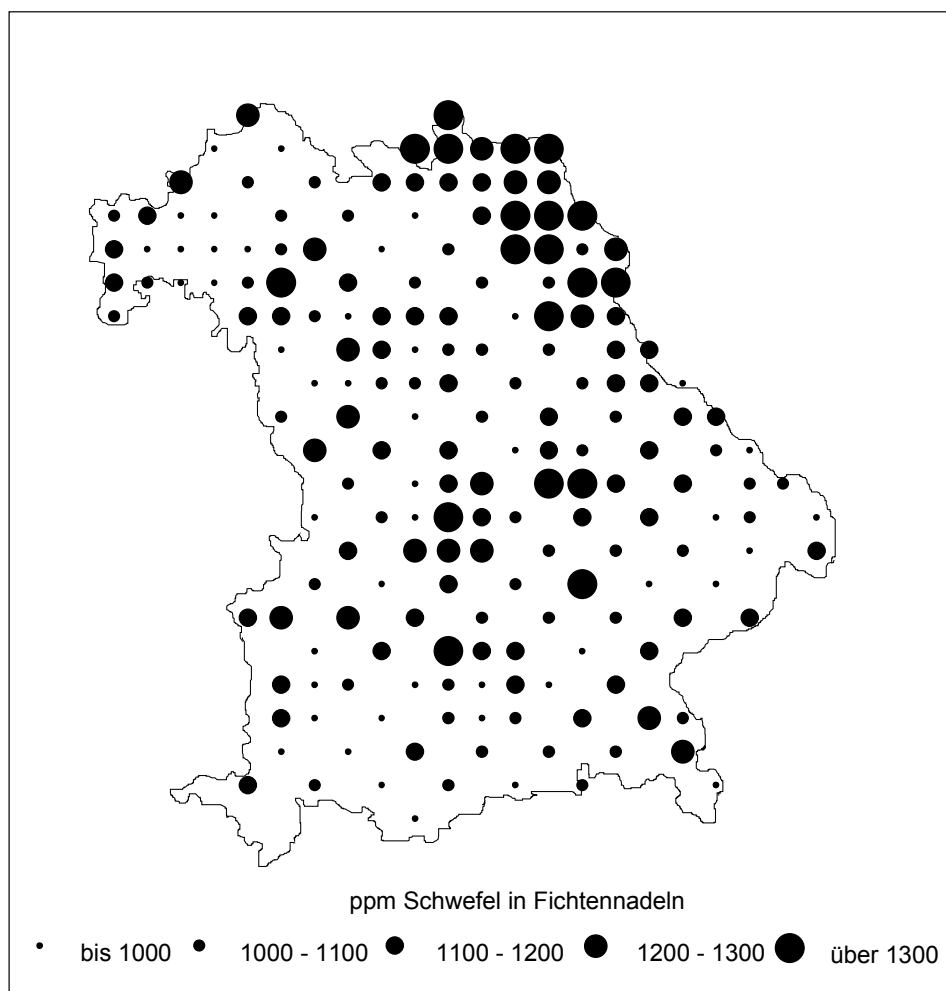


Abb. 14: Schwefelgehalte in Fichtennadeln (gemittelt über den Zeitraum von 1989 bis 1995)

Vergleicht man die 50 Stationen mit den niedrigsten Luftgütwerten mit den entsprechenden Schwefelwerten, so ergibt sich mit $r = -0,51$ ein deutlicher Zusammenhang. Die 50 höchsten Luftgütwerte weisen mit $r = -0,15$ nur einen geringen Zusammenhang auf. Es ist also davon auszugehen, daß das SO_2 nur in den hoch belasteten Gebieten der ausschlaggebende Faktor für den Flechtenbewuchs ist. Im übrigen Bayern tritt der Einfluß des Schwefeldioxids zurück und andere Faktoren gewinnen an Bedeutung.

Die Ergebnisse rückstandsanalytischer Erhebungen an epiphytischen Moosen sind hier nicht statistisch ausgewertet, sollen aber dennoch erwähnt werden. So untersuchte THOMAS (1981)

die Akkumulation von Chlorkohlenwasserstoffen, polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen und Schwermetallen in Moosen. Die höchsten Belastungen durch die gemessenen Schadstoffe fallen in weiten Teilen Bayerns (z.B. im Nürnberger Raum und im Fränkischen Wald) mit niedrigeren Luftgütwerten der Flechtenkartierung zusammen.

Von den 24 Meßstellen des Depositionsmeßnetzes liegen Daten zu Ioneneinträgen in bulk-Sammlern vor. Mit der bulk-Sammelmethode gewinnt man die nasse Deposition aus Niederschlägen und zusätzlich den wasserlöslichen Anteil trockener Depositionen. Der Vergleich des Luftgütwertes mit den gemessenen Einträgen an Ammonium, Nitrat und Chlorid ergab keine statistischen Zusammenhänge. Der Sulfateintrag weist geringe und der H^+ -Ionen-Eintrag - als Summenparameter für den Eintrag saurer Immissionen - einen mittleren Zusammenhang mit dem Luftgütwert auf. Dies deckt sich mit der Betrachtung der mittleren Reaktionszahlen.

In den hier angestellten Vergleichen wurde deutlich, daß keiner der betrachteten Parameter einen so großen Einfluß hat, daß er alleine ausschlaggebend für die Höhe der Luftgütwerte ist. Auch HERZIG et al. (1987) stellten fest, daß keiner der von ihnen getesteten Schadstoffe als echt redundant bezeichnet werden kann, d.h. daß jeder einzelne Parameter einen Informationsbeitrag zur Erklärung des Flechtenindex leistet (vgl. Kap. 3).

5.7 Verbreitung ausgewählter Arten

Der Immissionseintrag begrenzt das Vorkommen epiphytischer Flechten. Aus der Anzahl der vorkommenden Flechtenarten und ihrer Häufigkeit wird der Luftgütwert bestimmt. Mit abnehmender Immissionsbelastung kommen immer mehr Arten vor. Gleichzeitig nimmt der Einfluß der übrigen Standortfaktoren (z.B. Niederschläge, Geologie, Nährstoffversorgung) auf das Flechtenvorkommen zu (KIRSCHBAUM & WINDISCH 1995). Jeder Organismus besitzt einen bestimmten Toleranzbereich gegenüber Umweltfaktoren. Ist dieser Bereich eng begrenzt, handelt es sich um eine stenöke Art. Ist er weit, um eine euryöke Art. Für ausgewählte Flechtenarten mit unterschiedlich weiten Toleranzbereichen soll die Bedeutung einzelner Umweltfaktoren für deren Vorkommen aufgezeigt werden. Dazu soll die mittlere Häufigkeit (Frequenz) im Aufnahmegitter an der jeweiligen Station herangezogen werden (vgl. Kap. 4.3). Die mittlere Häufigkeit zeigt, wie gut die betrachtete Art sich am Mittelstamm der Trägerbäume entwickeln kann.

Physcia adscendens/tenella

Die Arten *Physcia adscendens/tenella* wurden gemeinsam erfaßt, da sie oft zusammen angetroffen werden und junge Exemplare schwer zu unterscheiden sind. Nach WIRTH (1995) zeigen sie einen weiten Toleranzbereich bezüglich sämtlicher Umweltfaktoren.

Die beiden euryöken Arten besiedeln mit großer Häufigkeit das gesamte Untersuchungsgebiet (Abb. 15). Sie stehen somit als Bioindikatoren überall zur Verfügung. In den hoch belasteten Regionen Bayerns gehen sie leicht zurück und tragen dort zur Differenzierung der Belastungsstufen bei.

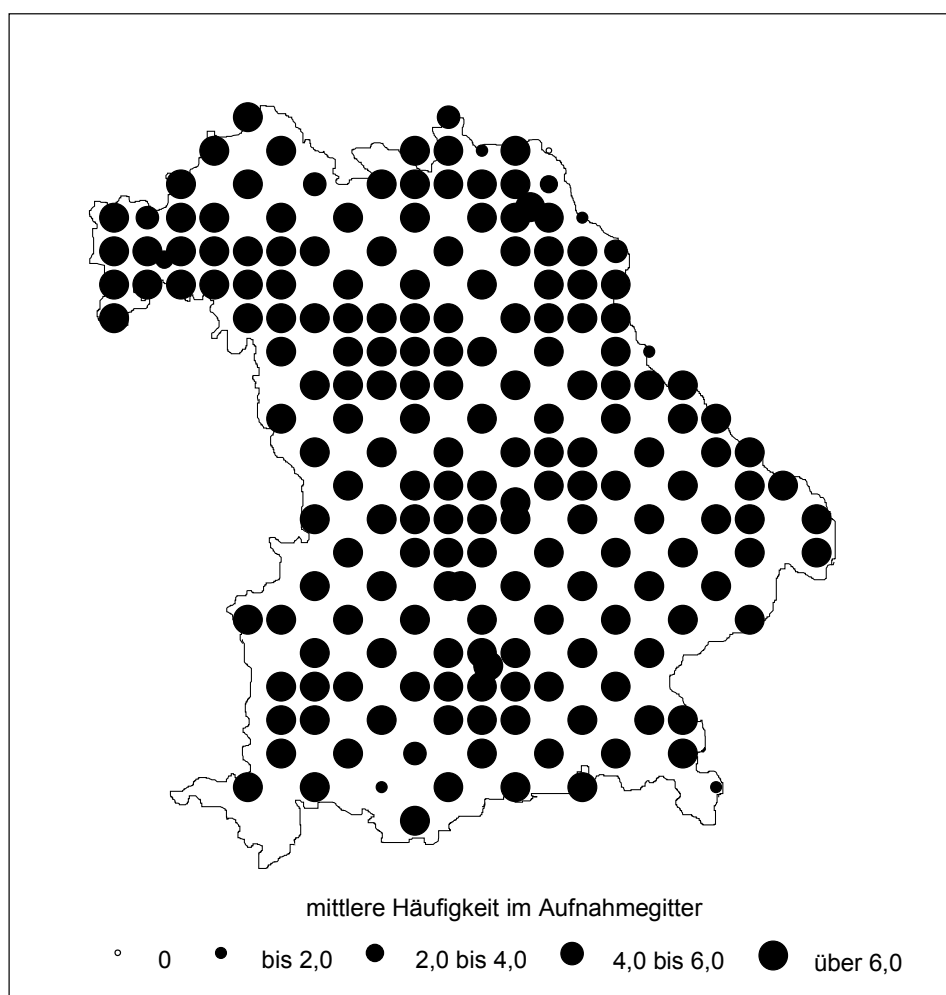


Abb. 15: Mittlere Häufigkeit von *Physcia adscendens/tenella*

Parmelia subargentifera

Nach WIRTH (1995) wächst die Blattflechte auf mineralreichen, oft durch Staubanflug eutrophierten, älteren Straßenbäumen. In Baden-Württemberg ist sie in Kalkgebieten mäßig häufig; dagegen in den walddreichen Silikatgebirgen selten und stark zurückgehend. Im Untersuchungsgebiet ist *Parmelia subargentifera* mäßig häufig, mit Schwerpunkt in Südbayern (Abb. 16). Sie hat bezüglich der Niederschlagsmenge und des Karbonathaushalts einen weiten Toleranzbereich. Im silikatischen südlichen Bayerischen Wald wurde sie gut entwickelt angetroffen, in den nördlichen Teilen und im Oberpfälzer Wald fehlte sie in den Rasterquadraten jedoch ganz. Das Vorkommen von *Parmelia subargentifera* ist an eine hohe Luftqualität gebunden. Sie kommt nur in Bereichen mit geringer bis sehr geringer Belastung vor.

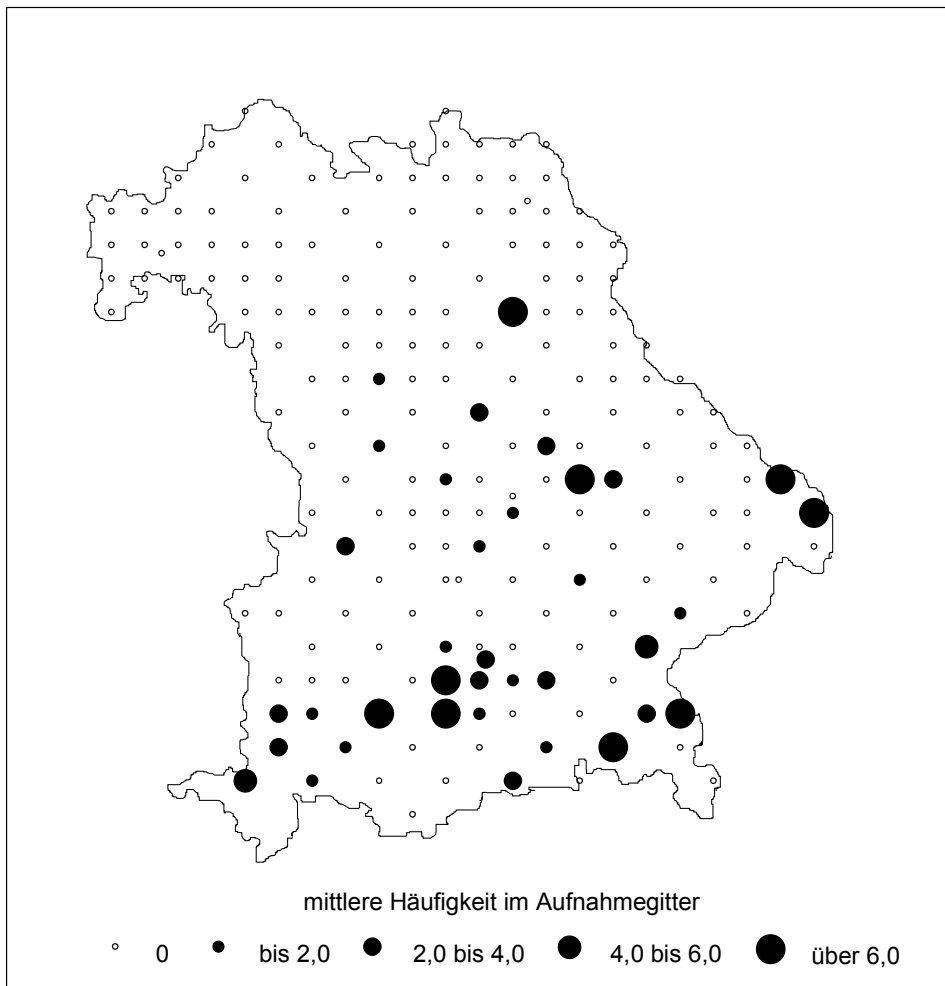


Abb. 16: Mittlere Häufigkeit von *Parmelia subargentifera*

Parmelia pastillifera

Nach WIRTH (1995) sind hohe Niederschläge Voraussetzung für das Vorkommen dieser Blattflechte. Sie verträgt weniger Eutrophierung als die ähnliche *Parmelia tiliacea*.

Die Blattflechte *Parmelia pastillifera* ist nur in Südbayern am Mittelstamm der Trägerbäume anzutreffen (Abb. 17). Die mittlere Häufigkeit innerhalb des Meßgitters ist durchweg gering. Die Vorkommen in den Schwäbisch-Oberbayerischen Voralpen und dem Voralpinen Hügel- und Moorland fallen mit den höchsten Niederschlägen im Untersuchungsgebiet zusammen (Abb. 04). Die Art kommt in den lufthygienisch günstigsten Gebieten vor.

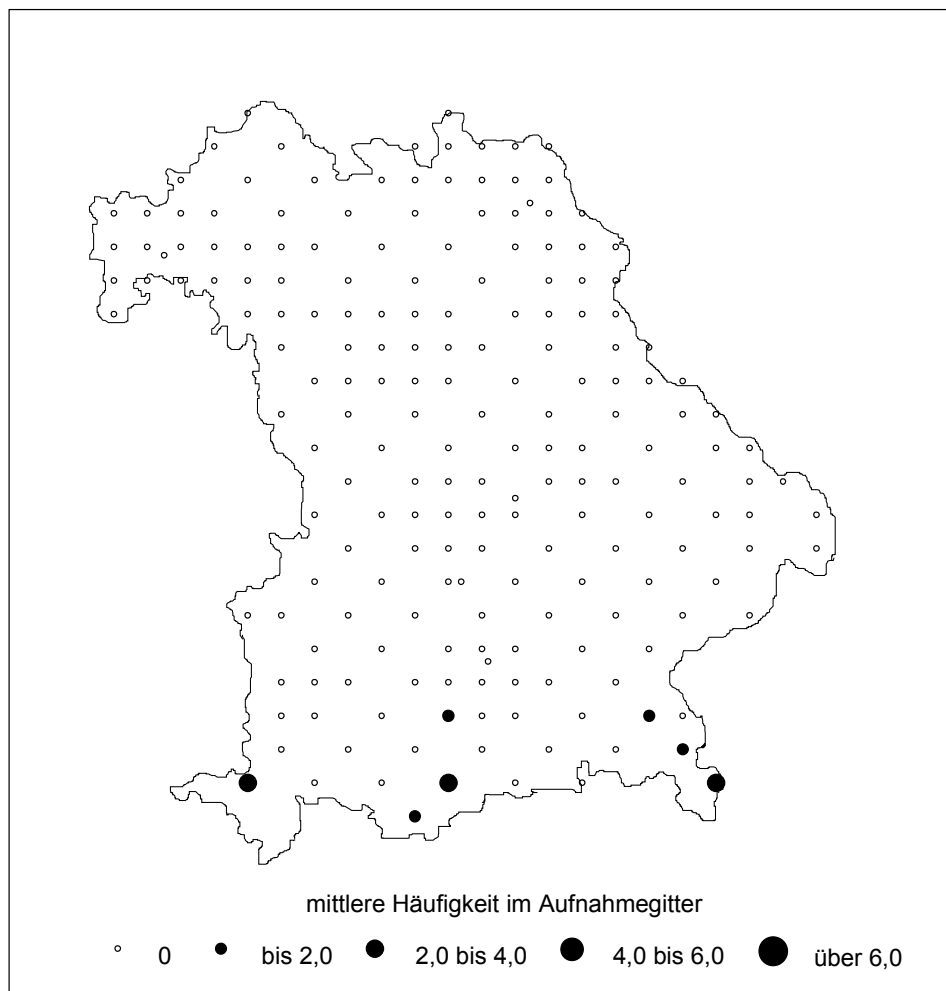


Abb. 17: Mittlere Häufigkeit von *Parmelia pastillifera*

Parmelia tiliacea

Nach WIRTH (1995) bevorzugt die Blattflechte nährstoffreiche Rinden freistehender Laubbäume. Die beste Entwicklung weisen sie in höheren, niederschlagsreichen Gebieten auf.

Parmelia tiliacea (Lindenschüsselflechte) wurde mäßig häufig angetroffen (Abb. 18). Der Schwerpunkt liegt in den niederschlagsreichen Lagen sowohl der Kalk- als auch der Silikatgebiete. Hohe Frequenzen innerhalb des Meßgitters werden im Bayerischen Wald und im Voralpinen Hügel- und Moorland erreicht. *Parmelia tiliacea* bevorzugt die gering bis sehr gering belasteten Gebiete, dringt aber auch bis in hoch belastete Bereiche vor.

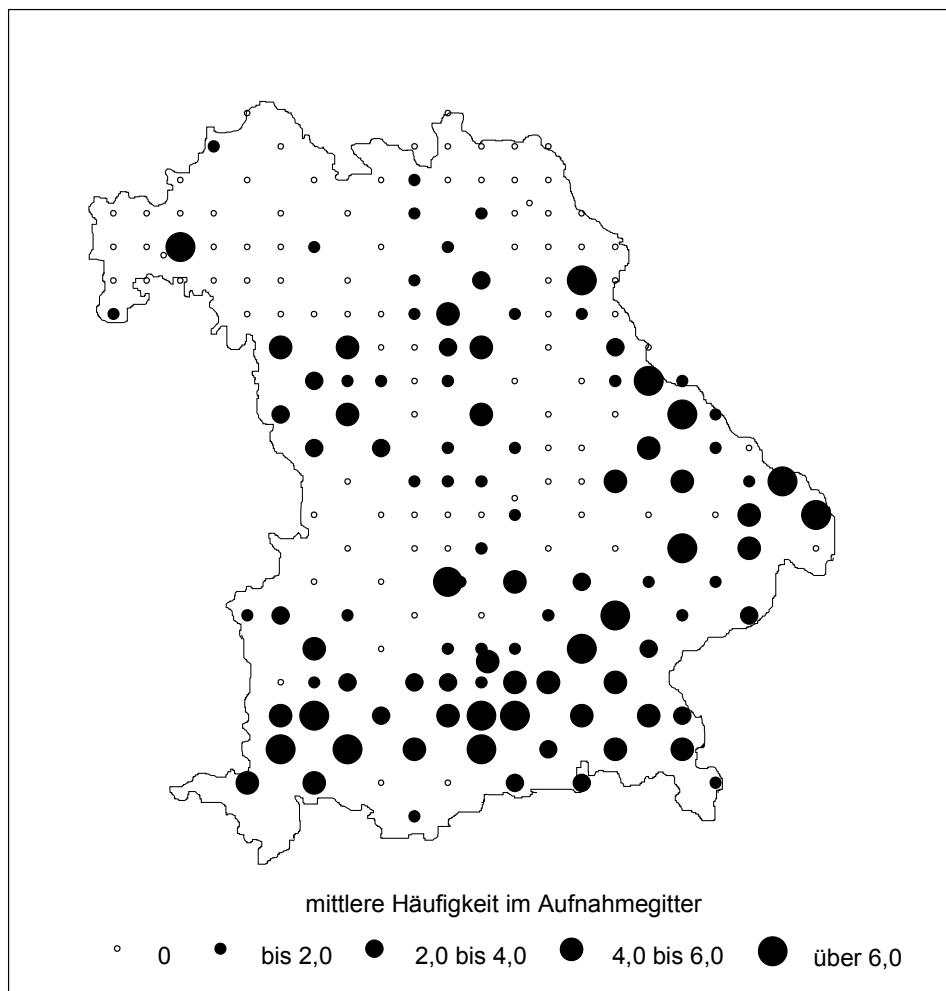


Abb. 18: Mittlere Häufigkeit von *Parmelia tiliacea*

Xanthoria parietina

Nach den Angaben von WIRTH (1995) bevorzugt die auffällige Blattflechte subneutrale, nährstoffreiche Rinden.

Xanthoria parietina kommt in Bayern mit Ausnahme der silikatischen Mittelgebirge (Spessart, Oberpfälzer und Bayerischer Wald) durchweg häufig vor (Abb. 19). Sie erweist sich als euryök bezüglich der Standortfaktoren Niederschlag und Meereshöhe. Besonders gut entwickelt ist sie in den landwirtschaftlichen Intensivgebieten (z.B. Donau-Ille-Lech-Platte, Unterbayerisches Hügelland). Ihr Vorkommen in Silikatgebieten weist auf kleinräumige Eutrophierung der Standorte hin. Der Vergleich mit der Luftgütekarte (Abb. 10) zeigt einen Schwerpunkt in gering belasteten Gebieten.

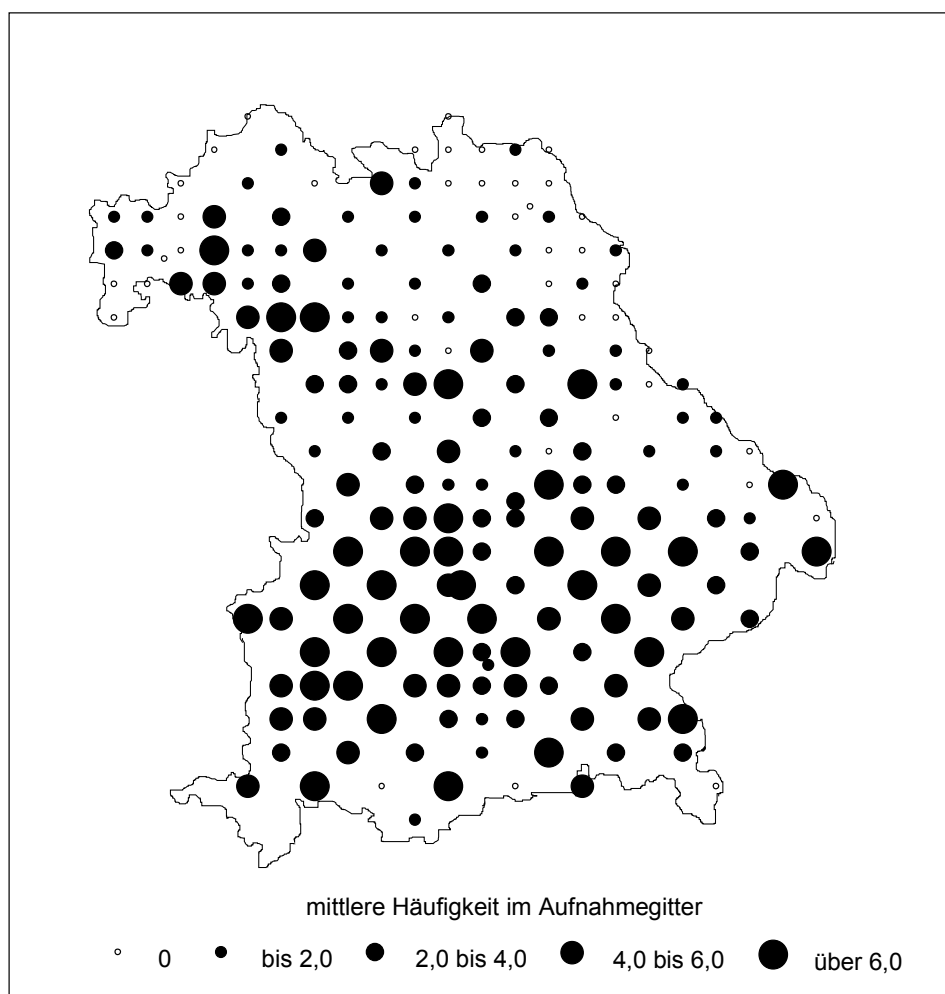


Abb. 19: Mittlere Häufigkeit von *Xanthoria parietina*

Hypogymnia physodes

WIRTH (1995) charakterisiert die Blattflechte als euryök, acidophytisch und relativ toxis tolerant. Sie fehle bei stärkerer Eutrophierung und auf subneutralen Unterlagen.

Hypogymnia physodes ist in großen Teilen Bayerns weit verbreitet (Abb. 20). Sie ist in allen Luftgüte zonen der Karte vertreten. Die größte Häufigkeit innerhalb des Meßgitters erreichte sie in den silikatischen Mittelgebirgen Nordbayerns und im Fränkischen Keuper-Lias-Land. Dagegen fehlt sie fast völlig in den intensiv bewirtschafteten Agrargebieten der Donau-Iller-Lech-Platte und den Isar-Inn-Schotterplatten. Sie hat eine weite Amplitude gegenüber dem Niederschlagsaufkommen und ist tendenziell in den Kalkgebieten Bayerns weniger häufig. Im Vergleich zu *Xanthoria parietina* (Abb. 19) weist sie ein inverses Verbreitungsmuster auf.

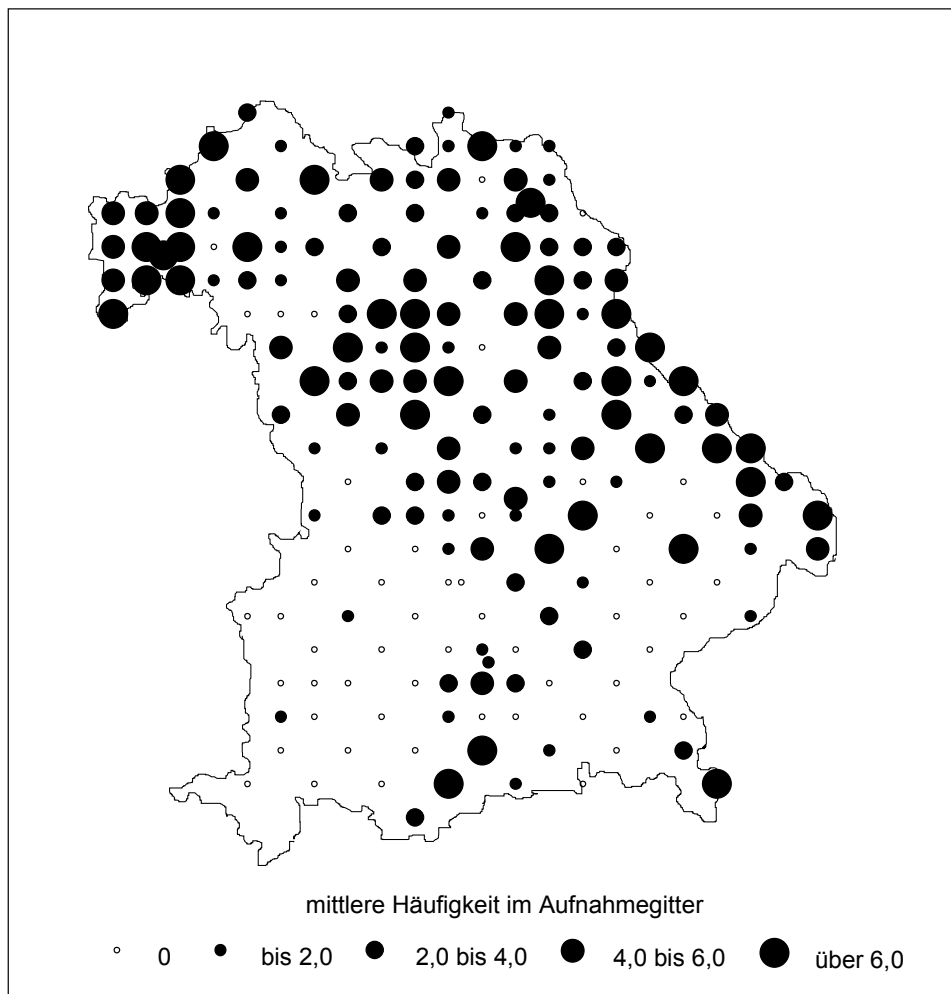


Abb. 20: Mittlere Häufigkeit von *Hypogymnia physodes*

Parmelia saxatilis

Nach WIRTH (1995) wächst die Blattflechte auf sauren Rinden, meidet Düngung und ist an niederschlagsreichen Standorten optimal entwickelt. Die Karte der mittleren Häufigkeit von *Parmelia saxatilis* zeigt mehrere scharf begrenzte Verbreitungsgebiete (Abb. 21). Die Art konnte nördlich der Donau nur in den silikatischen und durch saure Immissionen beeinflussten Mittelgebirgen Spessart, Oberpfälzer- und Bayerischer Wald angetroffen werden. In Südbayern dagegen konnte sie in den Schwäbisch-Oberbayerischen Voralpen auch auf karbonathaltigem Untergrund kartiert werden. Die Ursache mag darin liegen, daß durch die hohen Niederschläge eine Ansäuerung der Borke stattgefunden hat. Sie kommt bis in hoch belastete Gebiete vor und kann deshalb als recht toxtolerant gelten.

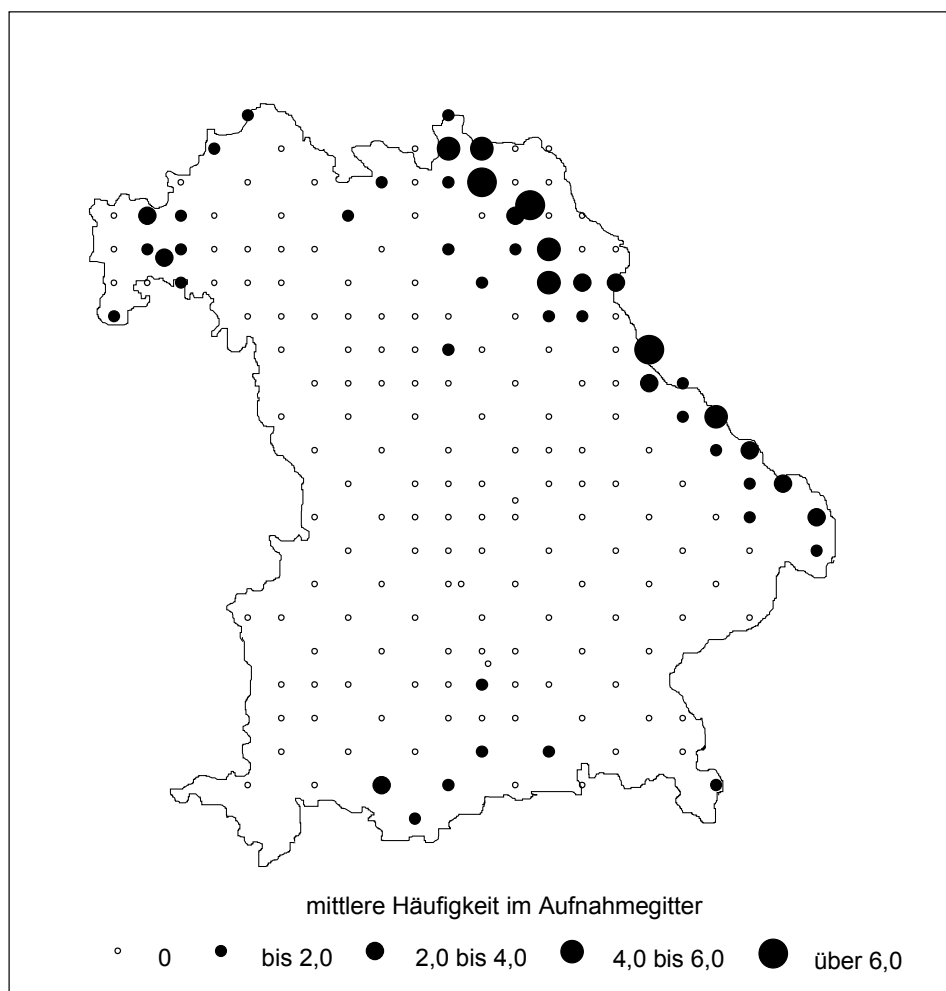


Abb. 21: Mittlere Häufigkeit von *Parmelia saxatilis*

Lecanora conizaeoides

Die Krustenflechte wird in zahlreichen Untersuchungen als extrem acidophytisch charakterisiert. Sie ist die toxtoleranteste unter den einheimischen Epiphyten (Rindenbewohnern) und dringt am weitesten in industrialisierte und urbane Räume vor (WIRTH 1995).

Lecanora conizaeoides hat ihren Schwerpunkt in den Silikatgebieten Nordbayerns (Abb. 22). Das Thüringisch-Fränkische Mittelgebirge, der Oberpfälzer Wald, die Mainfränkischen Platten und der Spessart sind Häufigkeitsschwerpunkte. Sie wurde dagegen in Südbayern nur vereinzelt in den Alpen gefunden.

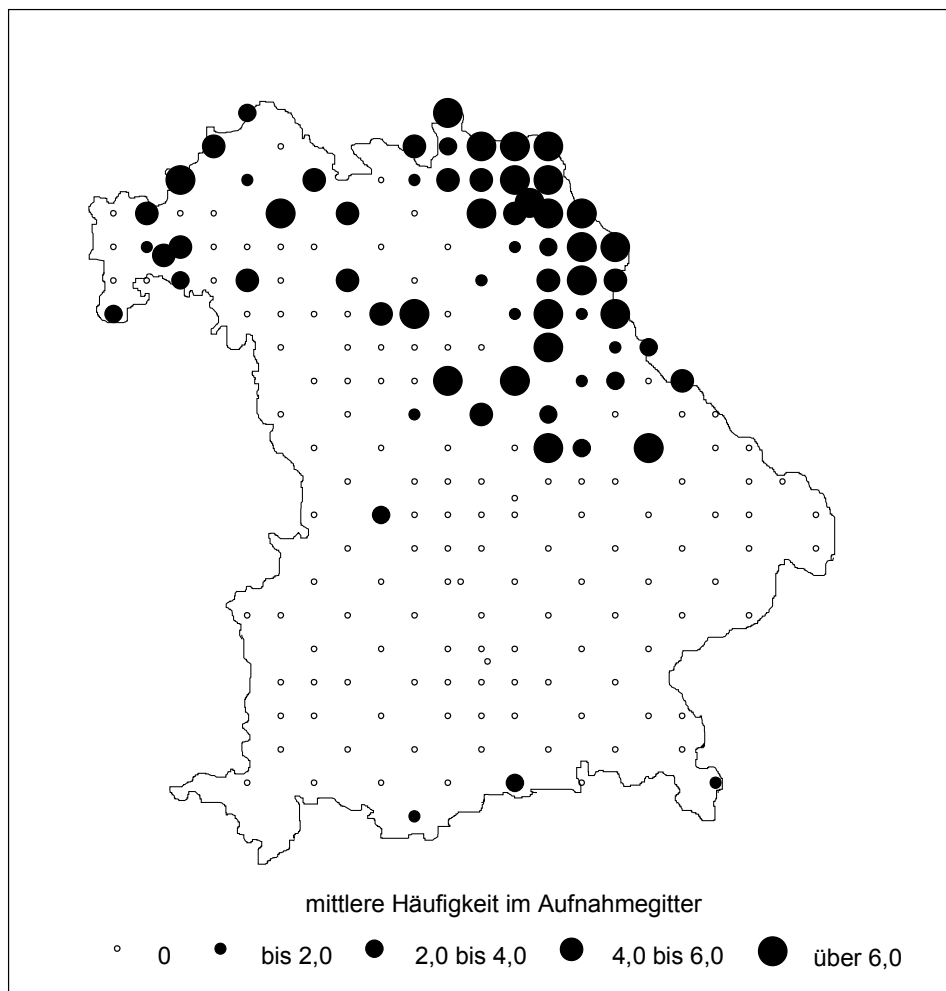


Abb. 22: Mittlere Häufigkeit von *Lecanora conizaeoides*

An den fünf Meßstationen im Münchener Raum konnte sie ebenfalls nicht angetroffen werden. Für das Stadtgebiet verfolgten KANDLER & POELT (1984) die historische Entwicklung von *Lecanora conizaeoides*. Es wird ARNOLD (1891) zitiert, der die Art um die Jahrhundertwende als ziemlich verbreitet angab. Auch SCHMID (1957) fand sie noch im Zentrum Münchens. In den 80er Jahren war sie in der Innenstadt nicht mehr vorhanden, sondern nur noch im Nordwesten der Stadt, was auf den Rückgang von SO₂-Immissionen zurückgeführt wird.

Nach Untersuchungen in Baden-Württemberg (WIRTH 1993) ist eine Trendwende bei der Verbreitung der Art eingetreten. Nach WIRTH soll die Krustenflechte zunächst mit den sauren Immissionen eingewandert sein. Seit einigen Jahren kann ein Rückzug beobachtet werden, was mit einer Verringerung saurer Immissionen begründet wird.

Da *Lecanora conizaeoides* durch saure Luftschadstoffe bis zu einem gewissen Grad gefördert wird (im Gegensatz zu den übrigen einheimischen Arten), stellt sie einen „Sonderfall“ dar. In die Berechnung der Luftgütewerte geht sie aus diesem Grunde nicht ein. Die Krustenflechte ist eine der wenigen Arten, die in den hoch belasteten Zonen gedeihen kann (Abb. 10). Die deutliche Verarmung der Flechtenvegetation im Fränkischen Mittelgebirge bei gleichzeitig guten Entwicklungsmöglichkeiten von *Lecanora conizaeoides* zeigen, daß hier saure Immissionen für die ungünstige lufthygienische Situation verantwortlich sind.

Die vorgestellten Arten lassen sich in drei Gruppen einteilen. In der ersten Gruppe stehen Arten mit weiter ökologischer Amplitude (z.B. *Physcia adscendens/tenella*, *Parmelia subargentifera*). Sie können potentiell das gesamte Untersuchungsgebiet besiedeln und stehen zur Bioindikation nahezu flächendeckend zur Verfügung. Der wichtigste Standortfaktor, der ihre Verbreitung einschränkt, ist die Immissionsbelastung.

Bei der zweiten Gruppe haben auch klimatische Gegebenheiten einen Einfluß auf das Flechtenvorkommen (z.B. *Parmelia pastillifera*, *Parmelia tiliacea*). Vertreter dieser Gruppe sind an die kühleren und feuchteren Lagen gebunden. Neben immissionsbedingten Ursachen spielen also auch klimatische Faktoren eine Rolle für ihre Vorkommen. In niederschlagsreichen Lagen haben insgesamt mehr Flechtenarten Entwicklungsmöglichkeiten als in warmen und trockenen Bereichen. In welchem Maße sich die Luftgütewerte dadurch erhöhen, ist noch nicht ausreichend erforscht.

Für die dritte Gruppe von Flechten spielen neben der Luftqualität auch die geologischen Gegebenheiten eine Rolle für das Flechtenvorkommen. So sind die Subneutrophyten (z.B. *Xanthoria parietina*) in Kalkgebieten und bei stärkerer Eutrophierung deutlich häufiger als in Silikatgebieten. Die Silikatgebiete Bayerns werden von den Acidophyten (z.B. *Hypogymnia physodes*, *Lecanora conizaeoides*, *Parmelia saxatilis*) deutlich bevorzugt. In geologisch unterschiedlichen Gebieten wird also der Luftgütwert aus unterschiedlichen Artenspektren gebildet. Der Luftgütwert wird von der Geologie jedoch nicht signifikant beeinflusst (vgl. Kap. 5.5). Das bedeutet, daß in der vorliegenden Kartierung die Ergebnisse aus geologisch unterschiedlichen Gebieten miteinander verglichen werden können. Weiterhin wird klar, daß in großen Untersuchungsgebieten ein möglichst breites Artenspektrum zur Bioindikation herangezogen werden sollte, um bei verschiedenen natürlichen Randbedingungen jeweils genügend Flechtenarten zur Differenzierung der Luftqualität zur Verfügung zu haben.

5.8 Diskussion der Methodik

5.8.1 Baumartenvergleich

Die Baumarten Birne, Linde und Bergahorn wurden, abweichend von der VDI-RICHTLINIE 3799, in der Erhebung mitberücksichtigt. Es soll nun geprüft werden, ob diese Vorgehensweise zulässig war. Es ist also zu prüfen, ob diese Baumarten zu vergleichbaren Luftgütwerten führen. Ein grundsätzliches Problem dabei ist, daß der wahre Luftgütwert unbekannt ist, da meist keine umfangreichen chemischen Luftgüteanalysen vorliegen. Als Bezugspunkt wurde deshalb der errechnete Luftgütwert der Subneutrophyten der Gruppe 1 gewählt (Apfel, Esche, Pappel, Spitzahorn, Ulme, Walnuß). An den Stationen, an denen mindestens drei Linden und zugleich mindestens drei Exemplare zweier Baumarten der Gruppe 1 vorkamen, wurden die Luftgütwerte aus dem Flechtenbewuchs der Linde berechnet. Das Gleiche wurde für Birnbaum und Bergahorn ermittelt. Die errechneten Werte wurden mit den Luftgütwerten korreliert, die an den jeweiligen Stationen aus den Subneutrophyten berechnet wurden.

Um die Ergebnisse einstuft zu können, wurden in einem nächsten Schritt die Luftgütwerte der einzelnen subneutrophytischen Baumarten mit dem Luftgütwert für alle Baumarten der Gruppe 1 ohne die betrachtete Baumart verglichen. In Tab. 05 sind die Ergebnisse der Korrelationsberechnungen zwischen den Baumarten zusammengefaßt.

Tab. 05: Ergebnisse des Baumartenvergleichs

	Gruppe 2 Bäume mit mäßig saurer Borke			Gruppe 1 Bäume mit +/- subneutraler Borke				
	Linde	Bergahorn	Birnbaum	Apfelbaum	Esche	Pappel	Spitzahorn	Walnuß
	korreliert mit den Luftgütwerten der Gruppe 1			korreliert mit den Luftgütwerten der Gruppe 1 excl. der betrachteten Baumart				
Steigung m	1,17	1,05	0,67	0,34	0,79	0,7	0,94	0,51
x-Achsen- abstand b	-1,73	-1,99	15,63	16,18	9,71	10,85	6,95	21,68
Korrelations- koeffizient r	0,81	0,79	0,45	0,51	0,73	0,7	0,79	0,63
Wertepaare	11	27	56	68	72	99	36	25

Eine vollständige Übereinstimmung der Luftgütwerte der betrachteten Baumart mit den Luftgütwerten der Gruppe 1 besteht dann, wenn die Steigung $m = 1$, der x-Achsenabstand $b = 0$ und der Korrelationskoeffizient $r = 1$ ist.

Das Bestimmtheitsmaß der Korrelationsberechnungen zwischen den Luftgütwerten der einzelnen Baumarten liegt zwischen 0,45 für Birnbaum und 0,81 für Linde. Nach COHEN (1969) liegt ab einem r von 0,5 eine deutliche Korrelation vor. Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten kann nur Tendenzen aufzeigen. Es wird deutlich, daß auch die Luftgütwerte der Baumarten der Gruppe 1 untereinander Abweichungen aufweisen. Die hier untersuchten Baumarten der Gruppe 2 passen gut zu denen der Gruppe 1 in dem Sinne, daß sie zu vergleichbaren Luftgütwerten führen.

Die Abb. 23 bis Abb. 37 zeigen die Korrelationen der Baumarten untereinander. Bei hundertprozentiger Übereinstimmung müßten die Werte auf der Diagonalen der Grafiken liegen. Je näher also die aufgetragenen Punktwolken mit den dazugehörigen Regressionsgeraden an der Diagonalen liegen, um so besser ist ihre Übereinstimmung mit dem Luftgütwert der Subneutrophyten. Die dazugehörigen Karten zeigen die Verteilung der Baumarten und somit den Gültigkeitsbereich für die Berechnungen an.

Die Linde (*Tilia spec.*)

Das vorliegende Datenmaterial über die Linde muß unter Vorbehalt betrachtet werden, da diese Baumart erst im Laufe der Untersuchung hinzugenommen wurde. Deshalb liegen Daten nur für einen Teil des Untersuchungsgebietes in Ost- und Südbayern vor (Abb. 24). Zudem wurden durch eine subjektive Vorauswahl im Gelände bereits solche Bäume ausgeschlossen, deren Flechtenbewuchs deutlich unter dem anderer Trägerbäume lag. Die Luftgütwerte der erfaßten Linden (Abb. 23) liegen im Schnitt etwa sieben Punkte über denen der Subneutrophyten. In Südbayern könnte man annehmen, daß der vergleichsweise niedrige Borken-pH der

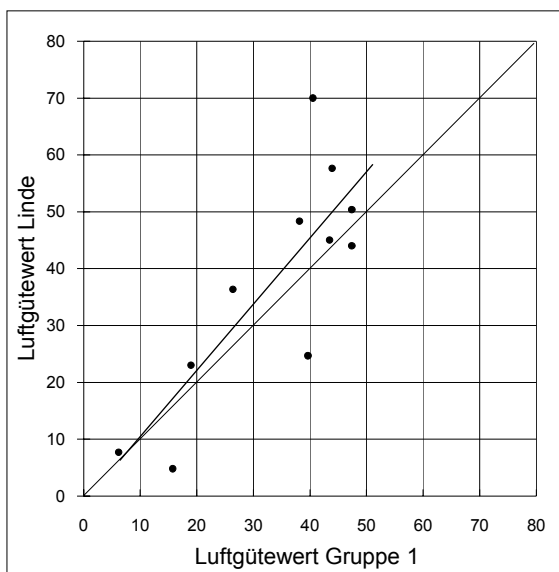


Abb. 23: Korrelation der Luftgütwerte von Linden mit denen der Baumarten der Gruppe 1

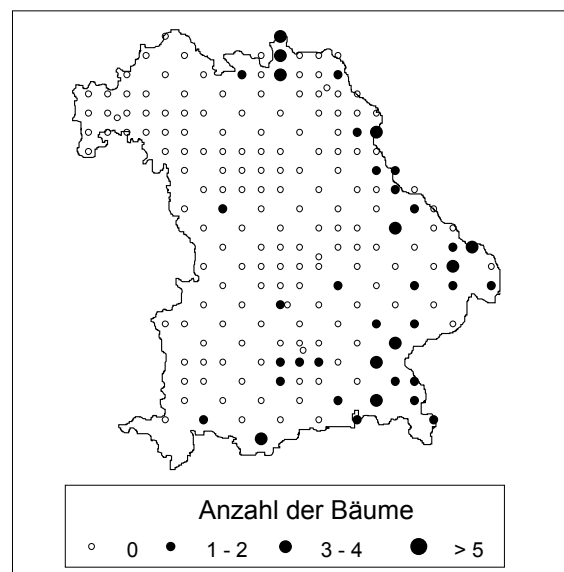


Abb. 24: Verteilung der kartierten Linden

Linde durch basische Stäube angehoben wird und dadurch den Flechten bessere Lebensmöglichkeiten geboten werden. Erstaunlicherweise weist die Linde aber auch in den karbonatfreien Regionen Ostbayerns gute Luftgütwerte auf. Die mittleren Reaktionszahlen nach ELLENBERG (1991) für die untersuchten Linden liegen sowohl in Kalk-, als auch in Silikatgebieten etwa einen halben Punkt unter denen der Subneutrophyten. Der gute Flechtenbewuchs der Linde in höheren Lagen (Mittelgebirge und Voralpenraum) wirft die Frage auf, ob neben dem Borken-pH nicht auch das Klima einen Einfluß auf ihre Eignung als Trägerbaum haben könnte. Unter den gegebenen Voraussetzungen weisen die Luftgütwerte an Linde eine deutliche Korrelation mit denen der Subneutrophyten auf.

Der Birnbaum (*Pyrus communis*)

Die aufgetragenen Werte zeigen beim Birnbaum eine größere Streuung als bei der Linde (Abb. 25). Die Luftgütwerte der Birnbäume liegen für das gesamte Untersuchungsgebiet meist über denen der Subneutrophyten. Im Laufe der Kartierungsarbeiten wurde beobachtet, daß in flechtenarmen Gebieten der Flechtenbewuchs an Birnbaum deutlich geringer war als der der anderen Baumarten. Er wurde hier deshalb nicht verwendet. Die Ursache liegt darin, daß die von Natur aus saure Birnbaumborke bei starker zusätzlicher Ansäuerung durch Luftverunreinigungen nicht mehr genügend Pufferkapazität besitzt. Bei höheren Luftgütwerten scheinen

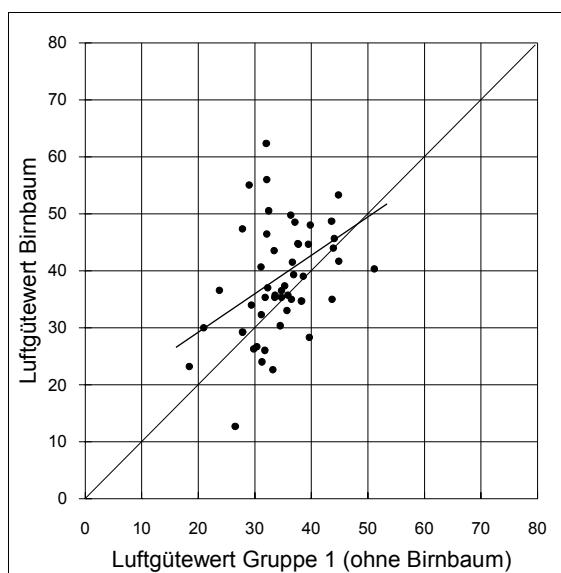


Abb. 25: Korrelation der Luftgütwerte von Birnbäumen mit denen der Baumarten der Gruppe 1

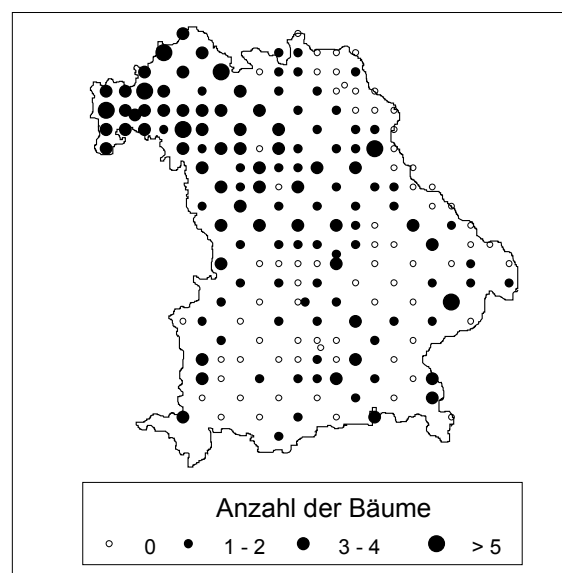


Abb. 26: Verteilung der kartierten Birnbäume

andere Faktoren, wie etwa die Borkenstruktur, an Bedeutung zu gewinnen. Der pH-Wert liegt hier in einem für Flechten günstigen Bereich. Der Birnbaum unterliegt, ähnlich wie der Apfelbaum, einer mehr oder weniger starken anthropogenen Nutzung. Die Stärke dieses Störeinflusses ist vor Ort nicht immer sicher zu beurteilen. Möglicherweise liegt hier der Grund für die relativ breite Streuung der Luftgütwerte des Birnbaums. Er sollte darum nicht vorrangig verwendet werden. In Ermangelung anderer Baumarten wurde der Birnbaum neben dem Apfelbaum insbesondere in den Streuobstgebieten Nordwestbayerns kartiert (Abb. 26).

Der Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*)

Die Luftgütwerte an Bergahorn zeigen insgesamt eine deutliche Korrelation zu denen der subneutrophytischen Baumarten (Abb. 27). Die Streuung der Werte um den Luftgütwert ist relativ gering. Im unteren Skalenbereich sind die Werte des Bergahorns häufig niedriger als die der Vergleichsarten. Dies trifft insbesondere auf Stationen zu, die in Silikatgebieten mit hohen sauren Immissionen liegen. Hier sollte auf den Bergahorn verzichtet werden. Eine mögliche Erklärung für sein schlechtes Abschneiden in diesen Gebieten ist die geringe Pufferkapazität der Bergahorn-Borke gegenüber zusätzlicher Ansäuerung.

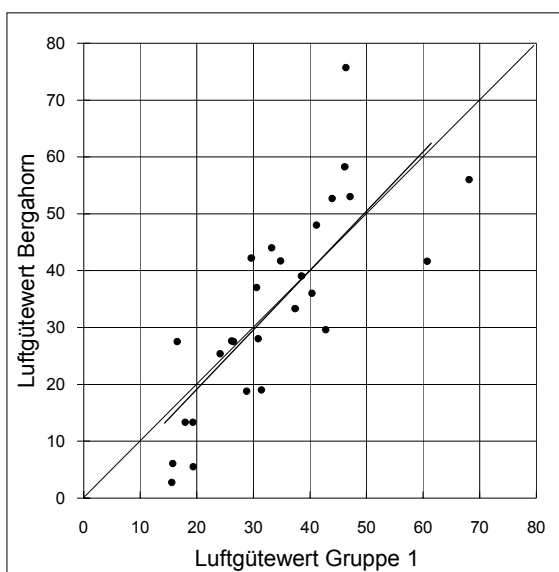


Abb. 27: Korrelation der Luftgütwerte von Bergahornen mit denen der Baumarten der Gruppe 1

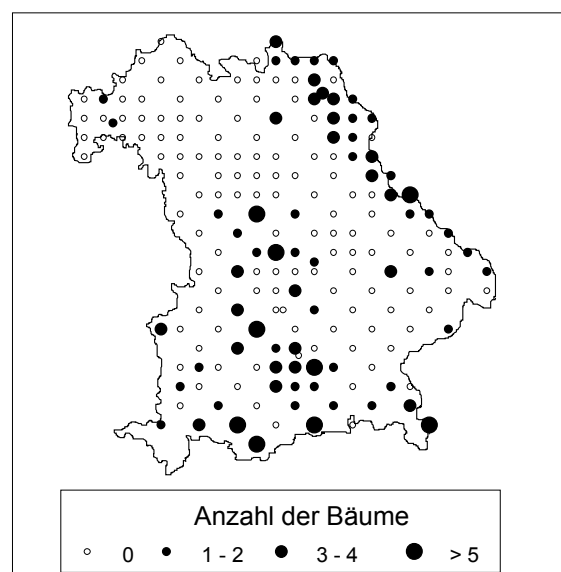


Abb. 28: Verteilung der kartierten Bergahorne

Bei der Auswahl der zu kartierenden Bergahorne ist darauf zu achten, daß sich die typische schuppige Rindenstruktur bereits entwickelt hat. Junge Bäume mit glatter Rinde sind meist ungeeignet. Das Gleiche gilt für Bäume, bei denen die Schuppen bereits abgefallen sind. Die Verteilung der kartierten Bergahorne ist in Abb. 28 dargestellt.

Der Apfelbaum (*Malus domestica*)

Der Apfelbaum zeigt bis zu einem Luftgütwert von etwa 30 eine akzeptable Korrelation (Abb. 29). Bei höheren Luftgütwerten vermag er den höheren Frequenzen der anderen Baumarten jedoch nicht mehr zu folgen. Auch räumlich muß die Eignung des Apfelbaumes zur Flechtenkartierung differenziert betrachtet werden. Im Norden Bayerns erwies sich der Apfelbaum als geeigneter Trägerbaum. Hier weist der Apfelbaum zwar etwas geringere

Luftgütewerte auf als die anderen Baumarten, dafür hat er den Vorteil, flächendeckend verfügbar zu sein. Zusammen mit dem Apfelbaum wurden möglichst gleich viele Birnbäume aufgenommen. Die etwas überdurchschnittlichen Luftgütewerte an Birnbaum stellen einen gewissen Ausgleich der niedrigen Apfelbaumwerte dar. Für die Kartierung des nach Nordwesten anschließenden Landes Hessen hat sich der Apfelbaum ebenfalls als geeigneter Trägerbaum erwiesen (KIRSCHBAUM & WINDISCH 1995). Anders stellt sich die Situation in Südbayern dar. Hier wird die Verwendung des Apfelbaumes zum einen durch das weitgehende Fehlen von extensiven Streuobstwiesen eingeschränkt, zum anderen wird der Apfelbaum nach Süden hin zunehmend

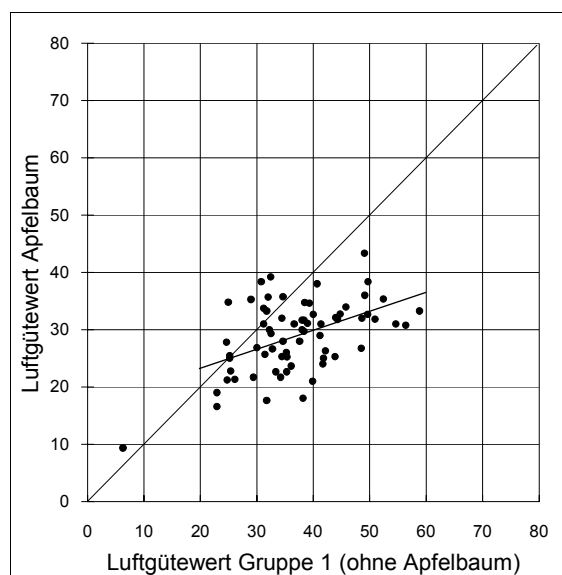


Abb. 29: Korrelation der Luftgütewerte von Apfelbäumen mit denen der anderen Baumarten der Gruppe 1

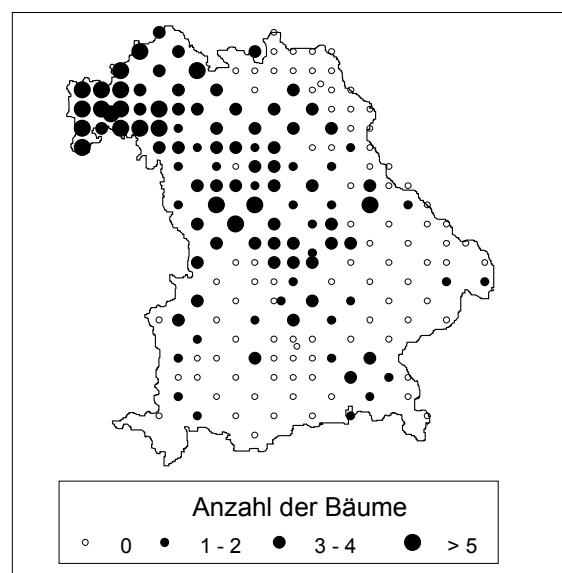


Abb. 30: Verteilung der kartierten Apfelbäume

flechtenärmer. Er ist hier für die Erhebung schließlich nicht mehr geeignet, da die resultierenden Luftgütewerte weit unter denen der anderen Baumarten liegen würden. Als Ursache kommt die typische Borkenstruktur des Apfelbaums in Betracht. Die Borke blättert relativ rasch ab, wodurch auch die Flechtenthalli mit abgeworfen werden (KUPFER-WESELY & TÜRK 1986). Nicht zu unterschätzen ist auch der anthropogene Einfluß auf die Bäume, der teilweise nur schwierig abzuschätzen ist. In Südbayern wurden nur noch einzelne Apfelbäume aufgenommen (Abb. 30).

Die mittleren Reaktionszahlen der Flechten und somit auch der pH der Borken liegen beim Apfelbaum stets über dem Durchschnitt der anderen Baumarten. Dies erklärt sein vergleichs-

weise gutes Abschneiden in Silikatgebieten wie dem Spessart. HEITMANN (1991) führt das schlechte Abschneiden der Apfelbäume in Südbayern darauf zurück, daß kalkhaltige Stäube die Borken-pH-Werte gegenüber sauren Immissionen abpuffern. So kommt die hohe eigene Pufferkapazität der Apfelbaum-Borke nicht mehr zum Tragen. Daß der Apfelbaum auch in den Kalkgebieten Nordbayerns gut abschneidet, könnte hier mit der Einwirkung saurer Immissionen erklärt werden.

Die Pappel (*Populus spec.*)

Die Pappel (Abb. 31) weist eine ähnlich gute Korrelation mit den anderen Baumarten auf, wie die Esche. Im Gegensatz zu dieser ist sie aber weitgehend unabhängig vom jeweiligen geo-

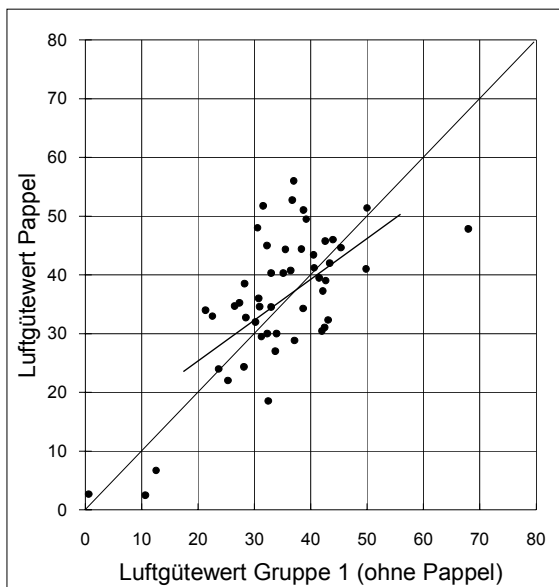


Abb. 31: Korrelation der Luftgütwerte von Pappeln mit denen der anderen Baumarten der Gruppe 1

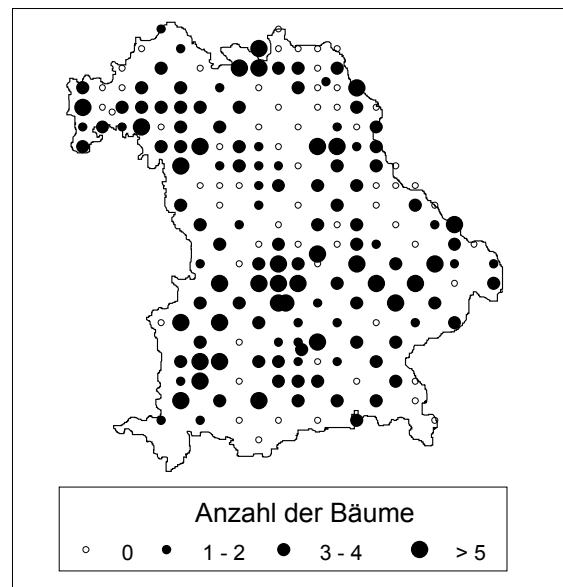


Abb. 32: Verteilung der kartierten Pappeln

logischen Untergrund. Diese Eigenschaft, und ihre weite Verbreitung macht sie zu einem wichtigen Trägerbaum für die Flechtenkartierung (Abb. 32).

Die Ulme (*Ulmus spec.*)

Die Ulme hat für die Flechtenkartierung aufgrund ihrer Seltenheit nur eine geringe Bedeutung. Ihr Flechtenbewuchs ist mit dem der Eschen vergleichbar.

Die Esche (*Fraxinus excelsior*)

Die Schwankungen der Luftgütwerte an Eschen um die der anderen subneurophytischen Baumarten sind mittelgroß (Abb. 33). Während die Esche in Kalkgebieten eher niedrigere Werte aufweist, liegt sie in Silikatgebieten meist über den mittleren Werten der anderen Baumarten. Dies liegt an der basenreichen Borke der Esche, die saure Einflüsse gut abpuffern kann und so ein gutes Milieu für den Flechtenbewuchs schafft. Eine zusätzliche pH-Wert-Erhöhung schränkt das Artenspektrum dagegen ein. Ihren Verbreitungsschwerpunkt hat die Esche in den Mittelgebirgen Ostbayerns, aber auch sonst ist sie regelmäßig anzutreffen (Abb. 34).

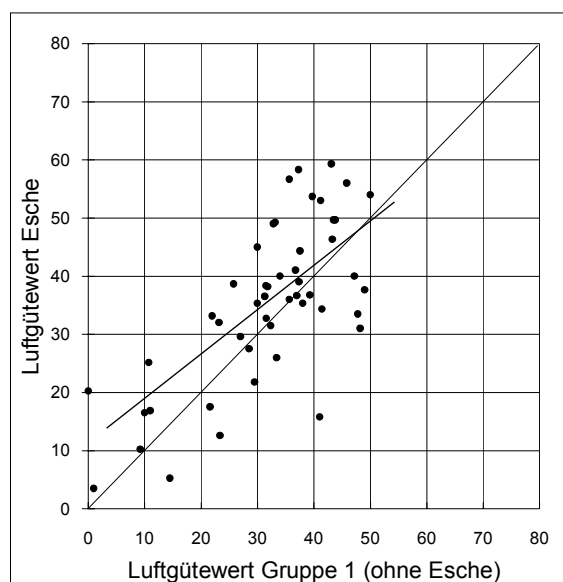


Abb. 33: Korrelation der Luftgütwerte von Eschen mit denen der anderen Baumarten der Gruppe 1

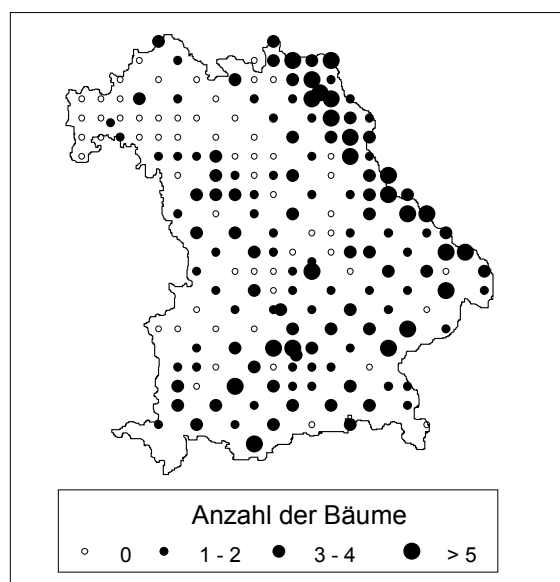


Abb. 34: Verteilung der kartierten Eschen

Der Spitzahorn (*Acer platanoides*)

Der Spitzahorn zeigt eine deutliche Korrelation mit den Luftgütwerten der anderen sub-neurophytischen Baumarten (Abb. 35). Seine Rinde besitzt eine gute Pufferkapazität. Der Borken-pH liegt sowohl in Kalk- als auch in Silikatgebieten leicht unterhalb des Mittelwertes der anderen Baumarten. Der Spitzahorn ist über das gesamte Untersuchungsgebiet verstreut zu finden (Abb. 36). In Nordwest- und Südostbayern weist seine Verbreitung größere Lücken auf.

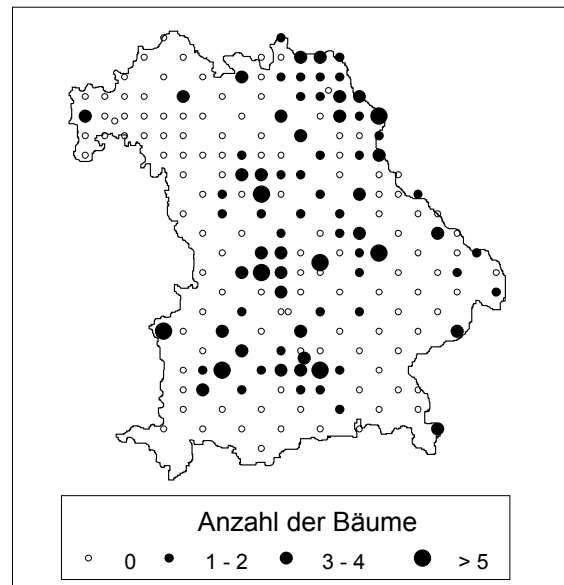
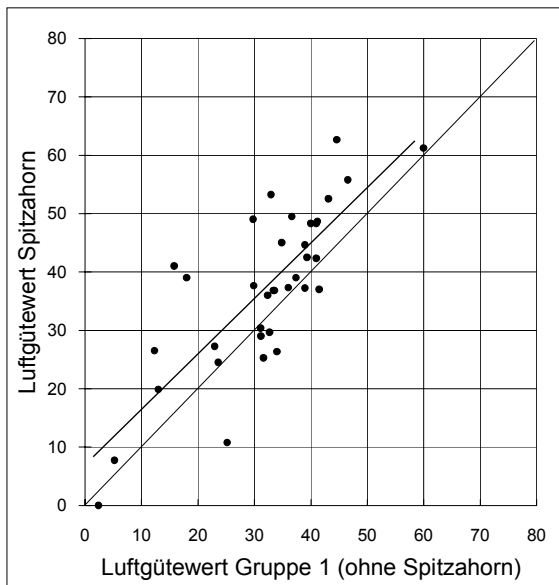


Abb. 36: Verteilung der kartierten Spitzahorne

Abb. 35: Korrelation der Luftgütwerte von Spitzahornen mit denen der anderen Baumarten der Gruppe 1

Die Weide (*Salix spec.*)

Es wurden nur 20 Weiden kartiert. Aus den wenigen Werten lassen sich deshalb keine brauchbaren Korrelationen bestimmen. Die Abweichungen der Luftgütwerte der Weiden von denen der anderen Baumarten liegen in den üblichen Größenordnungen. Bei der Auswahl der Weiden wurde besonders auf geraden Wuchs und auf freien Stand der Bäume geachtet.

Der Walnußbaum (*Juglans regia*)

Der Walnußbaum nimmt aufgrund seiner Borkenstruktur eine Sonderstellung unter den kartierten Baumarten ein. Seine tiefrissige basenreiche Borke mit breiten glatten Stegen weist ein typisches, von den anderen Baumarten abweichendes Arteninventar auf. Die aufgetragenen Luftgütwerte weichen meist nach oben von der Diagonalen ab (Abb. 37). Insgesamt führt der Walnußbaum aber zu vergleichbaren Luftgütwerten.

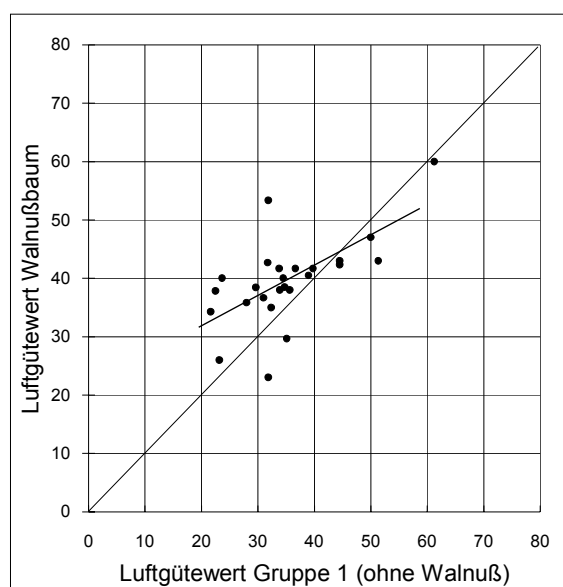


Abb. 37: Korrelation der Luftgütwerte von Walnußbäumen mit denen der anderen Baumarten der Gruppe 1

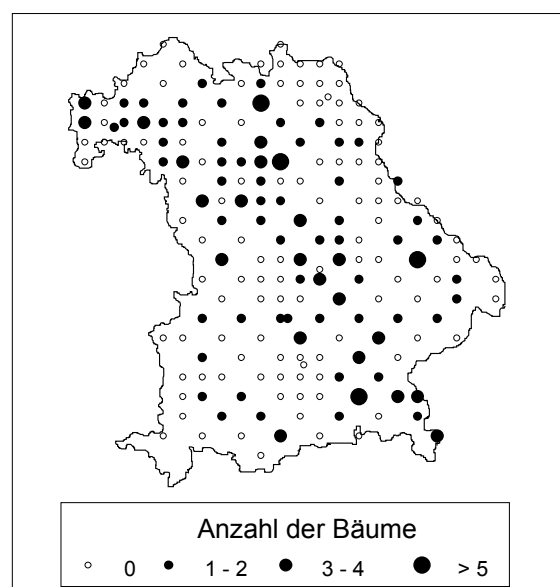


Abb. 38: Verteilung der kartierten Walnußbäume

Der Baumartenvergleich hat gezeigt, daß die Erweiterung der von der VDI-RICHTLINIE 3799 vorgegebenen Baumartengruppe zulässig war. Die Verwendung der Baumarten Bergahorn, Linde und Birnbaum aus der Gruppe mit mäßig saurer Borke führt insgesamt zu vergleichbaren Ergebnissen. In Silikatgebieten mit hohen sauren Immissionen kommt es jedoch zu einer zusätzlichen pH-Wert-Absenkung. Diese kann nicht in dem Maße abgepuffert werden wie dies bei den Subneutrophyten der Fall ist. Die zusätzliche Verwendung dieser drei Baumarten im hochbelasteten Nordosten Bayerns hat sich als ungünstig erwiesen. Die Verwendung des Apfelbaums wurde regional eingeschränkt. Für Südbayern erwies er sich als ungeeigneter Trägerbaum.

Die Verwendung mehrerer Baumarten je Station hat sich als günstig erwiesen. Sind einzelne Baumarten aufgrund natürlicher Einflußfaktoren in einem Gebiet überdurchschnittlich gut

bzw. schlecht bewachsen, so wird dies durch die Mittelung mit den anderen Baumarten ausgeglichen. Durch die Erweiterung des Baumartenspektrums wurde gewährleistet, daß an fast allen Meßpunkten ausreichend Trägerbäume zur Verfügung standen.

5.8.2 Meßnetz und Meßflächengröße

Das Meßnetz weist 193 Meßstationen in einem Raster mit der Maschenweite von 16 bzw. 32 km aus. Das sind für ein so großes Untersuchungsgebiet recht wenige Stationen (in Hessen wurden 3524 Meßstellen untersucht). Dennoch konnten großräumige Gradienten der Luftbelastung anschaulich dargestellt werden. Kleinräumige Gradienten, z.B. in der Umgebung größerer Städte, konnten mit diesem Meßnetz nur unzureichend erfaßt werden. Zur Darstellung der Immissionssituation bayerischer Belastungsgebiete sind weitere, engmaschigere Untersuchungen notwendig. Besonders für die Ballungsräume und das Gebiet von Coburg bis Weiden ist eine Verdichtung des Meßrasters zu empfehlen.

Die Meßstationen hatten eine Fläche von 4 x 4 km. Dies ist für Flechtenkartierungen relativ groß. Probleme könnten dann auftreten, wenn es innerhalb der Meßflächen Belastungsgradienten gibt. Nach der Mittelung der Luftgütewerte hätten solche Stationen eine große Fehlerstreuung. Durch die überwiegend ländliche Struktur Bayerns ändert sich die lufthygienische Situation jedoch über weite Strecken nur geringfügig. Nur in der Nähe größerer Städte konnten Unterschiede innerhalb der Meßflächen festgestellt werden. Insgesamt aber waren die Abweichungen der Trägerbäume innerhalb einer Station gering. Zudem wurden fast doppelt so viele Bäume kartiert wie die VDI-RICHTLINIE 3799 fordert. Das macht sich in einer geringen Standardabweichung der Projektdaten und somit in einer geringen Klassenbreite bemerkbar. Sie ist ein Maß für die Qualität einer Kartierung (VDI-RICHTLINIE 3799). Die Klassenbreite von 7,2 erlaubt die Ausweisung von 8 Luftgüteklassen, womit die lufthygienische Situation sehr differenziert dargestellt werden kann.

5.8.3 Anwendbarkeit der VDI-Richtlinie in Bayern

Die Entwicklung der VDI-RICHTLINIE 3799 basiert auf Erkenntnissen, die bei Kartierungen mitteleuropäischer Ballungsräume gewonnen worden waren. Für landesweite Erhebungen liegen bisher wenige Erfahrungen vor. Mit der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, daß die Richtlinie für das Land Bayern anwendbar ist.

Das Meßraster weicht von der Empfehlung der VDI -RICHTLINIE ab. Für großflächige Kartierungen werden in der Richtlinie Rasterquadrate mit 2 bis 4 km Seitenlänge empfohlen. In Bayern wurde ein Meßraster mit 16 km Seitenlänge verwendet. Insgesamt hat sich das verwendete Meßraster als praxisorientiert herausgestellt. Es ermöglicht mit relativ geringem Aufwand einen Überblick über die lufthygienische Situation in Bayern. Für eine weitere Differenzierung ist eine Verdichtung des Meßnetzes entsprechend den Vorgaben der VDI-RICHTLINIE 3799 notwendig.

Von den nach VDI vorgegebenen Trägerbaumarten erwies sich der Apfelbaum für weite Teile Bayerns als ungeeignet (vgl. Kap. 5.8.1). Die festgelegte Baumartengruppe wurde für die vorliegende Kartierung um den Birnbaum, den Bergahorn und die Linde erweitert. Diese Vorgehensweise führte zu guten Ergebnissen (vgl. Kap. 5.8.1). Von einer starren Einteilung der Baumarten, wie in der VDI - Richtlinie gefordert, kann abgesehen werden.

Die VDI-Richtlinie fordert ein möglichst homogenes Untersuchungsgebiet für Flechtenkartierungen. In Bezug auf die klimatischen und geologischen Verhältnisse wird diese Forderung für Bayern nicht erfüllt. Die vielfältige Geologie Bayerns hat sich nicht als kritisch für die Flechtenkartierung herausgestellt. In Bezug auf das Klima hebt sich besonders der Alpenraum mit seinen hohen Niederschlägen vom übrigen Bayern ab. Obwohl die hier gefundenen Luftgütewerte durchaus plausibel erscheinen, ist die Vergleichbarkeit mit den anderen Stationen nur eingeschränkt möglich. Eine gesonderte Belastungsskala für die Alpen, wie sie die VDI-Richtlinie vorschlägt, wurde wegen der wenigen Stationen in den Alpen nicht angewendet. Zudem würde eine unterschiedliche Auswertung die Deutung der erhobenen Daten erheblich erschweren.

Die in der Richtlinie vorgegebene Artenliste hat sich als geeignet erwiesen. Sämtliche aufgeführten Flechtenarten konnten angetroffen werden. Um ein möglichst breites Artenspektrum zu gewährleisten, ist eine Ergänzung der Artenliste des VDI sinnvoll. Die Epiphyten *Buellia griseovirens*, *Lecanora symmicta*, *Lobaria pulmonaria* und *Pertusaria hemisphaerica* sollten aufgenommen werden. Besonders die ersten drei Arten sind im Gelände leicht zu identifizieren. Insbesondere *Buellia griseovirens* kann sowohl in Bayern als auch in Hessen (KIRSCHBAUM & WINDISCH 1995) an freistehenden Laubbäumen regelmäßig angetroffen werden. Weiterhin sollte die Artenliste um *Parmelia elegantula* und *P. subaurifera* ergänzt werden. Da sie im Gelände oft schwer zu unterscheiden sind, wird vorgeschlagen, *Parmelia elegantula* und *P. exasperatula* sowie *Parmelia subaurifera* und *P. glabratula* zusammenzufassen.

5.9 Vergleich mit anderen immissionsbezogenen Flechtenkartierungen

In Bayern wurden bereits mehrere immissionsökologische Flechtenkartierungen durchgeführt (vgl. Kap. 3). Es handelt sich meist um kleinräumige Erhebungen in Städten. Sie sind als solche mit der vorliegenden Kartierung nicht vergleichbar. Großräumige Untersuchungen liegen von JÜRGING (1975), MACHER (1987) und von WIRTH & FUCHS (1980) vor.

JÜRGING (1975) untersuchte den Flechtenbewuchs an Eichen im Großraum München-Ingolstadt zur Darstellung der lufthygienischen Situation. Er fand die höchsten Belastungen in den beiden Städten und deren weiterer Umgebung, während das Gebiet dazwischen eine vergleichsweise hohe Luftqualität aufwies. Dieser starke Gradient der Luftgüte kann in der vorliegenden Kartierung nicht mehr nachgewiesen werden. Immissionsschutzmaßnahmen haben hier in den letzten 20 Jahren wohl zu einer deutlichen Verbesserung der lufthygienischen Situation in den Ballungsräumen geführt.

Im Nationalpark Bayerischer Wald untersuchte MACHER (1987) den Flechtenbewuchs auf Fichte, Buche und Ahorn im Inneren von Wäldern, was einen methodischen Vergleich mit der vorliegenden Arbeit nicht erlaubt. Die Autorin fand in den Hochlagen des Bayerischen Waldes an den untersuchten Flechtenarten Vitalitätsminderungen, die in niedriger gelegenen Bereichen nicht zu beobachten waren. In der Flechtenkartierung von Bayern liegen nur wenige Meßpunkte im Nationalpark Bayerischer Wald, so daß keine Aussage über die nach MACHER (1987) vorliegenden Gradienten möglich ist.

WIRTH & FUCHS (1980) beschrieben die Flechtenvegetation ausgewählter Meßtischblätter und leiteten daraus die SO₂-Belastung ab. Die Abstufung der Belastung in den sieben von WIRTH & FUCHS untersuchten Gebieten entspricht den nach der VDI-Richtlinie festgestellten Gradienten. Einen weitgehend unbelasteten Bereich fanden sie im Allgäu südlich von Kempten. Als niedrig belastet stuften sie Teile des Bayerischen Waldes, das Gebiet um Ansbach und das Meßtischblatt Waging in Südost-Oberbayern ein. Eine mittelschwere Belastung wurde südöstlich von Weiden in der Oberpfalz und für Teile der Rhön festgestellt. Die höchsten Belastungen fanden sie im Fichtelgebirge. Obwohl dieser Arbeit ein anderer methodischer Ansatz zugrunde liegt und seit den Erhebungen 16 Jahre vergangen sind, ist eine überraschend deutliche Übereinstimmung der Ergebnisse mit denen der vorliegenden Arbeit festzustellen.

Die immissionsbezogene Flechtenkartierung von Hessen (KIRSCHBAUM & WINDISCH 1995) ist die erste landesweite Erhebung und gleichzeitig die erste Untersuchung nach der Methode des VDI. Deshalb bietet sich ein Vergleich der bayerischen Flechtenkartierung mit dieser Untersuchung an. Einschränkend ist zu sagen, daß die hier verglichenen Länder bezüglich ihrer Fläche und naturräumlichen Ausstattung sehr unterschiedlich sind. Die Spanne der vorhandenen Umweltbedingungen (Klima, Geologie) ist groß. Ein direkter Vergleich der Ergebnisse ist nur unter Vorbehalt möglich.

Tab. 06: Vergleich der landesweiten Flechtenkartierungen in Bayern und Hessen

	HESSEN	BAYERN (vorliegende Untersuchung)
Erhebungszeitraum	1990 bis 1993	1996
Zahl der untersuchten Stationen	3.524	193
Abstand der Meßpunkte voneinander	2 km	16 bzw. 32 km
Fläche einer Meßstation	1 x 1 km	4 x 4 km
Zahl der untersuchten Bäume	28.101	2.185
mittlere Zahl der Bäume pro Station	8,2	11,3
verwendete Baumarten (nach Häufigkeit geordnet)	51% Apfel 4% Linde 29% Pappel 4% Ahorn 8% Esche 4% Birne	21% Pappel 14% Birne 18% Esche 8% Walnuß 18% Ahorn 4% Linde 16% Apfel 1% Weide, Ulme
Gesamtartenzahl der Flechtenarten	112	85
mittlere Zahl der Flechtenarten pro Station	8,3	6,9
Anteil der Stationen, an denen <i>Lecanora conizaeoides</i> vorkommt	90%	34%
ausgewiesene Luftgüteklassen	7	8
Klassenbreite der Luftgüteklassen	7,4	7,2
Spanne der Luftgütewerte	0 bis 75,7	1,6 bis 59,2
Verteilung der Belastungsklassen		
sehr hoch und hoch	67,3 %	5,2 %
mäßig	24,9 %	70,1 %
gering und sehr gering	7,8 %	18,7 %

Das hessische Meßraster ist sehr viel kleinmaschiger gewesen als das bayerische. Den 3.524 untersuchten Stationen in Hessen stehen 193 Stationen in Bayern gegenüber. Das Land Hessen hat somit Informationen selbst über sehr kleinräumige Veränderungen der lufthygienischen Situation. Die Luftgütekarte von Bayern (Abb. 10) ist wegen der großen Abstände zwischen den Meßstationen lückenhaft. Deshalb vermag sie kleinräumige Gradienten nicht darzustellen.

In Bayern wurden größere Meßflächen verwendet und darin mehr Bäume kartiert als in Hessen. Dagegen wurden für die Darstellung in der hessischen Luftgütekarte die Luftgütwerte benachbarter Stationen arithmetisch gemittelt und auf die Fläche bezogen. Dies war für Bayern wegen der großen Abstände zwischen den Meßstationen nicht sinnvoll.

Die mittlere Zahl der Flechtenarten pro Station und die höchsten Luftgütwerte fallen für das Land Hessen höher aus als für Bayern. Die Verteilung der Belastungsklassen zeichnet jedoch ein anderes Bild. Die Ursache liegt darin, daß die in Bayern vorkommenden Arten mit höheren Frequenzen vertreten waren als in Hessen. So sind in Hessen 67,3% der Stationen sehr hoch bis hoch belastet, in Bayern sind es nur 5,2%. Die lufthygienische Situation wird in Bayern also großflächig günstiger dargestellt als in Hessen.

Die beiden Länder grenzen in den Mittelgebirgen (Odenwald, Spessart und Südrhön) und dem Rhein-Main-Tiefland (vgl. Abb. 01) aneinander an. Auf der ländlich geprägten bayerischen Seite stellt sich die lufthygienische Situation günstiger dar als auf der stark industrialisierten hessischen. In den bayerischen Anteilen von Odenwald, Spessart und Südrhön sind die Luftgütwerte nur leicht erhöht. Ein großer Gradient besteht dagegen im Übergang von dem sehr hoch bis hoch belasteten hessischen Rhein-Main-Tiefland zu den angrenzenden, mäßig belasteten Mittelgebirgen im nordwestlichen Bayern. Eine Ursache ist das Relief. Für die im hessischen Rhein-Main-Ballungsraum emittierten Schadstofffrachten stellen die nordwestbayerischen Mittelgebirge eine Barriere dar. Weiterhin kommt eine Verbesserung der Luftqualität während der letzten Jahre an der hessisch/bayerischen Landesgrenze in Frage. Die beiden Erhebungen liegen drei Jahre auseinander.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Für den Freistaat Bayern wurde in den Jahren 1995/96 die lufthygienische Situation anhand einer immissionsbezogenen Flechtenkartierung untersucht. Die Flechtenkartierung ist eine Methode der Bioindikation. Sie ist geeignet, mit einer zeitlichen Verzögerung die Wirkung der biologisch wirksamen Gesamtbelastung auf Organismen - so auch auf den Menschen - anzuzeigen.

Seit 1995 liegt mit der VDI-RICHTLINIE 3799 eine Standardisierung der Vorgehensweise von Flechtenkartierungen vor. Erfahrungen in landesweiten Kartierungen wurden bisher nur in Hessen gemacht. Da das Land Bayern sehr unterschiedliche Naturräume aufweist, sollte die Methodik im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsvorhabens an die bayerischen Verhältnisse angepaßt werden.

Das Meßnetz besteht aus 190 Stationen in einem 16 x 16 km-Raster. Sie orientieren sich am landesweiten Standortfichtenmeßnetz und an den 6 Dauerbeobachtungsstationen des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz. An jeder Meßstation wurde die Flechtenvegetation am Mittelstamm mehrerer freistehender Laubbäume erfaßt. Es konnten insgesamt 84 Flechtenarten aufgenommen werden. Die statistische Auswertung der Ergebnisse ergab 8 Belastungsklassen. Die Ergebnisse wurden in einer Luftgütekarte dargestellt. In Bayern sind sämtliche Belastungsklassen - von sehr hoher bis hin zu sehr geringer Belastung - vertreten.

Großräumig hohe bis sehr hohe Belastungen sind im Nordosten des Landes im Fränkischen Mittelgebirge zu verzeichnen. Der Eintrag saurer Immissionen ist hier der dominierende Faktor. Vergleichsweise kleinräumig sind die hohen Belastungen, denen die Ballungsräume nördlich der Donau ausgesetzt sind. Mäßig bis gering belastet sind weite Teile des mittleren Bayerns in den landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten. Eine weitgehend geringe Belastung zeichnet die südlichen Teile Bayerns aus.

Die methodischen Vorgaben der VDI-RICHTLINIE 3799 wurden weiterentwickelt und an die Verhältnisse in Bayern angepaßt. Ein Vergleich der kartierten Baumarten hat gezeigt, daß in Bayern von einer starren Einteilung der zu kartierenden Baumarten abgesehen werden kann.

Die Verwendung mehrerer Baumarten je Station hat sich als günstig erwiesen. Für die in der Richtlinie vorgegebene Artenliste wurden Ergänzungsvorschläge gemacht.

Das verwendete Meßraster hat sich als praxisorientiert herausgestellt. Es ermöglicht mit relativ geringem Aufwand einen Überblick über die lufthygienische Situation in Bayern. Für eine weitere Differenzierung ist eine Verdichtung des Meßnetzes notwendig.

Die VDI-Richtlinie fordert ein möglichst homogenes Untersuchungsgebiet für Flechtenkartierungen. Die geologischen und klimatischen Verhältnisse Bayerns entsprechen dieser Forderung nicht. Die vielfältige Geologie Bayerns hat sich jedoch nicht als kritisch herausgestellt. Klimatisch hebt sich besonders der Alpenraum mit seinen hohen Niederschlägen vom übrigen Bayern ab. Obwohl die hier gefundenen Luftgütewerte durchaus plausibel erscheinen, ist die Vergleichbarkeit mit den anderen Stationen nur eingeschränkt möglich. Da keine flächendeckenden Immissionsmessungen vorliegen, wurden die Flechten-Luftgütewerte mit den Schwefelgehalten in Fichtennadeln verglichen.

Für das Land Bayern haben sich Flechten als geeignete Bioindikatoren für die Luftbelastung erwiesen. Das Ergebnis der Flechtenkartierung, die Luftgütetele, vermittelt einen Überblick über die biologisch wirksame Gesamtbelastung der Luft. Es ist gelungen, einen landesweiten Überblick sowohl über die Belastungsgebiete als auch über unbelastete Räume zu geben. Mit der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, daß die Richtlinie für Bayern anwendbar ist.

7 LITERATURVERZEICHNIS

ARNDT, U., NOBEL, W. & B. SCHWEIZER (1987): Bioindikatoren: Möglichkeiten, Grenzen und neue Erkenntnisse. Stuttgart: Ulmer.

ARNOLD, F. (1891): Zur Lichenenflora von München. Ber. Bayer. Bot. Ges., 1, 1-147. München.

BARNIKEL, G. & H. MUHLE (1995): Flechten als Indikatoren für Änderungen der Luftqualität am Beispiel der Städte Ulm und Neu-Ulm. Mitt. Ver. Naturwiss. u. Math. Ulm (Donau), 36/37, 145-166.

BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg.) (1981): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500 000. München.

BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg.) (1981): Geologische Karte von Bayern 1:500 000. 3.Aufl. München.

COHEN, D. I. (1969): Statistical power analysis for the behavioural sciences. New York: Academic Press.

DIEGMANN, V. et al. (1996): Flächenhafte Darstellung der Immissionssituation. Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, 201.

DWD-DEUTSCHER WETTERDIENST IN DER US-ZONE (1952): Klimaatlas von Bayern. Bad Kissingen.

ELLENBERG, H. (1991): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobotanica, 18. Göttingen: Goltze.

EVERSMAN, S. & L.L. SIGAL (1987): Effects of SO₂, O₃ and SO₂ and O₃ in combination on photosynthesis and ultrastructure of two lichen species. Canadian J. Bot., 65, 1806-1818.

GOLDBERGER, C. & R. TÜRK (1982): Kartierung epiphytischer Flechten im Raum Sölland (Tirol, Österreich) in Beziehung zur Luftgüte. Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck, 69, 7-18.

GOPPEL, CH. (1976): Verbreitung und Ökologie von Rindenflechten im Stadtgebiet von Regensburg. Hoppea, 35, 5-102.

GOPPEL, CH. (1984): Emittentenbezogene Flechtenkartierung im Stadtgebiet von Laufen. Ber. ANL, 8, 4-21.

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

HEITMANN, B. (1991): Die lufthygienische Situation des Ballungsraumes Ingolstadt - dargestellt anhand einer Kartierung des epiphytischen Flechtenbewuchses. unveröff. Diplomarbeit im Fachbereich Geographie der Justus-Liebig-Universität Gießen.

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

- HERZIG, R. & M. URECH (1991):** Flechten als Bioindikatoren. Integriertes biologisches Meßsystem der Luftverschmutzung für das Schweizer Mittelland. *Bibliotheca Lichenologica*, 43. Vaduz: Cramer.
- JOHNSEN, I. & U. SÖCHTING (1973):** Influence of air pollution on the epiphytic lichen vegetation and bark properties of deciduous trees in the Copenhagen area. *Oikos*, 24, 344-351.
- JÜRGING, P. (1975):** Epiphytische Flechten als Bioindikatoren der Luftverunreinigung, dargestellt an Untersuchungen und Beobachtungen in Bayern. *Bibliotheca Lichenologica*, 4. Vaduz: Cramer.
- KANDLER, O. & J. POELT (1984):** Wiederbesiedlung der Innenstadt von München durch Flechten. *Naturw. Rundschau*, 37/3, 90-95.
- KILIAS, H. (1974):** Die epiphytische Flechtenvegetation im Stadtgebiet von Erlangen. *Hoppea, Denkschr. Regensb. Bot. Ges.*, 33, 99-170.
- KIRSCHBAUM, U. & U. WINDISCH (1995):** Beurteilung der lufthygienischen Situation Hessens mittels epiphytischer Flechten. *Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz*, 171.
- KIRSCHBAUM, U. & V. WIRTH (1995):** Flechten erkennen - Luftgüte bestimmen. Stuttgart: Ulmer.
- KIRSCHBAUM, U. (1995):** Immissionsbezogene Flechtenkartierung von Hessen nach der neuen Richtlinie VDI 3799 Blatt 1. *Staub - Reinhaltung der Luft*, 55, 305-309.
- KÖHLER, W., SCHACHTEL, G. & P. VOLESKE (1996):** Biostatistik. 2. Aufl.. Berlin: Springer.
- KUPFER-WESELY, E. & R. TÜRK (1986):** Epiphytische Flechtenvereine auf Birn- und Apfelbäumen im Traunviertel/Oberösterreich. *Sauteria*, 1, 135-143.
- LFU-BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (1990):** Lufthygienischer Jahresbericht 1989. Schriftenreihe 104.
- LFU-BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (1991):** Lufthygienischer Jahresbericht 1990. Schriftenreihe 114.
- LFU-BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (1992):** Lufthygienischer Jahresbericht 1991. Schriftenreihe 118.
- LFU-BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (1994):** Lufthygienischer Jahresbericht 1993. Schriftenreihe 127.
- LFU-BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (1995):** Lufthygienischer Jahresbericht 1994. Schriftenreihe 133.
- MACHER, M. (1987):** Flechtenwuchszonen und die Veränderung der Luftqualität in München seit 1890. *VDI Berichte* 609, 641-652. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- MACHER, M. (1987):** Möglichkeiten und Grenzen der Bioindikation mit Flechten zur immissionsökologischen Waldzustandserfassung im Nationalpark Bayerischer Wald. Dissertation an der Justus-Liebig-Universität Gießen.
- MASUCH, G. (1993):** Biologie der Flechten. Wiesbaden: Quelle & Meyer.
- MÜLLER, A., JOLLER, T., RUOSS, E. & J. GALLATI (1993):** Sempacher See: Klima und Luftqualität.- *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern*, 33, 399-416. Luzern.
- MUNZINGER, L. (Hrsg.) (1995):** Internationales Handbuch - Länder aktuell. Ravensburg.

- NYLANDER, W. (1866):** Les Lichens des Jardins de Luxembourg. Bull. Soc. Bot. de France, 13.
- POELT, J. (1969):** Bestimmungsschlüssel europäischer Flechten. Lehre: Cramer.
- POELT, J. (1977):** Bestimmungsschlüssel europäischer Flechten. Ergänzungsheft I. Lehre: Cramer.
- POELT, J. (1981):** Bestimmungsschlüssel europäischer Flechten. Ergänzungsheft II. Lehre: Cramer.
- PRANTL, K. (1880-1883):** Aufzeichnungen über die Flechtenflora des Spessarts. (Manuskript).
- PUNZ, W. (1979):** Der Einfluß isolierter und kombinierter Schadstoffe auf die Flechtenphotosynthese. Photosynthetica, 13/4, 428-433. Wien.
- PURVIS, O.W. et al. (1992):** The lichen flora of Great Britain and Ireland. London: British Lichen Society.
- RABE, R. & U. BECKELMANN (1987):** Zusammenhänge zwischen der durch Flechten angezeigten Gesamtverunreinigung der Luft und Gesundheitsbeeinträchtigung beim Menschen. VDI Berichte, 609, 729-753. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- RITSCHL, G.A. (1977):** Verbreitung und Soziologie epiphytischer Flechten in Nordwestbayern. Bibliotheca Lichenologica, 7. Vaduz: Cramer.
- RUDOLPH, E. (1982):** Erfassung der Immissionsbelastung ländlicher Ökosysteme. Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege. Laufener Seminarbeiträge, 2.
- RUDOLPH, E. (1991):** Niederschlagsdepositionsmeßnetz des Bayerischen Landesamtes. Staub - Reinhaltung der Luft, 51, 445-451.
- RUOSS, E., VONARBURG, C., & T. JOLLER (1992):** Möglichkeiten und Grenzen der Flechtenbioindikation bei der Bewertung der Umweltsituation in der Zentralschweiz. VDI-Berichte, 901(1), 81-102. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- RUTTE, E. (1992):** Bayerns Erdgeschichte: Der geologische Führer durch Bayern. 2. Aufl. München: Ehrenwirth.
- SCHMID, A. (1957):** Die epixyle Flechtenvegetation von München. Dissertation an der Universität München.
- SCHUBERT, R. (Hrsg.) (1991):** Lehrbuch der Ökologie. 3. Aufl. Jena: Fischer.
- SERNANDER (1926):** Stockholms natur. 45 S. Stockholm.
- STEUBING, L. (Hrsg.) (1995):** Natur- und Umweltschutz: ökologische Grundlagen, Methoden, Umsetzung. Stuttgart: Fischer.
- STMLU-BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (Hrsg.) (1993):** Vergleich verschiedener Moosarten als Bioindikatoren für Schwermetalle in Bayern. Materialien, Umwelt & Entwicklung Bayern, 90.
- STMLU-BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (Hrsg.) (1994):** Immissionen in bayerischen Belastungsgebieten - IMLAST. München.

- THOMAS, W. (1981):** Entwicklung eines Immissionsmeßsystems für PCA, Chlorkohlenwasserstoffe und Spurenmetalle mittels epiphytischer Moose - angewandt auf den Raum Bayern. Bayreuther Geowissenschaftliche Arbeiten, 3.
- VDI-RICHTLINIE 3799, BLATT 1 (1995):** Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten: Flechtenkartierung.
- WIEGEL, H., BREMER, G. & S. PAUS (1991):** Ermittlung der Luftqualität in Aschaffenburg mit Flechten als Bioindikatoren. Auftrag der Stadt Aschaffenburg, unveröffentlicht.
- WIRTH, V. (1985):** Zur Ausbreitung, Herkunft und Ökologie anthropogen geförderter Rinden- und Holzflechten. *Tuexenia*, 5, 523-535.
- WIRTH, V. (1991):** Zeigerwerte von Flechten. In: ELLENBERG, H. et al.: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa, *Scripta Geobotanica*, 18, 215-237. Göttingen: Goltze.
- WIRTH, V. (1993):** Trendwende bei der Ausbreitung der anthropogen geförderten Flechte *Lecanora conizaeoides*? *Phytocoenologia*, 23, 625- 636.
- WIRTH, V. (1994):** Checkliste der Flechten und flechtenbewohnenden Pilze Deutschlands - eine Arbeitshilfe. *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde, Serie A*, 517. Stuttgart.
- WIRTH, V. (1995):** Die Flechten Baden-Württembergs. Teil 1 und 2. Stuttgart: Ulmer.
- WIRTH, V. et al. (1996):** Rote Liste der Flechten (*Lichenes*) der Bundesrepublik Deutschland. *Schriftenreihe für Vegetationskunde*, 28, 307-368.
- WIRTH, V. & M. FUCHS (1980):** Zur Veränderung der Flechtenflora in Bayern. Forderungen und Möglichkeiten des Artenschutzes. *Schriftenreihe Naturschutz und Landschaftspflege*, 12, 29-43. München.
- WIRTH, V. & H. OBERHOLLENZER (1995):** Epiphytische Flechten - Einsatz als Reaktionsindikatoren bei der Erstellung von Immissionswirkungskatastern. *UWSF - Z. Umweltchem. Ökotox.*, 7(3), 179-181.