

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie
Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel
Band: 40 (1999)
Heft: 2

Artikel: Luftgütebestimmung in der Agglomeration Basel mittels Flechtenbiomonitoring
Autor: Graf, Thomas / Saipunkaew, Wanaruk
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088506>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Luftgütebestimmung in der Agglomeration Basel mittels Flechtenbiomonitoring

Thomas Graf, Wanaruk Saipunkaew

Zusammenfassung

Die atmosphärische Schadstoffbelastung in Teilen der Agglomeration Basel wurde mit Hilfe einer Flechtenkartierung ermittelt. Zwischen März 1997 und Dezember 1998 wurde ein passives Biomonitoring durchgeführt. 295 Planquadrate mit 500 m respektive 1000 m Seitenlänge teilten das Gebiet auf. 1520 Bäume wurden auf Flechtenbewuchs untersucht. Die Resultate liegen in Form einer Karte vor. Sie zeigt, dass weite Teile der Stadt Basel einer hohen bis sehr hohen Belastung ausgesetzt sind. Die Siedlungsgebiete im Umland weisen eine mässige bis hohe Belastung auf. Eine geringe Belastung ist vor allem in den Hügeln wie St. Chrischona, Rütihard oder Adlerberg festzustellen. Die Trägerbaumauswahl hat in dieser Arbeit keinen Einfluss auf die Artenzahl und die Häufigkeit der Flechten.

1 Einleitung

Artikel 27 der Luftreinhalteverordnung (LRV) gibt den Kantonen den Auftrag, den Stand und die Entwicklung der Luftverunreinigung in ihren Gebieten zu überwachen. Insbesondere muss das Ausmass der Immissionen ermittelt werden. Dazu müssen sie Erhebungen, Messungen und Ausbreitungsrechnungen durchführen. Bevor aber eine stationäre Anlage für chemisch-physikalische Luftqualitätsmessungen errichtet wird, kann eine Prognose eingefordert werden.

Adresse der Autoren: Thomas Graf und Wanaruk Saipunkaew, Institut für Natur-, Landschafts- und Umweltschutz (NLU-Biogeographie), Universität Basel, St. Johannis-Vorstadt 10, CH-4056 Basel

Dieser Artikel basiert vor allem auf den Artikeln 13 und 14 des Umweltschutzgesetzes (USG). Artikel 13 verpflichtet den Bund, eine Verordnung zu erlassen, welche vor allem die Wirkung der Immissionen auf Personengruppen mit erhöhter Empfindlichkeit berücksichtigt. Für die vorliegende Arbeit ist vor allem Artikel 14 von grosser Bedeutung. Er gibt vor, dass die Immissionsgrenzwerte für Luftverunreinigungen so festzulegen sind, dass Immissionen unterhalb dieser Werte Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume nicht gefährden; die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören; die Fruchtbarkeit des Bodens, die Vegetation und die Gewässer nicht beeinträchtigen. Die gesetzlichen Grundlagen verpflichten also den Bund und die Kantone, die Immissionen so gering wie möglich zu halten und diese auch zu überwachen.

In dieser Arbeit wird eine Methode angewendet, welche die flächendeckende Luftbelastung mit guten, aber einfachen und kostengünstigen Mitteln grob erfasst und damit als Grundlage für eine punktuelle chemisch-physikalische Untersuchung dient.

Flechten sind sehr gute Bioindikatoren, die mehr oder weniger sensibel auf die Belastung der Luft mit Schadstoffen reagieren. Dabei stehen weniger die einzelnen chemischen Verbindungen im Vordergrund, sondern der Schadstoffmix. Nicht nur auf die Flechten, sondern auch auf den Menschen wirkt nicht nur ein bestimmtes Schadgas, sondern eine ganze Palette von verschiedenen Gasen.

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts sind Flechtenwüsten, wie sie in Stadtkernen in Mittel- und Nordeuropa festgestellt worden waren, vor allem auf die Schwefeldioxidbelastung zurückgeführt worden. Da die SO₂-Belastung in den letzten Jahrzehnten sehr stark nachgelassen hat, konnte festgestellt werden, dass es auch andere Stoffe gibt, die der Flechte schaden. Durch Freiland- und Laboruntersuchungen konnten folgende Gase als Ursache für den Rückgang von Flechten eruiert werden: Stickstoffdioxid (NO₂), Ozon (O₃), Peroxiacetylnitrat (PAN), Stäube, Fluoride (HF), Chloride (HCl), Blei (Pb), Kupfer (Cu), Zink (Zn), Cadmium (Cd) und Autoabgase (*Herzig et al.* 1987, 620).

Flechten reagieren auf diese Gase besonders sensibel, weil sie keine Schutzvorrichtung (Cuticula mit Stomata) besitzen. Da ihre Stoffwechselfvorgänge das ganze Jahr andauern, zeigen sie auch im Winter die aktuelle Situation der Luftqualität.

Eine Flechte ist nicht ein einzelner Organismus, sondern sie setzt sich aus einer Alge (vor allem Grünalgen) und einem Pilz (vorzugsweise Ascomyceten) zusammen. Diese Symbiose funktioniert so gut, dass die Flechten auch an sehr extremen Standorten noch existieren können. Diese Standorte zeichnen sich besonders durch den abrupten Wechsel von Trockenheit und Nässe aus.

Flechten können auf verschiedenem Substrat wachsen, wie auf Stein, im Boden oder auf Baumborken. In dieser Arbeit wurden nur die Flechten an Borken untersucht. Es können drei verschiedene Wuchsformen bei den Flechten unterschieden werden: Krustenflechten (sie kommen teilweise noch in sehr belasteten Gebieten vor), Blattflechten sowie Strauchflechten.

Beim Biomonitoring kann experimentell (aktiv) oder auch passiv vorgegangen werden:

- Beim aktiven Biomonitoring wird eine Flechte, vorzugsweise *Hypogymnia physodes*, aus einem unbelasteten Gebiet entnommen und im Untersuchungsraum exponiert. Dabei werden die Veränderungen am Habitus registriert, was eine Aussage über die Luftqualität zulässt. Dieses Verfahren wird dort angewendet, wo keine freistehenden Bäume zu finden sind, wie zum Beispiel in Industriearealen, Flughafenarealen oder extrem ausgeräumten ruralen Landschaften.
- Beim passiven Biomonitoring werden Flechten an ihrem ursprünglichen Wuchsort untersucht. Dabei werden an Stämmen genau definierter Baumarten die vorkommenden Flechten bestimmt und ihre Häufigkeit festgestellt. Je weniger Flechten vorkommen und je seltener sie sind, desto schlechter ist die Luftqualität. Dieses Verfahren kommt dort zur Anwendung, wo genügend Trägerbäume vorhanden sind, wie zum Beispiel in Siedlungsgebieten und in landwirtschaftlichen Räumen.

Im vorliegenden Fall wurde das passive Biomonitoring angewendet.

Ähnliche Untersuchungen waren mit verschiedenen Methoden im Schweizer Mittelland (*Herzig et al.* 1991, *Stadt Winterthur* 1997), in Stockholm (*Skye* 1968), in Giessen (*Hansen* 1986, *Kirschbaum et al.* 1996), in Wetzlar (*Biecker* 1986, *Kirschbaum et al.* 1996) und in anderen Regionen und Städten durchgeführt worden.

In der Region Basel war bis anhin nur eine Bioindikationsmessung mit Flechten durchgeführt worden. 1988 wurde vom WWF ein Projekt lanciert, das eine Luftgütekarte des Schweizer Mittellandes als Ziel hatte. Basel, obwohl nicht im Mittelland gelegen, wurde in dieser Arbeit auch berücksichtigt. Die Flechtenaufnahme erfolgte sehr grob, da im regionalen Massstab gearbeitet wurde (*Liebendörfer* 1990).

Es fehlte bis heute aber eine Untersuchung, die, in der chorischen Dimension (*Leser* 1991) betrachtet, genauere Daten lieferte. Im Rahmen der Forschungsgruppe Stadtökologie am Institut für NLU sind nun Teile der Agglomeration Basel untersucht worden.

2 Methoden

Im Zeitraum vom April 1997 bis Dezember 1998 wurde in der Agglomeration Basel ein Flechtenbiomonitoring nach der Richtlinie 3799 des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) durchgeführt. Das genaue Gebiet umfasste den Kanton Basel-Stadt und die Gemeinden Münchenstein, Birsfelden, Muttenz, Pratteln, Augst und Teile von Kaiseraugst, Giebenach, Frenkendorf, Füllinsdorf und den nördlichen Teil von Reinach.

Über das Gebiet wurde ein Raster mit der Seitenlänge 500 m und im östlichen Teil mit 1000 m gelegt. Innerhalb dieses Rasters wurden sechs ähnliche Bäume ausgewählt, die repräsentativ für das jeweilige Planquadrat sein sollten. Die

Tab. 1 Verwendete Trägerbaumarten, gegliedert in Gruppen ähnlicher Borkenaciditäten. (VDI 3799, 6, verändert)

Bäume mit ± subneutraler Borke	Bäume mit ± mässig saurer Borke	Bäume mit ± saurer Borke	Bäume mit unbekannten Borkeneigenschaften
<i>Acer platanoides</i>	<i>Acer pseudoplatanus</i>	<i>Betula pendula</i>	<i>Acer campestre</i>
<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Pyrus communis</i>	<i>Prunus avium</i>	<i>Viburnum lantana</i>
<i>Juglans regia</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Prunus domestica</i>	<i>Salix spec.</i>
<i>Malus spec.</i>	<i>Tilia cordata</i>	<i>Quercus spec.</i>	<i>Acer palmatum</i>
<i>Populus spec.</i>	<i>Tilia platyphyllos</i>		<i>Aesculus spec.</i>

Parameter, die ausser der Luftqualität verantwortlich für das Wachstum der Flechten sind, sollten dabei konstant gehalten werden. Deswegen wurde bei der Trägerbaumwahl darauf geachtet, dass alle Bäume von der gleichen Art waren, in etwa den gleichen Umfang besaßen und nicht eine grössere Neigung als 5° vorwiesen. Bei diesen Voraussetzungen sind die Eigenschaften der Borken wie die Struktur und die Acidität etwa gleich (Barkman 1958, 107-115, Biecker 1986, 105-107) (Tab.1).

Es wurden vor allem Linden (*Tilia cordata* und *Tilia platyphyllos*), Spitzahorne (*Acer platanoides*) und Nussbäume (*Juglans regia*) benutzt. Diese drei Baumarten besitzen zwar verschiedene Borkeneigenschaften, waren aber im Untersuchungsgebiet am häufigsten anzutreffen. Folgendes wurde zusätzlich noch berücksichtigt: Stehen zwei Bäume unterschiedlicher Art nebeneinander, so war jener auszuwählen, welcher die höhere Flechtenfrequenz aufwies. Dieses Vorgehen wurde unter der Annahme gewählt, dass ein Aufnahmeort potentiell eine bestimmte Flechtenhäufigkeit besitzt, was den genauen Wert der Luftgüte angibt. Dadurch ergab sich die hohe Anzahl (19) der Trägerbaumarten im Untersuchungsgebiet.

Oft wurden in den Agglomerationsgemeinden in einem Quadrat nicht sechs Bäume einer Art gefunden. In solchen Fällen wurde auf andere Arten ausgewichen. Die heterogene Verteilung der Baumarten basiert vor allem auf der Siedlungsentwicklung. Während in Basel in den 50er Jahren die gesamte potentielle Siedlungsfläche verbaut war (und somit auch alle Alleen, Parks und Gärten mit Bäumen bestückt waren), sind in den umliegenden Gemeinden die Siedlungsbauaktivitäten noch im Gange. Bis Mitte dieses Jahrhunderts versuchten die Gärtnereien vor allem einheimische Gehölzarten anzupflanzen. Leider sind in den vergangenen Jahrzehnten immer mehr Neophyten oder sonstige standortfremde Bäume, wie Coniferen, gepflanzt worden, die häufig für die (einheimische) Flechtenflora nicht als Substrat dienen können. In diesen Neubauquartieren musste somit vor allem auf ältere (Frucht-)Bäume zurückgegriffen werden. Falls in einem Planquadrat keine sechs Bäume gefunden worden waren, wurde das Quadrat mit weniger Bäumen charakterisiert. Dies ist vor allem in Industriearealen sowie im Wald, wo die freistehenden Bäume fehlten, so praktiziert worden.

An jedem Baum wurde ein 20 cm breites und 50 cm hohes Gitter mit der Unterkante einen Meter über dem Boden am Baum auf der am meisten mit Flechten bewachsenen Seite befestigt (Abb. 1). Dieses Gitter besitzt zehn Quadrate, die je einer Fläche von 100 cm² entsprechen.

Von den in der VDI-Richtlinie 74 vordefinierten Flechtenarten wurden 51 Arten gefunden. Die Schlüssel von *Kirschbaum et al.* (1995) und *Wirth* (1995) dienten als Hilfsmittel bei der Bestimmung der Flechten. Die Flechtenhäufigkeiten an jedem Baum wurden addiert, was den Luftgütwert (LGW) ergab.

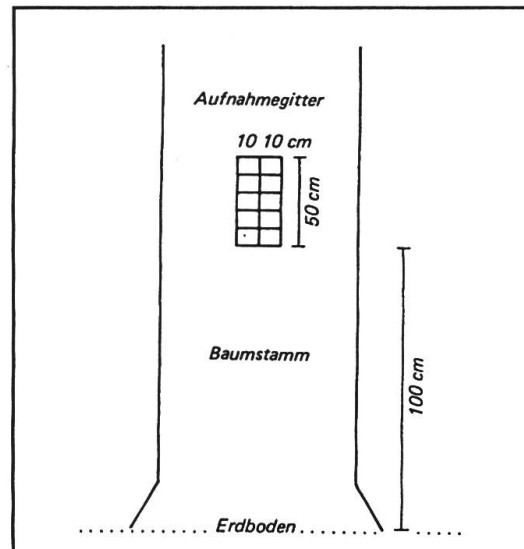


Abb. 1 Gitter zur Aufnahme der Flechten an Bäumen (VDI 3799).

Um unterschiedliche Stufen der Luftqualität auszuscheiden, wurden die Luftgütwerte in Luftgüteklassen (LGK) eingeteilt. Die Klassenbreite richtete sich nach der Fehlerstreuung des Projekts und entsprach dem halben Vertrauensintervall. Je kleiner die Fehlerstreuung, desto kleiner ist die Klassenbreite, desto genauer wird die Situation charakterisiert.

Nach der VDI-Richtlinie 3799 wurden die errechneten Klassen mit einer "Normskala" verglichen, deren Klassengrenzen bei 0 – 12.5 – 25 – 37.5 – 50 liegen. Bei der räumlichen Darstellung wurden mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) die errechneten Mittelwerte linear interpoliert. Die Klassengrenzen wurden dann mit Isolinien gekennzeichnet.

3 Resultate und Diskussion

Im Untersuchungsgebiet wurden 1520 Bäume in 295 Quadraten auf Flechtenbewuchs untersucht. Dies gab eine durchschnittliche Dichte von 5.15 Bäume pro Planquadrat.

Abbildung 2 zeigt die Anzahl untersuchten Baumarten und deren Häufigkeit sowie die durchschnittliche Flechtenfrequenz an den jeweiligen Baumarten. Dabei fällt auf, dass die Linden eine sehr geringe durchschnittliche Frequenz aufweisen. Das kann zum Teil dadurch erklärt werden, dass Linden vor allem in Stadt- und Dorfkernen, also Bereichen mit schlechter Luftqualität, vorkommen oder dass die Borkeneigenschaften von Linden und Ahorn so verschieden sind, dass die Flechten dieser zwei Baumarten nicht verglichen werden können. Darum wurden die Flechtenfrequenzen dieser zwei Baumarten in einem homogenen Gebiet miteinander verglichen. Sie unterschieden sich nicht (Ahorn: Median = 1, Min.-Max.-Wert: 0 - 28, n = 40; Linde = 1, 0 - 30, n = 40; Mann-Whitney U-Test p = 0.78). Dieses

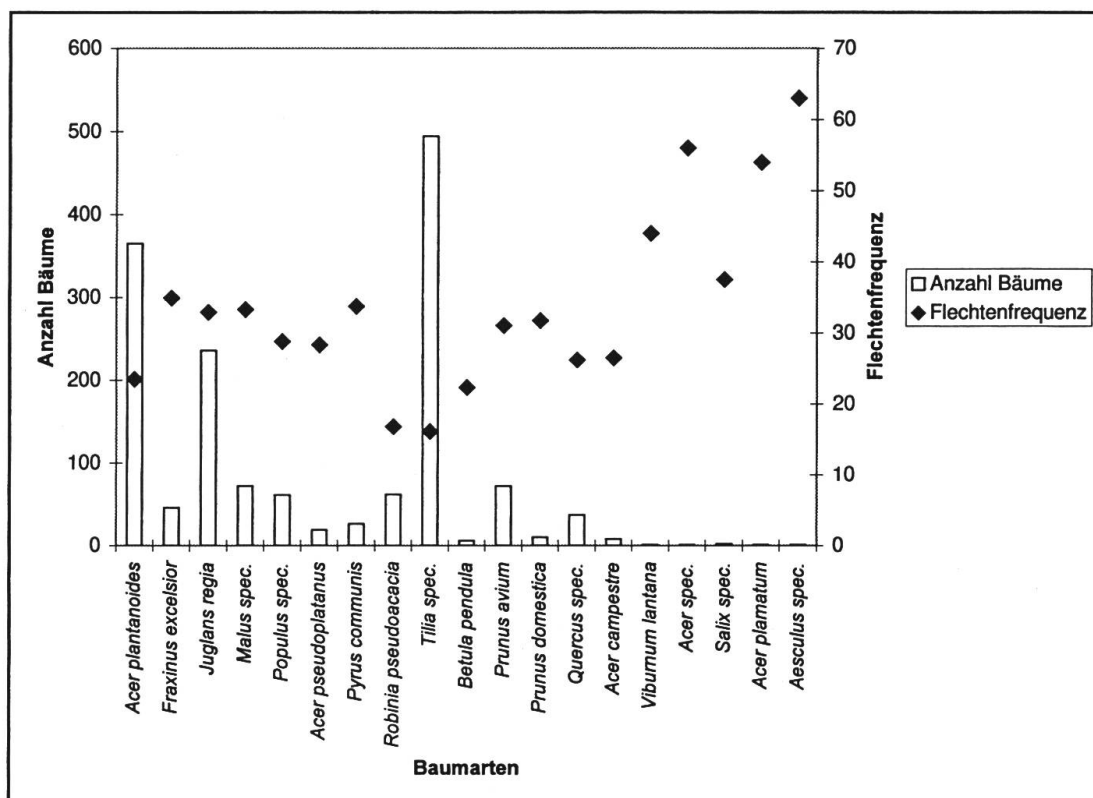


Abb. 2 Trägerbaumarten, deren Anzahl und mittlere Flechtenfrequenz.

Ergebnis konnte nicht erwartet werden, da die Borke der Linde eine glattere Oberflächenstruktur bildet als diejenige von Ahorn. Im Weiteren weisen die beiden Borken einen unterschiedlichen pH-Wert auf (Tab. 1). Ein saures Substrat hat eine geringere Pufferkapazität und daher reagieren Flechten auf einem sauren Substrat rascher auf Luftverschmutzung als solche auf einem neutralem Substrat (Skye 1968, 105-112). Dies wird von Beobachtungen im Feld unterstützt, wo in der Regel mehr Flechtenindividuen auf Ahorn wachsen als auf Linden, wobei die erhöhte Individuenzahl nicht automatisch eine erhöhte Flechtenfrequenz zur Folge hatte.

Die mittlere Standardabweichung des Projektes betrug 10.67. Damit liess sich eine Klassenbreite von 12.8 festlegen. Die unterste Klasse wurde wegen der grossen Ausdehnung in der Stadt Basel in drei gleich grosse Teile gegliedert. Die Klassen wurden also wie folgt abgegrenzt: 0 – 4.3 – 8.6 – 12.8 – 25.6 – 38.4 – 51.2 – 64.0. Da diese Abstufung fast identisch mit der "Normskala" war, konnten die Belastungsklassen gleich bezeichnet werden: sehr hoch – hoch – mässig – gering – sehr gering.

Die räumlichen Resultate (Abb. 3) zeigen, dass die Stadt Basel einer sehr hohen bis mässigen Luftbelastung ausgesetzt ist. Die Dorfkerne von Riehen und Muttenz erfahren eine hohe Belastung. Grosse Teile des Siedlungsgebietes in Riehen sowie die Gewerbezone in Pratteln weisen eine mässige Schadstoffkonzentration auf. Mässig belastet sind weite Teile des Siedlungsgebietes in den Gemeinden des Kantons Basel-Landschaft. Vor allem höhergelegene landwirtschaftliche Gebiete, wie St. Chrischona, Bruderholz, Rütihard, sowie das Gebiet südlich von Pratteln sind gering belastet. Eine sehr geringe Belastung zeichnen kleine Gebiete auf St. Chrischona sowie im Bereich des Eggligrabens aus.

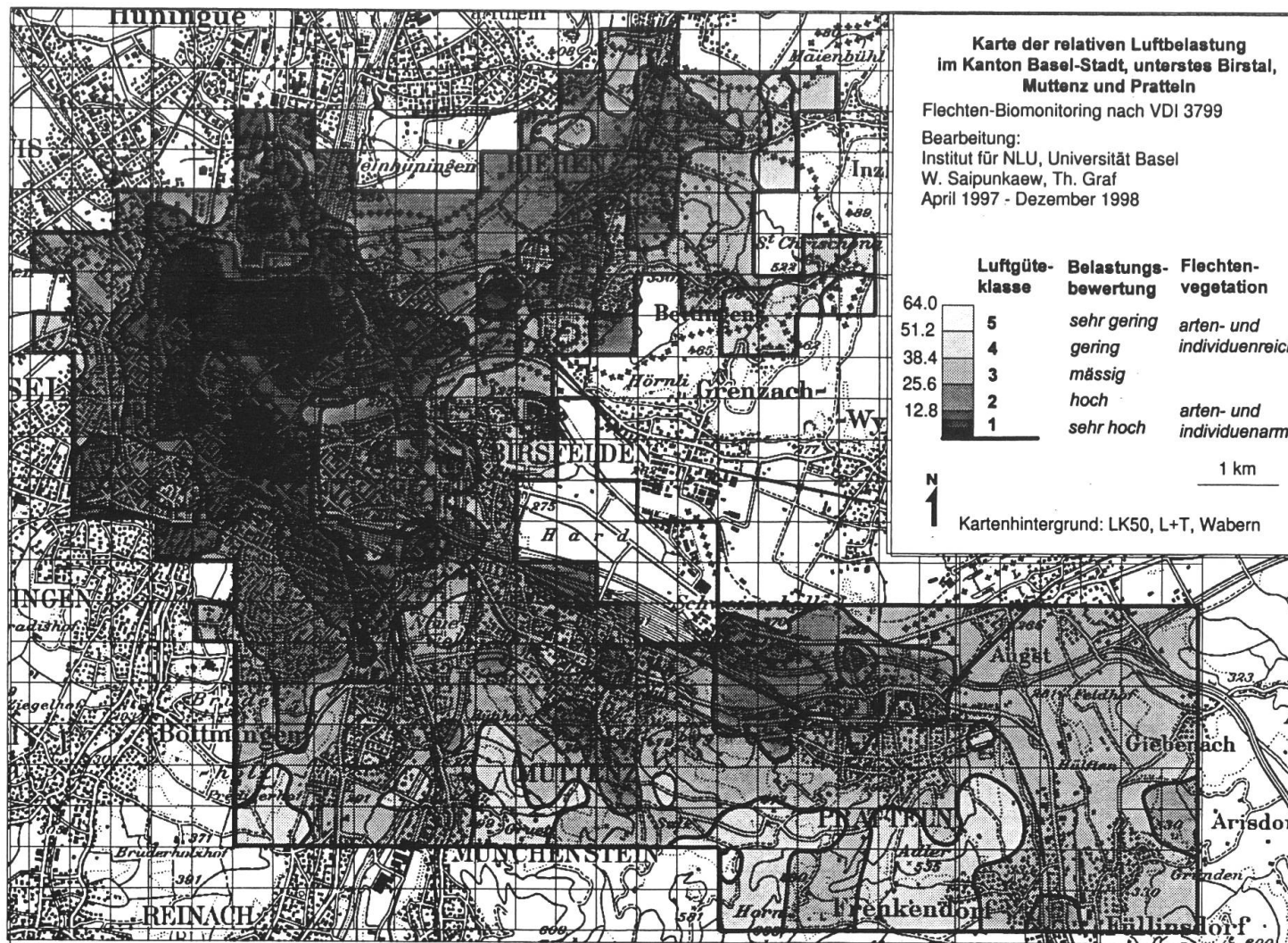


Abb. 3 Karte der relativen Luftbelastung in der Stadt Basel und in Teilen des Umlandes.

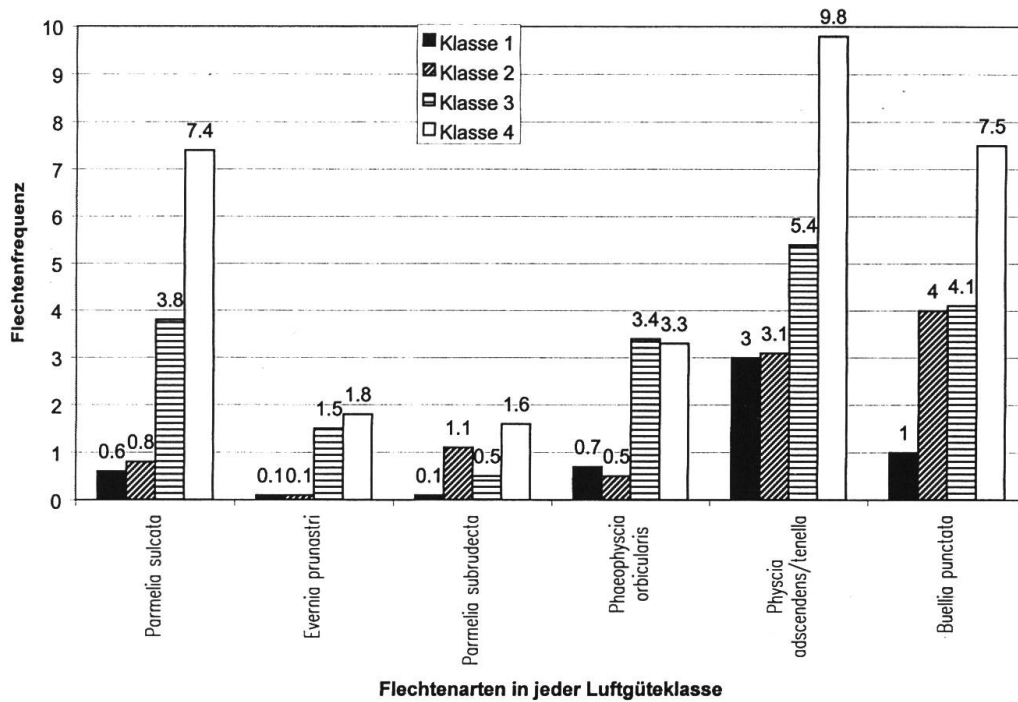


Abb. 4 Durchschnittliche Frequenz einiger ausgewählter Flechten an *Acer platanoides* in verschiedenen Luftgüteklassen.

In verschiedenen Luftgüteklassen ändert sich die Häufigkeit einer Flechtenart. Abb. 4 zeigt die durchschnittliche Individuenzahl verschiedener häufiger Flechtenarten auf je zehn Bäume der Art Spitzahorn (*Acer platanoides*) in verschiedenen Luftgüteklassen. Die Frequenz pro Art nimmt mit zunehmender Luftgüteklasse zu. Im Stadtzentrum, wo die Luftqualität schlechter als am Stadtrand ist, wurden sowohl weniger Individuen wie auch weniger Flechtenarten gefunden. Die gleichen Ergebnisse fand auch *Fenton* (1960) in Belfast oder *Kirschbaum et al.* (1996) in Wetzlar. Flechtenwüsten, wie sie in Kernzonen von deutschen Städten, wie z. B. in Frankfurt (*Steubing* 1978) oder Giessen (*Kirschbaum et al.* 1996) oder auch in Winterthur (*Stadt Winterthur* 1997) vorkommen, sind im Untersuchungsgebiet nicht vorhanden.

Die Anomalie bei *Parmelia subrudecta* kann entweder Zufall sein, oder die interspezifische Konkurrenz verhindert eine grössere Ausdehnung. Sie stehen entweder in Wettbewerb mit anderen Flechten oder mit Moosen oder Algen, die auch sehr häufig an Baumstämmen anzutreffen sind.

4 Fazit

Die Resultate der angewendeten Methode belegen, dass in der Stadt die Luftqualität schlechter, in landwirtschaftlich geprägten Regionen besser ist. Es liegt nun an den Kantonen in verschiedenen Gebieten, die eine schlechte Luftqualität aufweisen, chemisch-physikalische Messungen durchzuführen, welche der Umsetzung der LRV dienen.

Diese Arbeit sollte nicht nur die momentane Situation der Luftqualität anzeigen, sondern auch als Grundlage dienen, diese Untersuchungen in der ganzen Region fortzusetzen. Auch ist sie eine gute Basis, um in zirka fünf oder zehn Jahren den Zustand der Luft zu überprüfen und damit Verbesserungen oder Verschlechterungen feststellen zu können.

Literatur

- Barkman J. J. 1958. *Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes. Including a Taxonomic survey and Description of their Vegetation Units in Europe*. Assen, 1-628.
- Biecker S. 1986. *Flechtenkartierung im Raum Wetzlar*. Giessen, 1-174.
- Fenton A. F. 1960. Lichens as indicators of atmospheric pollution. In: *Irish Naturalists' Journal* 13: 153-159.
- Hansen H. 1986. *Flechtenkartierung im Raum Giessen*. Giessen, 1-104.
- Herzig R., Urech M. 1991. *Flechten als Bioindikatoren: Integriertes biologisches Messsystem der Luftverschmutzung für das Schweizer Mittelland*. Berlin, Stuttgart, 1-283.
- Herzig R., Liebendörfer L., Urech M. 1987. Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz: Methoden-Evaluation und Eichung mit wichtigen Luftschadstoffen. In: *VDI-Berichte* 609: 619-639.
- Kirschbaum U., Wirth V. 1995. *Flechten erkennen – Luftgüte bestimmen*. Stuttgart, 1-128.
- Kirschbaum U., Marx A., Schiek J. E. 1996. Beurteilung der lufthygienischen Situation Giessens und Wetzlars mittels epiphytischer Flechten (1995). In: *Angew. Bot.* 70: 78-96.
- Leser H. 1991. *Landschaftsökologie*. Stuttgart, 1-647.
- Liebendörfer L. 1990. *Biologische Früherkennung von Umweltschadstoffen: Eine kalibrierte Methode der Bioindikation mit Flechten und ihre umweltpädagogische Umsetzung*. Bern, 1-239.
- Peter K. 1988. *Flechtenkartierung als Grundlage für die Charakterisierung der Luftbelastung (Bündner Rheintal)*. Bern, 1-153.
- Skye E. 1968. *Lichens and Air Pollution. A study of cryptogamic epiphytes and environment in the Stockholm region*. Uppsala, 1-123.

- Stadt Winterthur, Umweltfachstelle (Hrsg.) 1997. *Erfolgskontrolle zur Luftreinhaltung in Winterthur. Wiederholung der biologischen Wirkungsuntersuchung mit Flechten nach sieben Jahren*. Bern, 1-45.
- Steubing L. 1987. Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Pflanzen; Pflanzen als Bioindikatoren. In: Buchwald K., Engelhard W. (Hrsg.): *Handbuch für Pflanzung, Gestaltung und Schutz der Umwelt. 2: Die Belastung der Umwelt*. München, 166-157.
- Verein Deutscher Ingenieure 1995. VDI 3799: *Messen von Immissionswirkungen: Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten. Flechtenkartierung zur Ermittlung des Luftgütewertes (LGW)*. Berlin, 1-24.
- Wirth V. 1995. *Die Flechten Baden-Württembergs*. Stuttgart, 1-1006.