Zeitschrift: Mitteilungen der aargauischen Naturforschenden Gesellschaft

Herausgeber: Aargauische Naturforschende Gesellschaft

Band: 38 (2016)

Artikel: Kantonsschülerinnen und Kantonsschüler untersuchen die Luftqualität von Aarau und Umgebung

Autor: Ehrensperger, Peter C. / Wullschleger, Benno

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-675295

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: 08.07.2025

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

PETER C. EHRENSPERGER UND BENNO WULLSCHLEGER

Kantonsschülerinnen und Kantonsschüler untersuchen die Luftqualität von Aarau und Umgebung

(Resultate aus 16 Jahren Arbeit: Artikel der Aarauer Neujahrsblätter 2015 erweitert und ergänzt)

Abstract

During the years 1999 to 2015, the air quality of Aarau and the surrounding area was examined within the practical biology lessons at the Neue Kantonsschule Aarau (NKSA) using simple lichen mapping methods (EHRENSPERGER & WULLSCHLEGER, 2014). Several research groups were involved and resulted in a total of 277 pupils from the school investigating the occurrence of important lichens at 19 different locations in Aarau, Rohr and Buchs AG. We have compared the results to the surveys that the Canton of Aargau commissioned for Aarau and surrounding area in 1989 and as a performance review in 2006. Besides many similarities with the earlier mapping lichens, we have seen *improvements in air quality* at some sites.

Zusammenfassung

In den Jahren 1999 bis 2015 wurde die Luftqualität von Aarau und Umgebung im Rahmen des praktischen Biologieunterrichts an der Neuen Kantonsschule Aarau (NKSA) mittels einfacher Flechtenkartierungsmethoden untersucht (EHRENSPERGER & WULLSCHLEGER, 2014). Daran waren mehrere Arbeitsgruppen mit insgesamt 277 Schülern[1] 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.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 50
2. Material und Methoden 55
3. Resultate 57
4. Vom Kanton Aargau und der Stadt Aarau gemessene Stickstoffdioxidwerte (NO_2) 63
5. Diskussion 67
6. Quellenverzeichnis 69

[1] *Es sind immer beide Geschlechter gemeint*

1. Einleitung

In den achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts beherrschten Debatten um das sog. *Waldsterben* den politischen Alltag, vor allem in Deutschland und in der Schweiz. Dabei wurden viele mögliche Ursachen für das Absterben einzelner Bäume oder ganzer Baumgruppen genannt. Nebst der Bodenbeschaffenheit, dem Giftstoffeintrag oder der Trockenheit wurde bald die mit Schadstoffen (Schwefeldioxid SO_2, Stickstoffoxide NOx, Kohlenmonoxid CO, Kohlendioxid CO_2, Ozon O_3 sowie Feinstaub) belastete Luft als wichtige oder gar als die Hauptursache erkannt. Schockierende Bilder von völlig zerstörten Waldgebieten aus dem ostdeutschen und tschechischen Erzgebirge gingen damals um die Welt. Jene Wälder standen mehr oder weniger im «Abluftzug» veralteter Kohlekraftwerke, welche grosse Mengen an SO_2, NO_2, CO, CO_2 und Feinstaub als 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 (O_2 und CO_2) 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 heute die Belastung der Luft *(Emissionsgrenzwerte)* regelt (1). Dadurch konnten die Kantone verpflichtet werden, den Schadstoffausstoss in Gebieten mit übermässiger Luftbelastung zu begrenzen und Sanierungskonzepte auszuarbeiten. So entstanden im Aargau erstmals 1991 *Massnahmenpläne zur Luftreinhaltung*, die 2002 und 2009 überarbeitet wurden (2).

Der finnische Botaniker, Zoologe und Arzt William NYLANDER, ein für damals hervorragender Flechtenkenner, wies schon 1866 darauf hin, dass zwischen der SO_2-Belastung der Luft und dem Flechtenwachstum ein Zusammenhang bestehe (3). In der Folge wurden bereits im 19. Jh. erste Flechtenkartierungen durchgeführt (4). 1979–94 hat man im deutschen Landkreis Reutlingen alle 5 Jahre Flechtenkartierungen auf der Borkenoberfläche von Apfelbäumen erstellt (5). Ähnliche Untersuchungen wurden auch im Staate Bayern sowie in Österreich vorgenommen, und es zeigte sich immer mehr, dass die 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 verschiedene Flechten-Arten vor, weltweit über 20 000 (SCHEIDEGGER, 2009; SCHEIDEGGER & STOFER, 2009), deren Haupterscheinung, also die Wuchsform, durch den Pilz bestimmt wird. Damit er sich am Substrat festhalten kann, bildet dieser an seiner Unterseite bisweilen kräftige *Rhizinen,* die vor allem bei Blatt- und Strauchflechten als Haftorgane dienen (vgl. Abb. 1b und 2a). Die einzelligen Algen werden erst im mikroskopischen Schnitt erkennbar. Sie sind sehr klein (ca. 5–15 µm im Ø), in der Regel kugelig und kommen in der oberen, der Licht zugewandten Hälfte des Flechten-

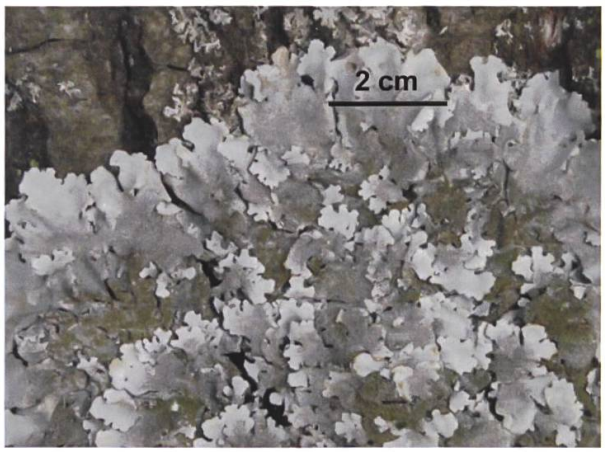


Abb. 1a: Blattflechte (hier die Lindenflechte, *Parmelia tiliacea*) auf Lindenborke.

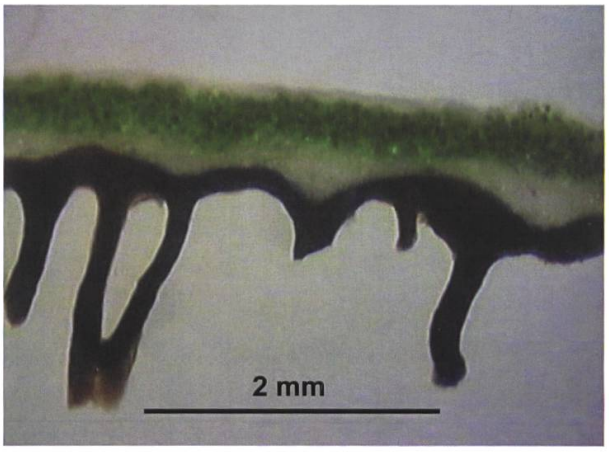
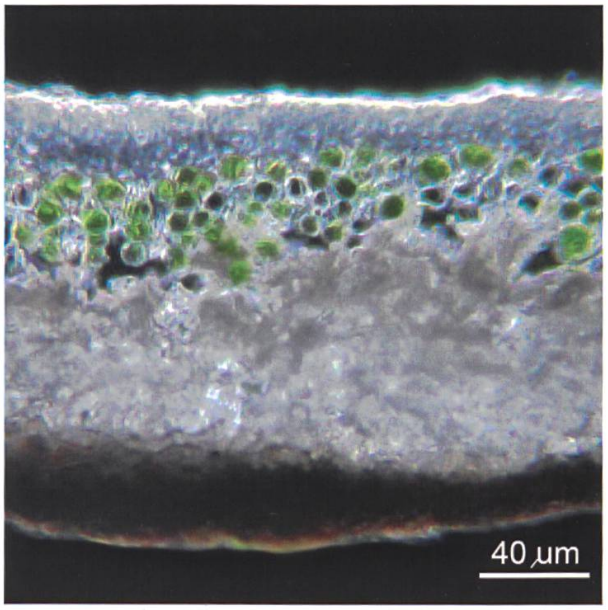


Abb. 1b: Blattflechte im Querschnitt, gut erkennbar sind die grüne Algenschicht sowie die dunkle Unterrinde mit den kräftigen *Rhizinen*, Stereomikroskop, Vergrösserung ca. 40-fach.



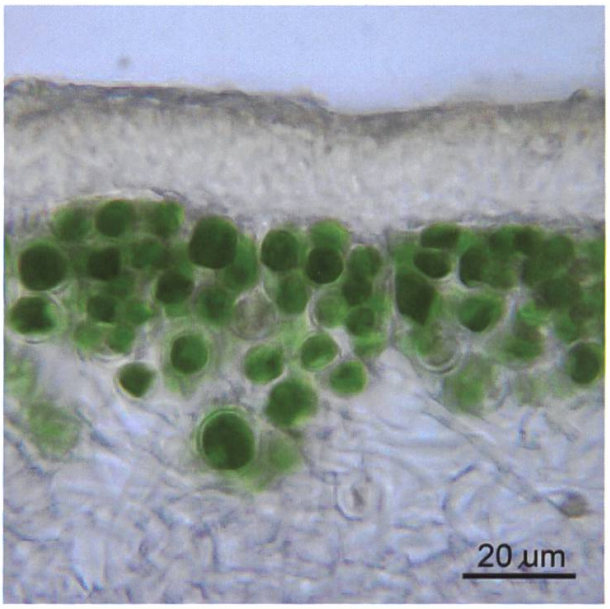


Abb. 1c: Handschnitte durch den *Parmelia*-Flechtenkörper im Lichtmikroskop, die den einfachen Aufbau zeigen: Links von oben nach unten die Oberrinde (hell), die Algenschicht, das Mark und die Unterrinde (dunkel); die stärkere Vergrösserung rechts zeigt die in der Algenschicht gut erkennbaren kugeligen Grünalgen, umgeben von Pilzfäden *(Hyphen)*, Fotos B. Erb & R. Foelix.

körpers, der sog. Algenschicht, vor (Abb. 1b, c; 2a, b). Die kugeligen Grünalgen der meisten Flechten werden der Gattung *Trebouxia* zugeordnet (MOBERG & HOLMASEN, 1992). Im Licht produzieren sie mittels der Fotosynthese aus CO_2 und Wasser 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 etc.) oder den mit Regen oder Wind aus der Luft zugeführten Substanzen entnommen werden. Flechten sind ausdauernd und sollen sehr

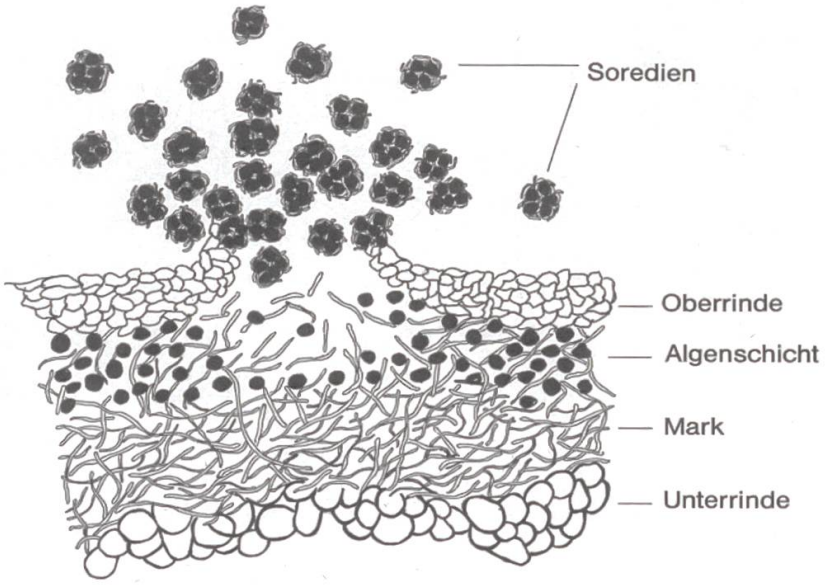


Abb. 1d: Schematischer Aufbau des Flechtenkörpers, *Soredien* sind die ungeschlechtlichen Fortpflanzungseinheiten, bestehend aus einigen Algen, die von *Hyphen* umgeben sind, (nach MOBERG und HOLMASEN, 1992).

langlebig sein, bis mehrere 1000 Jahre alt (6). 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. Zellatmung und Fotosynthese werden dann ganz eingestellt. Gewisse Flechtenarten können im Laborversuch Kälte von –196° C und Hitze von +100° C ertragen. Krustenflechten auf Felsunterlage überleben monatelang in ausgetrocknetem Zustand. Sie können aus feuchter Luft oder vom morgendlichen Tau rasch genug Wasser aufnehmen, um wieder mit den Lebensfunktionen wie Fotosynthese und Zellatmung zu beginnen (SCHEIDEGGER, 2009). Flechten sind nicht in der Lage, ihren Wasserhaushalt selber zu regulieren. Sie sind eben wechselfeuchte Organismen, d. h. 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 (RECKEL *et al.,* 1999). 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 6 Zeigerflechten an ausgewählten Baumstämmen ermöglichte es, einen Luftgütewert zu ermitteln (LIEBENDÖRFER *et al.,* 1988). Die vom WWF Schweiz für Schulen vorgeschlagene (LIEBENDÖRFER *et al.,*1988, 1993) und die drei von WEBER verbesserten Methoden zur Untersuchung der Luftqualität (WEBER, 1991) waren ein sehr willkommenes und anschauliches Beispiel für den praktischen Biologieunterricht an der Kantonsschule, denn die Schüler liessen sich leicht für selbstständiges Arbeiten anleiten und wegen des Bezugs zur Aktualität auch sehr gut begeistern. Dies zeigte sich auch an manchen Gymnasien Deutschlands (RECKEL *et al.,* 1999) und der Schweiz (WEYLAND, N., 2009 [7]; EGGENBERGER & RINDERKNECHT, 2001 [8]) sowie aus den schriftlichen Feedbacks unserer NKSA-Schüler.

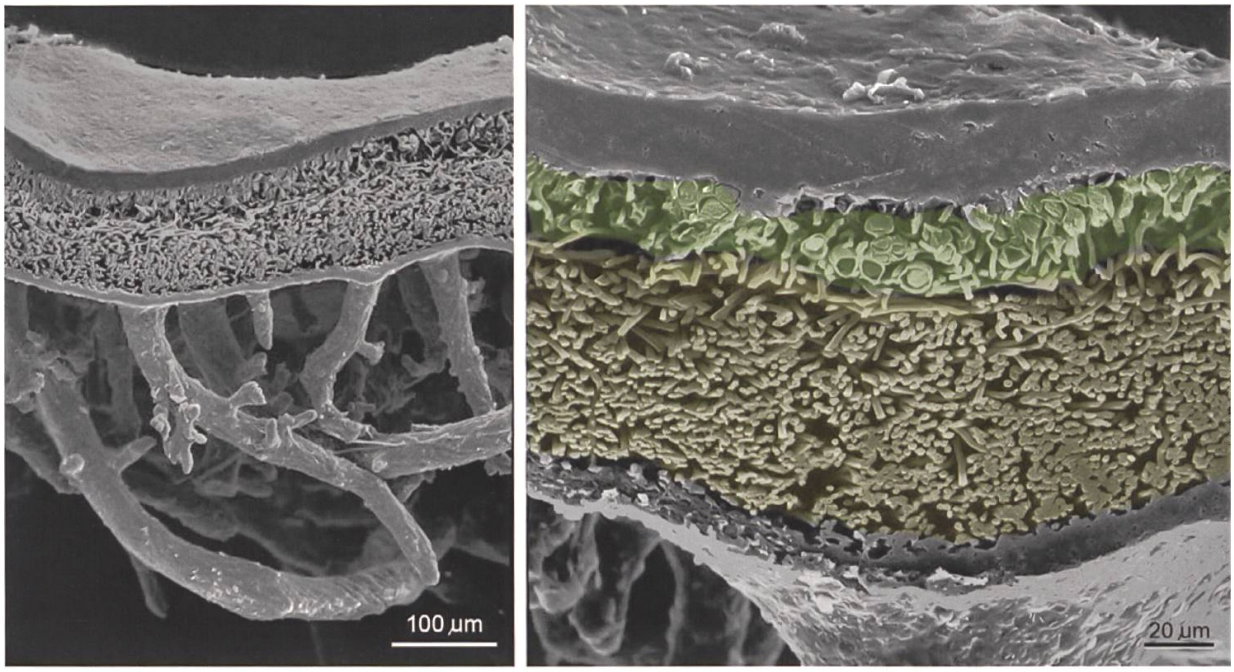


Abb. 2a: Angeschnittener Flechtenkörper *(Parmelia)* im REM: Links erkennt man den typischen Körperbau sowie kräftige *Rhizinen;* rechts stärker vergrössert, mit nachkolorierter Algenschicht (hellgrün) und die *Hyphen* der Markschicht (gelblich), Fotos R. Foelix.

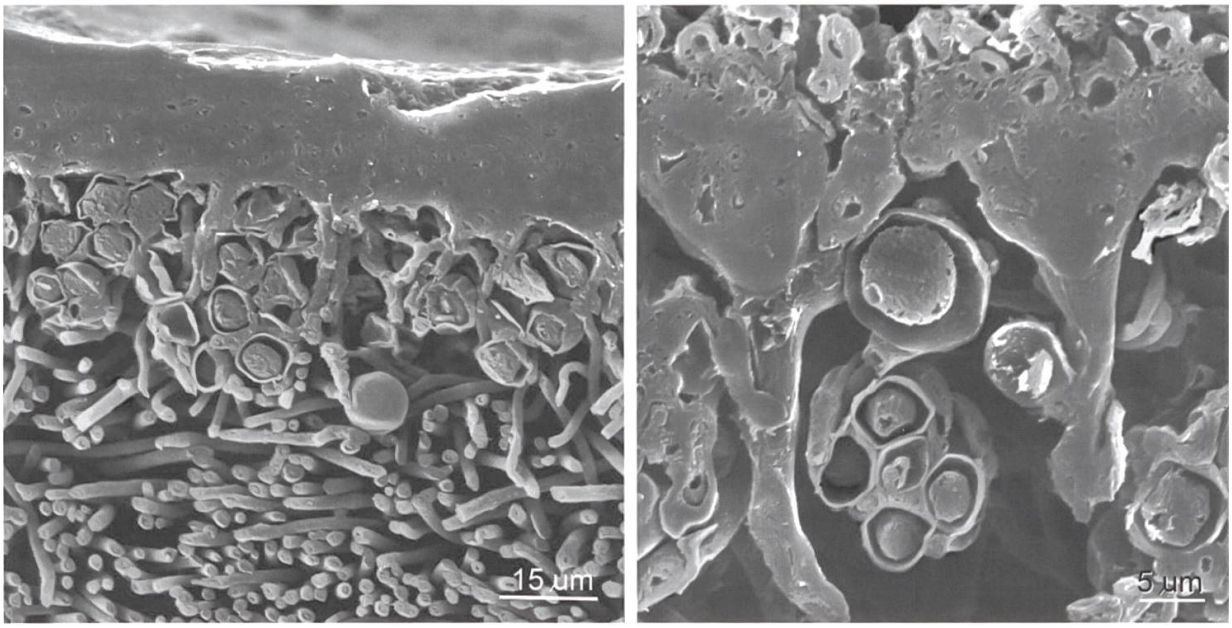


Abb. 2b: Vergrösserter Ausschnitt des Flechtenkörpers *(Parmelia)* im REM: Man erkennt zwischen den *Hyphen* die Zellwände der aufgebrochenen Algenzellen, darin je ein kugelförmiger *Chloroplast,* im linken Bild ist eine Algenzelle rechts der Mitte noch intakt, Fotos R. Foelix.

Abb. 3: Krustenflechten auf Granitgestein, daneben trockene braune Lärchennadeln als Grössenvergleich.

Abb. 4: Blattflechten: Lindenflechte auf Lindenborke, die 1 cm lange Ameise unterhalb der Mitte dient als Grössenvergleich.

Abb. 5: Strauchflechten: Die Pflaumenflechte *Evernia prunastri,* umgeben von vielen Blattflechten (hier Runzelflechten) und Krustenflechten (hier die Graupulverflechte) auf Eichenborke.

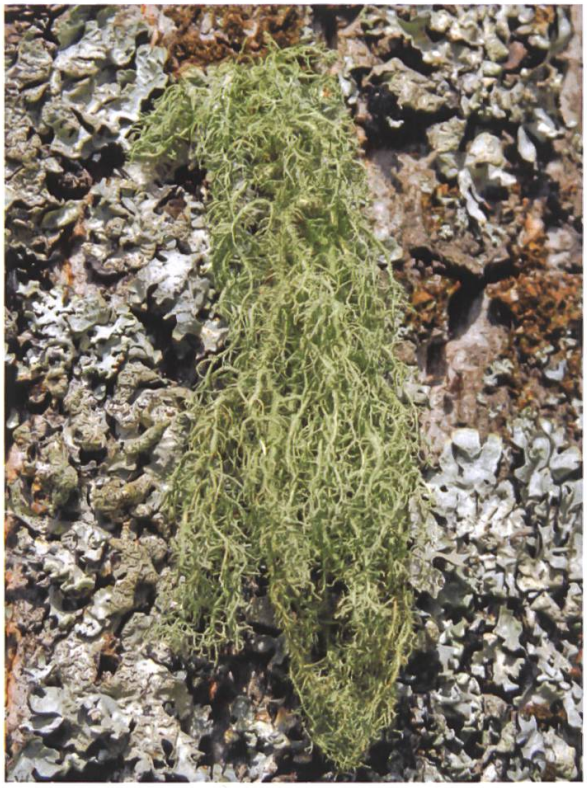


Abb. 6: Eine 9 cm lange Bartflechte *Usnea,* umgeben von vielen Blattflechten auf Eichenborke beim NKSA-Parkplatz.

2. Material und Methoden

Die Schüler arbeiteten in 2er- oder 3er-Gruppen an verschiedenen, von den Lehrern vorgegebenen Standorten (Zonen Z1–19) 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:

Methode 1: Grobbeurteilung der Luftqualität aufgrund des Vorkommens von 4 verschiedenen Flechten-Wuchsformen auf der Borke von Laubbäumen, nämlich Krustenflechten, Blattflechten, Strauchflechten oder Bartflechten (Abb. 3–6).

Abb. 7: Stichprobenring aus Karton, Innendurchmesser = 18 cm (WEBER 1991).

Abb. 8: Flechtenzählrahmen mit 10 Feldern, deren Flächen je 300 cm^2 betragen (nach WEBER 1991).

Methode 2: Abschätzung der Luftqualität aufgrund des Flechten-Bedeckungsgrades und des Vorkommens der erwähnten 4 Flechten-Wuchsformen auf Baumstämmen von ausgewählten Laubbaumarten (Linde, Spitzahorn, Esche und Eiche). Dabei wird eine Stichprobenfläche mit Hilfe eines Stichproben-Ringes (Abb. 7) auf dem Stamm der Flechten-Trägerbäume bestimmt und die darin vorkommenden 4 Flechtentypen nach ihrem prozentualen Bedeckungsgrad abgeschätzt.

Methode 3: Bestimmung der Luftqualität aufgrund der Häufigkeit von 6 Zeiger-Flechtenarten (Abb. 9) auf Stämmen von ausgewählten Laubbaumarten (Linde, Spitzahorn, Esche und Eiche). Die Stichprobenflächen werden mit Hilfe eines genau definierten Flechtenzählrahmens begrenzt. Dabei wird der Flechtenzählrahmen mit 10 Testflächen am Stamm der Flechten-Trägerbäume auf der flechtenreichsten Sei-

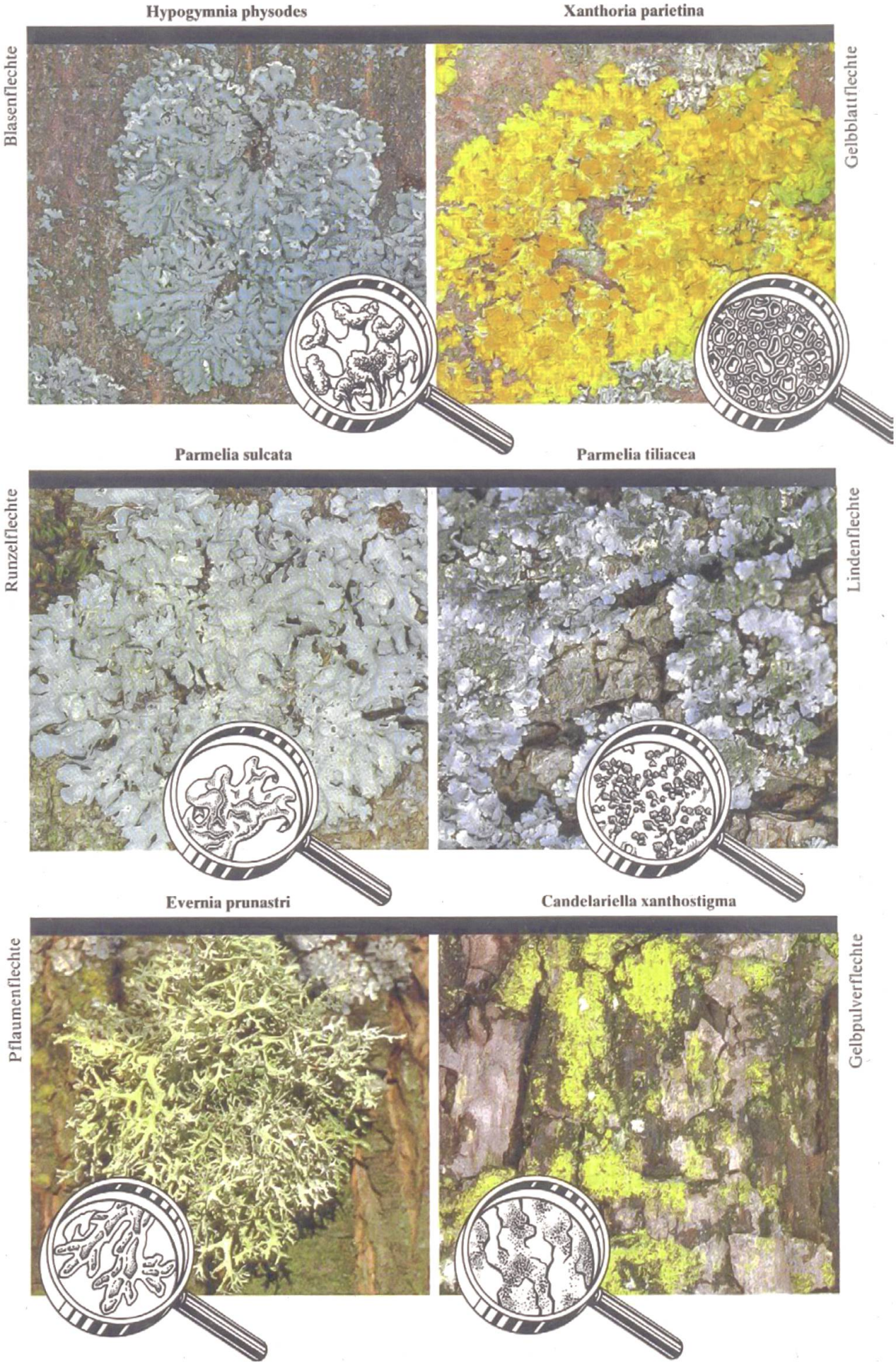

Hypogymnia physodes
Xanthoria parietina
Blasenflechte
Gelbblattflechte
Parmelia sulcata
Parmelia tiliacea
Runzelflechte
Lindenflechte
Evernia prunastri
Candelariella xanthostigma
Pflaumenflechte
Gelbpulverflechte

Abb. 9: Die 6 Zeiger-Flechten von links oben nach rechts unten: Blasenflechte, Gelbblattflechte, Runzelflechte, Lindenflechte, Pflaumenflechte und Gelbpulverflechte, nach WWF-Standardmethode (LIEBENDÖRFER et al. 1993).

te angebracht (Abb. 8). Für jede Zeiger-Flechte wird gezählt, in wie vielen der 10 Testflächen sie vorkommt. Das ergibt für jede Zeiger-Flechte einen Flechten-Frequenzwert von minimal 0 bis maximal 10. Alle Flechten-Frequenzwerte der 6 Zeiger-Flechten ergeben zusammen die Flechten-Frequenzsumme. Der Mittelwert der Flechten-Frequenzsummen 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 (Text z. T. aus WEBER, 1991, zitiert). An Standorten, bei denen nicht alle typischen Flechtenträgerbäume vorkamen, wurden als weitere Trägerbäume auch Nussbaum, Bergahorn, Ulme und Rosskastanie verwendet (RECKEL *et al.,* 1999). Die Standorte in Aarau und Umgebung wurden in Grenzgebieten unterschiedlicher Luftgüteklassen (URECH *et al.,* 1990, 1991) 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 und ermittelten an denselben Standorten Z1 bis 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 Flechten-Trägerbäume an ihren vorgegebenen Standorten auswählen konnten. In einem weiteren Praktikum wurden verschiedene Flechtenkörper studiert und die Wuchsformen bestimmt. Mit Hilfe der Herstellung von Schnittpräparaten untersuchten und zeichneten wir den mikroskopischen Feinbau des Flechtenkörpers. Die 6 Zeiger-Flechten (Abb. 9) wurden so genauer unter die Lupe genommen.

3. Resultate

Die aus unseren Beobachtungen an 19 verschiedenen Standorten ermittelten Luftqualitäten haben wir in der Tabelle 1 (Z1–Z19) zusammengefasst und durch farbige Punkte – entsprechend ihrer Luftgüte – in die Abbildungen 10, 11 und 12 eingefügt. Dabei sehen wir, dass sich die Luftqualität in den letzten 10 bis 16 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 Flechtenindikationsmethode (URECH *et al.,* 1990: IAP18-Werte = Flechtenindex, **I**ndex of **A**tmospheric **P**urity) im Auftrag des Kantons Aargau durchgeführt wurden. An einigen Standorten ergaben sich aber *Abweichungen*, negative, d. h. Verschlechte-

Tab. 1: Untersuchung der Aarauer Luft mittels Flechtenkartierung durch Schüler und Schülerinnen der NKSA 1999-2016

Schuljahr	Abt.	SuS	Meth.	Erfassungsdatum	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
1999/2000	M2a	17	1, 2	21. + 28. Sept.																			
1999/2000	P2b	26	1,2,3	2. + 9. Nov.	19.5			18.4	22.3		20.5			17.8			25.4		33.0		15.7		
2002/2003	SPF3CDE	12	1,2,3	6.+11 +25. Juni				15.0	17.3		7.8	21.0		22.5			20.8						
2003/2004	DMS 3b	19	1	28.Nov.+5.Dez.																			
2006/2007	SPF3ABCD	16	1,2,3	27.10.+3.+11.11.		7.2		24.5	25.8	24.9	20.7	23.8		17.3	17.7								
2007/2008	SPF3AB	14	1,2,3	3.Okt. + 6. Nov.		9.0		24.0	24.2	18.8			29.5							22.5			
2007/2008	SPF3CDE	15	1,2,3	25.Okt. + 8.Nov.											23.9	22.0	18.0	19.5			19.6	23.3	11.2
2008/2009	F3a	23	1,2	20. + 27. Okt.																			
2008/2009	3. Sbic	3	1,2,3	August-September			3.0																
2008/2009	3. Sbic	11	1,2,3	August-September			14.8	25.8	18.0	18.8										6.5			
2008/2009	3. Sbic	11	1,2,3	August-September			14.0		22.3	25.5			24.3							12.3			
2009/2010	3. Sbic	11	1,2,3	August-September				17.3												17.0			
2009/2010	3. Sbic	11	1,2,3	August-September				22.5		27.0										11.8			
2010/2011	3. Sbic	11	1,2,3	August-September				15.0	24.3	25.0										12.3			
2010/2011	3. Sbic	12	1,2,3	August-September				24.3	23.0											15.0			
2011/2012	3. Sbic	10	1,2,3	August-September				26.0	28.5	14.5			24.7							21.8			
2011/2012	3. Sbic	10	1,2,3	August-September				11.3	18.5	19.3			22.3										
2012/2013	3. Sbic	8	1,2,3	August-September				18.8	30.5		27.7		22.5										
2012/2013	3. Sbic	15	1,2,3	August-September				14.5	25.0		16.5	19.0	18.5										
2012/2013	4. EFbio	6	1,2,3	August-September					24.8	26.5			24.5										
2014/2015	4. EFbio	6	1,2,3	August-September	18.0								19.0	20.8									
2015/2016	4. EFbio	10	1,2,3	September-Oktober	23.5			23.8	23.0				20.3										
Anz. SuS		277																					

SuS = Schülerinnen und Schüler; Meth. = Kartierungsmethode

Z 1: Aarau: Schulhausareal NKSA
Z 2: Aarau: Stadtzentrum westl. Feerstrasse
Z 3: Aarau: Stadtzentrum östlich Feerstrasse
Z 4: Aarau: Schachenallee bis Allmendweg
Z 5: Aarau: Schwimmbadstrasse bis LA-Stadion
Z 6: Aarau: Schiffländestr-Mühlemattstr., westl. Telliring
Z 7: Aarau: Mühlemattstrasse beim Telliring
Z 8: Aarau: Tellistrasse östlich Polizeikaserne
Z 9: Aarau: Weihermattstrasse, bis Berufsschule
Z 10: Aarau: Rohr Kirchweg, Gemeindehaus, Schulareal
Z 11: Aarau: Goldern-, Hans-Hässig-, Entfelderstrasse
Z 12: Buchs: Mitteldorfstrasse
Z 13: Buchs: Gysistrasse / Hch.-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

Die Zahlen in den farbigen Feldern entsprechen den Frequenzsummenmittelwerten gemäss Methode 3 :

0 bis 12	starke 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.

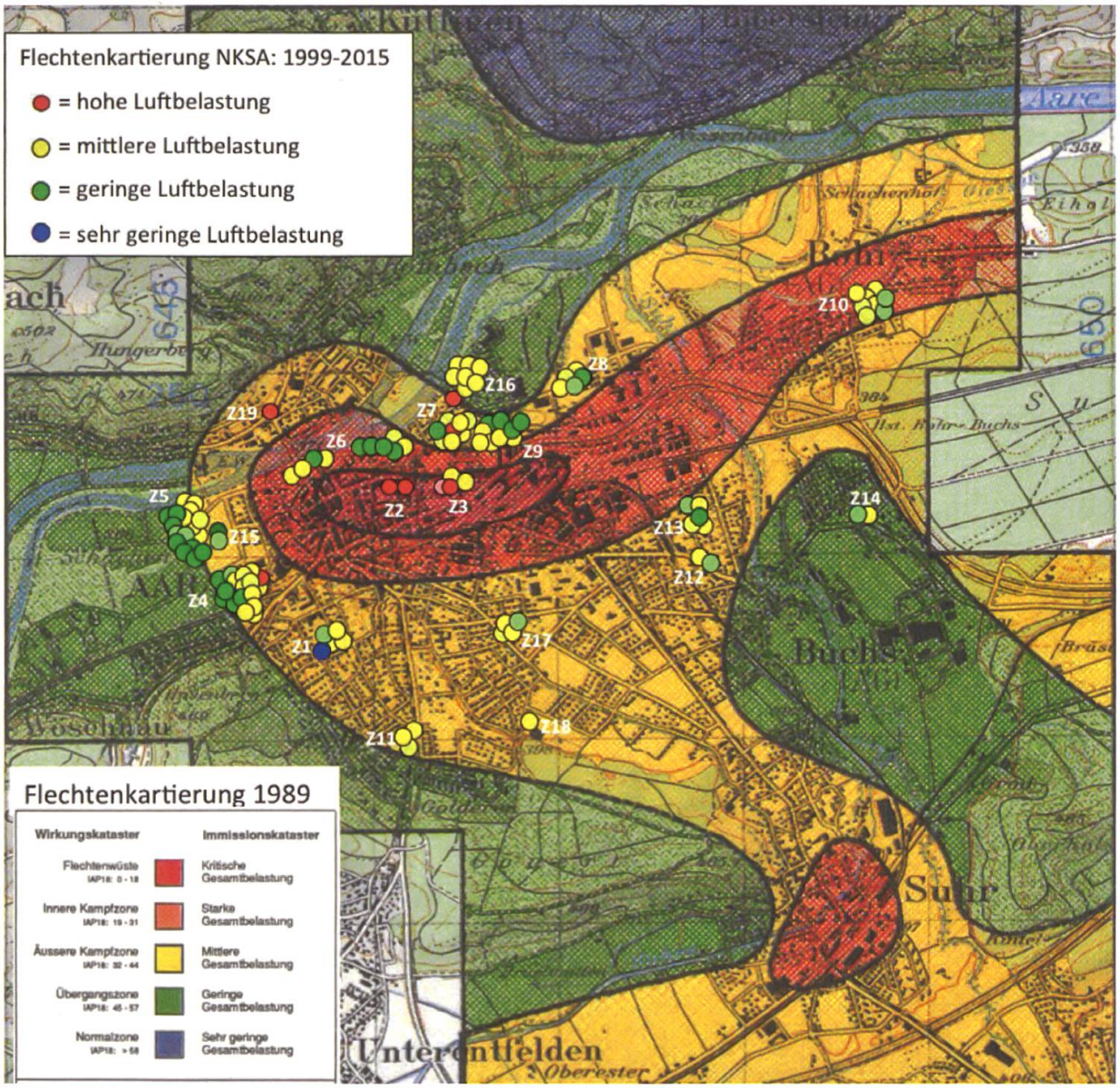


Abb. 10: Luftgütekarte der Flechtenkartierung von 1989 (aus URECH *et al.* 1990 und 1991), darin eingetragen sind die Resultate unserer NKSA-Erhebungen in der Zeit von 1999 bis 2015 an den Standorten Z1 bis Z19 (rote, gelbe, grüne, blaue Punkte, die etwas helleren Punkte beruhen auf der Untersuchung mittels der Flechtenkartierungsmethode 1 oder 2, die dunkleren mittels der Methode 3, Zahlenwerte siehe Tab. 1).

rungen der Luftqualität, waren in zwei Fällen feststellbar (Z19: Nordseite Kettenbrücke bis Kreisel Erlinsbacherstr. / Küttigerstr., sowie im Gebiet Z16: Maienzugstrasse / Römerstrasse / Philosophenweg). *Positive Veränderungen,* d. h. Verbesserungen der Luftqualität, waren es deren vier im Vergleich zur Flechtenkartierung 1989 (URECH *et al.,* 1990, 1991), siehe Abb. 10: *Z1: NKSA-Schulareal Schanzmättelistrasse, Z6: Schifflände- und Mühlemattstrasse, Z9: Weihermattstrasse und Z10: Gemeindehaus / Schulareal in Rohr.* Und gegenüber der Nachkontrolle von 2006 (URECH, 2007) hat sich die Luftqualität sogar an 6 Standorten verbessert (siehe Abb. 11 und 12).

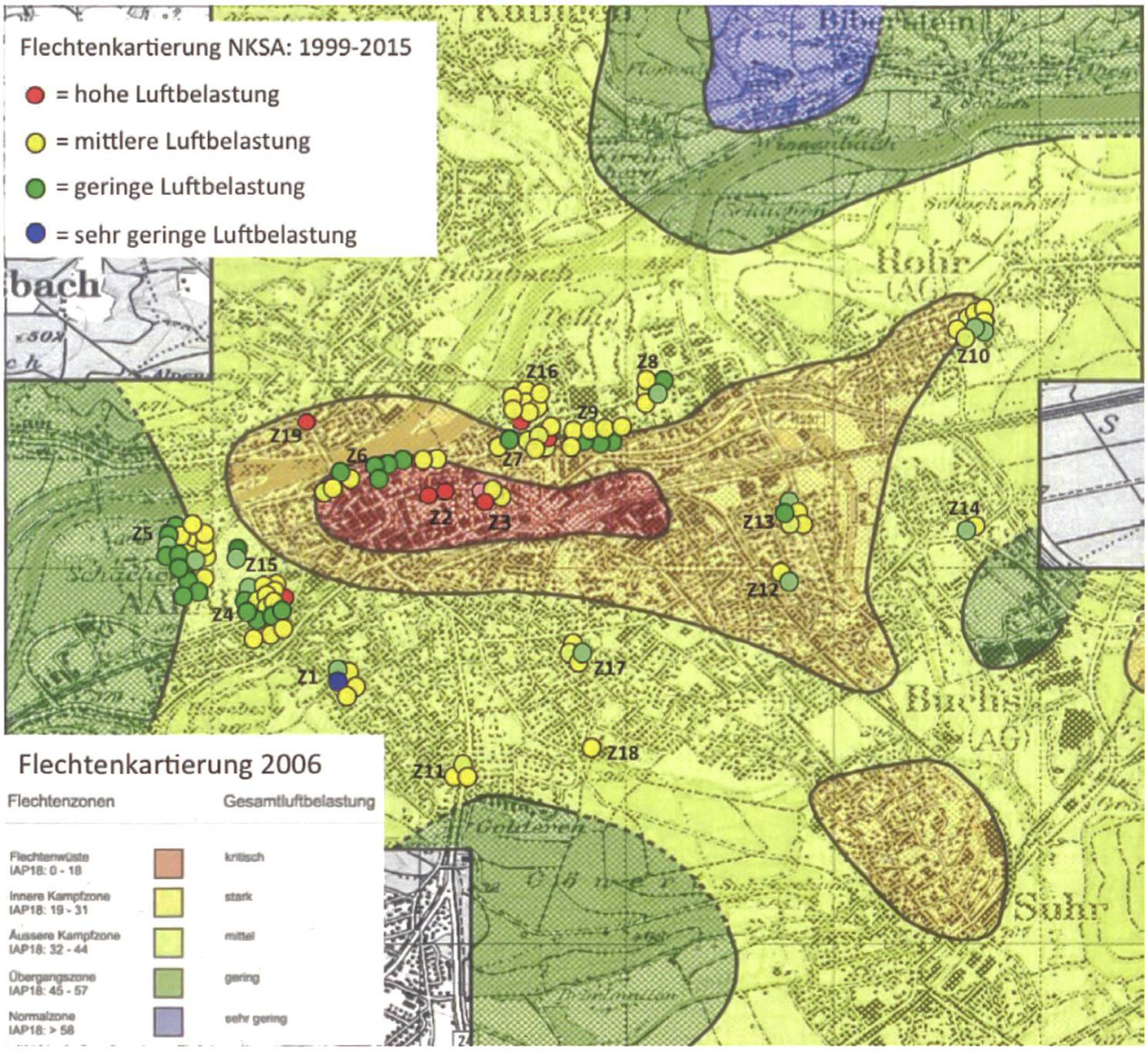


Abb. 11: Luftgütekarte aus der Flechtenkartierung als Erfolgskontrolle 2006 (aus URECH 2007), darin eingetragen sind die Resultate unserer NKSA-Erhebungen in der Zeit von 1999 bis 2015 an den Standorten Z1 bis Z19 (rote, gelbe, grüne, blaue Punkte, die etwas helleren Punkte beruhen auf der Untersuchung mittels der Flechtenkartierungsmethode 1 oder 2, die dunkleren mittels der Methode 3, Zahlenwerte siehe Tab. 1).

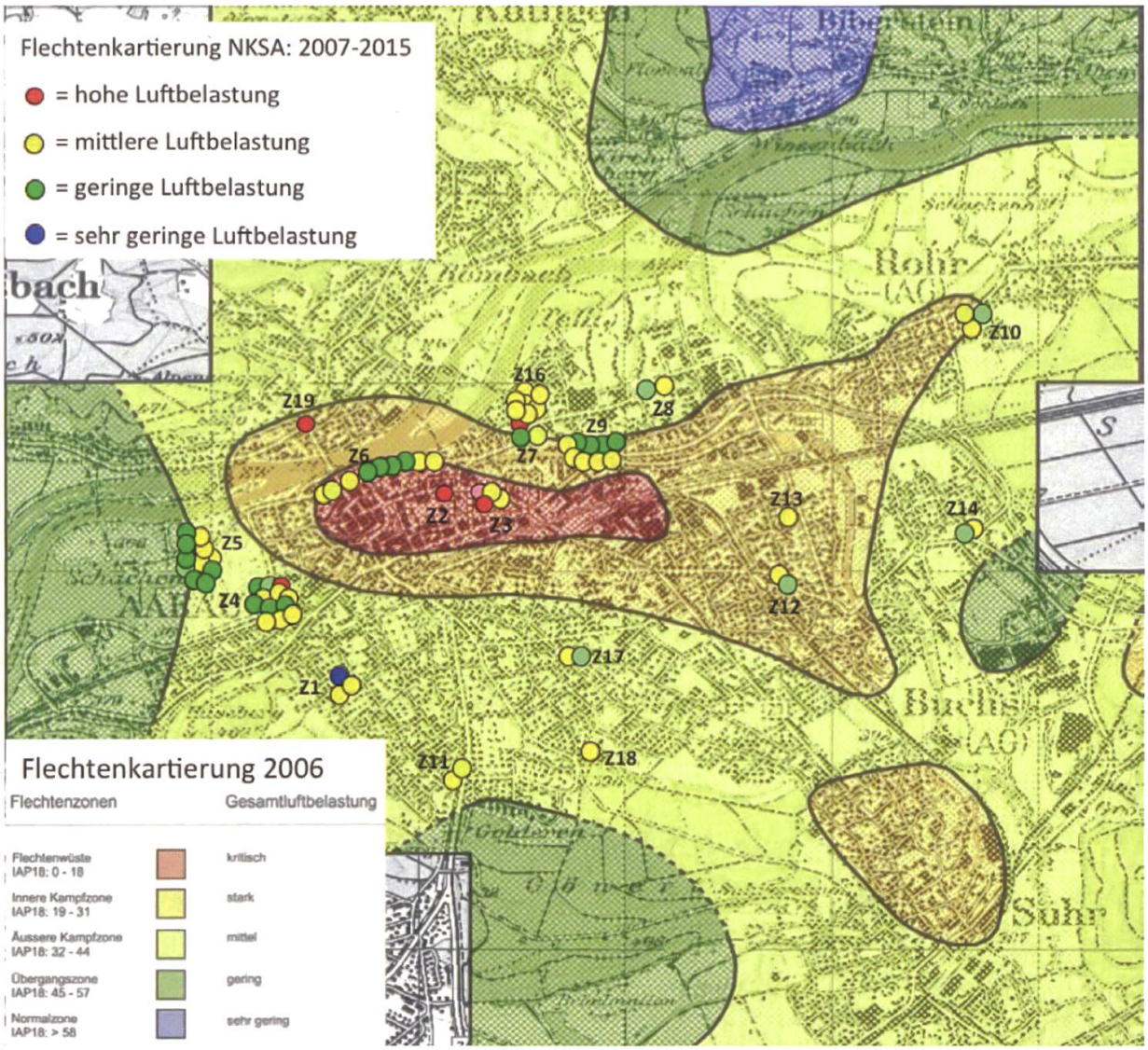


Abb. 12: Luftgütekarte der Flechtenkartierung als Erfolgskontrolle 2006 (aus URECH 2007), darin eingetragen sind nur die Resultate unserer NKSA-Erhebungen in der Zeit von 2007 bis 2015 an den Standorten Z1 bis Z19 (rote, gelbe, grüne, blaue Punkte). Dadurch werden die seit 2006 eingetretenen Verbesserungen der Luftqualität erkennbar (Z1: NKSA-Areal Schanzmättelistrasse 32, Z4: Schachenallee bis Allmendwegstrasse, Z6: Schiffländestrasse, Z9: Weihermattstrasse, Z10: Schulhausareal Rohr, Z12: Mitteldorfstrasse in Buchs).

Tab. 2: Untersuchung der Aarauer Luft: Verkehrszählungen durch Schüler und Schülerinnen der NKSA 1999-2016

Schuljahr	Abt.	SuS	Erfassungsdatum	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
1999/2000	M2a	17	21. + 28. Sept.	180.0			400	5					660			240		600*		108		
1999/2000	P2b	26	2. + 9. Nov.	203			514	5		2'040			611			471		800*		132		
2002/2003	SPF3CDE	12	6.+11 +25. Juni				386	74		1'452	1'328		730			457						
2003/2004	DMS 3b	19	28.Nov.+5.Dez.				266	17		1'112	970		228			224						
2006/2007	SPF3ABCD	16	27.10.+3.+11.11.		1'388		1'788	26	2'409	1'452	1'378		708	2'413								
2007/2008	SPF3AB	14	3.Okt. + 6. Nov.		893	1'041	870	36	2'091			197							1'410			
2007/2008	SPF3CDE	15	25.Okt. + 8.Nov.											1'364	852	300	1'092			162	171	1'641
2008/2009	F3a	23	20. + 27. Okt.	72			569	92	1'695	1'390	1'196		782	1'834	1'248		728			319		
2008/2009	3. Sbic	3	August-September			2'032																
2008/2009	3. Sbic	11	August-September				685	45	2'147										59			
2008/2009	3. Sbic	11	August-September			1'074		10	2'160			131							13			
2009/2010	3. Sbic	11	August-September				1'164												104			
2009/2010	3. Sbic	11	August-September				1'154		1'380										10			
2010/2011	3. Sbic	11	August-September				768	4	1'836													
2010/2011	3. Sbic	12	August-September				1'110	7														
2011/2012	3. Sbic	10	August-September				814	10	1'224			44							34			
2011/2012	3. Sbic	10	August-September				1'650	5	1'185			42										
2012/2013	3. Sbic	8	August-September				1800	72				86										
2012/2013	3. Sbic	15	August-September				866					37										
2012/2013	4. EFbio	6	August-September					6	1220													
2014/2015	4. EFbio	6	August-September	164									660									
2015/2016	4. EFbio	10	September-Oktober	94			544	21				120	552									
Anz. SuS		277	Durchschnittswert	155	1'141	1'382	903	27	1'735	1'489	1'218	94	616	1'870	1'050	338	910	700	272	180	171	1'641

SuS = Schülerinnen und Schüler; Meth. = Kartierungsmethode

Z 1: Aarau: Schulhausareal NKSA
Z 2: Aarau: Stadtzentrum westl. Feerstrasse
Z 3: Aarau: Stadtzentrum östlich Feerstrasse
Z 4: Aarau: Schachenallee + Schachenstrasse
Z 5: Aarau: Schwimmbadstrasse bis LA-Stadion
Z 6: Aarau: Schiffländestr-Mühlemattstr., westl. Telliring
Z 7: Aarau: Mühlemattstrasse beim Telliring
Z 8: Aarau: Tellistrasse östlich Polizeikaserne
Z 9: Aarau: Weihermattstrasse, bis Berufsschule
Z 10: Aarau: Rohr Kirchweg, Gemeindehaus, Schulareal
Z 11: Aarau: Goldern-, Hans-Hässig-, Entfelderstrasse
Z 12: Buchs: Mitteldorfstrasse
Z 13: Buchs: Gysistrasse / Hch.-Wehrli-Str.
Z 14: Buchs: Rohrerstrasse Altersheim bis Autobahn
Z 15: Aarau: Schachen Chrutwaie
Z 16: Aarau: Maienzugstr./ Römerstr. / Philosophenweg
Z 17: Aarau: Bachstrasse / Tellstrasse
Z 18: Suhr: KEBA-Parkplatz und Umgebung
Z 19: Aarau: Erlinsbacherstrasse-Küttigerstrasse

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

Verkehrszählung Anz. Fz / Stunde, um 08.00, 14 oder 17 Uhr für 5-15 Minuten gezählt und dann auf 60 Min. extrapoliert

* Verkehr im Abstand von ca. 50-100 m

4. Vom Kanton Aargau und der Stadt Aarau gemessene Stickstoffdioxidwerte (NO_2)

Seit den späten achziger Jahren führen der Kanton AG und die Stadt Aarau Luftschadstoffmessungen durch. Für die Beurteilung der Luftqualität in Abhängigkeit vom Strassenverkehr sind die Feinstaubteilchen PM10 und die NOx-Schadstoffe entscheidend. Letztere haben uns besonders interessiert, da wir nach Erklärungen für unsere eigenen Beobachtungen suchten. Die zuständigen Stellen von Kanton AG und der Stadt Aarau ermöglichten uns Einblicke in die Messresultate ihrer NO_2-Erhebungen, die sie mittels der sog. *Passivsammler*-Methode gewonnen hatten. Die theoretischen Grundlagen der Methode sind in der Arbeit von EGGENBERGER und RINDERKNECHT (2001) (8) ausführlich beschrieben.

Das kantonale Departement Bau, Verkehr und Umwelt (BVU), Abteilung für Umwelt (AfU), hielt im Jahr **2000** noch Folgendes fest: «*Die Stickstoffdioxid(NO_2)-Konzentrationen haben in den letzten 10 Jahren abgenommen. Die LRV-Grenzwerte (30µg/m³) wurden an allen Messstellen im Kanton, die nicht an typischen Strassenstandorten oder in verkehrsbelasteten Zentren lagen, eingehalten. In Stadtzentren und an verkehrsreichen Strassen werden die Grenzwerte in der Regel überschritten. Die Stickstoffdioxid-Belastung ist in den letzten drei Jahren stagnierend.*» (SCHENK, 2000). Aus den Resultaten von 1990 bis 1999 (Messstation Suhr, physikalische Messungen) wurde sogar ein Abnahmetrend erwartet (Abb. 14).

Im Zusammenhang mit dem neuen Staffelegg-Zubringer (Ost-Umfahrung von Küttigen) und den div. Verkehrsleitmassnahmen zur Entlastung der Aarauer Innenstadt hat das BVU im Juli und August **2014** zwei Publikationen herausgegeben (SCHENK & ZÜND, 2014; HOLZER KÜNG & ZÜND, 2014). Darin steht Folgendes: «*Im Jahr 2000 wurde die Stickstoffdioxidbelastung an verschiedenen Standorten in der Stadt Aarau, in Biberstein und in Küttigen erhoben. Mit diesen Messungen wurde der Istzustand festgestellt. In der Folge wurden verschiedene verkehrslenkende Massnahmen wie der Sauerländertunnel, der Tellikreisel, die neue Aarebrücke und der Staffeleggzubringer gebaut und in Betrieb genommen. Die Abteilung für Umwelt (AfU) verfolgte*

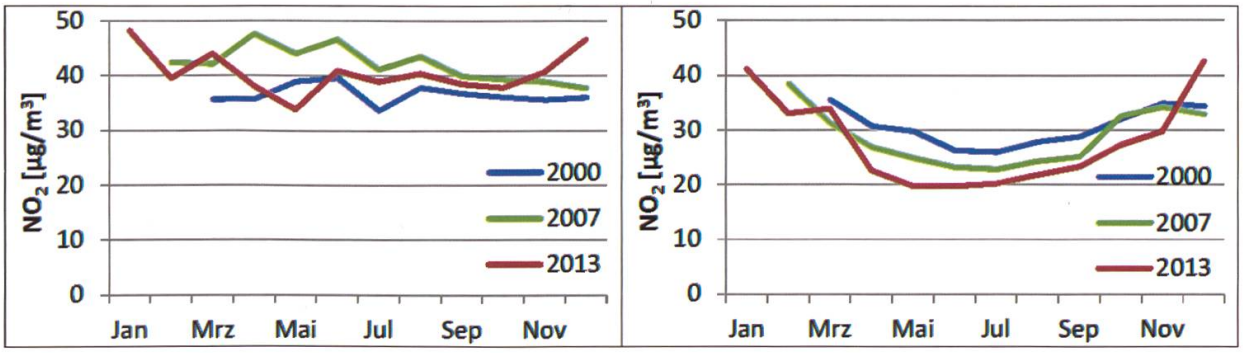


Abb. 13a: Stickstoffdioxidbelastung am Standort G (aus SCHENK & ZÜND, 2014), entspricht unserem Standort (Z9) Weihermattstrasse.

Abb. 13b: Stickstoffdioxidbelastung am Standort F (aus SCHENK & ZÜND, 2014), entspricht unseren Standorten (Z6 und Z7) Schiffländestrasse und Mühlemattstrasse.

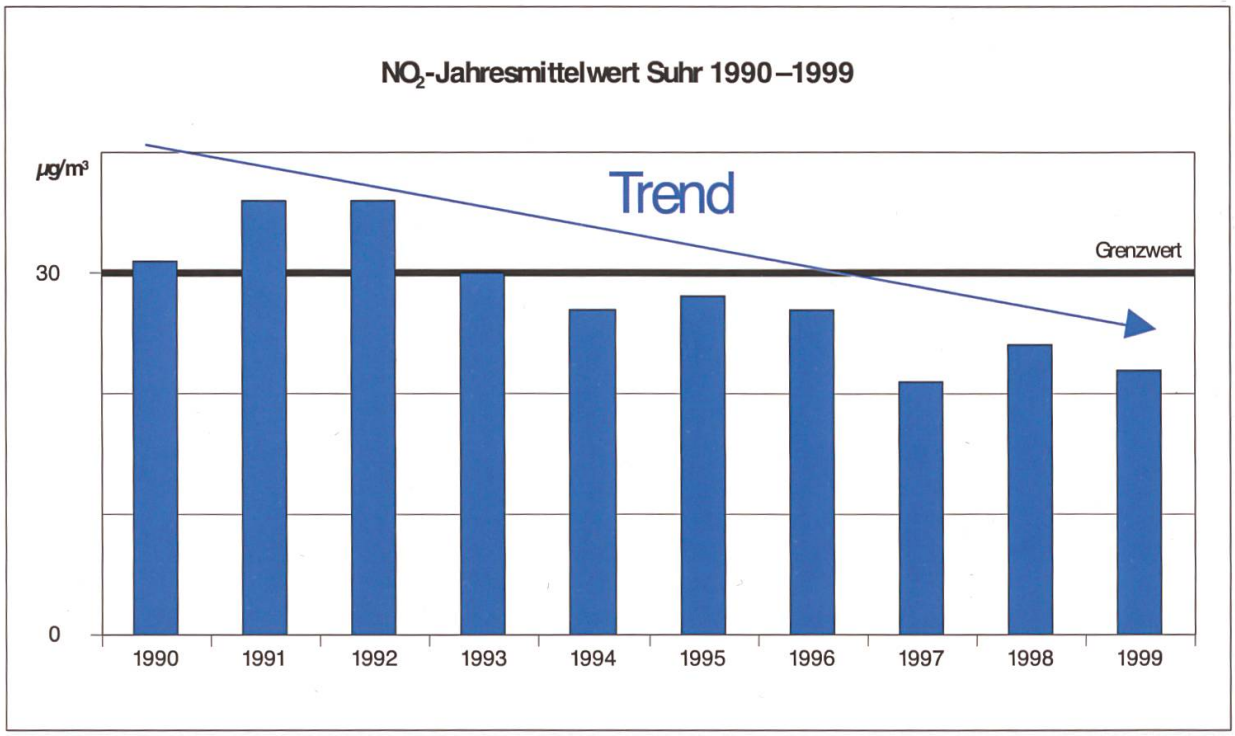


Abb. 14: Die NO_2-Jahresmittelwerte an der Referenzstation Suhr zwischen 1990 und 1999 gemessen, LRV-Jahresmittel-Grenzwert = 30µg/m³ (aus SCHENK M.: UMWELT AARGAU, Sondernummer 7. März 2000).

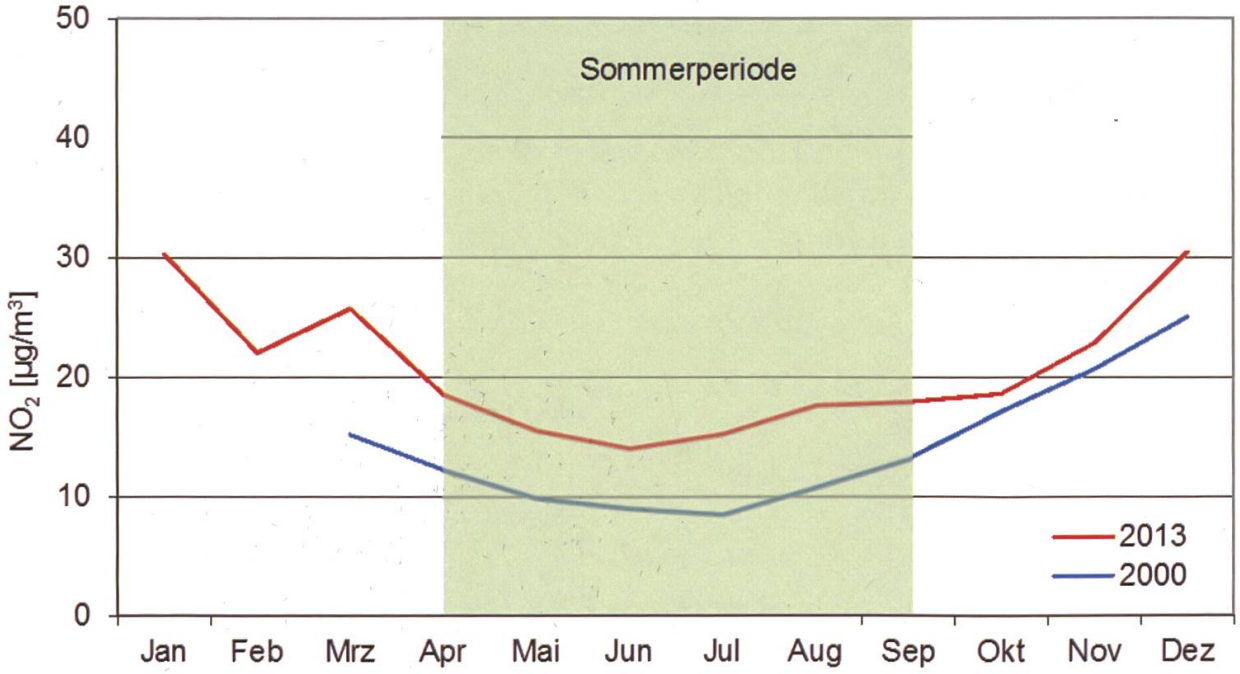


Abb. 15: Messstation am neuen Standort Staffelegg A, Vergleich der Stickstoffdioxidbelastung in den Jahren 2000 und 2013 (aus SCHENK & ZÜND, 2014).

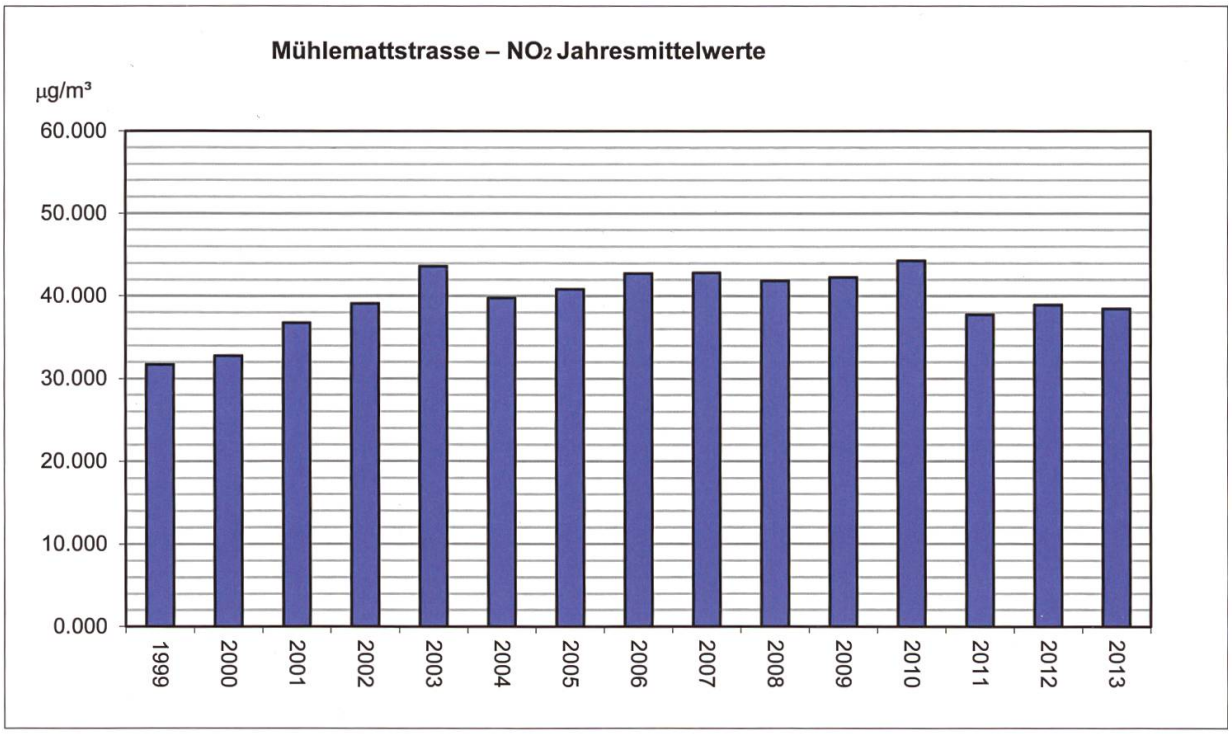


Abb. 16: NO_2-Jahresmittelwerte an der Mühlemattstrasse, mit freundlicher Einwilligung durch die Umweltfachstelle, Stadtbauamt Aarau.

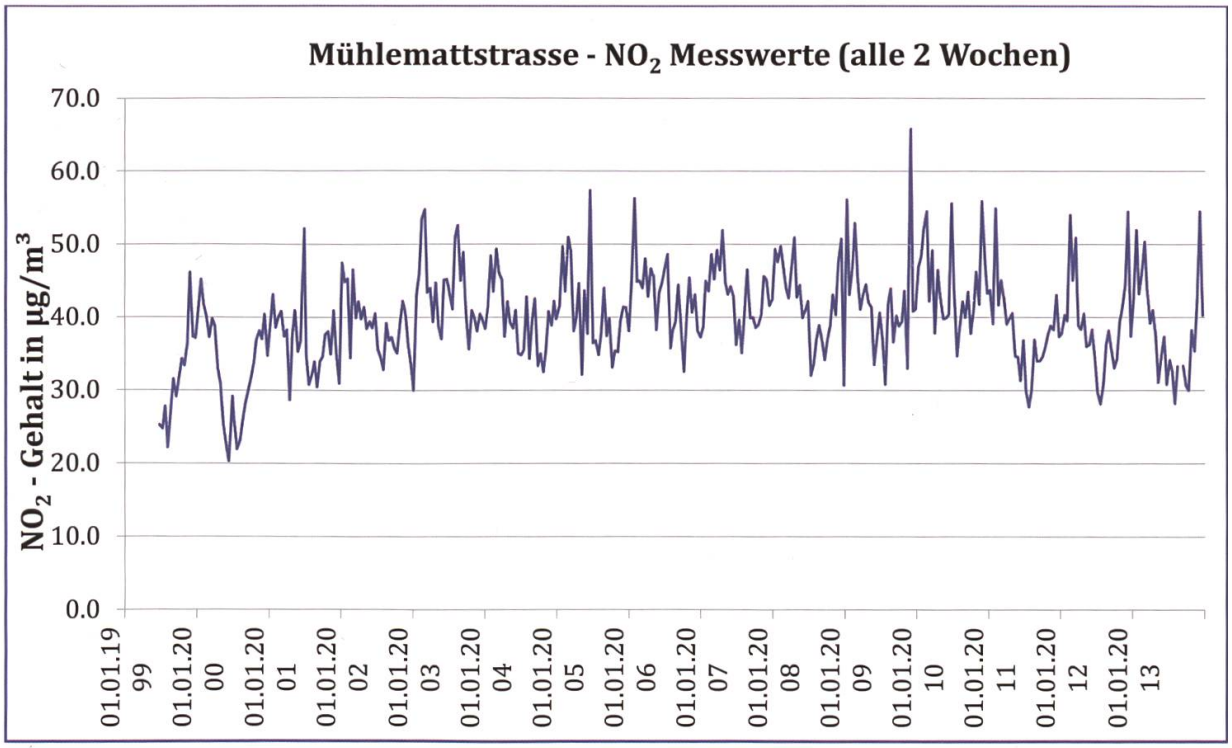


Abb. 17: Periode 1999 bis 2013: NO_2-Konzentrationswerte an der Mühlemattstrasse, 14-täglich aufgetragen, mit freundlicher Einwilligung durch die Umweltfachstelle, Stadtbauamt Aarau.

die Stickstoffdioxidveränderungen mit einer weiteren Messkampagne 2007 und einer Schlussmesskampagne 2013 an denselben Standorten wie im Jahr 2000. Die letzte Messkampagne wurde schwerpunktmässig als Erfolgskontrolle bezüglich Verkehrsverlagerung durch die Neue Staffeleggstrasse (NK 107) durchgeführt.»

Mit Zustimmung der AfU führen wir aus diesen Erhebungen die für unsere eigenen Untersuchungen relevanten Resultate auf: Die Abb. 15 (aus SCHENK & ZÜND, 2014) zeigt den typischen Jahresverlauf, da Inversionslagen mit Kaltluftseen in den kälteren Herbst- und Wintermonaten höhere Schadstoffkonzentrationen entstehen lassen. In den Sommermonaten ist ein paralleler Verlauf der Stickstoffdioxidbelastung der Jahre 2000 und 2013 zu erkennen. In den Herbst- und Wintermonaten nähern sich die beiden Kurven an, was auf meteorologische Unterschiede zwischen den beiden Jahren zurückzuführen ist (SCHENK & ZÜND, 2014). Die relativ geringe Zunahme der NO_2-Belastung der Luft um rund 5–10µg/m^3 ist wohl auf die neue Verkehrsführung am Messstandort Zelgli A (bei Küttigen) zurückzuführen (Eröffnung der NK 107 am 7.12.2010). Die Verkehrszunahme wird mit rund 10 000 Fahrzeugen pro Tag angegeben. Entsprechend wurde im Dorf Küttigen die Verkehrsbelastung an der Hauptstrasse geringer, was sich hier auch in der um rund 35–45% kleiner gewordenen NO_2-Konzentration niederschlägt.

Für unsere Flechtenkartierungen sind die im AfU-Bericht von 2014 erwähnten Messstandorte F (Aarau, Fachhochschule) und G (Aarau, Gewerbeschule) wichtig (SCHENK & ZÜND, 2014). An beiden Standorten zeigt sich im Jahresverlauf ein vergleichbares Kurvenbild wie am oben erwähnten Standort Zelgli A mit den zusätzlichen Messungen von 2007 (siehe Abb. 13a und b).

Was aber auffällt, sind die leichten Abnahmen der NO_2-Belastungen von 2000 über 2007 zu 2013 am Standort G, während am Standort F die NO_2-Belastungen in diesem Zeitraum leicht zunehmen und um 10–20µg/m^3 höher liegen als am Standort Zelgli A. Unsere eigenen Verkehrszählungen an den entsprechenden Standorten Z6 und Z7 (Tab. 2) ergaben ein beachtliches Verkehrsaufkommen von 1000 bis 2000 Fahrzeugen pro Stunde, was jenes vom Staffeleggzubringer übertreffen dürfte.

Die NO_2-Messresultate der Stadt Aarau wurden uns ebenfalls zur Verfügung gestellt: Die Abb. 16 zeigt die Jahresmittelwerte von 1999 bis 2013. Während man in dieser Grafik für diese Zeitperiode, also im Zeitraum, in dem wir mit unseren Schülergruppen die Flechtenkartierungen durchgeführt haben, keine grossen Schwankungen feststellen kann, erkennt man aber in Abb. 17 wie stark schwankend die NO_2-Konzentration in kleineren Zeiträumen sein kann: Die Kurve in Abb. 17 zeigt den Konzentrationsverlauf über dieselbe Zeitperiode (1999–2013), wenn man die alle 14 Tage gemessenen Werte aufzeichnet. Da sind Schwankungen von bis über 40µg/m^3 feststellbar. Die Akkumulation von NO_2-Gas hängt eben auch stark von der jeweiligen Wetterlage (Temperatur, Wind, Niederschläge usw.) ab.

Abschliessend müssen wir aber feststellen, dass aus den von Kanton AG und Stadt Aarau erhobenen NO_2-Konzentrationen für die Interpretation unserer Flechtenuntersuchungen keine Schlussfolgerungen gezogen werden können (vgl. Diskussion Seite 68/69).

5. Diskussion

Die drei von WEBER (1991) beschriebenen Flechtenkartierungs-Methoden sind im praktischen Biologieunterricht gut anwendbar. Sie ergeben im Vergleich zur sogenannten kalibrierten Indikationsmethode (URECH *et al.,* 1990, 1991; URECH 2007) erstaunlich gute und vergleichbare Resultate. Wenn Schülergruppen alle drei Methoden anwandten, wurden die Analysen stets in der Reihenfolge zuerst Methode 1, dann Methode 2 und zuletzt Methode 3 ausgeführt. Meist zeigten alle drei Methoden dasselbe Resultat (dieselbe Farbe), 6-mal veränderte sich allerdings das Resultat ins Bessere z. B. von gelb zu grün, 4-mal aber auch ins Schlechtere z. B. von gelb zu rot. Die Methode 3 ist am genauesten, da hier die Flechten sowohl qualitativ als auch quantitativ erfasst werden. Sie entspricht am besten der kalibrierten Indikationsmethode.

Der höchste Frequenzsummen-Mittelwert von 33 wurde 1999 von einer Arbeitsgruppe bei den Bäumen im Aarauer Schachen am sog. Chrutwäje-Standort ermittelt, der einen grösseren Abstand von rund 100 m bis 400 m zur Allmendwegstrasse und damit zum Verkehrsgeschehen hat. Der Tab. 1 und 2 können wir entnehmen, dass bei der verkehrsreichen Schifflände- und Mühlemattstrasse (Z6) mit bis über 2000 Fahrzeugen pro Stunde (90% PWs und 10% LKWs) unsere Flechtenkartierung sogar eine Verbesserung der Luftqualität anzeigt. Offensichtlich scheinen die von Stadt Aarau und Kanton AG gemessenen NO_2-Konzentrationen für das Flechtenwachstum keinen ungünstigen Einfluss zu haben. Ebenso fanden wir im Gemeinde- und Schulhausareal in Rohr (Z10) eine Verbesserung der Luftqualität gegenüber 1989, wo unsere Untersuchung 2008 mit den Methoden 1 und 2 sogar die Farbe grün ergab, weil hier auch mehrere Strauchflechten vorkamen. Diese Verbesserung der Luftqualität dürfte vermutlich in Zusammenhang mit der wegen der Eröffnung des Autobahnzubringers T5 erfolgten Verkehrsreduktion in Rohr und mit der 1999 in Betrieb genommenen De-Nox-Anlage der KVA Buchs stehen. Erfreulich ist auch die Verbesserung der Luftqualität im Schulareal der NKSA, wo neuerdings sogar schöne Bartflechten gefunden werden können (Abb. 6). Gemäss Methode 1 ergibt das einen Wert im blauen Bereich, also sehr geringe Luftbelastung. Hier sind die Flechtenträgerbäume noch relativ jung. Bei der Neugestaltung der Umgebung als Folge der Erstellung des Neubaus im Jahre 1989 wurden auf dem Parkplatzareal der NKSA etwa zehnjährige Eichen gepflanzt, die heute bereits einen über 95 cm 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, z. T. herunterhängende Äste den für das Flechtenwachstum wichtigen Lichtzutritt behindern.

Betrachten wir noch einmal die Resultate der früheren Flechtenkartierungen (URECH *et al.,* 1990 und 1991; URECH, 2007), 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. 11: Standort Z5 Schwimmbadstrasse bis LA-Stadion).

Umgekehrt aber müsste heute die gelb-grüne Grenze am Standort Z4 (Schachenallee bis Allmendweg) weiter östlich liegen (Abb. 12). Und die südliche «Ausbuchtung» der grünen Zone im Bereich Z16 (Maienzugstrasse/Römerstrasse/Philosophenweg) in Abb. 10 deckt sich nicht mit unseren Resultaten. Wäre da die grün-gelbe Grenze weiter nördlich gezogen worden, so könnten unsere Befunde die Resultate von 1989 bestätigen und nicht eine Verschlechterung der Luftqualität markieren. Es stellt sich die Frage, ob dies hier an der allzu schematischen Darstellung der Kartierung von 1989 liegt oder ob es Gründe für die Verschlechterung gibt. Im Detail mangelt es solchen Luftgütekarten wahrscheinlich an Präzision. Dies zeigt sich auch bei der grössten Differenz unserer Resultate zur Luftgütekarte von 1989 im roten Bereich in der hohen bis kritischen Gesamtbelastung (Aarau Stadtzentrum bis Rohr), wo wir 13-mal Resultate im gelben und 7 mal im grünen Bereich erhielten (Abb. 10). Kann man wirklich den Begriff «Flechtenwüste» anwenden, der nach den Flechtenkartierungen von 1989 und 2006 für die Aarauer Innenstadt gelten soll (URECH *et al.,* 1991; SCHENK, 2007; URECH, 2007), wenn in der Innenstadt nicht alle Flechtenträgerbäume in genügender Anzahl vorkommen? Hat es hier doch 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 Debatten um die Luftqualität von 1983 – man spricht heute nicht mehr vom «Waldsterben», sondern von *«neuartigen Waldschäden»* – sich sehr Vieles zum Guten gewendet hat: Erfindung und Einbau des Katalysators in Automobilen und LKWs, höhere Effektivität heutiger Verbrennungsmotoren, Verwendung von bleifreiem Benzin, VOC-Lenkungsabgabe* (SCHENK, 2007), Entschwefelung des Heizöls, der teure Einbau von Abluftfiltern oder von mehrstufigen Rauchgasreinigungsanlagen in Kehrichtverbrennungsanlagen u. a. m. haben alle sehr dazu beigetragen, dass die Luftqualität wieder besser ist als noch vor 33 Jahren. Ein eigentliches SO_2-Problem der Luft gibt es heute kaum mehr (SCHENK, 2000, sowie persönliche Mitteilung von M. SCHENK, am 10. Mai 2016). In der Schweiz sind seit 1988 die SO_2-Emissionen um über 78% (URECH, 2015 a), in Deutschland seit 1990 sogar um 90% gesunken (9). Und in einem Communiqué der Kant. Abt. für Umwelt vom 23. Mai 1995 wurde von positiven Auswirkungen des 1990 in der KVA Turgi erfolgten Einbaus einer Rauchgasreinigungsanlage berichtet (LÜTHI, 2003). Bei einer Wiederholung der Flechtenkartierung von 1989 konnte 1995, also 6 Jahre später, keine «Flechtenwüste» in der Umgebung der KVA Turgi mehr festgestellt werden (URECH *et al.,* 2004; SCHENK, 2005). Und im Untersuchungsgebiet Baden soll sich die Luftbelastung in den letzten 25 Jahren flächendeckend verbessert haben (URECH, 2015 b).

Bei künftigen Flechtenkartierungen müsste man aber die Situation differenzierter betrachten und beispielsweise zwischen *nitrophilen* und *nitrophoben* Flechtenarten unterscheiden. URECH berichtet neulich, dass in den letzten 25 Jahren der sog. *Nitroindex* in verkehrsreichen Gebieten schweizweit zugenommen, während

* *VOC = Abkürzung des englischen Begriffs «volatile organic compounds», er bezeichnet eine Vielzahl von «flüchtigen organischen Verbindungen»*

gleichzeitig der *Acidoindex* abgenommen habe. Deshalb sei eine Verschiebung des Flechtenspecies-Spektrums zu nitrophilen Arten festzustellen (URECH, 2015 a, 2015 b). Diese Tatsache könnte vielleicht das überraschende Flechtenwachstum an der verkehrsreichen Schifflände- und Mühlemattstrasse (Z6) erklären.
Das grundsätzlich steigende Verkehrsaufkommen, andere Verkehrsführung (Staffeleggzubringer) sowie die neuen Hinweise einer sich verändernden Flechtendiversität auf Grund von Ammoniakemissionen der Verbrennungsmotoren (SCHENK, 2007; FRAHM, 2008; URECH, 2015 a, 2015 b) bieten aus wissenschaftlicher Sicht Grund genug, die Flechtenerhebungen fortzusetzen. Der faszinierende Doppelorganismus Flechte und die relativ einfache Vermittlung von Freilandbiologie, inklusive des Aufzeigens von Wechselbeziehungen zwischen sich verändernden Umweltfaktoren und Lebewesen, sprechen überdies dafür, das 1999 begonnene Flechtenprojekt an der NKSA weiterzuführen.

6. Quellenverzeichnis

EHRENSPERGER, P., WULLSCHLEGER, B. (2014): Wie sauber ist die Luft in Aarau?, in Aarauer Neujahrsblätter 2015, Verlag HIER UND JETZT, 110–125

FRAHM, J.-P. (2008): Überdüngung und Versalzung durch Katalysatoren? Biologie unserer Zeit 2/2008 (38). WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 94–100

HOLZER KÜNG, F., ZÜND, TH. (2014): Bericht zur Immissionsveränderung durch die NK 107 Neue Staffeleggstrasse, NO_2 und PM10 Messresultate, Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Kanton AG

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 23.09.2002, 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 GmbH, 69469 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 CH-8903 Birmensdorf

SCHENK, M. (2000): Luftbelastung im Kanton Aargau, Immissionsbericht 1999, in UMWELT AARGAU, Sondernummer 7, März 2000

SCHENK, M. (2005): Luftbelastung im Kanton Aargau, Umwelt Aargau, 30, 15–20

SCHENK, M. (2007): Flechten geben Auskunft über die Luftqualität, Umwelt Aargau, 37, 33–34

SCHENK, M., ZÜND, TH. (2014): Messbericht über die lufthygienischen Veränderungen betreffend Ostumfahrung Aarau und die Neue Staffeleggstrasse, Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Kanton AG

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. (2015 a): Flechtenvegetation und Stickstoffbelastung: Zeitlich und räumlich differen-

zierte Datenanalyse anhand epidemiologischer Methoden, BAFU, Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien, Sektion Luftqualität, Bern
URECH, M. (2015 b): Flechten und Luftqualität in Baden: Erfolgskontrolle 2014, im Auftrag des Kantons Aargau, Baudepartement, Abteilung für Umwelt und der Stadtökologie Baden
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, Kapitel Luft, 46–67

Internetquellen:

(Die Zahlen in Klammern im Text geben den Bezug zur entsprechenden Internetquelle an)

(1) HTTP://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19850321/index.html (29.06.2014): Schweizerische Eidgenossenschaft, Luftreinhalte-Verordnung vom 16.Dezember 1985 (Stand am 15. Juli 2010)
(2) HTTPS://www.ag.ch/media/kanton_aargau/bvu/dokumente_2/umwelt_natur_landschaft/umweltschutzmassnahmen_1/luftreinhaltung_3/afu_massnahmenplan_luft_2009.pdf (4.07.2014)
(3) HTTP://de.wikipedia.org/wiki/William_Nylander (17.06.2014): Hinweis auf NYLANDER, W. (1866): Les lichens du Jardin du Luxembourg. Bull. Soc. Fr. 13, S. 364–372
(4) HTTP://www.landesmuseum.at/pdf_frei_remote/MONO-LAND-OEKO_MLO5_0009–0040.pdf (17.06.2014): WOLKINGER, F. Graz (1977): Die Stadt als künstliches Ökosystem
(5) HTTP://www.uni-tuebingen.de/geography/project/gis_alb/flechten/methode.htm (17.06.2014): GRÜNINGER et al. (1979–94): Flechten und Luftqualität. Luftqualität in Freiräumen und Verdichtungsräumen, angezeigt durch Rindenflechten. – Reutlingen
(6) HTTPS://de.wikipedia.org/wiki/Flechte#Alter (31.03.2016)
(7) HTTP://uzh.ufoalien.ch/flechtenbericht_nweyland_2009–01–23.pdf (31.03.2016): WEYLAND, N. (2009): Bioindikation der Luftqualität in Aarau, Bericht 2008 Neue Kantonsschule Aarau
(8) HTTP://fachschaften.kst.ch/chemie/Luft/LuftschadstoffeSf2000.pdf (31.03.2016): EGGENBERGER, Chr., RINDERKNECHT, B. (2001): Flechten warnen uns vor Luftschadstoffen, ein NATWIT-Projekt im Schwerpunktfach Biologie und Chemie 2000 an der Kantonsschule Trogen, Schweiz,
(9) HTTP://www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/schwefeldioxid-emissionen (24.04.2016)

Als Quellengrundlagen dienten die von 1999 bis 2015 verfassten 112 NKSA-Schülerarbeiten über Flechtenkartierungen in der Region Aarau (bei P. C. Ehrensperger und B. Wullschleger aufbewahrt).

Abbildungsnachweise: Die Fotos der Abb. 1a, b; 3, 4, 5, 6, 7 und 9 von P. C. Ehrensperger, Abb. 1c; 2a und 2b von R. F. Foelix (und B. Erb), alle übrigen Abb. enthalten die Quellenangabe in der Legende

Dank

Wir bedanken uns bei allen Schülerinnen und Schülern der NKSA, welche mit Ihrem Einsatz und Ihrer gewissenhaften Arbeit die Daten für diese Arbeit generiert haben. Wir danken auch der Umweltfachstelle der Stadt Aarau sowie dem Kanton Aargau, Departement BVU, Abteilung für Umwelt, für die freundliche Überlassung ihrer Daten der NO_2-Erhebungen. Für die kritische Durchsicht und die wertvollen Verbesserungsvorschläge ein herzliches Dankeschön an Francine Ehrensperger und Monika Wullschleger.

Die Autoren:

Dr. Peter Christoph Ehrensperger
bis 31. 1. 2010 Biologielehrer an der NKSA
Staufbergstrasse 12
5000 Aarau

Dr. Benno Wullschleger
Biologielehrer an der NKSA
Schanzmättelistrasse 32
5000 Aarau