

**Zeitschrift:** Mitteilungen der aargauischen Naturforschenden Gesellschaft  
**Herausgeber:** Aargauische Naturforschende Gesellschaft  
**Band:** 33 (1991)

**Artikel:** Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung im Kanton Aargau  
**Autor:** Urech, Martin / Guyer, Christiane / Liebendörfer, Luzius  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-172931>

### **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:** 13.01.2026

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

## **Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung im Kanton Aargau**

### **Zusammenfassung**

Im Auftrag des Aargauischen Baudepartements (Abteilung Umweltschutz, Sektion Luft) wurden 1989 in ausgewählten Gebieten des Kantons Aargau Bioindikations-Untersuchungen mit baumbewohnenden Flechten durchgeführt. Flechten sind bekannt als gute Zeigerlebewesen der Luftverschmutzung. Sie sind im allgemeinen etwa zehnmal empfindlicher gegenüber Luftverunreinigungen als höhere Pflanzen und gelten daher als Frühwarnsystem der Luftverschmutzung.

Bioindikatoren werden durch Umweltbelastungen in ihren Lebensfunktionen beeinträchtigt; ihre Reaktion ist ein Maß der Schadstoff-Wirkung. Als Lebewesen ermöglichen Bioindikatoren die integrative Anzeige der Wirkung über alle vorhandenen Schadstoffe einschließlich deren Zusammenwirken.

Die im Kanton Aargau laufenden Arbeiten zum Vollzug der Luftreinhalte-Verordnung LRV (EDI, 1986) werden durch die Bioindikation mit Flechten in sinnvoller Weise ergänzt. Durch die Anwendung der Kalibrierten Flechtenindikationsmethode werden zwei neue Aspekte der Luftverschmutzung erfaßt: die Wirkung der Luftbelastung auf Lebewesen und die Gesamtimmissionsbelastung in den untersuchten Gebieten.

Hauptziel der Flechtenuntersuchungen im Kanton Aargau ist die Langzeitüberwachung der Luftverschmutzung und deren Auswirkung auf die belebte Umwelt. Die Wiederholung der Flechtenuntersuchungen ermöglicht insbesondere die Erfolgskontrolle nach der Durchführung emissionssenkender Maßnahmen.

Die Untersuchungen erfolgten mit der an die speziellen Verhältnisse im Schweizer Mittelland angepaßten Kalibrierten Flechtenindikationsmethode. Sie erlaubt die räumlich differenzierte Beurteilung der Auswirkung der Luftbelastung auf die Flechtenvegetation (Wirkungskataster) und das Erfassen der Gesamtimmissionsbelastung (Gesamtimmissionskataster).

Flächendeckend untersucht wurden die drei Regionen Aarau-Suhr, Rheinfelden und unteres Limmattal. Zusätzlich wurden Erhebungen in der Umgebung von 15 Meßstationen, an welchen mit technischen Geräten die Konzentration einzelner Luftschadstoffe gemessen wird, und in der näheren Umgebung von Flechten-Dauerbeobachtungsflächen im Wald durchgeführt.

Für die drei flächendeckend erfaßten Gebiete wurden Luftgütekarten erstellt. Grundlage dieser Karten bildet der Luftgütewert IAP18 (Index of Atmospheric Purity), welcher auf Häufigkeitswerten (Frequenz) von über 40 Flechtenarten und -artengruppen basiert. Die Karten unterscheiden fünf Zonen verschieden starker Flechtenbeeinträchtigung resp. Gesamtimmissionsbelastung.

Die Regionen Rheinfelden und unteres Limmattal weisen großräumig starke Flechtenbeeinträchtigungen auf, was auf eine *Starke* bis *Kritische Gesamtbelastung* hinweist. Diese Resultate werden ebenfalls durch die Flechten-Erhebungen an den Immissions-Meßstationen bestätigt, welche innerhalb oder in unmittelbarer Nachbarschaft zu den beiden Regionen liegen. In der Region Aarau sind starke Flechtenbeeinträchtigungen nur vergleichsweise

kleinräumig festzustellen; in großen Teilen der Region Aarau weist die Flechtenvegetation auf eine *Mittlere* und *Geringe Gesamtbelastung* hin.

Weitere Auswertungen zu den einzelnen Flechtenarten ermöglichen Aussagen zur Flechtenvegetation, zum immissionsökologischen Verhalten der einzelnen Flechtenarten und zum vorherrschenden Immissionstyp.

Ein Vergleich der relativen Häufigkeiten zeigt, daß in allen bisher untersuchten Gebieten des Schweizer Mittellandes eine ähnliche baumbewohnende Flechtenvegetation zu finden ist; die Flechtenvegetation ist von den gleichen Leitarten geprägt.

Die «Mittleren Frequenzen» dienen der Charakterisierung des immissionsökologischen Verhaltens der einzelnen Flechtenarten. Es wird deutlich, daß zur präzisen Erfassung der Luftbelastung die Flechtenvegetation in ihrer Gesamtheit erfaßt werden muß und nicht einzelne Arten herausgegriffen werden können.

Der Acido-Index liefert qualitative Anhaltspunkte über den Immissionstyp im Kanton Aargau: In den untersuchten Gebieten des Kantons treten überwiegend saure Immissionen auf, nur in den Regionen Rheinfelden-Magden und Turgi-Stilli dominieren basische Immissionen.

## 1. Einleitung

Die vielfältigen menschlichen Aktivitäten unserer Zeit führen zu einem sich laufend verstärkenden Druck auf die Umwelt. Daraus ergeben sich immer neue Gefährdungspotentiale der Grundlagen für menschliches, tierisches und pflanzliches Leben. Dies trifft auch für die Luft im Kanton Aargau zu, wie der Einleitung zum Entwurf des «Maßnahmenplans Luftreinhaltung» (Baudepartement des Kantons Aargau, 1990, Seite I) entnommen werden kann: «Die Belastung der Luft durch Schadstoffe hat ein Ausmaß erreicht, das für weite Teile des Kantons unzumutbar ist.»

Die Umwelt, speziell die belebte organismische Umwelt, reagiert deutlich auf die anthropogenen Veränderungen. Sie wird durch ihre Reaktion zum Spiegel der menschlichen Aktivitäten. Darauf basiert die Idee der Bioindikation: Umweltbelastungen werden über die Wirkung nachgewiesen, welche sie auf Lebewesen ausüben. Die Reaktion von Lebewesen dient als Maß der Schadstoff-Wirkung.

Als Bioindikatoren gelten Lebewesen (und Lebensgemeinschaften), welche bei Schadstoffbelastungen meßbare Veränderungen zeigen oder diese Schadstoffe akkumulieren (ARNDT *et al.* 1987). Bioindikatoren ermöglichen die integrative Anzeige der Wirkung über alle vorhandenen Schadstoffe einschließlich deren Zusammenwirken. Sie erlauben die Bewertung der biologisch relevanten Wirkung von Umweltbelastungen, wie sie auch für den Menschen teilweise von Bedeutung ist.

Zur Erfassung der Luftbelastungen dienen in erster Linie technische Meßsysteme. Diese chemisch-physikalischen Geräte messen die Konzentration resp. Deposition einer ausgewählten und eingeschränkten Anzahl wichtiger Schadstoffe in ihrem zeitlichen Verlauf mit großer Genauigkeit und Reproduzierbarkeit. Auswirkungen dieser Schadstoffe auf Lebewesen können sie jedoch nicht erfassen; dazu braucht es Bioindikatoren, welche durch ihre Reaktionsmechanismen als vernetzte Systeme am ehesten dem komplexen Schadstoffgeschehen gerecht werden. Bioindikatoren und technische Meßgeräte erfassen je andere Größen der Umweltbelastungen und bilden zwei sich in sinnvoller Weise ergänzende Meßsysteme.

Flechten sind äußerst empfindlich gegenüber Luftverunreinigungen: Als Symbioseorganismen (Pilz und Alge in Lebensgemeinschaft) stellen sie ein störungsanfälliges Gleichgewicht dar. Ihre Nährstoffaufnahme erfolgt vorwiegend aus der Luft; mit den Nährstoffen nehmen sie auch Schadstoffe auf, da sie keine Abwehrmechanismen besitzen. So reagieren sie auf kleinste Beeinträchtigungen der Luftqualität; Flechten sind im allgemeinen etwa zehnmal empfindlicher als höhere Pflanzen und gelten daher als Frühwarnsystem der Luftverschmutzung.

Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes 14: «Lufthaushalt und Luftverschmutzung in der Schweiz» entwickelte unser Team die Kalibrierte Flechtenindikationsmethode (HERZIG *et al.* 1987, URECH *et al.* 1989). Sie arbeitet mit der baumbewohnenden Flechtenvegetation und erlaubt die flächendeckende Erfassung der Auswirkungen von Luftbelastungen auf Flechten in Gebieten des Schweizer Mittellandes (Wirkungskataster). Zudem ermöglicht sie Rückschlüsse auf die Gesamtimmissionsbelastung, da sie mit technischen Luftmeßdaten kalibriert ist (Gesamtimmissionskataster). Direkte Rückschlüsse auf die Belastung mit einzelnen Schadstoffen sind nicht möglich.

In den letzten Jahren wurden in verschiedenen Kantonen und Städten des Schweizer Mittellandes Untersuchungen der Gesamtimmissionsbelastung mit der Kalibrierten Flechtenindikationsmethode durchgeführt (Stadt Biel, Kanton Luzern, Stadt Winterthur, Kanton Nidwalden, Stadt Bern, Gemeinde Wohlen AG; HERZIG *et al.* 1985, AGB 1989, AGB 1990 a, AGB 1990 b, AGB 1991 a, AGB 1991 b) oder sind momentan im Gang (Kanton Appenzell, Fürstentum Liechtenstein).

In der Schweiz wurden die Aktivitäten im Bereich der Lufthygiene mit der Inkraftsetzung des Umweltschutzgesetzes USG 1983 und der Luftreinhalteverordnung LRV 1986 (EDI, 1983 und EDI, 1986) stark intensiviert.

Seit einigen Jahren werden im Kanton Aargau vielfältige Untersuchungen zur Luftqualität durchgeführt: technische Immissionsmessungen, Erhebungen zur Emission, Ausbreitungsrechnungen und Prognostizierungen. Diese Untersuchungen bilden die Grundlage für den «Maßnahmenplan Luftreinhaltung» des Kantons Aargau.

Die Grundlegendaten zur Luftbelastung werden durch die Flechtenuntersuchungen um zwei neue Aspekte ergänzt:

- Die Untersuchung gibt Auskunft über die Wirkung der Luftbelastung auf Lebewesen.
- Sie ermöglicht flächendeckende Aussagen über die Gesamtimmissionsbelastung in den untersuchten Gebieten.

Innerhalb der Maßnahmenplanung ist die Erfolgskontrolle von großer Bedeutung. Auch hier liefert die Flechtenuntersuchung einen wichtigen Beitrag: Durch die Wiederholung der Flechtenuntersuchungen nach emissionsmindernden Maßnahmen kann die Wirkung und damit der Erfolg dieser Maßnahmen verifiziert werden.

Die Kalibrierte Flechtenindikationsmethode weist sowohl Bezüge zum Umweltschutzgesetz USG wie auch zur Luftreinhalteverordnung LRV auf.



Art.8 USG fordert, daß schädliche Einwirkungen «... sowohl einzeln als auch gesamthaft und nach ihrem Zusammenwirken» beurteilt werden müssen. Zur Beurteilung des Zusammenwirkens verschiedener Schadstoffe benötigt man Organismen, denn nur biologische Systeme können verschiedene Schadstoffe in ihrer gemeinsamen Wirkung anzeigen. Da die Reaktion von Flechten gerade auch auf Kombinationen von Schadstoffen mehrfach belegt ist, sind sie besonders geeignet, das Zusammenwirken verschiedener Luftschadstoffe zu erfassen und damit die entsprechende Forderung des USG zu erfüllen.

Die Kalibrierte Flechtenindikationsmethode kann deshalb als eine besonders geeignete Erhebung zur Ermittlung der Immissionen, wie sie in Art.27 LRV genannt wird, betrachtet werden.

## 2. Zielsetzung

Im Auftrag der Abteilung Umweltschutz des Baudepartements des Kantons Aargau führte die AGB in den Jahren 1989 und 1990 Flechtenuntersuchungen zur Luftqualität durch. Mit Hilfe der im Rahmen des NFP 14 entwickelten und an die speziellen Verhältnisse im Schweizer Mittelland angepaßten Kalibrierten Flechtenindikationsmethode wurden im einzelnen folgende Zielsetzungen verfolgt:

- Schaffen einer Grundlage für die Langzeitüberwachung der Gesamtimmissionsbelastung und deren Auswirkung, insbesondere im Hinblick auf die Erfolgskontrolle der Maßnahmenplanung.
- Einzelartenbezogene Kartierung der baumbewohnenden Flechtenvegetation zur Dokumentation eines biologischen Aspektes der Umweltqualität.
- Beurteilen der Auswirkungen, welche die Luftverschmutzung auf die Flechtenvegetation hat (Wirkungskataster).
- Räumlich differenziertes Erfassen der gegenwärtigen Gesamtimmissionsbelastung (Gesamtimmissionskataster).

Zur Langzeitüberwachung werden spätere Folgeuntersuchungen mit den heute vorliegenden Erhebungen verglichen. Vorgesehen sind Wiederholungen der Untersuchungen zur Erfolgskontrolle der emissionsmindernden Maßnahmen, wie sie im Maßnahmenplan (Baudepartement des Kantons Aargau, 1990) vorgeschlagen sind.

Eine zweite parallel laufende Flechtenuntersuchung im Kanton Aargau beinhaltet die Dauerbeobachtung der Umweltqualität anhand der Flechtenvegetation in sechs ausgewählten Waldgebieten des Kantons. Zur Verknüpfung der beiden Flechtenuntersuchungen wurden in der nahen waldfreien Umgebung der Dauerbeobachtungsgebiete Bäume mit der Kalibrierten Flechtenindikationsmethode untersucht. Damit lassen sich die Dauerbeobachtungsgebiete in bezug auf ihre Gesamtimmissionsbelastung ebenfalls charakterisieren und mit den anderen im Kanton erfaßten Gebieten direkt vergleichen. Die Resultate dieser Untersuchungen sind im Artikel «Dauerbeobachtung von Flechten in Waldgebieten des Kantons Aargau» (AGB 1991, Artikel im vorliegenden Band) dargestellt.

### 3. Untersuchungsgebiete

Die Untersuchungsgebiete des Flechtenprojektes im Kanton Aargau sind in drei verschiedene Aussagebereiche unterteilt (Abb. 1):

1. Flächendeckend und großräumig untersucht wurden die drei Regionen Aarau-Suhr, Rheinfelden und unteres Limmattal (grau hervorgehoben). Diese Gebiete wurden auf der Basis von 1-km<sup>2</sup>-Flächen bearbeitet.
2. Punktuell erfaßt wurden 15 Immissions-Meßstationen, an welchen die Luftbelastung (z. T. nur zeitweise) mit chemisch-physikalischen Geräten gemessen wird (Ziffern 1 bis 15 in Abb. 1, Stationsnamen siehe Legende).
3. Ebenfalls punktuell untersucht wurden Gebiete in der näheren Umgebung der Dauerbeobachtungsflächen im Wald (Buchstaben A bis F in Abb. 1, Gebietsnamen siehe Legende).

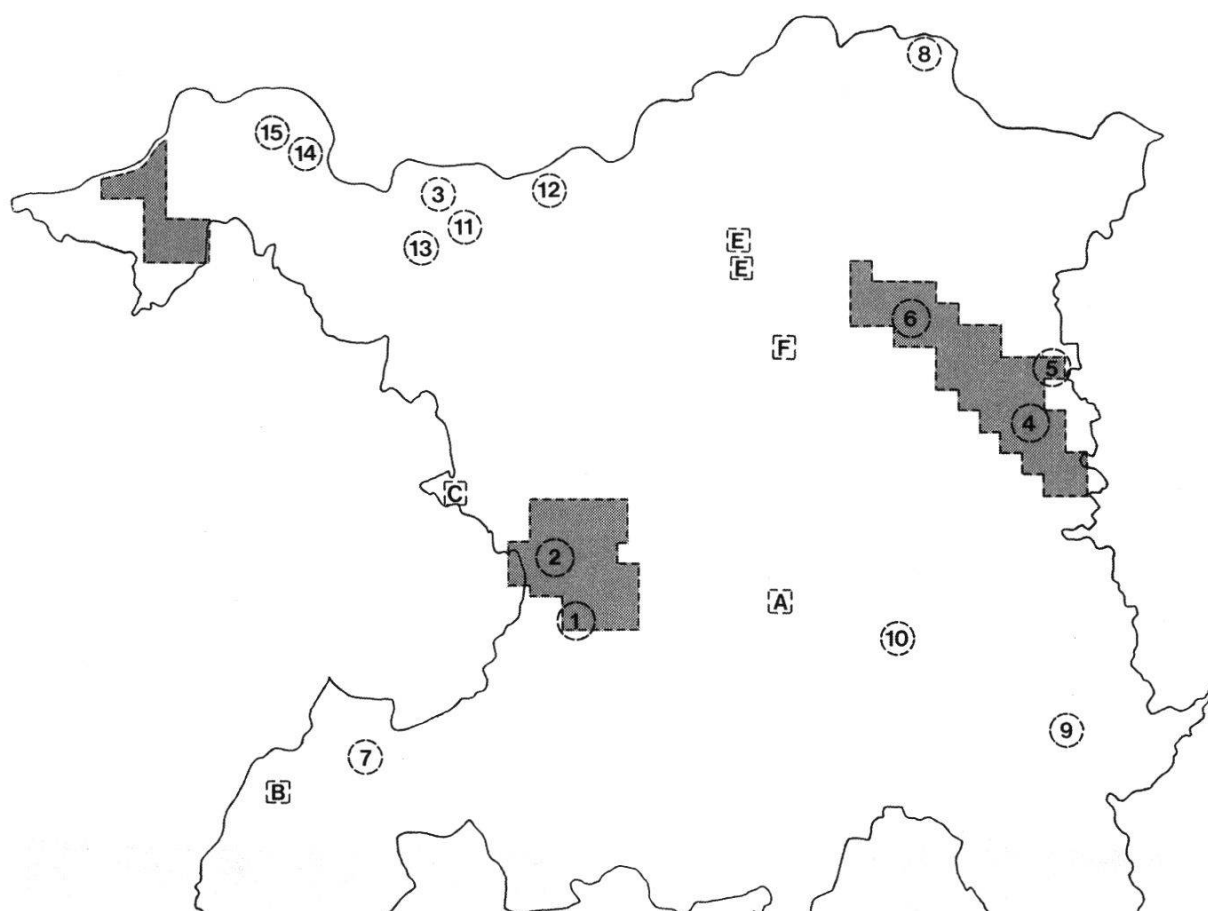


Abb. 1: Untersuchungsgebiete im Kanton Aargau; Immissions-Meßstationen: 1-Suhr; 2-Aarau (alte Kantonsschule); 3-Sisseln; 4-Tägerhard; 5-Lägeren; 6-Obersiggenthal; 7-Oftringen; 8-Rietheim; 9-Rottenschwil; 10-Wohlen; 11-Eiken; 12-Kaisten; 13-Schupfart; 14-Wallbach; 15-Möhl.

Gebiete in der Nähe der Dauerbeobachtungsflächen im Wald:

A-Lenzburg Süd: Berg; B-Rothrist Süd: Langholz; C-Erlinsbach Nord: Zwiflue; D-Wettlingen Ost: Lägerengrat-Burghorn (identisch mit Immissions-Meßstation 5); E-Remigen West: Geißberg-Chameren; F-Umiken Süd: Umiker Schachen.

#### 4. Methodik

Die Kalibrierte Flechtenindikationsmethode basiert auf der baumbewohnenden Flechtenvegetation ausgewählter Laubbaumarten. An den einzelnen Bäumen wird mit Hilfe des Frequenzgitters der biologische Luftgütewert IAP18 (*Index of Atmospheric Purity*) erhoben.

Dazu wird für ausgewählte Flechtenarten der Frequenzwert bestimmt. Der Frequenzwert einer Flechtenart ist definiert als Anzahl der zehn Teilfelder des Frequenzgitters (vgl. Abb. 2), in welchem diese Flechtenart auftritt; er nimmt für jede Flechtenart Werte zwischen 0 und 10 an. Diese Frequenzwerte aller berücksichtigten Arten werden zum IAP18 aufsummiert. Hohe IAP18-Werte resultieren, wenn die Luft wenig Verunreinigungen aufweist und viele Flechten vorhanden sind. Tiefe IAP18-Werte treten bei schlechter Luftqualität auf, wo wenig Flechten überleben (Abb. 2).

In den flächendeckend erfaßten Gebieten Aarau, Rheinfelden und unteres Limmattal wurden innerhalb von 1-km<sup>2</sup>-Rasterflächen jeweils sechs flächenrepräsentative Trägerbäume zur Analyse der baumbewohnenden Flechtenvegetation ausgewählt.

In der nahen Umgebung der 15 Immissions-Meßstationen wurden jeweils zehn Trägerbäume untersucht. Zur Charakterisierung der Belastungssituation in der Umgebung der Dauerbeobachtungsflächen im Wald wurde je eine 1-km<sup>2</sup>-Raster-

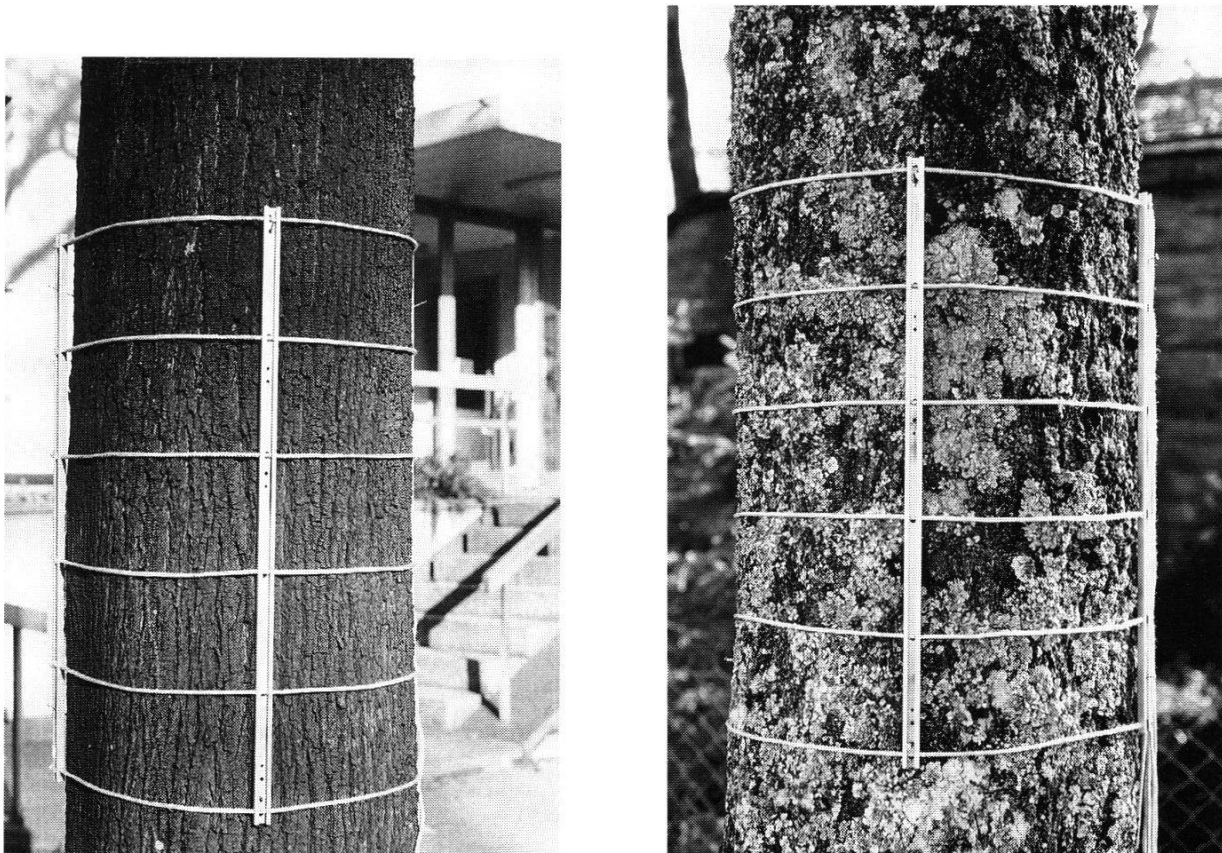


Abb. 2: Trägerbäume mit Frequenzgitter; links: Baum im Stadtgebiet, ohne Flechtenbewuchs; rechts: Baum in ländlichem Gebiet mit starkem Flechtenbewuchs.

fläche mit wiederum sechs Trägerbäumen erfaßt. Die Erhebung der Flechtendaten erfolgte im Sommerhalbjahr 1989; insgesamt wurden über 600 Bäume untersucht.

## 5. Luftgütekarte

Anhand der IAP18-Werte wurde für die flächig untersuchten Gebiete eine Luftgütekarte (Wirkungs- und Gesamtimmissionskataster) in Form einer Isolinienkarte erstellt. Die Isolinien entstehen durch lineare Interpolation zwischen IAP18-Mittelwerten, welche für geographisch homogene Raumeinheiten gebildet werden. Die Isolinien unterteilen die untersuchten Gebiete in fünf Zonen verschiedener Flechtenbeeinträchtigung bzw. Gesamtimmissionsbelastung.

Die Zonengrenzen unterteilen den kontinuierlichen Gradienten der Luftbelastung mit einer ausgezogenen Linie; der Linienverlauf darf deshalb nicht auf wenige Meter genau interpretiert werden.

In den Abbildungen 3 und 4 (Beilage im hinteren Buchdeckel) sind die Luftgütekarten der drei Regionen Aarau-Suhr, Rheinfelden und unteres Limmattal dargestellt.

Alle fünf Zonen, welche der Wirkungs- und Gesamtimmissionskataster unterscheidet, sind in den untersuchten Gebieten vertreten.

Im Untersuchungsgebiet unteres Limmattal tritt die Zone *Flechtenwüste* an drei Orten auf: in Baden, im Gebiet zwischen Turgi und Baden sowie im Industriegebiet Killwangen-Spreitenbach.

In dieser Zone mit der stärksten Flechtenbeeinträchtigung fehlt die Flechtenvegetation ganz oder ist nur noch sehr rudimentär ausgebildet. Charakteristisch für diese Zone sind Baumstämme mit höchstens vereinzelt Flechtenthalli von Krusten- und Blattflechten, welche vielfach einen kümmerlichen Wuchs aufweisen, d. h. sie werden in ihrem Wachstum sehr stark gestört und sind wenig vital. Entsprechend eingeschränkt ist auch die Ausbildung von Vermehrungseinheiten (Diasporen-Bildung).

Großräumig dehnen sich im unteren Limmattal die *Innere Kampfzone* und die *Äußere Kampfzone* aus. Der ganze Talboden gehört diesen beiden Zonen an. Die Benennung der Zonen richtet sich nach bestehender Flechtenliteratur; der Begriff Kampfzone bezieht sich auf den Überlebenskampf der Flechtenvegetation in dieser Zone.

In der *Inneren Kampfzone* ist die Flechtenvegetation immer noch stark in ihrem Wachstum gehemmt. Wenige Einzelarten dominieren das Erscheinungsbild und lassen die Flechtenvegetation entsprechend eintönig erscheinen. In der *Äußeren Kampfzone* sind insbesondere empfindliche Flechtenarten in ihrem Wachstum deutlich behindert und kämpfen um ihre Existenz. Es finden sich aber einige Flechtenarten, welche in diesen Zonen recht gut gedeihen und hier konkurrenzstark sind, z. B. die Blattflechte *Hypogymnia physodes*.

Etwas höher gelegene Teile des Limmattals gehören der *Übergangszone* an. In dieser Zone zeigt sich an den Bäumen ein vielfältiges Bild der Flechtenvegetation,



regelmäßig treten empfindliche Flechtenarten auf. Auch sehr empfindliche Flechtenarten kommen in dieser Zone, wenn auch vielfach nur kleinwüchsig, vor.

Die höchsten Artenzahlen und Frequenzen weist die *Normalzone* auf. Diese Zone konnte aber im Untersuchungsgebiet unteres Limmattal nicht gefunden werden. Die Stammfläche der Bäume in dieser Zone ist immer über 50 %, nicht selten sogar zu 100 % mit Flechten überwachsen. Arten, welche als selten oder sehr empfindlich gelten, treten hier zum Teil als recht großwüchsige Exemplare auf.

Frühere Verbreitungsstudien und Herbarbelege aus dem Schweizer Mittelland zeigen, daß auch aus der heutigen *Normalzone* mehrere Flechtenarten verschwunden sind und weitere deutlich im Rückgang begriffen sind (FREY, 1960).

Die heutige Flechtenvegetation in dieser Zone stellt daher keineswegs ein Optimum dar. Es muß angenommen werden, daß es heute im Schweizer Mittelland, für welches die Kalibrierte Flechtenindikationsmethode entwickelt wurde, höchstens noch kleine Reliktstandorte gibt, welche dieses Optimum ausweisen. Die Belastung mit Luftschadstoffen, in ländlichen Gebieten vorab mit Sekundärschadstoffen wie Ozon, ist heute zu hoch, um die Existenz einer sehr empfindlichen artenreichen Flechtenvegetation zu erlauben.

Im kleineren Untersuchungsgebiet Rheinfelden (Abb. 4) dominieren ebenfalls die Zonen *Flechtenwüste*, *Innere* und *Äußere Kampfzone* das Bild des Wirkungskatasters. Auch hier ist nur in höhergelegenen Gebieten die *Übergangszone* zu finden, die *Normalzone* fehlt gänzlich.

Dagegen gehören große Teile des Untersuchungsgebietes Aarau-Suhr (Abb. 4) der *Äußeren Kampfzone* und der *Übergangszone* an. Die *Flechtenwüste* tritt nur im Zentrum von Aarau auf. Innerhalb dieser Zone liegt auch die Immissions-Meßstation Aarau (Standort Alte Kantonsschule, vgl. Abb. 5). Die *Innere Kampfzone* umfaßt Teile von Aarau, Suhr und Rohr. Das Gebiet zwischen Küttigen und Biberstein am Jurasüdfuß gehört als einziges der im Kanton Aargau untersuchten Gebiete der *Normalzone* an.

Da die Kalibrierte Flechtenindikationsmethode mit technischen Immissionsmessungen geeicht ist (HERZIG *et al.* 1987, URECH *et al.* 1989), können den beschriebenen Zonen des Wirkungskatasters direkt Zonen der Gesamtimmissionsbelastung zugeordnet werden. Es gilt folgende Zonenzuordnung (in der Reihenfolge abnehmender Flechtenbeeinträchtigung bzw. zunehmender Luftqualität):

<b>Wirkungskataster</b>	<b>Gesamtimmissionskataster</b>
<b>Flechtenwüste</b>	→ <b>Kritische Gesamtbelastung</b>
<b>Innere Kampfzone</b>	→ <b>Starke Gesamtbelastung</b>
<b>Äußere Kampfzone</b>	→ <b>Mittlere Gesamtbelastung</b>
<b>Übergangszone</b>	→ <b>Geringe Gesamtbelastung</b>
<b>Normalzone</b>	→ <b>Sehr geringe Gesamtbelastung</b>

Die in Abbildung 3 und 4 dargestellten Wirkungskataster können deshalb auch wie folgt als Luftgütekarten der untersuchten Gebiete interpretiert werden: Große Teile der Untersuchungsgebiete unteres Limmattal und Rheinfelden weisen eine *Starke*



und z. T. *Kritische Gesamtbelastung* auf. Nur randliche und deutlich höher gelegene Gebiete weisen eine *Geringe Gesamtbelastung* auf.

In der Region Aarau-Suhr dagegen sind große Gebiete einer *Mittleren* oder *Geringen Gesamtbelastung* zuzuordnen. Die Zonen *Kritische* und *Starke Gesamtbelastung* nehmen in der Region Aarau nur kleine Flächen ein. Am Jurasüdfuß konnte auch ein Gebiet mit einer *Sehr geringen Gesamtbelastung* ausgewiesen werden.

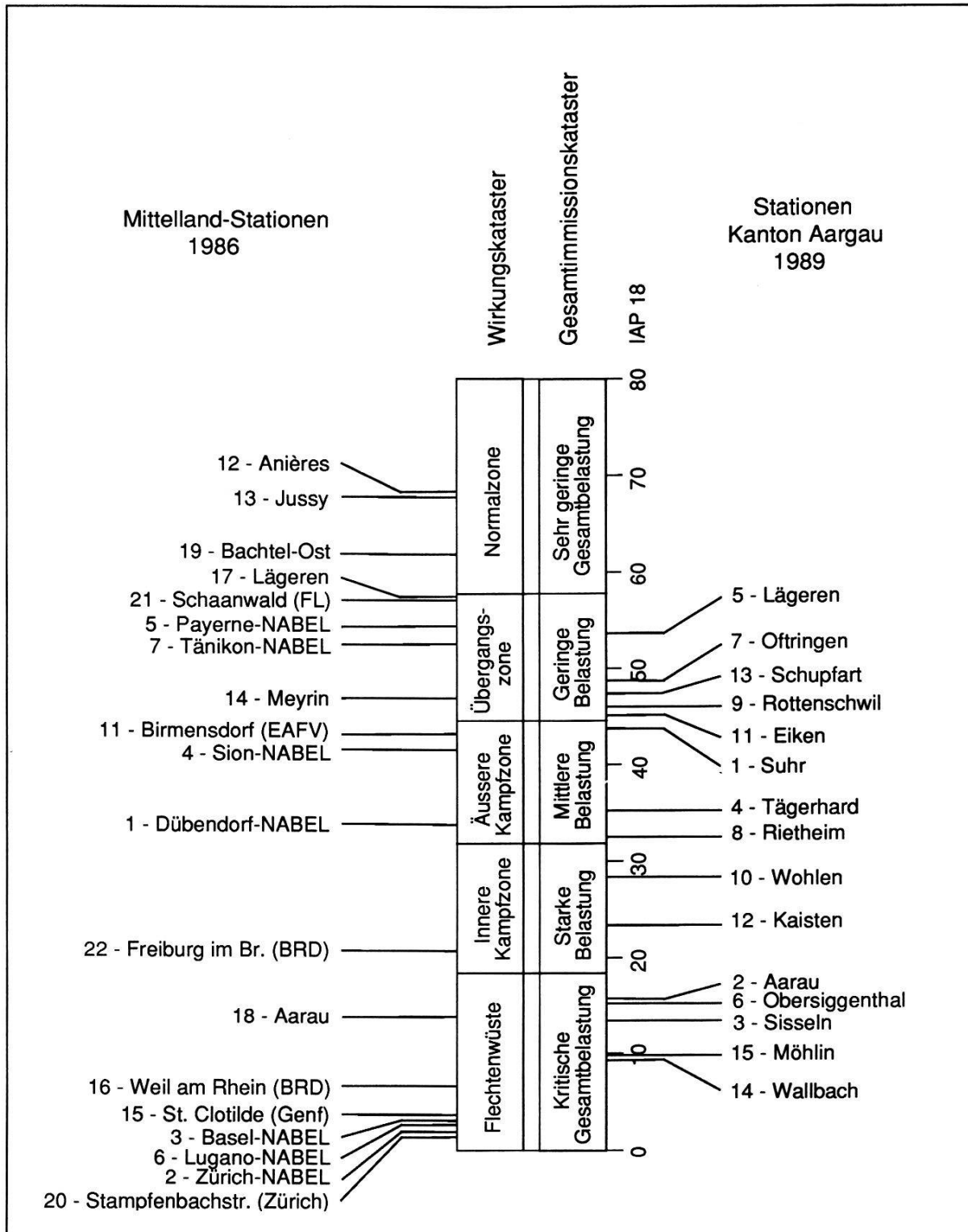


Abb. 5: Zuordnung der Immissions-Meßstationen zu den Wirkungs- und Gesamtimmissionszonen.

Die Luftgütekarten geben somit räumlich differenziert Auskunft über die Gesamtbelastung der Luft; direkte Rückschlüsse auf die Einhaltung einzelner Immissionsgrenzwerte der LRV sind nicht möglich.

## 6. Untersuchungen an den Immissions-Meßstationen

Neben den flächendeckenden Untersuchungen wurden Erhebungen in der Umgebung von 15 Meßstationen, an welchen mit technischen Geräten die Konzentration einzelner Luftschadstoffe gemessen wird, mit der Kalibrierten Flechtenindikationsmethode durchgeführt. An jeder Station wurden zehn Trägerbäume untersucht und deren IAP18-Werte zu einem IAP18-Stationswert gemittelt. Anhand dieses IAP18-Mittelwertes kann die Gesamtimmissionsbelastung aller Meßstationen, welche mit der Kalibrierten Flechtenindikationsmethode untersucht wurden, direkt verglichen werden.

Abbildung 5 stellt einen solchen Vergleich dar: Die einzelnen Meßstationen sind entsprechend ihrem IAP18-Wert den Wirkungs- und Gesamtimmissionszonen zugeordnet. Es sind dies einerseits die im Rahmen der NFP14-Studie (URECH *et al.* 1989) untersuchten 19 Mittellandstationen (linke Seite der Abbildung) und die 15 im Rahmen des vorliegenden Projektes erfaßten Stationen im Kanton Aargau.

Die Meßstationen des Kantons Aargau erfassen keine extrem hohen und auch keine sehr geringen Belastungen.

Eine *Kritische Gesamtbelastung* weisen fünf Stationen auf. Es sind dies die Stadtstation Aarau, die Station Obersiggenthal in der Großagglomeration Baden, und eher unerwartet die drei Stationen im Rheintal Wallbach, Möhlin und Sisseln.

Aufgrund dieser Resultate wurde eine Ergänzungsuntersuchung im Raum Fricktal in Angriff genommen, welche über die Belastungssituation in dieser Region genaueren Aufschluß geben soll.

An keiner dieser Stationen tritt aber eine so hohe Gesamtbelastung auf, wie sie 1986 an den Stationen in den Städten Zürich, Basel und Genf gefunden wurde.

Interessant ist der direkte Vergleich der Untersuchungen von 1986 und 1989 an der Station Aarau (Abb. 5: 18-Aarau im Kollektiv der Mittellandstationen, 2-Aarau bei den Stationen Kanton Aargau): 1989 liegt der IAP18-Wert der Station leicht höher als 1986, die Gesamtbelastung ist in dieser Zeitspanne etwas gesunken.

Der Unterschied zwischen den beiden IAP18-Stationsmittelwerten ist aber nicht signifikant (Wilcoxon-Rangsummentest, Signifikanzniveau  $> 5\%$ ).

Dieser direkte Vergleich zwischen den Untersuchungen von 1986 und 1989 kann auch an der Station Lägeren vorgenommen werden (Abb. 5: 17-Lägeren im Kollektiv der Mittellandstationen, 5-Lägeren bei den Stationen Kanton Aargau). 1989 liegt der IAP18-Wert der Station tiefer als 1986, die Gesamtbelastung ist in dieser Zeitspanne gestiegen.

Im Unterschied zur Station Aarau ist diese Veränderung der Gesamtbelastung an der Station Lägeren zwischen den beiden Untersuchungsjahren signifikant (Wilcoxon-Rangsummentest, Signifikanzniveau  $< 1\%$ ).

Von den beiden Stationen Lägeren und Aarau, welche beide sowohl 1986 und 1989 untersucht wurden, können keine Aussagen über großräumige Entwicklungstrends der Luftbelastung im Kanton Aargau abgeleitet werden. Immerhin kann festgestellt werden, daß an diesen Stationen keine übereinstimmende Tendenz der Gesamtbelastung zu erkennen ist.

Unerwartet tief ist die Gesamtbelastung in der Station Oftringen. Diese Station liegt in ungefähr 200 Meter Distanz zur Autobahn und weist daher recht hohe NO- und NO<sub>2</sub>-Belastungen auf. Trotz diesen Belastungen ist die Flechtenvegetation recht gut ausgebildet und die Gesamtbelastung entsprechend gering.

Ähnliches gilt für die Station Eiken: Sie ist ebenfalls in unmittelbarer Nachbarschaft zur Autobahn gelegen; die Flechtenvegetation weist aber auf eine niedrige Gesamtbelastung hin.

Diese Diskrepanz zwischen technischer und biologischer Immissionserfassung an den Stationen Oftringen und Eiken ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß die beiden Messungen je verschiedene Größen der Immission erfassen, nämlich die Konzentration von Einzelschadstoffen einerseits und die Wirkung aller Schadstoffe andererseits. Die Wirkungsanzeige der Flechten entspricht nicht der reinen «Summe» der Einzelschadstoffe, sondern auch deren Kombinationswirkungen und der Wirkung unbekannter oder nicht gemessener Stoffe.

Deshalb ist nicht unbedingt ein direkter Zusammenhang zwischen einzelnen Schadstoffen und der Gesamtbelastung, welche über eine Wirkung an Organismen bestimmt wird, zu erwarten. Qualitative und quantitative Vergleiche zwischen diesen beiden Immissionsgrößen sind dennoch möglich, da meist eine gute Gleichläufigkeit zwischen den beiden Größen festgestellt werden kann.

## 7. Häufigkeiten der einzelnen Flechtenarten

Im Folgenden werden Auswertungen zu den Daten der einzelnen Flechtenarten dargestellt. Diese ermöglichen Aussagen zur Flechtenvegetation, zum immissionsökologischen Verhalten der einzelnen Flechtenarten und zum vorherrschenden Immissionstyp. Qualitative Unterschiede in der Flechtenvegetation, welche durch den IAP18 nicht erfaßt werden, können anhand solcher Einzelarten-Auswertungen aufgezeigt werden. Exemplarisch für die erfaßten Flechtenarten sind in Abbildung 6 und 7 die beiden Blattflechtenarten *Parmelia tiliacea* und *Hypogymnia physodes* abgebildet.

In Abbildung 8 sind die relativen Häufigkeiten ausgewählter Flechtenarten und -artengruppen dargestellt und denjenigen aus andern Untersuchungen im Schweizer Mittelland gegenübergestellt (Stadt Biel: HERZIG *et al.* 1985; Mittelland: URECH *et al.* 1989; Kanton Luzern: AGB, 1989; Stadt Winterthur: AGB, 1990a).

Die Arten weisen innerhalb der einzelnen Gebiete sehr unterschiedliche Häufigkeiten auf: Einerseits sind Arten wie *Parmelia sulcata* an über 80 % der Bäume vertreten, sie stellen wichtige Leitarten der baumbewohnenden Flechtenvegetation dar. Andererseits treten Arten wie beispielsweise *Physconia pulverulacea* nur an

wenigen Bäumen auf: Es handelt sich hier in erster Linie um empfindliche Begleitarten.

Im Vergleich zwischen den einzelnen Untersuchungsgebieten zeigen die Arten recht ähnliche Häufigkeiten. Dies kann als klarer Hinweis gewertet werden, daß in allen Untersuchungsgebieten des Schweizer Mittellandes eine vergleichbare baumbewohnende Flechtenvegetation zu finden ist und die Flechtenvegetation von den gleichen Leitarten geprägt ist.

Die Häufigkeiten der einzelnen Arten sind trotz Ähnlichkeit nicht identisch. In den untersuchten Gebieten des Kantons Luzern beispielsweise sind die beiden Arten *Xanthoria parietina* und *Physcia adscendens*-Gr. häufiger aufgetreten als in den übrigen Untersuchungen. Beides sind neutrophile (pH-neutrale) bis basiphile (basenliebende) Flechtenarten. Dagegen sind die acidophilen (säureliebenden) Arten *Hypogymnia physodes* und *Pseudevernia furfuracea* beispielsweise in der Stadt Biel überdurchschnittlich vertreten.

Diese Häufigkeiten weisen auf den vorherrschenden Immissionstyp in den Untersuchungsgebieten hin. Auf diesen Unterschieden zwischen den Flechten in bezug auf ihren pH-Schwerpunkt basiert der Acido-Index, welcher den Immissionstyp (basisch-sauer) charakterisiert (vgl. Kap. 9).

Insgesamt ist die Flechtenvegetation des Kantons Aargau vergleichbar mit derjenigen der andern untersuchten Gebiete des Schweizer Mittellands. Dies ist eine wichtige Voraussetzung, damit die mit der Kalibrierten Flechtenindikationsme-

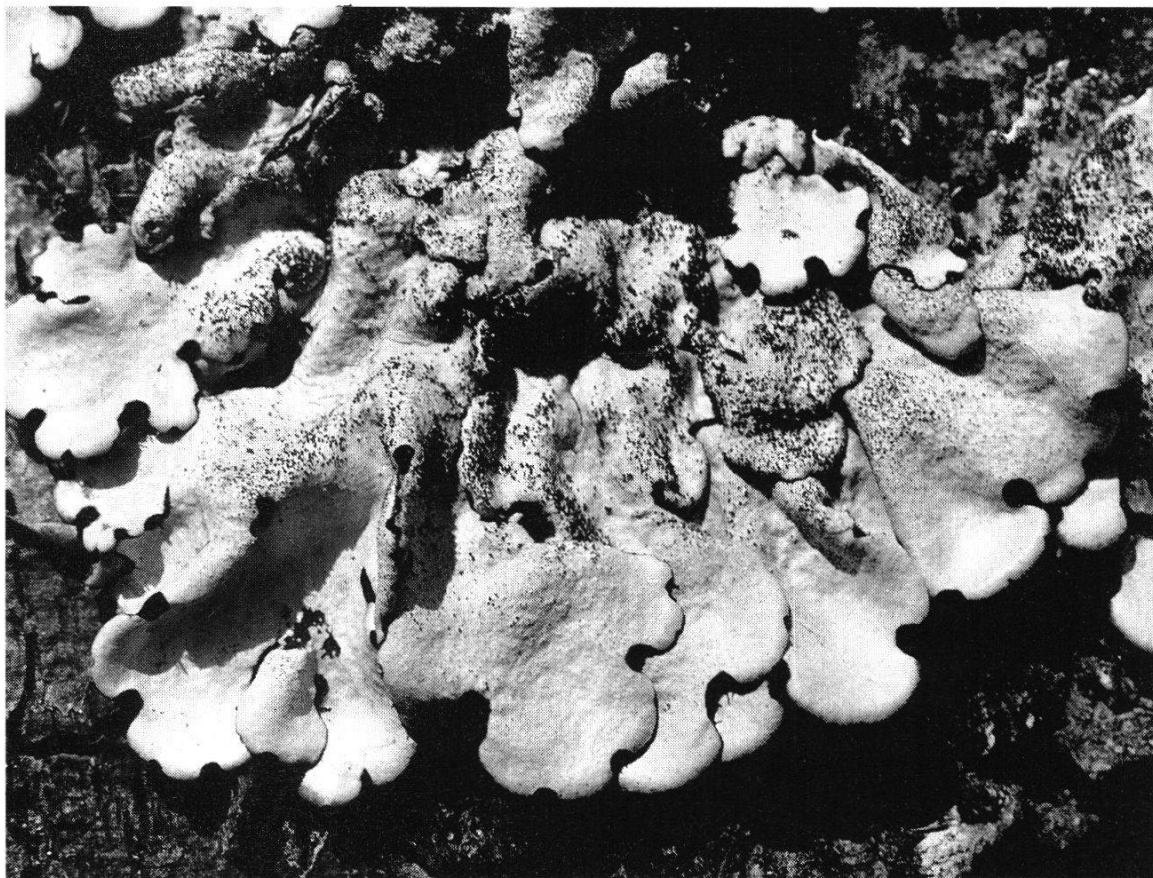


Abb. 6: Blattflechte *Parmelia tiliacea*.



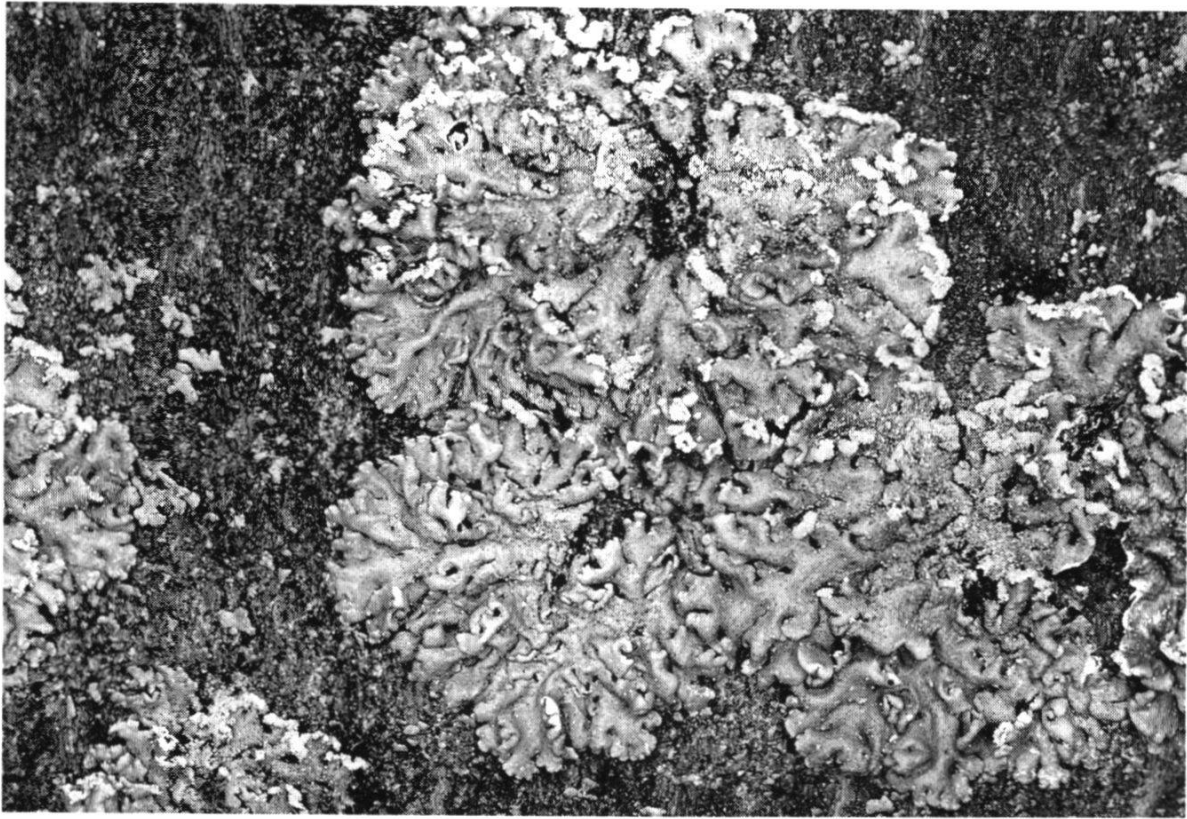


Abb. 7: Blattflechte *Hypogymnia physodes*.

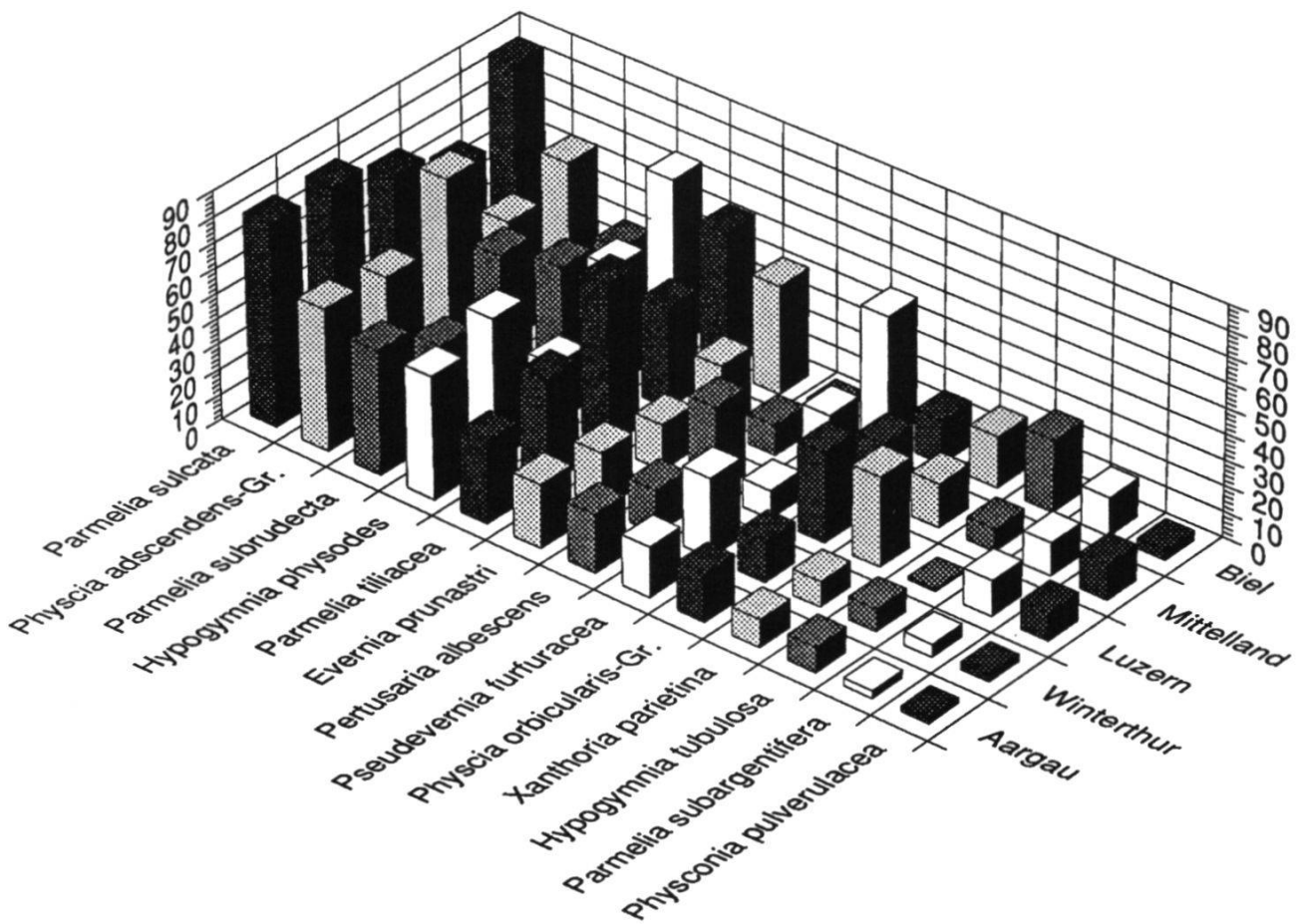


Abb. 8: Relative Häufigkeiten einzelner Flechtenarten in verschiedenen Gebieten des Schweizer Mittellandes; Angaben in Prozent.



thode erarbeiteten Resultate der verschiedenen Untersuchungsgebiete direkt miteinander verglichen werden können.

## 8. Mittlere Frequenz von Flechtenarten

Zur Charakterisierung des immissionsökologischen Verhaltens der einzelnen Flechtenarten dient die Mittlere Frequenz. Von jeder Flechtenart wird der Mittelwert der Frequenzen über ein bestimmtes Trägerbaum-Kollektiv gebildet und mit dem IAP18-Wert dieses Kollektivs verglichen; so erhält man ein Maß für den Beitrag der Einzelart zum Luftgütewert IAP18.

Zur Berechnung der Mittleren Frequenzen im Kanton Aargau wurden zehn Trägerbaum-Kollektive gebildet: Die fünf Zonen des Wirkungs- und Gesamtmissionskatasters wurden je halbiert, zwei Kollektive zusammen decken je eine Zone ab. In jedem dieser Kollektive wird die Mittlere Frequenz für jede Flechtenart bestimmt.

Die ideale Zeigerart weist mit steigendem IAP18 (was steigender Luftqualität bzw. sinkender Gesamtmissionsbelastung entspricht) eine möglichst linear steigende Mittlere Frequenz auf. In der stärkst belasteten Zone beträgt deren Mittlere

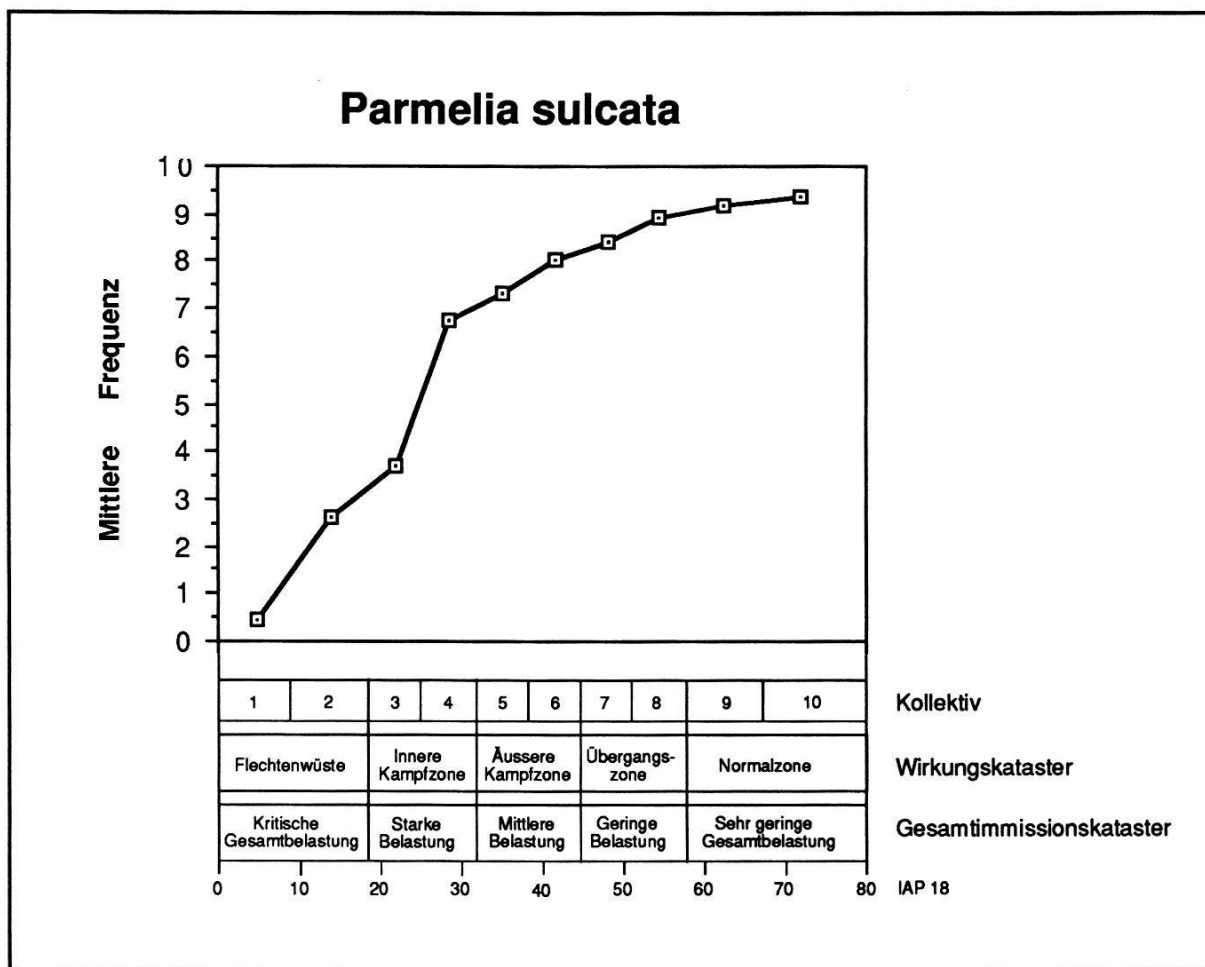
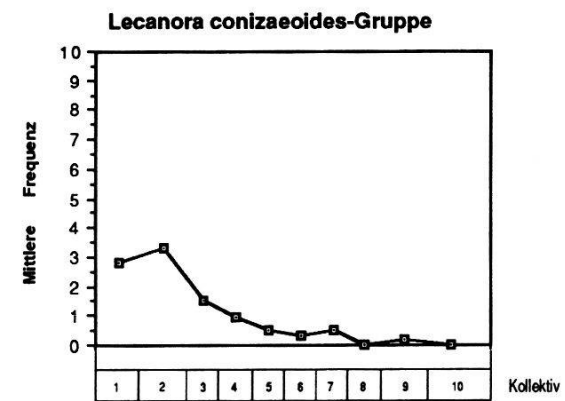
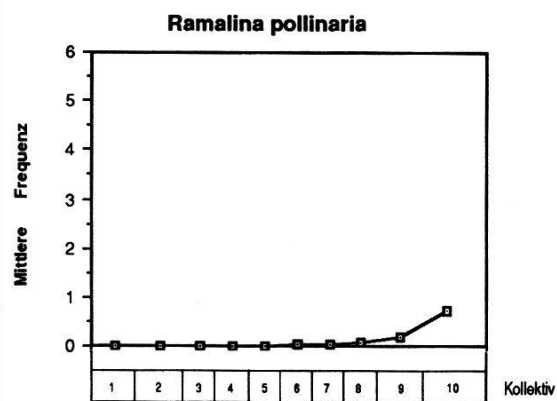
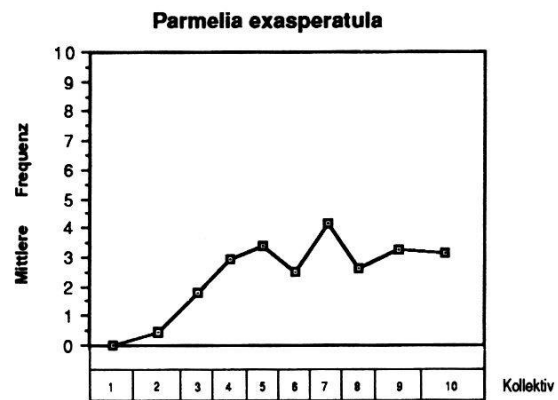
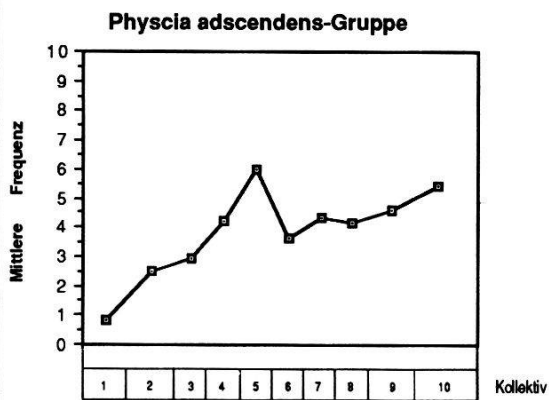
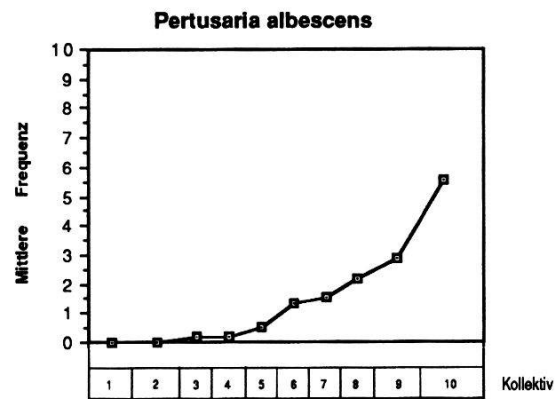
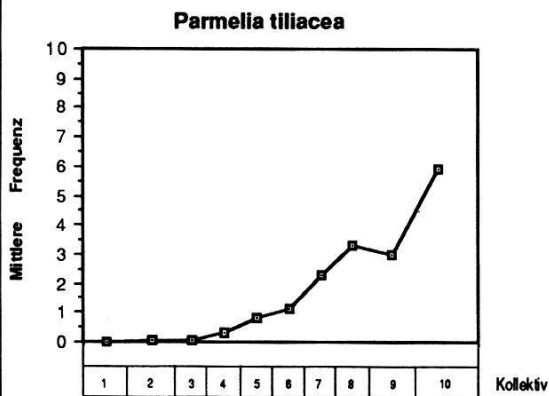
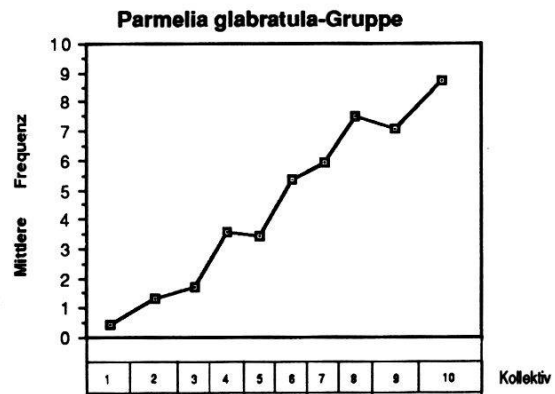
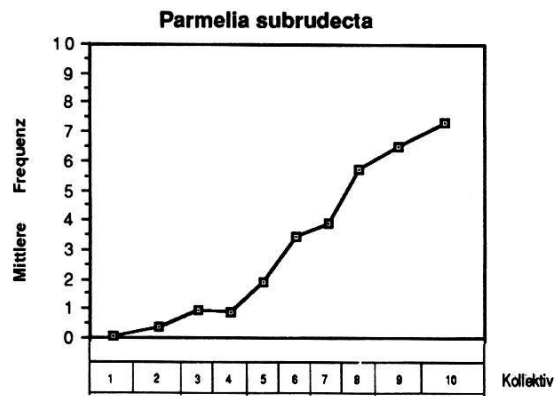


Abb. 9: (diese und nächste Seite): Mittlere Frequenzen ausgewählter Flechtenarten.



Frequenz null, in der lufthygienisch besten Zone weist sie die maximal mögliche Frequenz  $F = 10$  auf.

Der Mittlere Frequenzwert toxitoleranter Arten weist dagegen keine Zunahme mit steigendem IAP18-Wert auf, oft verhalten sie sich sogar gegenläufig: Ihre Mittlere Frequenz sinkt mit zunehmendem IAP18-Wert.

Die Abbildungen 9 enthalten die Mittleren Frequenzen von neun ausgewählten Flechtenarten und -artengruppen. Der Zusammenhang zwischen den fünf Zonen des Wirkungs- und Gesamtimmissionskatasters und den zehn Trägerbaum-Kollektiven ist in Abbildung 9 dargestellt.

Die drei Blatfflechtenarten *Parmelia sulcata*, *P. subrudecta* und *P. glabratula*-Gr. weisen tendenziell das Verhalten idealer Zeigerarten auf (Abb. 9). Bei den tiefsten IAP18-Werten beträgt ihre Mittlere Frequenz annähernd null und steigt dann kontinuierlich an. Den stärksten Anstieg zeigt *Parmelia sulcata*, sie erreicht schon im Kollektiv 4 (obere Hälfte der Inneren Kampfzone) eine Mittlere Frequenz von über 7. Danach steigt die Frequenz nur noch gering aber stetig weiter an und erreicht im letzten Kollektiv beinahe den Maximalwert von 10.

Die Mittlere Frequenz von *Parmelia subrudecta* und *P. glabratula*-Gr. steigt regelmäßiger an, beide erreichen nicht ganz den maximalen Wert von *Parmelia sulcata*. Diese drei Flechtenarten sind relativ unempfindlich gegenüber Luftschadstoffen. Auch bei hohen Belastungen können sie, wenn auch mit verminderter Frequenz, auftreten. Mit ihrem immissionsökologischen Verhalten bilden sie, zusammen mit andern Arten, wichtige und konkurrenzstarke Leitarten der heutigen baumbewohnenden Flechtenvegetation.

Ein etwas anderes Verhalten weisen die Mittleren Frequenzen für die Blatfflechte *Parmelia tiliacea* und die Krustenflechte *Pertusaria albescens* auf (Abb. 9): Ihre Frequenzen beginnen erst ab dem Kollektiv 5 (untere Hälfte der Äußeren Kampfzone) zu steigen, zuvor sind sie kaum von null verschieden. Danach steigen ihre Frequenzen regelmäßig an.

Diese beiden Arten sind deutlich empfindlicher gegenüber Luftverunreinigungen als die drei oben beschriebenen Arten: Ihr Auftreten an den Bäumen zeigt einen deutlichen Schwellenwert. Sie sind deshalb wichtig für die Indikation der wenig belasteten Gebiete, während sie zur Beurteilung von hohen Belastungen kaum einen Beitrag leisten.

Für *Parmelia exasperatula* und die *Physcia adscendens*-Gr. ergibt sich ein wiederum anderes Bild (Abb. 9): Sie erreichen schon in der Äußeren Kampfzone (Kollektive 5 und 6) ihre maximalen Mittleren Frequenzen. Bei weiter steigenden IAP18-Werten bleiben ihre Frequenzen in etwa gleich groß. Es kann vermutet werden, daß diese Arten gegenüber andern Arten weniger konkurrenzstark sind und ihre Frequenzen deshalb nicht weiter ansteigen.

Diese gegen Luftbelastungen recht unempfindlichen Arten sind in erster Linie von Bedeutung für die Indikation von stark belasteten Gebieten.

Als Beispiel einer seltenen Art ist in Abbildung 9 b die Strauchflechte *Ramalina pollinaria* dargestellt. Sie weist durchschnittlich nur sehr geringe Mittlere Frequenzen auf, einzig in der Normalzone steigt der Wert an. Dies deutet die Empfind-

lichkeit dieser Flechtenart an. Obwohl die Art selten auftritt und somit nur einen kleinen Beitrag zum IAP18 liefert, ist ihr Auftreten für die Indikation der am geringsten belasteten Zone wichtig.

Gegenläufiges Verhalten zu allen andern aufgeführten Flechtenarten zeigt die Artengruppe der Krustenflechte *Lecanora conizaeoides* (Abb.9). Sie weist die höchsten Mittleren Frequenzen in der Flechtenwüste auf, ihre Werte nehmen mit steigendem IAP18-Wert ab.

*Lecanora conizaeoides* gilt denn auch als sehr unempfindlich gegenüber Luftverunreinigungen und wird deshalb zur Berechnung des IAP18-Wertes nicht berücksichtigt.

Diese Auswertungen zu den Mittleren Frequenzen zeigen das vielfältige und unterschiedliche immissionsökologische Verhalten der einzelnen Flechtenarten. Hauptverantwortlich dafür sind einerseits die unterschiedliche Empfindlichkeit der Flechtenarten gegenüber Luftverunreinigungen und andererseits die Konkurrenz zwischen den Flechtenarten.

Gerade diese Konkurrenzsituation verunmöglicht es, aufgrund einiger weniger Flechtenarten Rückschlüsse auf die Luftbelastung ziehen zu können. Vielmehr muß die Flechtenvegetation in ihrer Gesamtheit erfaßt werden, so daß Konkurrenzeffekte die Resultate nicht beeinflussen.

Darin liegt einer der Unterschiede zwischen der wissenschaftlichen Methode (Kalibrierte Flechtenindikationsmethode) und der WWF-Methode, welche für die Anwendung in der Schule entwickelt wurde (Flechtenkartierung 1988; WWF/AGB 1989). Die WWF-Methode berücksichtigt nur sechs Flechtenarten und unterscheidet drei Luftgütezonen. Resultate zur Luftbelastung, welche auf der WWF-Methode basieren, dürfen deshalb nicht überinterpretiert werden. Primäre Zielsetzung dieser Methodik ist nicht die Erstellung von exakten Luftgütekarten, sondern die Umwelterziehung.

## 9. Acido-Index

Die einzelnen Flechtenarten unterscheiden sich nicht nur in ihrer Empfindlichkeit gegenüber Luftschadstoffen, sie weisen auch verschiedene ökologische Ansprüche an die Nährstoffverhältnisse und den Untergrund, auf dem sie wachsen, auf.

So bevorzugt beispielsweise die häufige Blatflechte *Hypogymnia physodes* saure und nicht eutrophierte Substrate, während die *Physcia adscendens*-Gruppe eher auf basischer und eutrophierter Unterlage vorkommt.

Aufgrund des Auftretens solch aussagekräftiger Arten lassen sich Rückschlüsse auf den einwirkenden Immissionstyp ziehen: In Gebieten mit häufigem Auftreten von *Hypogymnia physodes* sind saure Immissionen vorherrschend, in Regionen mit viel *Physcia adscendens*-Gr. überwiegen basische Immissionen.

Die Immissionen beeinflussen den pH-Wert des Substrates, dieser seinerseits wirkt sich auf die Flechtenvegetation aus: Das Artenspektrum verschiebt sich in

Richtung acidophiler Arten (saure Immissionen) oder basiphiler Arten (basische Immissionen).

Auf dieser Idee basiert der Acido-Index: Zur Charakterisierung des Immissionstyps in einem Gebiet werden typische Säure- und Basenzeiger einander gegenübergestellt. Als Säurezeiger werden die acidophilen Blattflechten *Hypogymnia physodes*, *Hypogymnia tubulosa*, *Pseudevernia furfuracea*, *Evernia prunastri* und *Parmelia glabratula*-Gr. verwendet. Als Basenzeiger gelten die fünf basiphilen Arten *Xanthoria parietina*, *Physcia orbicularis*-Gr., *Physconia pulverulacea*, *Parmelia subargentifera* und *Physcia adscendens*-Gr.

Die fünf Säurezeiger sind zugleich auch a-nitrophil bis mäßig nitrophil, d. h. sie gedeihen in erster Linie auf nährstoffarmer (nicht eutrophierter) Unterlage. Die fünf Basenzeiger dagegen sind alle nitrophil, sie wachsen vor allem auf nährstoffreicher Unterlage. Die beiden Gruppen charakterisieren die Immission nicht nur in bezug auf den Säuregrad, sondern auch in bezug auf das Nährstoffangebot.

Wie stark sich die beiden Gruppen voneinander unterscheiden, kann anhand einer Cluster-Analyse aufgezeigt werden. Das Dendrogramm in Abbildung 10 zeigt den Cluster über die zehn Arten an allen untersuchten Bäumen im Kanton Aargau (Cluster-Analyse mit Euklidischem Distanzmaß, «complete linkage»).

Das Dendrogramm teilt das Artenkollektiv in die zwei Gruppen der Säure- bzw. Basenzeiger auf, wie sie zur Berechnung des Acido-Index verwendet werden.

Der Acido-Index wurde gegenüber den Untersuchungen im Kanton Luzern 1989 (URECH *et al.* 1990) weiterentwickelt und normiert auf der Basis von über 3000 Flechtenerhebungen; diese beiden Untersuchungen können deshalb nur relativ und nicht absolut miteinander verglichen werden.

Zur Berechnung des Acido-Indexes werden je die Frequenzwerte der beiden Flechten-Fünfergruppen an jedem Trägerbaum addiert. Die Frequenzwerte der

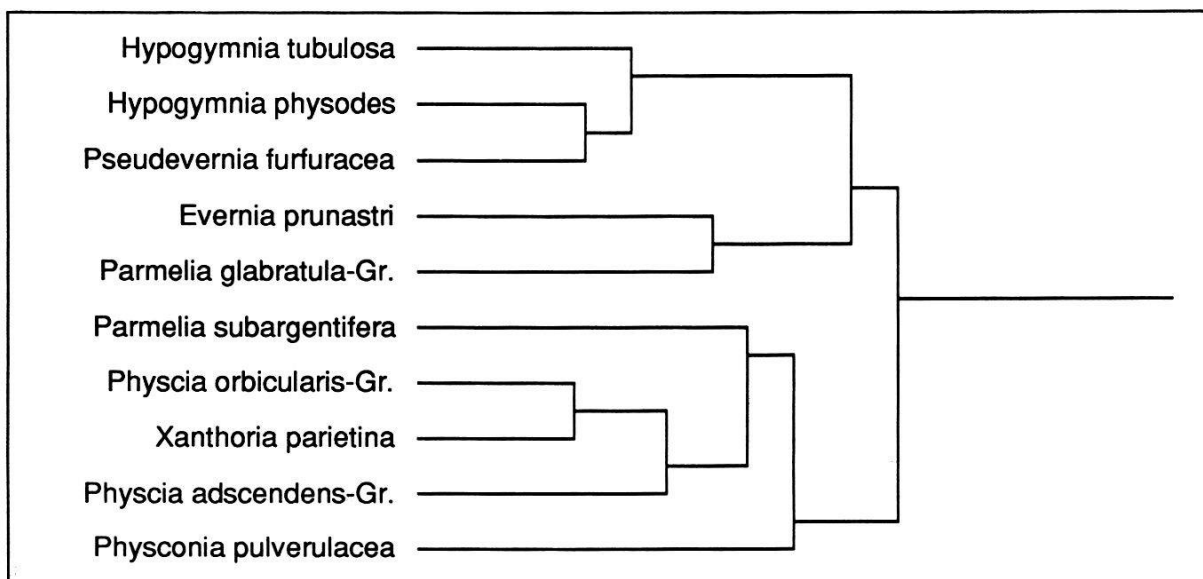


Abb. 10: Cluster-Analyse über 10 Flechtenarten, welche zur Berechnung des Acido-Index verwendet werden.



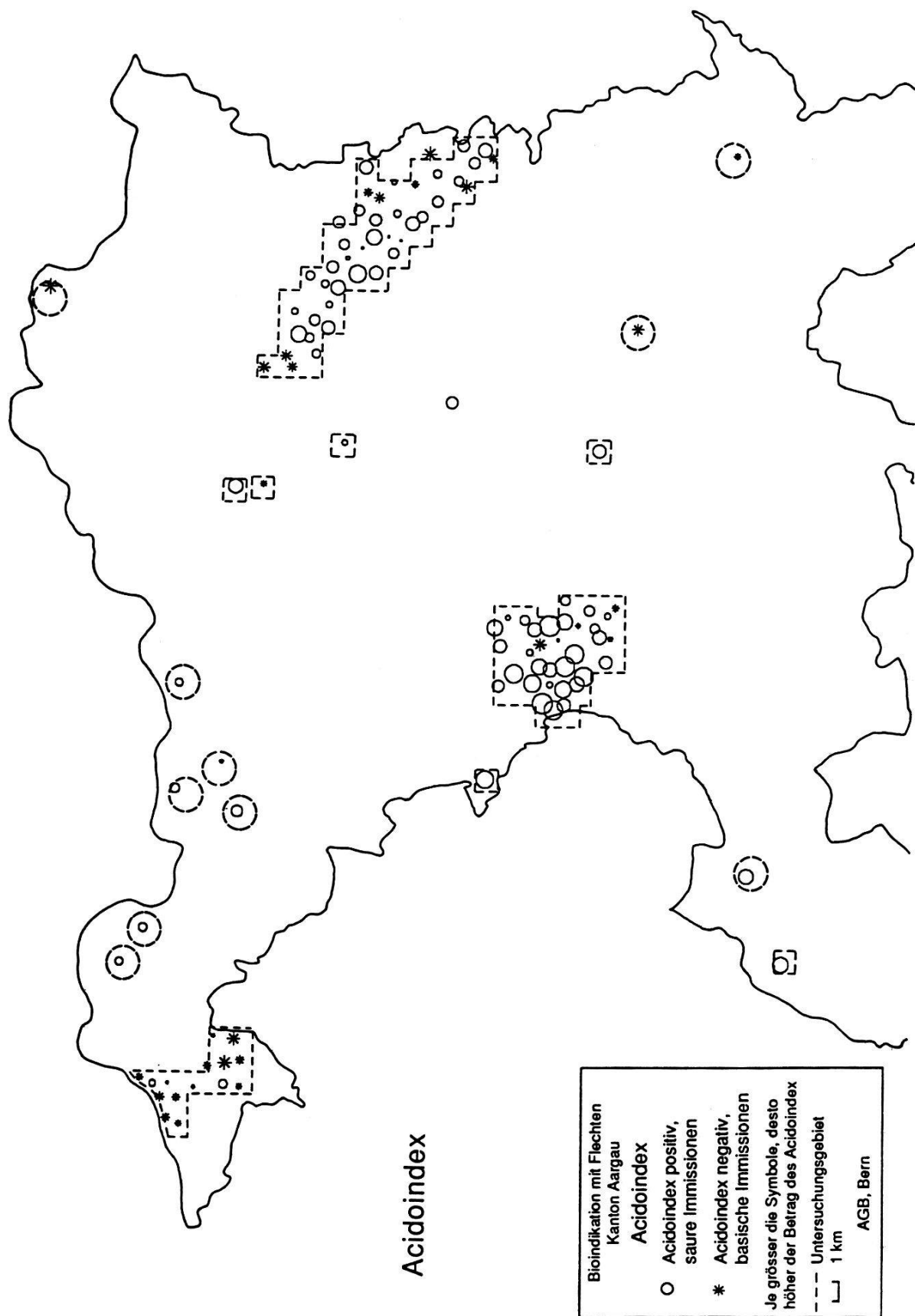


Abb. 11: Acido-Index im Kanton Aargau.

beiden häufigen Artengruppen *Physcia adscendens* und *Parmelia glabratula* werden dabei nur halb gezählt.

Die Frequenzsumme der basiphilen Arten wird anschließend von der Frequenzsumme der acidophilen Arten subtrahiert.

Treten mehr acidophile Flechtenarten auf, so wird der Acido-Index positiv, treten mehr basiphile Arten auf, wird er negativ.

Der Acido-Index liefert qualitative Anhaltspunkte über den Immissionstyp in einer Region: Bei positivem Vorzeichen überwiegen eher saure Immissionen, bei negativem Vorzeichen eher basische Immissionen.

In den Untersuchungsgebieten des Kantons Aargau wurde für jeden Trägerbaum der Acido-Index berechnet. Die Abbildung 11 enthält den mittleren Acido-Index der Trägerbäume pro Georaum (Kollektiv von fünf Trägerbäumen in geographisch homogener Raumeinheit).

Positive Vorzeichen (saure Immissionen) sind als Kreise abgebildet, negative Vorzeichen (basische Immissionen) als Sterne.

Je größer die Symbole, desto stärker positiv bzw. negativ sind die Werte. Werte nahe null (kleine Punkte) bedeuten entweder sehr starke Immissionen (alle Frequenzen null, so daß auch der Acido-Index null wird) oder ein Gleichgewicht zwischen den acidophilen und basiphilen Flechtenarten.

Im Kanton Aargau treten überwiegend saure Immissionen auf. Nur in wenigen Regionen dominieren basische Immissionen: Region Rheinfelden-Magden und Region Turgi-Stilli.

Stark überwiegend sind die sauren Immissionen in der Region Aarau und in der Region Baden (große Kreissymbole). Auch die punktuellen Erhebungen in Oftringen, Rothrist, Lenzburg und im Rheintal weisen alle saure Immissionen auf.

Als Hauptbestandteil dieser sauren Immissionen können sicherlich die Schadstoffe  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_x$  (insbesondere deren Säureformen) bezeichnet werden. Diese stammen überwiegend aus dem Verkehr und dem Hausbrand. Deshalb sind in dicht besiedelten Regionen des Untersuchungsgebietes vorwiegend saure Immissionen zu finden.

Aber auch in wenig belasteten Gebieten kann die Flechtenvegetation auf eher saure Immissionen hinweisen. So beispielsweise im Aarauer Schachen, in Obererlinsbach und im Tal südlich der Lägeren.

Basische Immissionen bestehen vorab aus Staub und Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ). Entsprechend zeigen vor allem Gebiete mit basischen Staubemissionen (z. B. Region Turgi-Stilli) und Gebiete mit landwirtschaftlicher Nutzung (z. B. Region Magden) eine von basiphilen Arten dominierte Flechtenvegetation.

## 10. Ausblick

Die Flechtenuntersuchungen im Kanton Aargau stellen Grundlagendaten dar, welche die Beurteilung der aktuellen Luftverschmutzung und deren Auswirkung auf die Flechtenvegetation ermöglichen.

Diese Untersuchungen werden durch weitere Erhebungen im Fricktal mit der Kalibrierten Flechtenindikationsmethode ergänzt, dies aufgrund der Ergebnisse in der Region Rheinfelden und an den Meßstationen Wallbach, Möhlin und Sisseln. Über die Ergebnisse dieser Zusatzuntersuchungen wird im nächsten Mitteilungsband berichtet.

Wichtigste zukünftige Verwendung der vorliegenden Resultate bildet die Langzeitüberwachung der Luftverschmutzung: Durch spätere vergleichende Untersuchungen können flächendeckend und punktuell Veränderungen in der Immissions-situation indiziert werden. Trendentwicklungen der Luftqualität, sowohl Verbesserungen wie Verschlechterungen, können ausgewiesen werden.

Die Wiederholung der Flechtenuntersuchungen ermöglicht insbesondere die Erfolgskontrolle nach der Durchführung emissionssenkender Maßnahmen, wie sie im Rahmen der kantonalen Maßnahmenplanung vorgesehen sind (Baudepartement des Kantons Aargau, 1990).

### **Verdankungen**

Wir danken folgenden Personen, welche mit ihrem Einsatz, ihren Anregungen und ihrem Wissen zum Gelingen dieser Untersuchung beigetragen haben:

- Dem Auftraggeber Herrn Dr. Ph. Baltzer, Leiter der Sektion Luft, Abteilung Umweltschutz des Aargauer Baudepartements
- Herrn Dr. R. Maurer, Leiter der Sektion Natur und Landschaft, Abteilung Landschaft und Gewässer des Aargauer Baudepartements, welcher die vorliegende Publikation ermöglichte
- Frau Dr. M. Macher, Frau E. Wildi und Frau Ch. Keller für die Mitarbeit bei der Kartierung, bei der Datenauswertung und bei der Bestimmung schwieriger Flechtenproben
- Allen MitarbeiterInnen der AGB

### **Literatur**

- ARNDT, U., NOBEL, W., SCHWEIZER, B., 1987: Bioindikatoren: Möglichkeiten, Grenzen und neue Erkenntnisse. Stuttgart, Ulmer Verlag.
- AGB, 1989: Flechtenuntersuchungen im Kanton Luzern, Teilprojekt B: Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung. Schlußbericht. Kantonales Amt für Umweltschutz Luzern.
- AGB, 1990 a: Bioindikation mit Flechten in der Stadt Winterthur. Teilprojekt B: Kalibrierte Flechtenindikationsmethode in der Stadt Winterthur. Schlußbericht. Beauftragter für Umweltschutz und Energie der Stadt Winterthur.
- AGB, 1990 b: Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung im Kanton Nidwalden. Untersuchungen 1989. Amt für Umweltschutz Nidwalden.
- AGB, 1991 a: Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten in der Stadt Bern. Schlußbericht. Stadt Bern, Amt für Umweltschutz und Lebensmittelkontrolle.
- AGB, 1991 b: Flechtenuntersuchungen in Wohlen AG. Schlußbericht. Gemeinde Wohlen AG.
- Baudepartement des Kantons Aargau, 1990: Entwurf zum Maßnahmenplan Luftreinhaltung.

- EDI (Eidgenössisches Departement des Innern), 1983: Umweltschutzgesetz (USG) vom 7. Oktober 1983. EDMZ, Bern.
- EDI (Eidgenössisches Departement des Innern), 1986: Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 16. 12. 1985. EDMZ, Bern.
- FREY, E., 1960: Beitrag zur Flechtenflora des Schweizer Mittellandes mit besonderer Berücksichtigung des Aargaus. – Verhandl. des Schweiz. Naturforsch. Gesell., Wissenschaftl. Teil 140: 121–124.
- HERZIG, R., LIEBENDÖRFER, L., URECH, M., 1985: Flechten als biologische Indikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz: NFP 14 – Methodenentwicklung in der Region Biel-Seeland. Systematisch-Geobotanisches Institut der Universität Bern.
- HERZIG, R., LIEBENDÖRFER, L., URECH, M., 1987: Flechten als biologische Indikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz: Methoden-Evaluation und Eichung mit wichtigen Luftschadstoffen. – VDI-Berichte 609, 619–639.
- JÜRGING, P., 1975: Epiphytische Flechten als Bioindikatoren der Luftverunreinigung. – Bibliotheca Lichenologica, Hrsg. J. Cramer, Vaduz, Band 4.
- LIEBENDÖRFER, L., HERZIG, R., URECH, M., 1988: Evaluation und Kalibrierung der Schweizer Flechten-Indikationsmethode mit wichtigen Luftschadstoffen. Staub-Reinhaltung der Luft, 48, 1988, 233–238.
- THÖNI, L., PETER, K., HERTZ, J., BÄCHTOLD, H. G., 1989: Ökologische Planung: Ergebnisse der Fallstudie Bündner Rheintal. Erfassung der Immissionssituation einer Region als Grundlage für die Raumplanung. ORL-Berichte 76, vdf Zürich.
- URECH, M., HERZIG, R., AMMANN, K., 1989, NFP 14: Flechten als biologische Indikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz – Schlußbericht: Integriertes biologisches Meßsystem der Luftverschmutzung für das Schweizer Mittelland. – Systematisch-Geobotanisches Institut der Universität Bern.
- URECH, M., PETER, K., LIEBENDÖRFER, L., HERZIG, R., AGB, 1990: Bioindikation mit Flechten im Kanton Luzern. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern 31: 219–232.
- WIRTH, V., 1980: Flechtenflora. – Unitaschenbücher UTB 1062. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- WWF/AGB, 1989: Schüler/innen untersuchen Flechten als Zeiger der Luftqualität. Ergebnisse des WWF-Projektes Flechtenkartierung 1988. WWF-Umwelterziehung Nr. 1982.

Adresse der Autoren:

AGB

Arbeitsgemeinschaft für Bioindikation, Umweltbeobachtung  
und ökologische Planung  
Mühlemattstraße 31  
3007 Bern