

Zeitschrift: Aarauer Neujahrsblätter
Herausgeber: Ortsbürgergemeinde Aarau
Band: 89 (2015)

Artikel: Wie sauber ist die Luft in Aarau?
Autor: Ehrensperger, Peter / Wullschleger, Benno
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-559353>

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: 15.01.2026

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

Wie sauber ist die Luft in Aarau?

In den Jahren 1999 bis 2011 wurde die Luftqualität von Aarau und Umgebung im Rahmen des praktischen Biologieunterrichts an der Neuen Kantonsschule Aarau (NKSA) mittels einfacher Flechtenkartierungsmethoden untersucht. Daran waren mehrere Arbeitsgruppen mit insgesamt 232 Schülerinnen und Schülern der NKSA beteiligt, die an 19 verschiedenen Standorten in Aarau, Rohr und Buchs AG das Vorkommen der wichtigsten Flechten untersucht haben. Die Resultate haben wir mit den Erhebungen verglichen, die der Kanton Aargau für Aarau und Umgebung 1989 und als Erfolgskontrolle 2006 in Auftrag gegeben hatte. Neben vielen Übereinstimmungen mit den früheren Flechtenkartierungen konnten wir an einigen Standorten Verbesserungen der Luftqualität erkennen.

Einleitung

Als in den 1980er-Jahren die Diskussionen und Debatten um das sogenannte Waldsterben vor allem in Deutschland und in der Schweiz den politischen Alltag mitbestimmten, wurden viele mögliche Ursachen für das Absterben einzelner Bäume beziehungsweise ganzer Baumgruppen genannt. Nebst der Bodenbeschaffenheit, dem Giftstoffeintrag oder der Trockenheit wurde bald die mit Schadstoffen (Schwefeldioxid SO₂, Stickstoffoxide NO_x, Kohlenmonoxid CO, Kohlendioxid CO₂, Ozon O₃ sowie Feinstaub) belastete Luft als wichtige oder gar als *die* Hauptursache erkannt. Schockierende Bilder von völlig zerstörten Waldgebieten aus dem ost-deutschen und tschechischen Erzgebirge gingen damals um die Welt. Diese Wälder standen mehr oder weniger im «Abluftzug» veralteter Kohlekraftwerke, die grosse Mengen an SO₂, NO₂, CO, CO₂ und Russteilchen an die Luft abgaben. Da die Laubblätter wie die Nadeln der Bäume bei den wichtigen biologischen Vorgängen der Fotosynthese und Zellatmung einen regen Gasaustausch (O₂ und CO₂) mit der Umgebungsluft unterhalten, lag natürlich die starke

Luftverschmutzung als Hauptursache für das Absterben der Bäume in diesen Gebieten auf der Hand. Als Reaktion auf diese Erkenntnisse erliess in unserem Land der Bundesrat die Luftreinhalte-Verordnung (LRV), die am 1. März 1986 in Kraft trat und unter anderem die höchstzulässige Belastung der Luft (Immissionsgrenzwerte) regelt.¹ Dadurch konnten die Kantone verpflichtet werden, den Schadstoffausstoss in Gebieten mit übermässiger

Die Kantone konnten verpflichtet werden, den Schadstoffausstoss in Gebieten mit übermässiger Luftbelastung zu begrenzen und Sanierungskonzepte auszuarbeiten.

Luftbelastung zu begrenzen und Sanierungskonzepte auszuarbeiten. So entstanden im Aargau erstmals 1991 Massnahmenpläne zur Luftreinhaltung, die 2002 und 2009 überarbeitet wurden.²

Schon 1866 wies der finnische Botaniker, Zoologe und Arzt William Nylander, ein hervorragender Flechtenkenner, darauf hin, dass

zwischen der SO₂-Belastung der Luft und dem Flechtenwachstum ein Zusammenhang besteht.³ In der Folge wurden bereits im 19. Jahrhundert erste Flechtenkartierungen durchgeführt.⁴ 1979–1994 hat man im deutschen Landkreis Reutlingen alle fünf Jahre Flechtenkartierungen auf der Borkenoberfläche von Apfelbäumen erstellt.⁵ Ähnliche Untersuchungen wurden auch im Staat Bayern sowie in Österreich unternommen, und es zeigte sich immer mehr, dass die

Bereits im 19. Jahrhundert wurden erste Flechtenkartierungen durchgeführt.

Flechten besonders gute Bioindikatoren darstellen, die gleichsam wie «lebendige Messinstrumente» den Zustand der Luft in den Agglomerationen sichtbar machen.

Flechten sind eigentliche Doppelwesen, bestehend aus Pilz und Algen, die miteinander in Symbiose leben. In der Schweiz kommen 1679, weltweit über 20 000 verschiedene Flechtenarten vor, deren Haupterscheinung, also die Wuchsform, durch den Pilz bestimmt wird.⁶ Die einzelligen Algen werden erst im mikroskopischen Schnitt erkennbar. Sie sind sehr klein (durchschnittlich etwa 3–5 µm), in der Regel kugelig und kommen in der oberen, dem Licht zugewandten Hälfte des Flechtenkörpers, der sogenannten Algenschicht, vor (Abb. 1–4). Über die Fotosynthese produzieren sie aus CO₂ und Wasser im Licht Sauerstoff und Traubenzucker, der dem Pilz als willkommene Nahrungs- und Energiequelle dient. Der Pilz seinerseits bietet den Algen einen geschützten Lebensraum mit genügend Feuchtigkeit und notwendigen Nährsalzen, die dem Substrat (Baumrinde, Äste, Steine und so weiter) oder den mit dem Regen aus der Luft zugeführten Substanzen entnommen werden.

Flechten sind ausdauernd und sehr langlebig (bis mehrere Tausend Jahre). Sie überstehen extreme Lebensbedingungen, weil sie schnell in einen Zustand latenten Lebens, in eine Art «Scheintod», übergehen können. Bei Trockenheit verliert die Flechte in kürzester Zeit den grössten Teil ihres Wassers. Atmung und Fotosynthese werden dann ganz eingestellt. Gewisse Flechtenarten können im Laborversuch die Kälte von –196° C und eine Hitze von +100° C ertragen. Krustenflechten auf Felsenunterlage vermögen monatelang in ausgetrocknetem Zustand zu überleben. Sie können aus feuchter Luft oder vom morgendlichen Tau rasch genug Wasser aufnehmen, um wieder mit den Lebensfunktionen wie Fotosynthese zu beginnen.⁷ Flechten sind nicht in der Lage, ihren Wasserhaushalt selber zu regulieren. Sie sind wechselfeuchte Organismen, das heisst, ihr Wassergehalt richtet sich nach der Feuchtigkeit der Umgebung. Aus all diesen Gründen kann man leicht verstehen, dass Flechten auf Verschmutzungen der Luft empfindlich reagieren und sie deshalb als Bioindikatoren für die Anzeige der Luftqualität sehr geeignet sind.⁸

Gewisse Flechtenarten können im Laborversuch die Kälte von -196° C und eine Hitze von +100° C ertragen. Krustenflechten auf Felsenunterlage vermögen monatelang in ausgetrocknetem Zustand zu überleben.

Da Flechten mit etwas Übung sicher bestimmt werden können, startete der WWF Schweiz 1988 mit über 100 Schulklassen eine grosse Flechtenkartierung in der Schweiz zwischen Boden- und Genfersee. Die breit angelegte Untersuchung von sechs Zeiger-Flechten an ausgewählten Baumstämmen ermöglichte es, einen



1



2

Luftgütewert zu ermitteln.⁹ Die vom WWF Schweiz für Schulen vorgeschlagene¹⁰ und die drei von Weber verbesserten Methoden zur Untersuchung der Luftqualität¹¹ waren ein sehr willkommenes und anschauliches Beispiel für den praktischen Biologieunterricht an der Kantonsschule, denn die Schülerinnen und Schüler liessen sich leicht zu selbständigem Arbeiten anleiten und wegen des Bezugs zur Aktualität auch sehr gut engagieren. Dies zeigte sich auch an manchen Gymnasien Deutschlands¹² sowie in den schriftlichen Feedbacks unserer NKSA-Schülerinnen und Schüler.

Material und Methoden

Die Schülerinnen und Schüler arbeiteten in Zweier- oder Dreiergruppen an verschiedenen, von den Lehrern vorgegebenen Standorten (Zonen Z1–Z19) in Aarau, Rohr und Buchs nach den von Weber (1991) beschriebenen drei Flechtenkartierungsmethoden. Als Resultat erhielten sie für ihren Standort eine der vier Luftgüteklassen, wobei rot hohe, gelb mittlere, grün geringe und blau sehr geringe Luftbelastung bedeutet. Im Biologieunterricht waren je nach Klassenstufe die folgenden drei Untersuchungsmethoden anwendbar:

Mithilfe der Herstellung von Schnittpräparaten untersuchten und zeichneten die Schülerinnen und Schüler den mikroskopischen Feinbau des Flechtenkörpers.

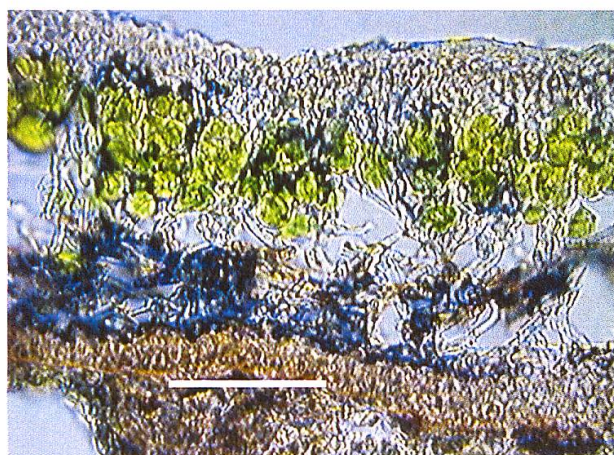
Methode 1: Grobbeurteilung der Luftqualität aufgrund des Vorkommens von vier verschiedenen Flechtenwuchsformen auf der Borke von Laubbäumen, nämlich Krustenflechten, Blattflechten, Strauchflechten oder Bartflechten (Abb. 5–8).

1 Blattflechte (hier eine Lindenflechte) auf Lindenborke. Vergleichsstrecke oben rechts der Mitte = 2 cm.

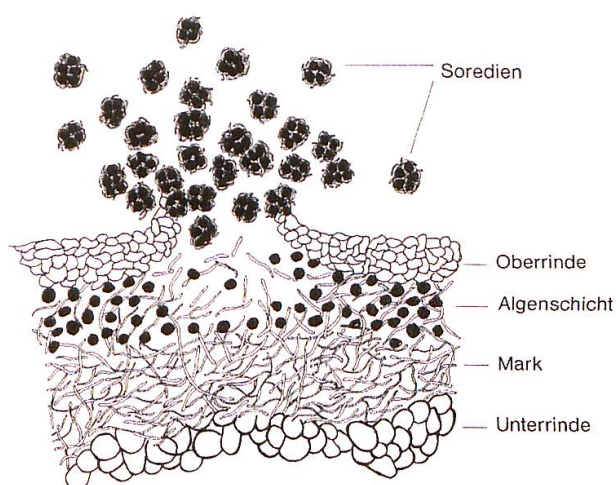
2 Blattflechte im Querschnitt. Die grüne Schicht besteht aus kugeligen Grünalgen. Stereomikroskop, Vergrößerung ca. 40 ×, Vergleichsstrecke = 2 mm.

3 Blattflechtenquerschnitt im Lichtmikroskop. Man erkennt die obere (helle) und die untere (bräunliche) Rindenschicht, kugelige Grünalgen und die Pilzfäden der Marksicht. Vergrößerung 400 ×, Vergleichsstrecke = 20 µm.

4 Schematischer Aufbau des Flechtenkörpers. Soredien sind die ungeschlechtlichen Fortpflanzungseinheiten, bestehend aus einigen Algen, die von Pilzfäden (Hyphen) umgeben sind (nach: Moberg, R., Holmasen, I. (1992): Flechten von Nord- und Mitteleuropa – ein Bestimmungsbuch).



3



4

Methode 2: Abschätzung der Luftqualität aufgrund des Flechtenbedeckungsgrads und des Vorkommens der erwähnten vier Flechtentypen auf Baumstämmen von ausgewählten Laubbaumarten (Linde, Spitzahorn, Esche und Eiche). Dabei wird eine Stichprobenfläche mithilfe eines Stichprobenrings (Abb. 10) auf dem Stamm der Flechtenträgerbäume bestimmt und die darin vorkommenden vier Flechtentypen nach ihrem prozentualen Bedeckungsgrad abgeschätzt.

Methode 3: Bestimmung der Luftqualität aufgrund der Häufigkeit von sechs Zeiger-Flechtenarten (Abb. 9) auf Stämmen von ausgewählten Laubbaumarten (Linde, Spitzahorn, Esche und Eiche). Die Stichprobenflächen werden mithilfe

eines genau definierten Flechtenzählrahmens begrenzt. Dabei wird der Flechtenzählrahmen mit zehn Testflächen am Stamm der Flechtenträgerbäume auf der flechtenreichsten Seite angebracht (Abb. 11). Für jede Zeiger-Flechte wird gezählt, in wie vielen der zehn Testflächen sie vorkommt. Das ergibt für jede Zeiger-Flechte einen Flechtenfrequenzwert von minimal 0 bis maximal 10. Alle Flechtenfrequenzwerte der sechs Zeiger-Flechten ergeben zusammen die Flechtenfrequenzsumme. Der Mittelwert der Flechtenfrequenzsummen aus allen Stichprobenflächen wird dann in eine Tabelle eingetragen (Tab. 1), wobei Mittelwerte von 0–12 hohe Luftbelastung, 12–24 mittlere, >24 geringe bis sehr geringe Luftbelastung bedeuten.¹³ An Standorten, bei denen nicht alle typischen Flechtenträgerbäume vorkamen, wurden als weitere Trägerbäume auch Nussbaum, Bergahorn, Ulme und Rosskastanie verwendet.¹⁴ Die Standorte in Aarau und Umgebung wurden in Grenzgebieten unterschiedlicher Luftgüteklassen¹⁵ und vor allem an verkehrsreichen Strassen gewählt, denn der motorisierte Verkehr gilt als eine Hauptquelle der Schadstoffemission. Deshalb führten wir als Ergänzung zu unseren Flechtenkartierungen Verkehrszählungen durch

Sogar bei der verkehrsreichen Schiffflände- und Mühlemattstrasse konnte eine Verbesserung der Luftqualität festgestellt werden.

und ermittelten an denselben Standorten Z1–Z19 zu verschiedenen Tageszeiten die Verkehrsfrequenz, vorwiegend zu Zeiten grossen Verkehrsaufkommens (Tab. 2).

In den ersten Praktikumsstunden wurden die Schülerinnen und Schüler in der Formenkenntnis über einheimische Bäume und Sträucher geschult, damit sie auch wirklich die richtigen



5



6



7



8

5 Krustenflechten auf Granitgestein, daneben trockene braune Lärchennadeln als Grössenvergleich.

6 Blattflechte: Lindenflechte auf Lindenborke, die 1cm lange Ameise unterhalb der Mitte dient als Grössenvergleich.

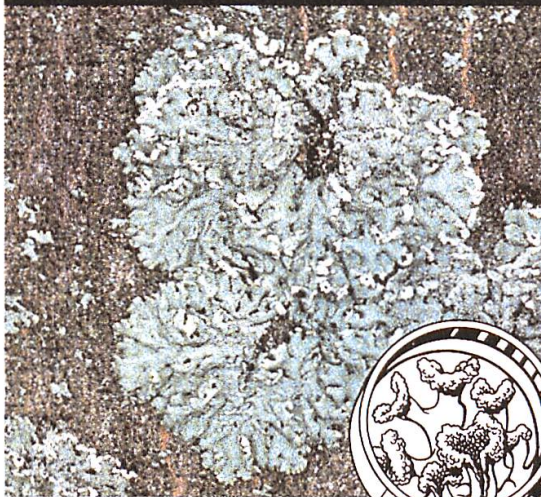
7 Strauchflechte: Die Pflaumenflechte, umgeben von vielen Blattflechten (hier Runzelflechten) und Krustenflechten (hier die Graupulverflechte), auf Eichenborke.

8 Eine 9 cm lange Bartflechte auf Eichenborke beim NKSA-Parkplatz.

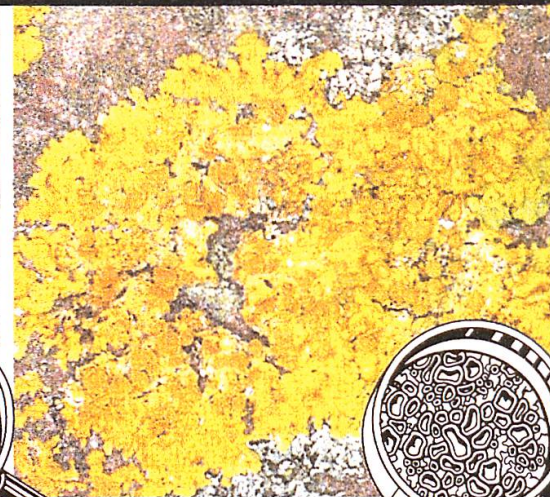
Hypogymnia physodes

Xanthoria parietina

Blasenflechte



Gelbblatrflechte



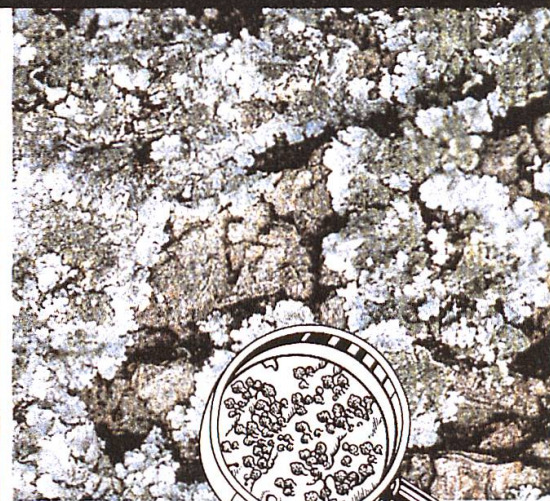
Parmelia sulcata

Parmelia tiliacea

Runzelflechte



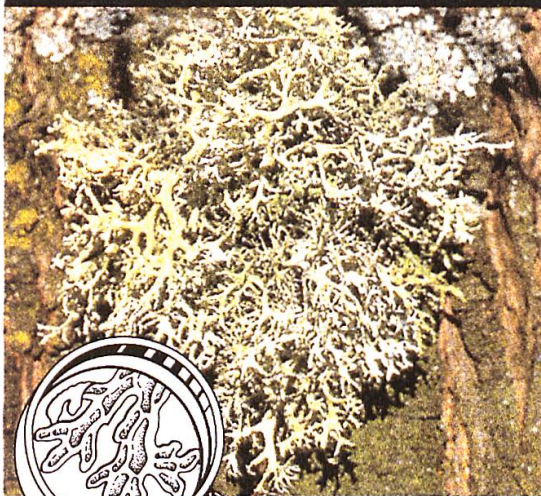
Lindenflechte



Evernia prunastri

Candelariella xanthostigma

Pflaumenflechte



Gelbpulverflechte





10



11

Flechtenträgerbäume an ihren vorgegebenen Standorten auswählen konnten. In einem weiteren Praktikum wurden verschiedene Flechtentkörper studiert und die Wuchsformen bestimmt. Mithilfe der Herstellung von Schnittpreparaten untersuchten und zeichneten wir den mikroskopischen Feinbau des Flechtentkörpers. Die sechs Zeiger-Flechten (Abb. 9) wurden so genauer unter die Lupe genommen.

9 Die sechs Zeiger-Flechten: Blasenflechte, Gelbblatflechte, Runzelflechte, Lindenflechte, Pflaumenflechte und Gelbpulverflechte, nach WWF-Standardmethode, Liebendörfer et al. 1993.

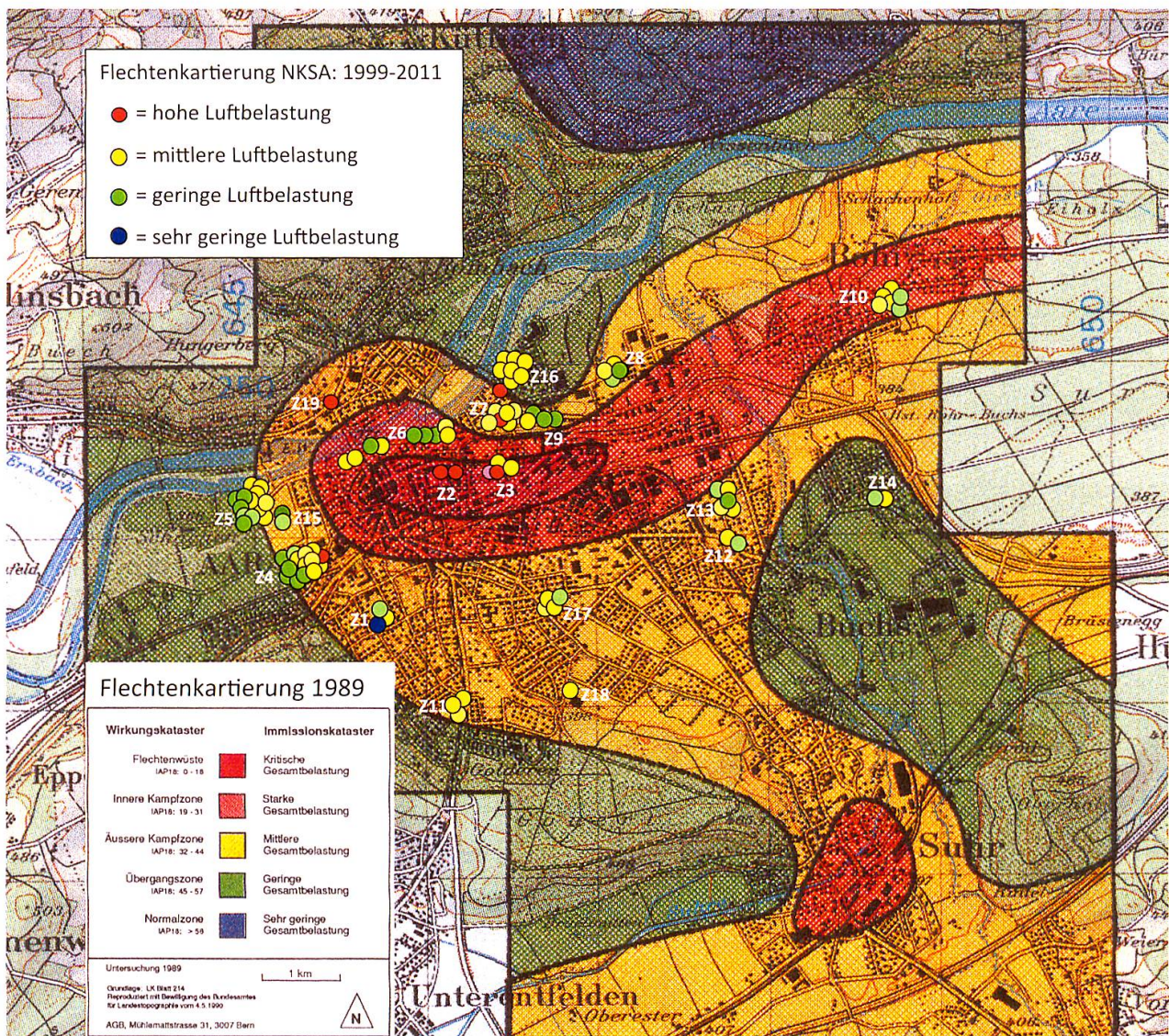
10 Stichprobenring aus Karton, Innendurchmesser: 18 cm (Weber 1991).

11 Flechtenzählrahmen, mit zehn Feldern, deren Flächen je 300 cm² beträgt, nach Weber 1991.

Resultate

Die aus unseren Beobachtungen an 19 verschiedenen Standorten ermittelten Luftqualitäten haben wir in der Tabelle 1 (Z1–Z19) zusammengefasst und als farbige Punkte – entsprechend ihrer Luftgüte – in die Abbildungen 12 und 13 eingefügt. Dabei sehen wir, dass sich die Luftqualität in den letzten 10–13 Jahren verändert und erfreulicherweise an manchen Orten zum Guten entwickelt hat.

Unsere NKSA-Untersuchungen mittels der drei einfachen, von Weber (1991) beschriebenen Flechtenuntersuchungsmethoden zeigten an vielen Standorten Übereinstimmung mit den früheren Erhebungen, die mit der kalibrierten Flechtenindikationsmethode¹⁶ im Auftrag des Kantons Aargau durchgeführt wurden. An zwei Standorten ergaben sich *negative Abweichungen*, das heisst Verschlechterungen (Z19: Nordseite Kettenbrücke bis Kreisel Erlinsbacherstrasse/Küttigerstrasse sowie im Gebiet Z16: Maienzugstrasse/Römerstrasse/Philosophenweg). Wir konnten aber im Vergleich zur Flechtenkartierung 1989¹⁷ auch *positive Veränderungen*, das heisst *Verbesserungen der Luftqualität* feststellen, nämlich an mindestens vier Standorten (Z1: NKSA-Schulareal Schanzmättelistrasse, Z6: Schifflande- und Mühlemattstrasse, Z9: Weihermattstrasse und Z10: Gemeindehaus/Schulareal in Rohr). Und gegenüber der Nachkontrolle von 2006¹⁸ hat sich die Luftqualität sogar an sechs Standorten verbessert (siehe Abb. 14).



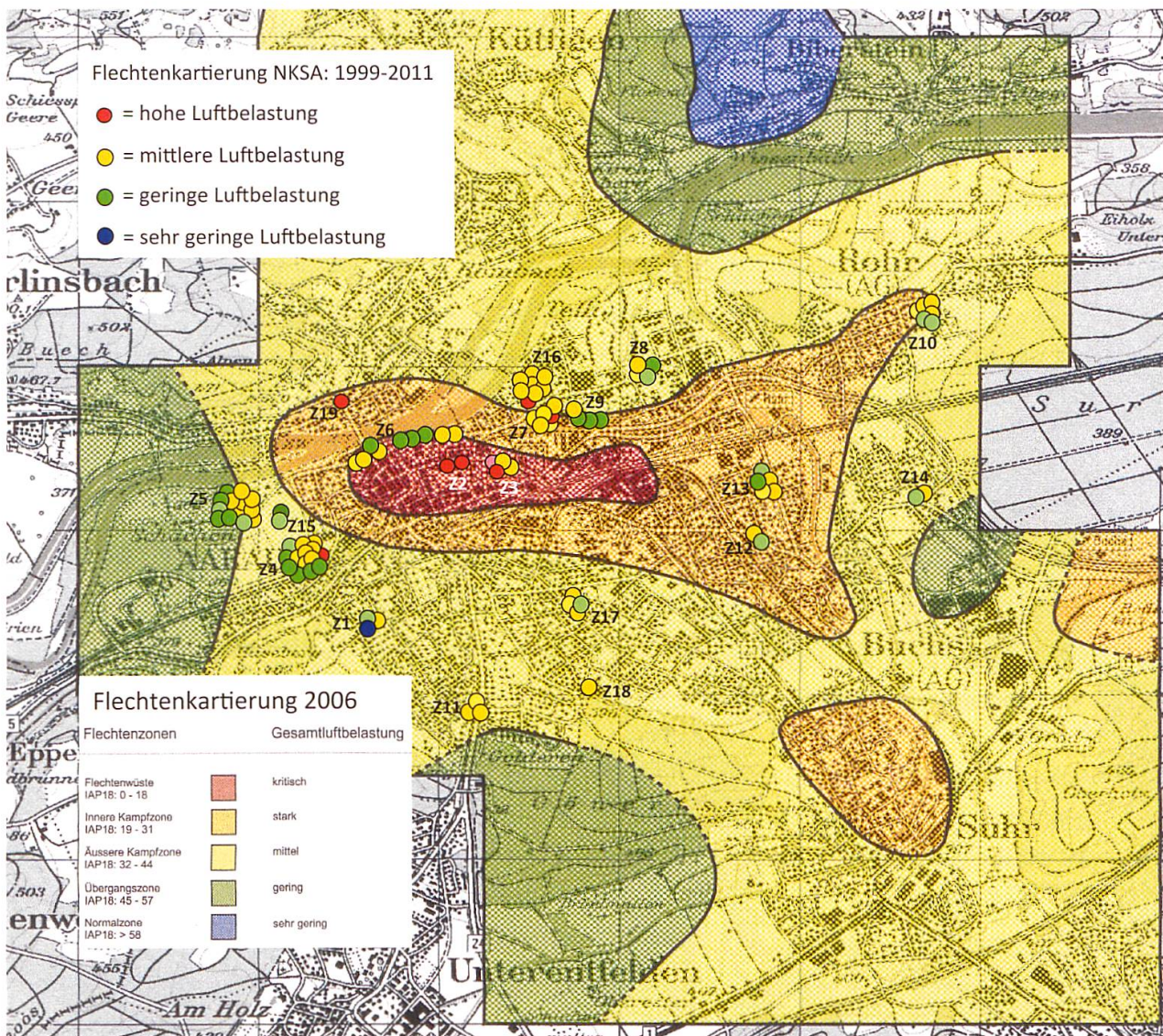
12

Diskussion

Die drei von Weber (1991) beschriebenen Flechtenkartierungsmethoden sind im praktischen Biologieunterricht gut anwendbar. Sie ergeben im Vergleich zur sogenannten kalibrierten Indikationsmethode¹⁹ erstaunlich gute und vergleichbare Resultate. Wenn Schülergruppen alle drei Methoden anwandten, wurden die Analysen stets in der Reihenfolge Methode 1, dann Methode 2 und zuletzt Methode 3 ausgeführt. Meist zeigten alle drei Methoden dasselbe Resultat (dieselbe Farbe), sechs Mal veränderte sich allerdings das Resultat ins Bessere, zum Beispiel von gelb zu grün,

vier Mal aber auch ins Schlechtere, zum Beispiel von gelb zu rot. Die Methode 3 ist die genaueste, da hier die Flechten sowohl qualitativ als auch quantitativ erfasst werden. Sie entspricht am besten der kalibrierten Indikationsmethode. Der höchste Frequenzsummen-Mittelwert von

¹² Luftgütekarte der Flechtenkartierung von 1989, aus Urech et al. 1990 und 1991, darin eingetragen sind die Resultate unserer NKSA-Erhebungen in der Zeit von 1999–2011 (rote, gelbe, grüne, blaue Punkte, die etwas helleren Punkte beruhen auf der Untersuchung mittels der Flechtenkartierungsmethode 1 oder 2, die dunkleren mittels der Methode 3, Zahlenwerte siehe Tab. 1).

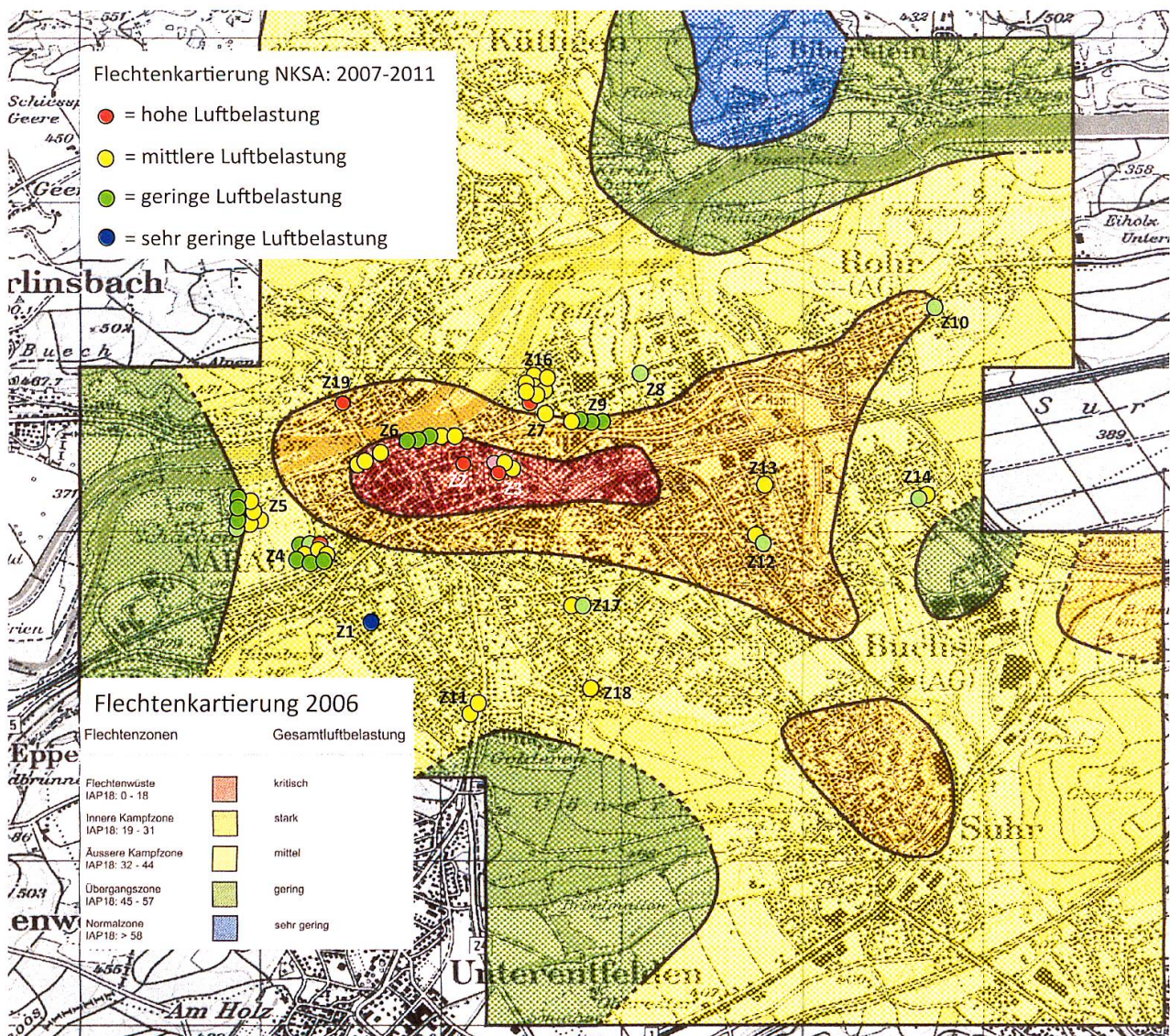


13

33 wurde 1999 von einer Arbeitsgruppe bei den Bäumen im Aarauer Schachen am sogenannten Chrutwäje-Standort ermittelt, wo auch ein grösserer Abstand (rund 100–400 m und mehr) zum Verkehrsgeschehen auf der Allmendwegstrasse besteht. Der Tabelle 2 können wir ent-

13 Luftgütekarte aus der Flechtenkartierung als Erfolgskontrolle 2006, aus Urech 2007, darin eingetragen sind die Resultate unserer NKSA-Erhebungen in der Zeit von 1999–2011 (rote, gelbe, grüne, blaue Punkte, die etwas helleren Punkte beruhen auf der Untersuchung mittels der Flechtenkartierungsmethode 1 oder 2, die dunkleren mittels der Methode 3, Zahlenwerte siehe Tab. 1).

nehmen, dass sogar bei der verkehrsreichen Schifflande- und Mühlemattstrasse (bis über 2000 Fahrzeuge, davon rund 90 Prozent PWs und 10 Prozent LKWs pro Stunde) eine Verbesserung der Luftqualität festgestellt werden konnte. Ebenso fanden wir im Gemeinde- und Schulhausareal in Rohr eine Verbesserung der Luftqualität gegenüber 1989, wo unsere letzte Untersuchung 2008 mit den Methoden 1 und 2 sogar die Farbe Grün ergab, weil hier einige Strauchflechten vorkamen. Diese Verbesserung der Luftqualität dürfte vermutlich in Zusammenhang mit der wegen der Eröffnung des Autobahnzubringers T5 erfolgten Verkehrsreduk-



14

tion und mit der 1999 in Betrieb genommenen DeNox-Anlage der Kehrlichtverbrennungsanlage Buchs stehen. Erfreulich ist auch die Verbesserung der Luftqualität im Schulareal der NKSA, wo neuerdings sogar Bartflechten gefunden werden können (Abb. 8). Gemäss Methode 1 ergibt das einen Wert im blauen Bereich, also eine sehr geringe Luftbelastung. Hier sind die Flechtenträgerbäume noch relativ jung. Bei der Neugestaltung der Umgebung als Folge der Erstellung des Neubaus im Jahr 1989 wurden auf dem Parkplatzareal der NKSA etwa zehnjährige Eichen gepflanzt, die heute bereits einen über 95 Zentimeter grossen Stammumfang haben und

einen beachtlichen Flechtenbewuchs zeigen. Es fiel uns auch auf, dass jüngere Bäume oft einen intensiveren und vielfältigeren Flechtenbewuchs aufweisen als ältere Bäume, wohl weil hier bei alten und grossen Bäumen längere, zum Teil

14 Luftgütekarte der Flechtenkartierung als Erfolgskontrolle 2006, aus Urech 2007, darin eingetragen sind nur die Resultate unserer NKSA-Erhebungen in der Zeit von 2007–2011 (rote, gelbe, grüne, blaue Punkte). Dadurch werden die seit 2006 eingetretenen Verbesserungen der Luftqualität erkennbar (Z1: NKSA-Areal Schanzmättelstrasse, Z4: Schachenalle bis Allmendwegstrasse, Z6: Schiffländestrasse, Z9: Weihermattstrasse, Z10: Schulhausareal Rohr, Z12: Mitteldorfstrasse in Buchs).

herunterhängende Äste den für das Flechtenwachstum wichtigen Lichtzutritt behindern.

Betrachten wir noch einmal die Resultate der früheren Flechtenkartierungen,²⁰ so werfen unsere NKSA-Untersuchungen noch einige Fragen auf: Wir waren bestrebt, einige Standorte an Luftgütegrenzlinien zu untersuchen, und konnten dabei solche Grenzen bestätigen (Abb. 12: Standort Z5 Schwimmbadstrasse bis LA-Station). Umgekehrt aber müsste heute die gelbgrüne Grenze am Standort Z4 (Schachenallee bis Allmendweg) weiter östlich liegen. Und die südliche «Ausbuchtung» der grünen Zone im Bereich Z16 (Maienzugstrasse/Römerstrasse/Philosophenweg) deckt sich nicht mit unseren Resultaten. Wäre da die grün-gelbe Grenze weiter nördlich gezogen worden, würden unsere Befunde die Resultate von 1989 bestätigen und nicht eine Verschlechterung der Luftqualität markieren. Es stellt sich daher die Frage, wie präzise solche Luftgütekarten überhaupt sind. Die grösste Differenz unserer Resultate zur Luftgütekarte von 1989 aber stellten wir im roten Bereich fest, in der hohen bis kritischen Gesamtbelastung (Aarau Stadtzentrum bis Rohr), wo wir elf Resultate im gelben und sechs Resultate im grünen Bereich erhielten (Abb. 12). Den Begriff der «Flechtenwüste», der nach den Flechtenkartierungen von 1989 und 2006 für die

Ein eigentliches SO₂-Problem der Luft gibt es heute kaum mehr.

Aarauer Innenstadt gelten soll,²¹ stellen wir infrage, nur schon deswegen, weil hier gar nicht alle notwendigen Flechtenträgebäume in genügender Anzahl vorhanden sind. Hier hat es vor allem Häuser, Plätze, Strassen und wenig geeignete Bäume, also wenige Flächen, die als Flechtensubstrat dienen können.

Zum Schluss wollen wir noch erwähnen, dass seit jener heftigen Debatte um die Luftqualität von 1983 – man spricht heute nicht mehr von «Waldsterben», sondern von «neuartigen Waldschäden» – sich sehr vieles zum Guten gewendet hat: Die Erfindung und der Einbau des Katalysators in Automobilen und LKWs, die Verwendung von bleifreiem Benzin, die VOC-Lenkungsabgabe,²² die Entschwefelung des Heizöls, der teure Einbau von Abluftfiltern oder von mehrstufigen Rauchgasreinigungsanlagen in Kehrlichtverbrennungsanlagen und anderes mehr haben sehr dazu beigetragen, dass die Luftqualität wieder besser ist als noch vor 30 Jahren. Ein eigentliches SO₂-Problem der Luft gibt es heute kaum mehr.²³ In Deutschland wurden seit 1990 die SO₂-Emissionen um über 90 Prozent gesenkt. Und in einem Communiqué der Kantonalen Abteilung für Umwelt vom 23. Mai 1995 wurde von positiven Auswirkungen des 1990 in der KVA Turgi erfolgten Einbaus einer Rauchgasreinigungsanlage berichtet.²⁴ Bei einer Wiederholung der Flechtenkartierung von 1989 konnte 1995, also sechs Jahre später, keine «Flechtenwüste» in der Umgebung der KVA Turgi mehr festgestellt werden.²⁵ Das grundsätzlich steigende Verkehrsaufkommen, andere Verkehrsführung (Staffeleleggzubringer) sowie die Anzeichen einer sich verändernden Flechtendiversität aufgrund von Ammoniakemissionen der Verbrennungsmotoren bieten aus wissenschaftlicher Sicht Grund genug, die Flechtenerhebungen fortzusetzen.²⁶ Der faszinierende Doppelorganismus Flechte und die relativ einfache Vermittlung von Freilandbiologie, inklusive das Aufzeigen von Wechselbeziehungen von sich verändernden Umweltfaktoren und Lebewesen, sprechen überdies dafür, das 1999 begonnene Flechtenprojekt weiterzuführen.

Tabelle 1:

Untersuchung der Aarauer Luft mittels Flechtenkartierung durch Schülerinnen und Schüler der NKSA 1999–2011

Jahr	Abteilung	SuS	Meth.	Monat	Resultate																		
					Z 1	Z 2	Z 3	Z 4	Z 5	Z 6	Z 7	Z 8	Z 9	Z 10	Z 11	Z 12	Z 13	Z 14	Z 15	Z 16	Z 17	Z 18	Z 19
1999	M2a	17	1, 2	September																			
1999	P2b	26	1,2,3	November	19,5			18,4	22,3		20,5			17,8			25,4		33,0		15,7		
2003	SPF3CDE	12	1,2,3	Juni				15,0	17,3		7,8	21,0		22,5			20,8						
2003	DMS 3b	19	1	Nov.–Dez.																			
2006	SPF3ABCD	16	1,2,3	Okt.–Nov.		7,2		24,5	25,8	24,9	20,7	23,8		17,3	17,7								
2007	SPF3AB	14	1,2,3	Okt.–Nov.		9,0		24,0	24,2	18,8			29,5							22,5			
2007	SPF3CDE	15	1,2,3	Okt.–Nov.											23,9	22,0	18,0	19,5			19,6	23,3	11,2
2008	F3a	23	1,2	Oktober																			
2008	3. Sbic	3	1,2,3	Aug.–Sept.			3,0																
2008	3. Sbic	11	1,2,3	Aug.–Sept.			14,8	25,8	18,0	18,8										6,5			
2008	3. Sbic	11	1,2,3	Aug.–Sept.			14,0		22,3	25,5			24,3							12,3			
2009	3. Sbic	11	1,2,3	Aug.–Sept.				17,3												17,0			
2009	3. Sbic	11	1,2,3	Aug.–Sept.				22,5		27,0										11,8			
2010	3. Sbic	11	1,2,3	Aug.–Sept.				15,0	24,3	25,0										12,3			
2010	3. Sbic	12	1,2,3	Aug.–Sept.				24,3	23,0											15,0			
2011	3. Sbic	10	1,2,3	Aug.–Sept.				26,0	28,5	14,5			24,7							21,8			
2011	3. Sbic	10	1,2,3	Aug.–Sept.				11,3	18,5	19,3			22,3										
Anzahl SuS		232																					

Hell gefärbte Felder: Resultate aus Methoden 1 und 2
 Die Zahlen in den dunkelfarbigen Feldern entsprechen den
 Frequenzsummenmittelwerten gemäss Methode 3 :

0 bis 12	hohe Luftbelastung
12 bis 24	mittlere Luftbelastung
24 bis 36	geringe Luftbelastung
> 36	sehr geringe Luftbelastung

Felder ohne Zahlen geben die Resultate wieder, die mit der
 Methode 1 oder 2 erarbeitet wurden.

SuS = Schülerinnen und Schüler; Meth.=Kartierungsmethode

Z 1: Aarau: Schulhausareal NKSA, Schanzmättelstrasse

Z 2: Aarau: Stadtzentrum westlich Feerstrasse

Z 3: Aarau: Stadtzentrum östlich Feerstrasse

Z 4: Aarau: Schachenallee bis Allmendweg

Z 5: Aarau: Schwimmbadstrasse bis LA-Stadion

Z 6: Aarau: Schiffländestrasse, Mühlemattstrasse

Z 7: Aarau: Tellstrasse beim Telliring

Z 8: Aarau: Tellstrasse östlich Polizeikaserne

Z 9: Aarau: Weihermattstrasse bis Berufsschule

Tabelle 2:

Untersuchung der Aarauer Luft: Verkehrszählungen durch Schülerinnen und Schüler der NKSA 1999–2011

Jahr	Abteilung	SuS	Monat	Resultate																		
				Z 1	Z 2	Z 3	Z 4	Z 5	Z 6	Z 7	Z 8	Z 9	Z 10	Z 11	Z 12	Z 13	Z 14	Z 15	Z 16	Z 17	Z 18	Z 19
1999	M2a	17	September	180			400	5					660			240		600*		108		
1999	P2b	26	November	203			514	5		2040			611			471		800*		132		
2003	SPF3CDE	12	Juni				386	74		1452	1328		730			457						
2003	DMS 3b	19	Nov.–Dez.				266	17		1112	970		228			224						
2006	SPF3ABCD	16	Okt.–Nov.		1388		1788	26	2409	1452	1378		708	2413								
2007	SPF3AB	14	Okt.–Nov.		893	1041	870	36	2091			197										
2007	SPF3CDE	15	Okt.–Nov.											1364	852	300	1092			162	171	1641
2008	F3a	23	Oktober	72			569	92	1695	1390	1196		782	1834	1248		728			319		
2008	3. Sbic	3	Aug.–Sept.			2032																
2008	3. Sbic	11	Aug.–Sept.				685	45	2147										59			
2008	3. Sbic	11	Aug.–Sept.			1074		10	2160			131							13			
2009	3. Sbic	11	Aug.–Sept.				1164												104			
2009	3. Sbic	11	Aug.–Sept.				1154		1380										10			
2010	3. Sbic	11	Aug.–Sept.				768	4	1836													
2010	3. Sbic	12	Aug.–Sept.				1110	7														
2011	3. Sbic	10	Aug.–Sept.				814	10	1224			44							34			
2011	3. Sbic	10	Aug.–Sept.				1650	5	1185			42										
Anzahl SuS		232	Mittelwert	152	1141	1382	867	26	1792	1489	1218	104	620	1870	1050	338	910	700	44	180	171	1641

Z 10: Aarau: Rohr Kirchweg, Gemeindehaus, Schulareal

Z 11: Aarau: Goldern-, Hans-Hässig-, Entfelderstrasse

Z 12: Buchs: Mitteldorfstrasse

Z 13: Buchs: Gysistrasse, Heinrich-Wehrli-Str.

Z 14: Buchs: Rohrerstrasse Altersheim bis Autobahn

Z 15: Aarau: Schachen Chrutwäje

Z 16: Aarau: Maienzugstr., Römerstr., Philosophenweg

Z 17: Aarau: Bachstrasse, Tellstrasse

Z 18: Suhr: KEBA-Parkplatz und Umgebung

Z 19: Aarau: Erlinsbacherstrasse, Küttigerstrasse

Verkehrszählung Anzahl Fahrzeuge/Stunde, um 8, 14 oder 17

Uhr für 5–15 Minuten gezählt und dann auf 60 Min. extrapoliert

Felder ohne Zahlen: Keine Verkehrszählung durchgeführt

* Verkehr im Abstand von ca. 100–400 m

Als Quellengrundlage dienten die 92 zwischen 1999 und 2011 verfassten NKSA-Schülerarbeiten über Flechtenkartierungen in der Region Aarau (bei P.C. Ehrensperger und B. Wullschleger aufbewahrt).

Dr. phil. II Peter Christoph Ehrensperger

war bis 31. Januar 2010 Biologielehrer an der NKSA, er ist pensioniert und lebt in Aarau.

Dr. phil. nat. Benno Wullschleger ist Biologielehrer an der NKSA seit 2005 und lebt in Rothrist.

Dank

Wir bedanken uns bei allen Schülerinnen und Schülern der NKSA, die mit ihrem Einsatz und ihrer gewissenhaften Arbeit die Daten für diese Arbeit generiert haben. Für die kritische Durchsicht und die wertvollen Verbesserungsvorschläge ein herzliches Dankeschön an Martin Tschannen, Francine Ehrensperger und Monika Wullschleger.

Literatur

- Frahm, J.-P. (2008): Überdüngung und Versalzung durch Katalysatoren? *Biologie unserer Zeit*, 2/2008 (38), Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 94-100.
- Liebendörfer, L.; Nagel, U.; Cigler, H. (1988): Flechten... sie leben von Luft und Liebe, *Panda-Magazin* II, 21. Jhg., WWF Schweiz.
- Liebendörfer, L.; Nagel, U.; Cigler, H. (1993): Flechten und Luftverschmutzung – eine Unterrichtshilfe der WWF-Umwelterziehung, WWF-Leserservice Zürich.
- Lüthi, H. (2003): Luftqualität ist wesentlich besser, in: *Mittelland Zeitung* vom 23. 9. 2002, 15.
- Moberg, R.; Holmasen, I. (1992): Flechten von Nord- und Mitteleuropa – ein Bestimmungsbuch, Gustav Fischer-Verlag.
- Reckel, S.; Löschner, M.; Stock, M. (1999): Flechten als Anzeiger der Luftqualität, *Biologie in unserer Zeit*, 6/1999 (29), Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 364-370.
- Scheidegger, C. (2009): Biologie der Langsamkeit, *Ornis* 6/09, 4-10.
- Scheidegger, C.; Stofer, S. (2009): Flechten im Wald: Vielfalt, Monitoring und Erhaltung, *Forum für Wissen* 2009, 39-50, WSL Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf.
- Schenk, M. (2005): Luftbelastung im Kanton Aargau, *Umwelt Aargau*, 30, 15-20.
- Schenk, M. (2007): Flechten geben Auskunft über die Luftqualität, *Umwelt Aargau*, 37, 33f.
- Urech, M. (2007): Flechten und Luftqualität in der Region Aarau: Erfolgskontrolle 2006, im Auftrag des Kantons Aargau, Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung für Umwelt.
- Urech, M.; Guyer, C.; Liebendörfer, L.; Macher, M.; Wildi, E. (1990): Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung im Kanton Aargau, *Untersuchungen* 1989, Baudepartement des Kantons Aargau.
- Urech, M.; Guyer, C.; Liebendörfer, L. (1991): Flechten als Bioindikatoren im Kanton Aargau, in: *Mitt. Aarg. Naturf. Ges.* Bd XXXIII, 1991, Sauerländer Aarau, 153-174.
- Urech, M.; Schär, I.; Dietrich, M.; Senn, C. (2004): Flechten und Luftqualität im westlichen Limmattal: Erfolgskontrolle 2003, im Auftrag des Kantons Aargau, Baudepartement, Abteilung für Umwelt.
- Weber, K. (1991): *Bio-Indikation*, Lehrmittelverlag des Kantons Zürich, 46-67 (Kapitel Luft).

Anmerkungen

- 1 Schweizerische Eidgenossenschaft, Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985 (Stand am 15. 7. 2010): <http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19850321/index.html> (29. 6. 2014).
- 2 https://www.ag.ch/media/kanton_aargau/bvu/dokumente_2/umwelt_natur_landschaft/umweltschutzmassnahmen_1/luftreinhaltung_3/afu_massnahmenplan_luft_2009.pdf (4. 7. 2014).
- 3 http://de.wikipedia.org/wiki/William_Nylander (17. 6. 2014), Hinweis auf Nylander, W. (1866): Les lichens du Jardin du Luxembourg. Bull. Soc. Fr. 13, 364–372.
- 4 Wolkinger, F. (1977): Die Stadt als künstliches Ökosystem, online verfügbar unter: http://www.landesmuseum.at/pdf_frei_remote/MONO-LAND-OEKO_MLO5_0009-0040.pdf (17. 6. 2014).
- 5 Grüninger et al. (1979–1994): Flechten und Luftqualität. Luftqualität in Freiräumen und Verdichtungsräumen, angezeigt durch Rindenflechten. Reutlingen. Online verfügbar unter: http://www.uni-tuebingen.de/geography/project/gis_alb/flechten/methode.htm (17. 6. 2014).
- 6 Scheidegger 2009; Scheidegger/Stofer 2009, online verfügbar unter: <http://www.wsl.ch/dienstleistungen/publikationen/pdf/9806.pdf> (22. 7. 2014).
- 7 Scheidegger 2009.
- 8 Reckel/Löschner/Stock 1999.
- 9 Liebendörfer/Nagel/Cigler 1988.
- 10 Ebd.; Liebendörfer/Nagel/Cigler 1993.
- 11 Weber 1991.
- 12 Reckel/Löschner/Stock 1999.
- 13 Text zum Teil aus Weber 1991 zitiert.
- 14 Reckel/Löschner/Stock 1999.
- 15 Urech/Guyer/Liebendörfer/Macher/Wildi 1990; Urech/Guyer/Liebendörfer 1991.
- 16 Urech/Guyer/Liebendörfer/Macher/Wildi 1990: IAP18-Werte = Flechtenindex, Index of Atmospheric Purity.
- 17 Urech/Guyer/Liebendörfer/Macher/Wildi 1990; Urech/Guyer/Liebendörfer 1991.
- 18 Urech 2007.
- 19 Urech/Guyer/Liebendörfer/Macher/Wildi 1990; Urech/Guyer/Liebendörfer 1991; Urech 2007.
- 20 Urech/Guyer/Liebendörfer/Macher/Wildi 1990; Urech/Guyer/Liebendörfer 1991; Urech 2007.
- 21 Schenk 2007.
- 22 VOC ist die Abkürzung des englischen Begriffs «volatile organic compounds», er bezeichnet eine Vielzahl von «flüchtigen organischen Verbindungen». Schenk 2007.
- 23 Persönliche Mitteilung von M. Schenk, Kant. Abt. für Umwelt, Luftreinhaltung.
- 24 Lüthi 2003.
- 25 Urech/Schär/Dietrich/Senn 2004; Schenk 2005.
- 26 Schenk 2007; Frahm 2008.