

Flechten und Luftqualität im westlichen Limmattal: Erfolgskontrolle 2003

im Auftrag des Kantons Aargau, Baudepartement, Abteilung für Umwelt

23. März 2004

Inhalt

1. Zusammenfassung	1
2. Einleitung.....	4
3. Ziele	6
4. Methode	7
5. Flechtenkarten 1989, 1995 und 2003	9
6. Differenzkarten 1989 bis 2003.....	18
7. Saure und basische Immissionen.....	24
8. Emissions- und Immissionsdaten im Vergleich mit den Flechtendaten.....	29
9. Auswertung einzelner Flechtenarten	37
Parmelia sulcata.....	42
Physcia adscendens-Gruppe.....	44
Parmelia tiliacea	46
Hypogymnia physodes.....	48
10. Schlussfolgerungen	50
11. Glossar	52
12. Literatur	55
13. Anhang.....	56

Projektbearbeitung:

Dr. Martin Urech

Ingrid Schär

Michael Dietrich

Carmen Senn

1. Zusammenfassung

Die Flechtenindikationsmethode wird im Kanton Aargau als Instrument der Erfolgskontrolle der vorgenommenen Luftreinemassnahmen und deren Auswirkungen eingesetzt. Im westlichen Limmattal wurde 1989 die Luftqualität erstmals mit dieser biologischen Methode erfasst, 1995 erfolgte eine erste Wiederholungsuntersuchung. Mit der erneuten Wiederholung 2003 wurde diese Erfolgskontrolle weitergeführt: Die heutige Luftbelastung wurde erfasst und die Entwicklung der letzten 14 Jahre aufgezeigt.

Flechten als Zeiger der Luftbelastung

Flechten bilden eher unscheinbare, krusten-, blatt- oder strauchförmige Polster auf Baumrinden. Diese Lebewesen reagieren empfindlich auf Luftschadstoffe. Je stärker die Luft mit Schadstoffen belastet ist, desto weniger Flechten vermögen die Rinde von Baumstämmen zu besiedeln.

Flechten vermitteln ein Gesamtbild der Luftbelastung, welche auf Pflanzen, Tiere und auf den Menschen einwirkt. Nicht Konzentrationen einzelner Schadstoffe werden angezeigt, sondern die Auswirkung des Gesamtgemisches unterschiedlichster Schadstoffe.

Luftgüte 1989

In drei Gebieten wurde eine kritische Luftbelastung (rote Zone) festgestellt: Um die Kehrichtverbrennungsanlage Turgi, im städtischen Raum von Baden sowie im Raum Killwangen. Die orange Zone der starken Gesamtbelastung erstreckte sich grossräumig von Turgi bis Wettingen und umgab die rote Zone von Killwangen.

Nur im nördlichen, höhergelegenen Gebiet Unter- und Obersiggenthal, im Schürmatten–Eigi–Tal am Fusse der Lägeren und an der Hanglage westlich von Spreitenbach–Killwangen fanden sich grüne Zonen mit geringer Gesamtbelastung.

Luftgüte 1995

Eine kritische Gesamtbelastung (rote Zone) wurde nur noch im Zentrum von Baden gefunden, die beiden andern ehemals kritisch belasteten Gebiete wiesen noch eine starke Belastung auf. Diese orange Zone wurde insgesamt ebenfalls kleiner.

Im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes hatte eine Nivellierung der Luftbelastung stattgefunden. Die vorher stark belastete Talmitte bei Killwangen und Spreitenbach wurde entlastet, während die Talränder bei Killwangen und Würenlos stärker belastet wurden.

Luftgüte 2003

Die rote Zone mit der kritischen Gesamtbelastung ist 2003 ganz aus dem Untersuchungsgebiet verschwunden. Auch die orange Zone mit der starken Luftbelastung ist erneut deutlich zurückgegangen. Sie bedeckt hauptsächlich noch das Zentrum von Baden. Dominiert wird die Karte von der gelben Zone der mittleren Gesamtbelastung: Sie erstreckt sich über das gesamte Aufnahmegebiet, ausgenommen die schon beschriebenen orangen Flächen sowie mehrere grüne Zonen am Rand des Untersuchungsgebiets. Diese grünen Zonen mit einer geringen Gesamtbelastung haben sich insgesamt nur wenig verändert.

Differenzkarte 1989 bis 2003

Die Differenzkarte visualisiert die räumlichen Veränderungen der Luftbelastung zwischen den Untersuchungsjahren. In den letzten 14 Jahren hat sich die Luftbelastung im westlichen Limmattal fast flächendeckend verbessert. Hauptzentren der Verbesserung sind die Gebiete um Turgi, zwischen Wettlingen und Neuenhof auf beiden Seiten der Limmat und im Industriegebiet von Killwangen–Spreitenbach.

Diesen grossflächigen Verbesserungen stehen einige wenige Verschlechterungen der Luftqualität in Gebieten gegenüber, welche 1989 eine geringe Luftbelastung aufwiesen.

Acidoindex

Flechten reagieren artspezifisch auf den Säuregehalt ihrer Umgebung. Durch die Auswertung von geeigneten Zeigerarten wird der Acidoindex gebildet, welcher Aussagen über den Säuregehalt, die Acidität der Immission erlaubt.

Der Acidoindex zeigt, dass die Immissionen in den letzten 14 Jahren praktisch im ganzen Untersuchungsgebiet basischer geworden sind, der Anteil an sauren Immissionen also abgenommen hat. Diese Veränderung des Acidoindex ist gleichläufig mit dem Anstieg des pH-Wertes im Regen.

Vergleich mit Emissions- und Immissionsdaten

Die Emissionen verschiedener wichtiger Schadstoffe sind im Kt. Aargau in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen. Aufgrund der Massnahmenplanung Luft (Kanton Aargau, 1991 und 2002; www.ag.ch/umwelt) wurden von Bund, Kanton und Gemeinden viele emissionsenkende Massnahmen getroffen wie: Einführung des Katalysators, Entbleiung des Benzins, verschärfte Abgasvorschriften für alle Fahrzeugkategorien, Sanierungen von Industrieanlagen, obligatorische Ölfeuerungskontrollen, Entschwefelung des Heizöls, Lenkungsabgaben auf Heizöl, Lenkungsabgaben auf flüchtigen organischen Verbindungen und Öffentlichkeitsarbeit.

Diese Emissionsreduktionen widerspiegeln sich in der Verbesserung der Luftqualität, wie sie die Flechtenuntersuchungen nachweisen.

Auch die technischen Immissionsmessungen weisen diese Verbesserungen nach: Die Belastung durch verschiedene gemessene Einzelschadstoffe sind abnehmend. Allerdings sind LRV-Grenzwerte der Schadstoffe NO₂, Ozon und PM10 in Baden immer noch überschritten.

Schlussfolgerungen

Die positive Entwicklung der Luftqualität im unteren Limmattal, wie sie die Flechtenuntersuchungen aufzeigen, ist als direkte Folge der genannten lufthygienischen Sanierungsmassnahmen interpretierbar. Auffallend ist die Verbesserung der Flechtenvegetation im Raum Turgi–Obersiggenthal: Hier wirkte sich neben den allgemeinen Massnahmen insbesondere die Sanierung der KVA Turgi positiv auf die Flechtenvegetation aus.

Neben den grossflächigen Verbesserungen sind in einigen Gebieten auch Verschlechterungen der Luftqualität festzustellen. Betroffen davon sind Gebiete, welche räumlich etwas höher gelegen sind und in der Ersterhebung 1989 durchwegs noch gering belastet waren.

Trotz der wesentlichen Reduktion der Belastung in den letzten 14 Jahren weist der Raum Baden–Wettingen immer noch eine starke Gesamtbelastung auf. Das Ziel der Luftreinhalteverordnung, die Luftbelastung auf ein verträgliches Mass für Mensch, Tier und Pflanze zu senken, ist damit noch nicht erreicht. Diese Zielsetzung auf die Flechtenuntersuchungen umgesetzt, könnte heissen, dass die heute noch vorhandene starke Gesamtbelastung wegfällt und der Anteil der geringen und sehr geringen Gesamtbelastung zusammen mindestens 50% beträgt.

Die erzielten Ergebnisse sind geeignet für die Information der Behörden und der Öffentlichkeit über den Erfolg der bisherigen Luftreinhaltepolitik und die Notwendigkeit weiterer Massnahmen. Zur systematischen Überwachung der Luftqualität bietet sich die erneute Wiederholung der Flechtenuntersuchung in 5 bis 10 Jahren an.

2. Einleitung

Flechten als Bioindikatoren

Baumbewohnende Flechten sind empfindliche Zeiger der Luftverschmutzung. Sie reagieren empfindlich auf Luftschadstoffe. Flechten bestehen aus einer Pilz- und einer Algenart, die eine Lebensgemeinschaft bilden. Diese Symbiose reagiert besonders sensibel auf Veränderungen der Umweltbedingungen. Hinzu kommt, dass sich Flechten praktisch ausschliesslich von feinsten Staubteilchen aus Regen, Nebel und Luft ernähren. Sie sind den Schadstoffen der Luft schutzlos ausgeliefert.

Je stärker die Luft mit Schadstoffen belastet ist, desto weniger Flechten vermögen die Rinde von Baumstämmen zu besiedeln. Wo viele verschiedene Flechtenarten wachsen, ist demnach die Luftqualität besser als an Orten, wo die Rinde fast kahl ist.

Mit der kalibrierten Flechtenindikationsmethode lassen sich flächendeckende Karten der Gesamtluftbelastung erstellen.

Bisherige Untersuchungen

Im Kanton Aargau wurden 1989 entsprechende Flechtenuntersuchungen in den Regionen Aarau, Rheinfelden und im westlichen Limmattal durchgeführt (Bericht 1990: ‚Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung im Kt. Aargau, Untersuchungen 1989‘).

Als erste Erfolgskontrolle im Kanton Aargau wurden die Untersuchungen im westlichen Limmattal in den Jahren 1994 und 1995 wiederholt (Bericht 1995: ‚Wiederholungsuntersuchungen mit Flechten: 6-Jahrestrend der Luftbelastung im westlichen Limmattal‘). Im vorliegenden Bericht wird die Untersuchung der Jahre 1994/1995 der Einfachheit halber nur mit dem Jahr 1995 bezeichnet.

In den zwei Gebieten Turgi und Killwangen–Spreitenbach konnten erfreulicherweise markante Verbesserungen der Luftqualität nachgewiesen werden. Diese Verbesserungen wurden als Folgen der Emissionssenkungen bei Industrieanlagen (u.a. Kehrichtverbrennungsanlage) und dem motorisierten Verkehr (Katalysator) interpretiert. Im Zentrum von Wettingen wurde dagegen eine Verschlechterung der Luftqualität festgestellt.

Bisherige Massnahmen

1991 erstellte der Kanton Aargau den ersten Massnahmenplan zur Luftreinhaltung. Die dadurch ausgelösten Massnahmen führten zu Verbesserungen der Luftqualität. Diese Verbesserungen wurden auch durch die genannten Flechtenuntersuchungen nachgewiesen. Noch sind aber nicht alle Grenzwerte der eidgenössischen Luftreinhalteverordnung eingehalten. Deshalb erstellte der Kanton im Jahr 2002 einen neuen Massnahmenplan Luft. Ziel ist es, mittels zusätzlichen Massnahmen die Luftqualität weiter zu verbessern.

Erfolgskontrolle

Wiederholungsuntersuchungen mit Flechten sind ein Instrument der Erfolgskontrolle von lufthygienischen Massnahmen, wie sie die genannten Massnahmenpläne vorsehen. Wie die erste Erfolgskontrolle im westlichen Limmattal eindrücklich bestätigt, zeigen die Flechtenuntersuchungen auf, dass sich die Sanierungsmassnahmen positiv auf die belebte Umwelt auswirken.

Anhand der Flechtenuntersuchungen kann die Wirkung der Massnahmen auf die Luftbelastung räumlich dargestellt werden. Wiederholungsuntersuchungen führen die Wirkungserhebungen zur Luftreinhaltung in sinnvoller Weise fort.

3. Ziele

Die Flechtenindikationsmethode wird im Kanton Aargau als Instrument der Erfolgskontrolle der vorgenommenen Luftreinhaltemassnahmen und deren Auswirkungen eingesetzt. Folgende Teilziele sollen die Wirkungsweise der durchgeführten lufthygienischen Massnahmen im westlichen Limmattal aufzeigen:

- a) Die Flechtenkartierungen von 1989 und 1995 sollen wiederholt werden, die Daten sollen analog zu den früheren Untersuchungen erhoben und ausgewertet werden.
- b) Diese Untersuchung soll die heutige lufthygienische Gesamtbelastung im westlichen Limmattal charakterisieren.
- c) Anhand des Vergleichs mit den Erhebungen von 1989 und 1995 soll die Entwicklung der Luftqualität in den letzten 14 Jahren erfasst und interpretiert werden. Diese Entwicklung soll in Differenzkarten dargestellt werden.
- d) Der Vergleich zwischen Flechtenkarten und technischen Emissions- und Immissionsdaten soll zur Interpretation der biologischen Ergebnisse beitragen.
- e) Durch die Auswertung der vorkommenden Flechtenarten sollen Aussagen über den Säuregrad der Immissionen (AcidoindeX) und deren Veränderung gewonnen werden.
- f) Die Untersuchungsergebnisse sollen so dokumentiert werden, dass weitere Wiederholungsuntersuchungen in späteren Jahren problemlos möglich sind.
- g) Die Flechtenerhebung soll die Luftbelastungen sichtbar und erfahrbar machen: Sie dient als Grundlage für die Information von Behörden und Öffentlichkeit über den Erfolg der Luftreinhaltung im Kanton Aargau.

4. Methode

Kalibrierte Flechtenindikationsmethode

Die Flechten-Bioindikation bildete Teil des Nationalen Forschungsprogramms 14 ‚Lufthaushalt und Luftverschmutzung in der Schweiz‘: Mitte der 80er Jahre wurde die kalibrierte Flechtenindikationsmethode entwickelt und mit technischen Luftdaten kalibriert (Urech et al. 1991). Seither fand die Methode vielfache Anwendung in kantonalen und kommunalen Projekten, in welchen die Luftbelastung mit dem sogenannten Flechtenindex bestimmt wurde.

Räumlich ist die Flechtenindikationsmethode im Schweizer Mittelland in waldfreien Gebieten unterhalb etwa 1000 m.ü.M anwendbar. Die Anzeige der Luftbelastung durch die Flechtenvegetation erfolgt mit einer Verzögerungszeit von 1 bis 3 Jahren. Die Flechtenvegetation spiegelt demnach die Belastungssituation der letzten Jahre wider. Die Flechtenergebnisse entsprechen dem Integral der Gesamtluftbelastung, welche auch Spitzenbelastungen beinhaltet.

Die Methode basiert auf der einmaligen Auszählung der Vielfalt und Häufigkeit der Flechten auf ausgewählten, freistehenden Laubbäumen. Berücksichtigt werden Linden, Ahorne, Eschen und Eichen. Ideale Trägerbäume stehen frei, ausserdem sind sie möglichst senkrecht gewachsen und sie sollten keine tiefhängenden Äste sowie eine ungestörte Aufnahme­fläche aufweisen.

Zur Bestimmung des Flechtenindex (IAP18, Index of Atmospheric Purity) muss keinerlei Flechtenmaterial entnommen werden, die Flechten werden nicht zerstört.

Die kalibrierte Flechtenmethode erfasst die Flechtenvegetation innerhalb einer standardisierten Aufnahme­fläche am Baum. Diese ist durch das Frequenzgitter begrenzt, das immer auf dieselbe Weise am Baum befestigt wird (Abb. 0). Das Frequenzgitter ist 50 cm hoch, umfasst den halben Stammumfang und wird immer in Richtung des grössten Flechtenbewuchses am Baum befestigt. Die Breite der Aufnahme­fläche ist also umso grösser, je dicker der Trägerbaum ist. Das Frequenzgitter unterteilt die Aufnahme­fläche in 10 gleich grosse Felder.

Die Frequenz bezeichnet die Anzahl Felder im Frequenzgitter, in welchen eine bestimmte Flechtenart oder –artengruppe auftritt. Die Frequenz einer Art kann demnach einen Wert zwischen 0 (d.h. die Art ist nicht vorhanden) und 10 (d.h. die Art ist in allen Feldern vorhanden) annehmen.



Abb. 0:
Trägerbaum mit
Frequenzgitter

Der IAP18-Wert eines Trägerbaumes ist die Summe der Frequenzen aller berücksichtigten Flechtenarten. Dieser Flechtenwert charakterisiert die Luftgüte aufgrund der Häufigkeit von 49 verschiedenen Flechtenarten und –artengruppen in der Aufnahme­fläche an den untersuchten Bäu­men. Einige wenige Flechtenarten stören die IAP-Aussage und werden für die Berechnung des IAP18-Wertes grundsätzlich ausgeschlossen.

Flechtenuntersuchungen 2003

Die Flechtenuntersuchung 2003 wurde analog zu den Erhebungen von 1989 und 1994/95 durchgeführt. Das Gebiet umfasst eine Fläche von 41 km². Davon sind rund 5 km² randliche und eingeschlossene Waldgebiete, welche zwar durch die Luftgütekarte abgedeckt sind, in denen aber keine Flechtenerhebungen vorgenommen werden. Die Flechtendaten wurden von Mai bis Oktober 2003 erhoben.

Im Untersuchungsgebiet wurde möglichst an den gleichen Bäumen mit der identischen Methode der Flechtenluftgütwert IAP18 bestimmt. Pro km²-Rasterflächen des Landeskartenkoordinatennetzes wurden jeweils sechs Trägerbäume zur Analyse der baumbewohnenden Flechtenvegetation ausgewählt. Insgesamt wurden 216 Bäume kartiert, 63 Bäume (29%) mussten ersetzt werden, da sie entweder gefällt wurden oder sich nicht mehr für die Methode eigneten. Seit 1989 wurden 106 Bäume ersetzt, das entspricht 49% aller Bäume. Die Daten der einzelnen Bäume befinden sich im Anhang.

Die Flechtenwerte der einzelnen Bäume wurden in Gruppen von 4 bis 6 Bäumen zu einem Mittelwert verrechnet. Diese Baumgruppen stehen in geographisch einheitlichen Räumen, sogenannten Georäumen. Das untersuchte Gebiet umfasst 43 Georäume. Es wird davon ausgegangen, dass die Flechten innerhalb eines Georaumes einer vergleichbaren Gesamtluftbelastung ausgesetzt sind. Die Daten der Georäume (Lage, Mittelwerte) befinden sich im Anhang.

5. Flechtenkarten 1989, 1995 und 2003

Die Luftgütekarte wird in Form einer Isolinienkarte erstellt, d.h. Punkte mit gleicher Belastung werden zu Linien verbunden. Die Luftgütekarte zeigt, räumlich differenziert, die Effekte der Luftbelastung auf die Flechten.

Die Karte umfasst fünf Zonen mit unterschiedlicher Beeinträchtigung der Flechten. Die Zonengrenzen sind als Übergangsbereiche und deshalb nicht auf ihren metergenaue Verlauf hin zu interpretieren.

Alle randlich liegenden Zonierungsverläufe sind mit Vorsicht zu interpretieren, da die fehlende Information im angrenzenden Gebiet eine gut abgestützte Linienführung erschwert. Linien, welche weniger präzise abgesichert sind, werden in den Karten durch Strichelung gekennzeichnet.

Der Stand der Luftbelastung 1989 ...

Abbildung 1 (nächste Seite) zeigt die Luftgütekarte von 1989. Damals waren in diesem Gebiet vier Zonen unterschiedlicher Luftqualität aufgetreten. Die Zone mit sehr geringer Luftbelastung (blaue Zone) fehlte im Untersuchungsgebiet.

Die rote Zone der kritischen Luftbelastung war im Raum um die Kehrichtverbrennungsanlage Turgi, im städtischen Raum von Baden sowie im Raum Killwangen festgestellt worden.

Die orange Zone der starken Gesamtbelastung erstreckte sich grossräumig von Turgi bis Wettingen und umgab die rote Zone von Killwangen.

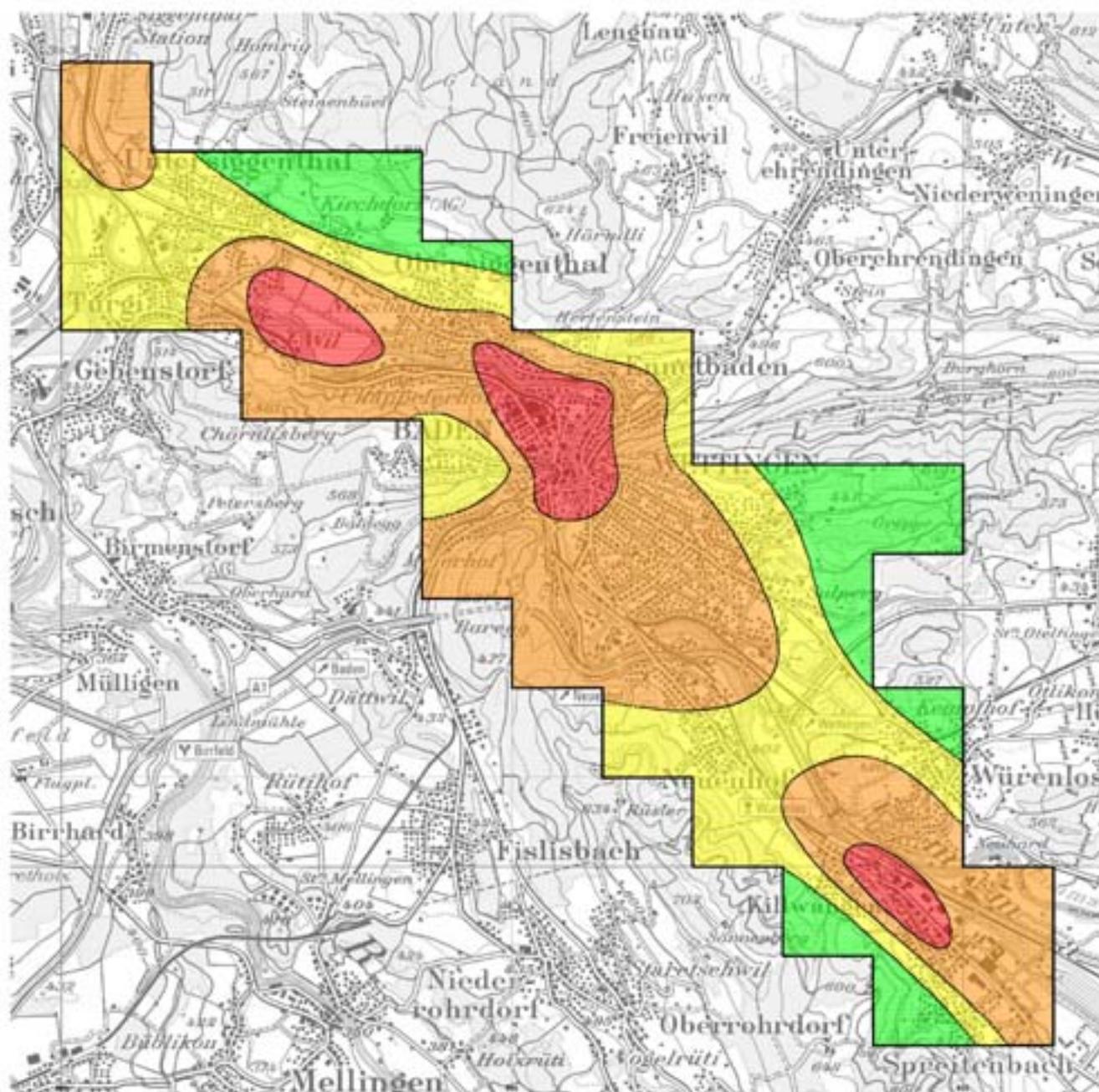
Nur im nördlichen, höhergelegenen Gebiet Unter- und Obersiggenthal, im Schürmatten–Eigi–Tal am Fusse der Lägeren und an der Hanglage westlich von Spreitenbach–Killwangen fanden sich grüne Zonen mit geringer Gesamtbelastung.

... sechs Jahre später 1995 ...

In der Abbildung 2 (übernächste Seite) sieht man die Luftgütekarte von 1995. Wiederum kamen vier der fünf Zonen mit unterschiedlicher Luftqualität vor. Die blaue Zone mit sehr geringer Gesamtbelastung fehlte nach wie vor.

Luftgütekarte 1989

Biindikation mit Flechten
Westliches Limmattal



Flechtenzone	Gesamtluftbelastung
Flechtenwüste IAP18: 0 - 18	■ kritisch
Innere Kampfzone IAP18: 19 - 31	■ stark
Äussere Kampfzone IAP18: 32 - 44	■ mittel
Übergangszzone IAP18: 45 - 57	■ gering
Normalzone IAP18: > 58	■ sehr gering



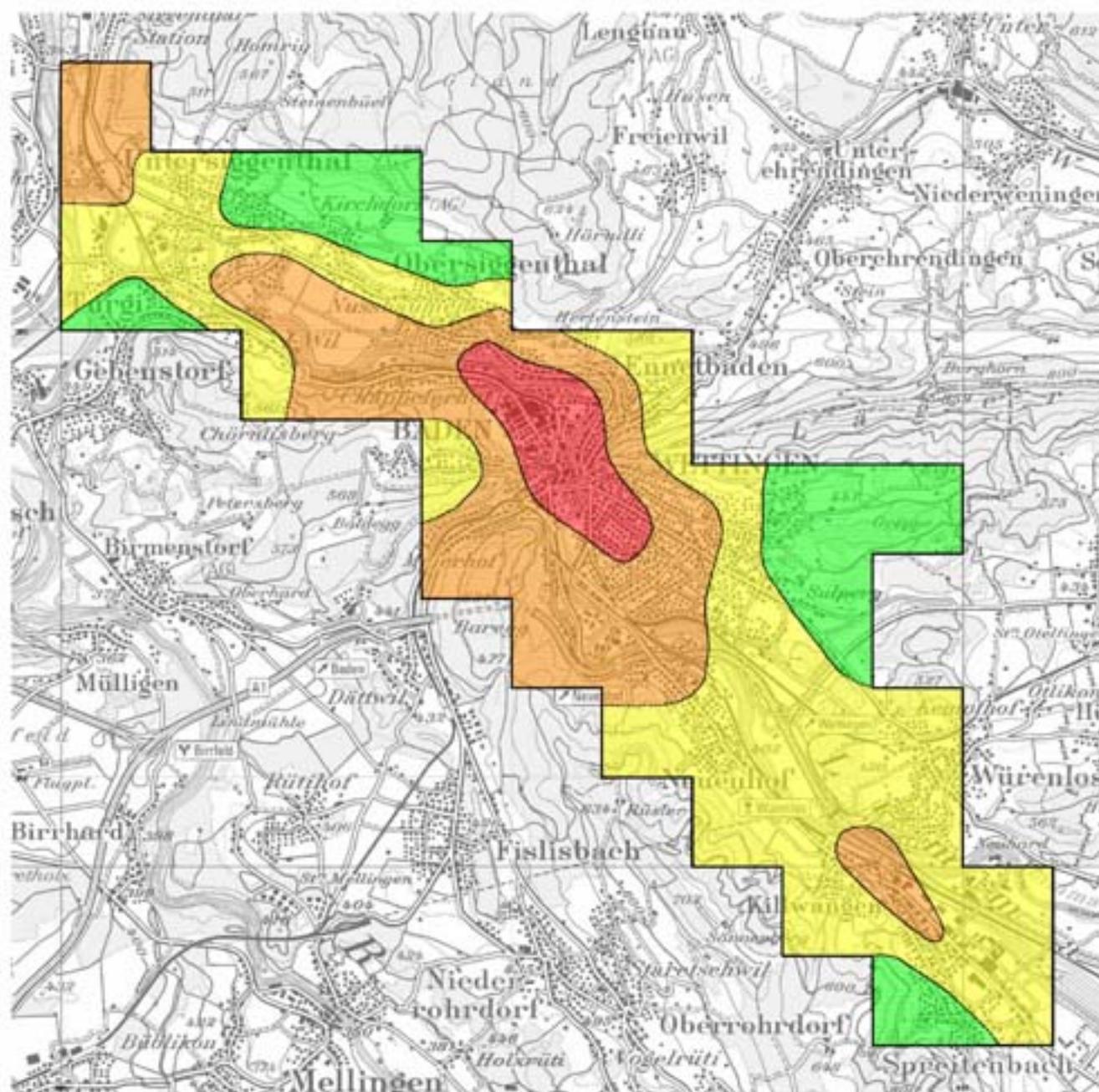


puls, Mühlemattstrasse 45, 3007 Bern

Kartendaten: PC100, *2003 waldtopo (EV 842.6)

Luftgütekarte 1995

Biindikation mit Flechten
Westliches Limmattal



Flechtenzone	Gesamtluftbelastung
Flechtenwüste IAP18: 0 - 18	■ kritisch
Innere Kampfzone IAP18: 19 - 31	■ stark
Äussere Kampfzone IAP18: 32 - 44	■ mittel
Übergangszone IAP18: 45 - 57	■ gering
Normalzone IAP18: > 58	■ sehr gering





puls, Mühlemattstrasse 45, 3007 Bern

Kartendaten: PC100, *2003 waldgeo (DV 842.6)

Der Flächenanteil mit kritischer Gesamtbelastung (rote Zone) hatte sich markant verkleinert. Die Flächen rund um die KVA Turgi und im Raum Killwangen waren verschwunden. Jedoch war der städtische Raum in Baden unverändert hoch belastet. Die Zone hatte sich in Richtung Wettingen sogar ausgeweitet und reichte dort neu bis ins Zentrum hinein.

Die orange Zone mit einer starken Luftbelastung hatte sich im Umfeld von Baden gegenüber 1989 nicht wesentlich verändert. In der Umgebung von Turgi und Obersiggenthal war diese Zone kleiner geworden. Im Raum Killwangen wurde die orange Fläche gar deutlich kleiner.

Die grüne Zone war bei Untersiggenthal–Kirchdorf–Obersiggenthal etwas grösser geworden und kam neu auch südwestlich von Turgi vor. Im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes hatte eine Nivellierung der Luftbelastung stattgefunden. Die vorher stark belastete Talmitte bei Killwangen und Spreitenbach wurde entlastet, während die Talränder bei Killwangen und Würenlos stärker belastet wurden.

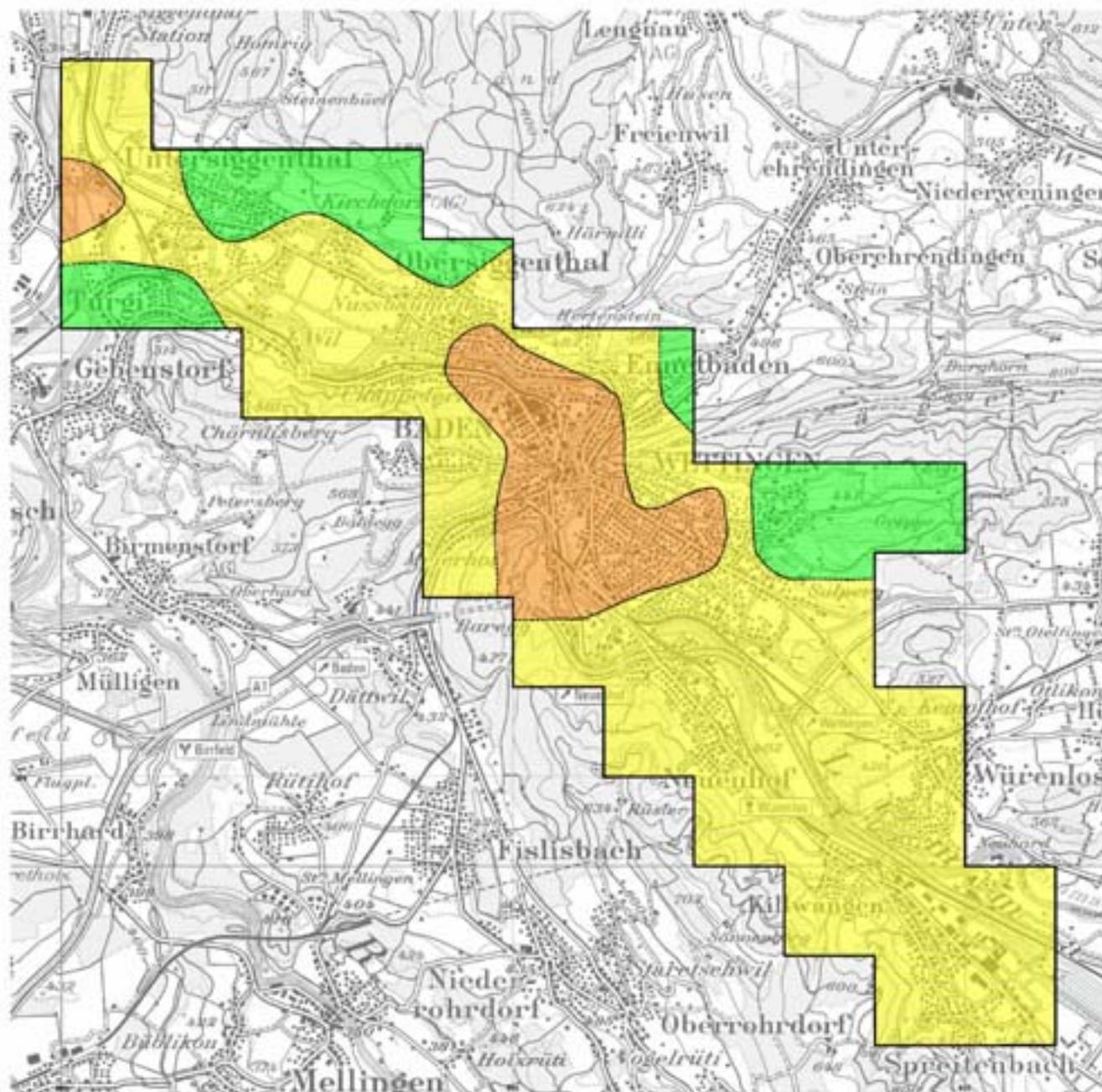
... und 2003

Die Luftgütekarte 2003 (Abb. 3, nächste Seite) hat sich gegenüber den früheren Jahren wesentlich verändert. Die rote Zone mit der kritischen Gesamtbelastung ist aus dem Untersuchungsgebiet ganz verschwunden. Sie hat im Jahr 1989 noch 9% der Untersuchungsfläche bedeckt (vgl. Zahlen in Abb. 4). Die orange Zone mit der starken Luftbelastung hat seit der ersten Untersuchung um rund 67% abgenommen. Die gelbe Zone der mittleren Luftbelastung hingegen hat sich mehr als verdoppelt. Der Flächenanteil der grünen Zone mit der geringen Luftbelastung ist in den drei Untersuchungen in etwa gleich geblieben. Die blaue Zone mit der sehr geringen Luftbelastung kommt immer noch nicht vor.

Es gibt noch zwei Gebiete mit starker Gesamtbelastung: Im nördlichen Teil des Gebietes wurde die orange Zone gegenüber 1995 um ca. die Hälfte reduziert und beschränkt sich nun auf eine kleine Fläche. Das grössere Gebiet deckt das Zentrum von Baden und dessen städtisch geprägte Umgebung ab. Verglichen mit der Luftgütekarte 1995 wurde diese Fläche ebenfalls um etwa die Hälfte kleiner. Die orange Insel im Talboden von Killwangen ist verschwunden.

Luftgütekarte 2003

Biindikation mit Flechten
Westliches Limmattal



Flechtenzone	Gesamtluftbelastung		
Flechtenwüste IAP18: 0 - 18	 kritisch	  puls, Mühlemattstrasse 45, 3007 Bern <small>Kartendaten: PE130L, 42003, waldtopo (DV 842.6)</small>	
Innere Kampfzone IAP18: 19 - 31	 stark		
Äussere Kampfzone IAP18: 32 - 44	 mittel		
Übergangszzone IAP18: 45 - 57	 gering		
Normalzone IAP18: > 58	 sehr gering		

Die gelbe Zone der mittleren Gesamtbelastung dominiert die Karte: Sie erstreckt sich über das gesamte Aufnahmegebiet, ausgenommen die schon beschriebenen orangen Flächen sowie mehrere grüne Zonen am Rand des Untersuchungsgebiets.

Auffällig ist das Gebiet südlich von Wettingen: Der ganze Raum Neuenhof, Würenlos, Spreitenbach, Killwangen gehört der gelben Zone der mittleren Gesamtbelastung an. Die orange Insel im Talboden wie auch die grüne Zone oberhalb Spreitenbach sind verschwunden.

Die grünen Zonen mit geringer Gesamtbelastung haben sich insgesamt nur wenig verändert. Das Gebiet bei Untersiggenthal–Turgi hat sich leicht vergrößert. Bei Ennetbaden hat sich eine neue, wenn auch kleine grüne Zone gebildet. Im Schürmatten–Eigi–Tal zeigt sich noch immer die gleiche Situation, aber südlich davon nimmt die Grösse der grünen Fläche nach wie vor ab.

Flächenanteil der einzelnen Zonen

Die Flächenanteile der einzelnen Zonen sind in Abbildung 4 tabellarisch und in Abbildung 5 grafisch dargestellt. Es fällt auf, dass im ganzen Raum eine starke Entlastung der Luft von Schadstoffen stattgefunden hat. Die Zonen mit kritischer und starker Belastung sind zurückgewichen, während dem sich der Anteil der mittelbelasteten Zone stark vergrößert hat.

Im Jahr 1989 bildete die Zone starker Luftbelastung mit 44% den grössten Anteil im Untersuchungsgebiet. 1995 war die mittelbelastete Zone mit 45% am stärksten vertreten und die starkbelastete Zone erreichte noch 31%. Bis ins Jahr 2003 nimmt der Flächenanteil der Zone mittlerer Belastung weiter deutlich auf 69% zu.

Die Zonen mit geringer Luftbelastung ist insgesamt nahezu gleich gross geblieben. Die Entwicklung dieser Zone lief nicht überall gleich ab: Im nördlichen Teil hat sich die Zone seit 1989 ebenfalls etwas ausgedehnt, während sie südlich von Wettingen ganz verschwunden ist. Hier setzt sich die Nivellierung, welche schon zwischen 1989 und 1995 festgestellt wurde, fort: Im früher stark belasteten Talboden hat die Luftbelastung abgenommen, in den ehemals weniger belasteten etwas höher gelegenen Randgebieten hat die Belastung tendenziell zugenommen.

Gesamtbelastung	Fläche 2003		Fläche 1995		Fläche 1989	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
kritisch	0	0	2	6	4	9
stark	6	14	13	31	18	44
mittel	28	69	19	5	13	31
gering	7	17	8	18	7	16
sehr gering	0	0	0	0	0	0
Total	41	100	41	100	41	100

Abb. 4: Absolute und relative Flächenanteile der einzelnen Belastungszonen.

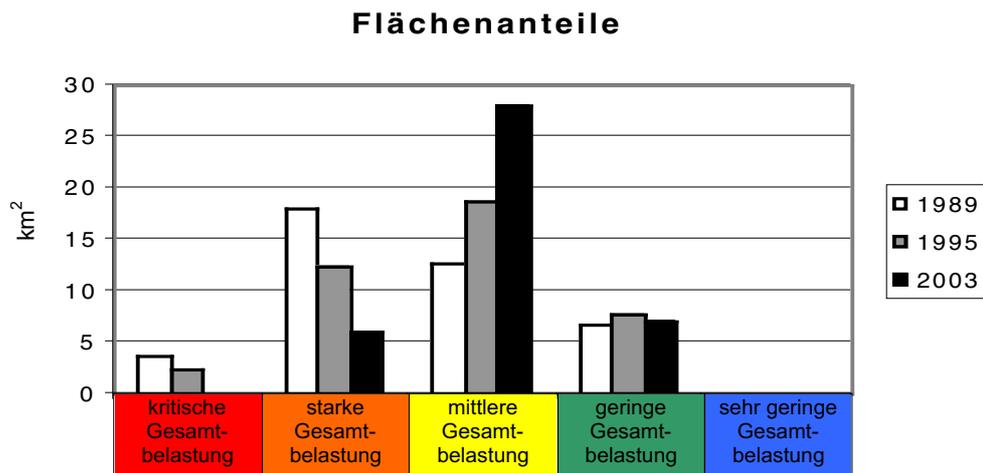


Abb. 5: Entwicklung der Flächenanteile der einzelnen Zonen.

Artenzahl und Artenvielfalt

Die Luftbelastung äussert sich deutlich im Erscheinungsbild der Flechtenvegetation. So ist die Artenzusammensetzung, die Artenzahl (siehe Abb. 6), die Frequenz (siehe Kap. 9) und die Vitalität der Flechten in den fünf Zonen verschieden.

Die durchschnittliche Artenzahl pro Trägerbaum steigt regelmässig und fast linear mit zunehmend besserer Luftgütezone an (Abb. 6 und 7). Der kontinuierliche Anstieg entspricht der Definition des IAP18-Wertes: je mehr verschiedene Arten an einem Baum vorkommen und je höher ihr durchschnittlicher Frequenzwert ist, desto höher liegt der IAP18-Wert.

Eine weitere Information liefert die Artenvielfalt (Abb. 8). Diese Grösse gibt Auskunft darüber, wie viele verschiedene Flechtenarten auf den Trägerbäumen innerhalb einer Luftgütezone vorkommen. Man kann deutlich erkennen, dass in stark belasteten Zonen nur wenige Flechtenarten vorkommen. Mit der Verbesserung der Luftqualität nimmt auch die Anzahl vorkommender Flechtenarten zu. Das Maximum wird in der Übergangszone erreicht.

20 untersuchte Bäume weisen einen IAP18-Wert über 58 auf, d.h. sie gehören der Zone sehr geringer Gesamtbelastung an. An diesen Bäumen nimmt die Artenvielfalt wieder ab. Hier wirkt sich aus, dass dieses Kollektiv nur 20 Bäume umfasst: Die Artenvielfalt ist auch abhängig von der Anzahl Bäume einer Zone.

Gesamtbelastung	Artenzahl	Artenvielfalt	
	durchschnittliche Artenzahl pro Baum	Gesamtartenzahl pro Zone	Anzahl Bäume
kritisch	3.0	15	26
stark	5.5	27	37
mittel	7.3	33	79
gering	9.3	37	54
sehr gering	10.0	31	20

Abb. 6: Das Flechtenvorkommen in den einzelnen Luftgütezonen des Untersuchungsgebietes.

Artenzahl

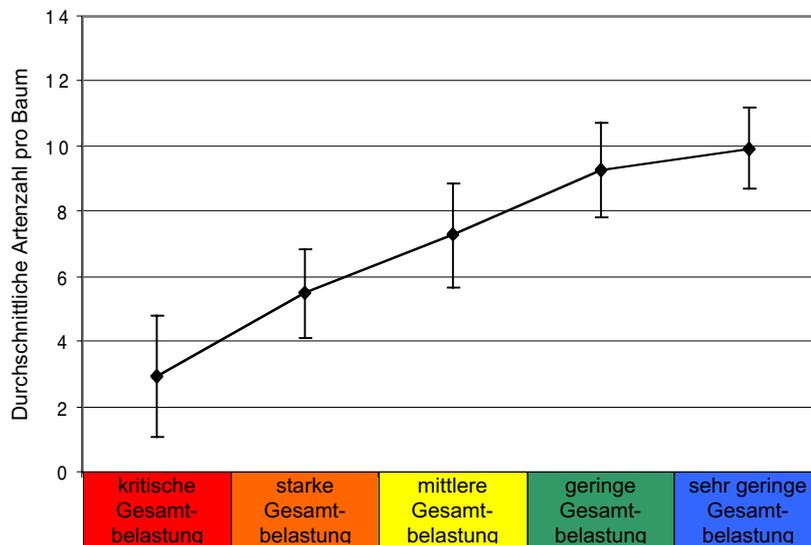


Abb. 7: Zeigt die durchschnittliche Artenzahl pro Baum in den fünf Belastungszonen.

Artenvielfalt

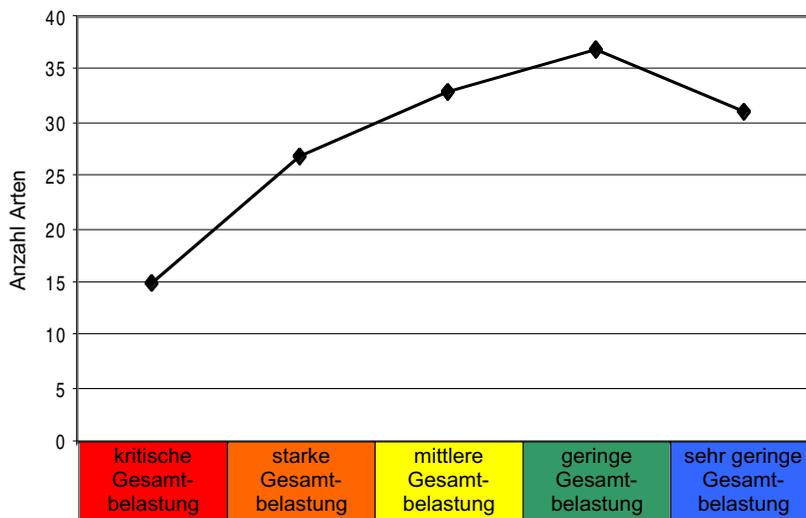


Abb. 8: Die Artenvielfalt beschreibt, wieviele Arten innerhalb jeder Zone vorkommen.

6. Differenzkarten 1989 bis 2003

Differenzkarten visualisieren die räumlichen Veränderungen der Luftbelastung zwischen den einzelnen Untersuchungsjahren (Abb. 9 ff, folgende Seiten). Verbesserungen der Luftqualität sind blau, Verschlechterungen rot dargestellt. Zonen mit unwesentlichen Veränderungen sind grau eingefärbt.

Für die Erstellung der Differenzkarte werden die alten IAP-Werte pro Georaum von den neuen subtrahiert. Verschlechterungen der Luftqualität manifestieren sich durch negative Differenzen, Verbesserungen durch positive. Die Daten der einzelnen Georäume sind im Anhang aufgelistet.

Die Differenzen werden in fünf Klassen unterteilt, damit Zonen gleicher Veränderung gebildet werden können. Die Differenzkarte ist, wie die Luftgütekarte, eine Isolinienkarte und wird durch lineare Interpolation der Zonengrenzen konstruiert. Gebiete gleicher IAP-Differenzen befinden sich in der gleichen Zone. Alle randlich liegenden Zonierungsverläufe sind mit Vorsicht zu interpretieren, da die fehlende Information im angrenzenden Gebiet eine gut abgestützte Linienführung erschwert. Linien, welche weniger präzise abgesichert sind, werden in den Karten durch Strichelung gekennzeichnet.

Die Klassenbreite der Differenzkarte entspricht einer halben Klassenbreite der Luftgütekarte. Dies führt dazu, dass die Differenzkarte Veränderungen des IAP-Wertes sehr differenziert aufzeichnet, mehrere Zonengrenzen können räumlich nahe beieinander liegen.

Differenzkarte 1989 bis 1995

Zwischen 1989 und 1995 hat sich die Luftqualität in zwei Gebieten grossräumig verbessert (Abb. 9): In der Region Turgi-Untersiggenthal-Obersiggenthal und im Talboden von Killwangen-Spreitenbach bis nach Wettingen. Im Zentrum von Wettingen ist die Luftbelastung höher geworden. Das manifestiert sich auch in der Luftgütekarte, wo sich die Zone mit kritischer Belastung ins Zentrum von Wettingen ausgebreitet hat. Weite Teile des Untersuchungsgebietes sind grau eingefärbt, was heisst, dass es dort keine wesentliche Veränderung der Luftbelastung gegeben hat.

Differenzkarte 1995 bis 2003

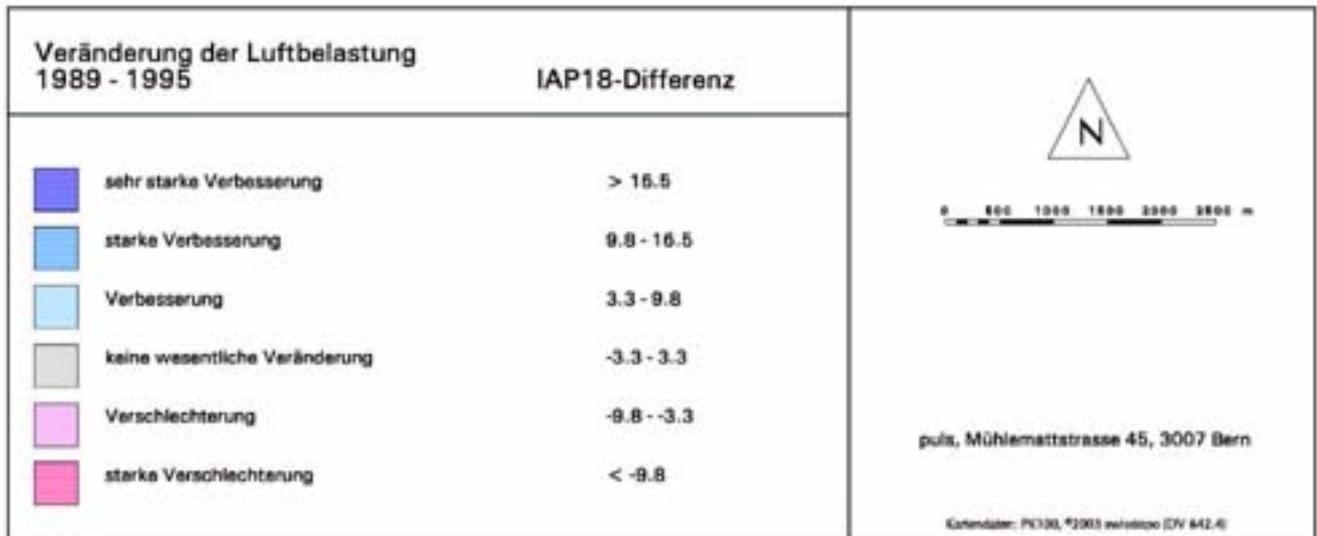
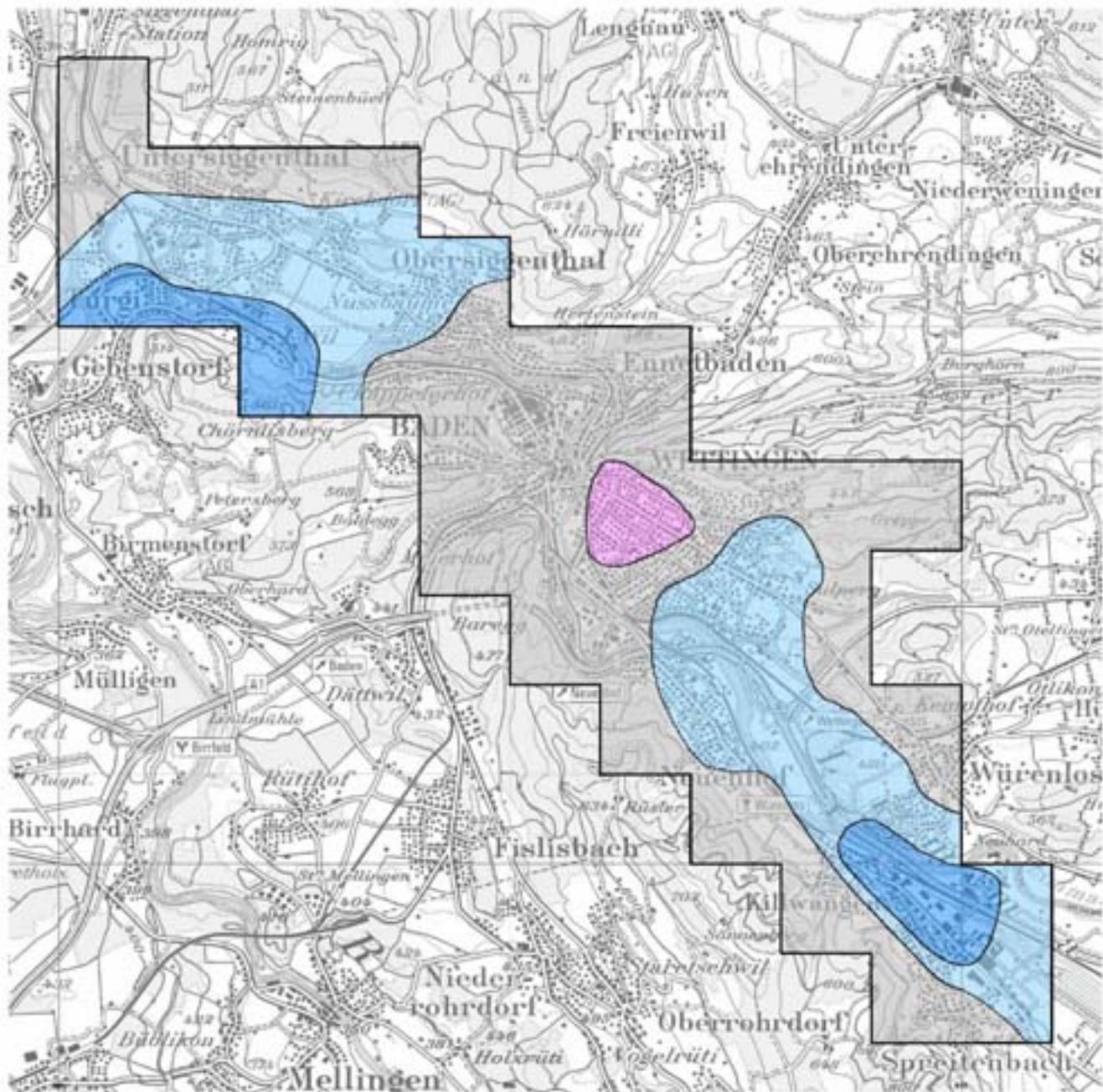
Diese Differenzkarte zeigt, dass sich in den letzten acht Jahren die Luftbelastung im westlichen Limmattal grossräumig verbessert hat (blaue Zonen in Abb. 10). Praktisch überall, wo die Belastung kritisch oder stark war (rote und

orange Zonen in der Luftgütekarte) hat sich die Situation verbessert. Östlich von Turgi, im Stadtzentrum von Baden und in Neuenhof hat sich die Belastung stark verringert (mittelblaue Zone).

Verschlechtert hat sich die Situation in den randlichen Gebieten. Es betrifft vor allem die Hanglagen nördlich von Unter- und Obersiggenthal, südlich der Lägeren, Würenlos–Sulperg und oberhalb Spreitenbach. Dem entsprechend sind in der Luftgütekarte die grünen, gering belasteten Zonen nordwestlich von Würenlos und in Spreitenbach verschwunden.

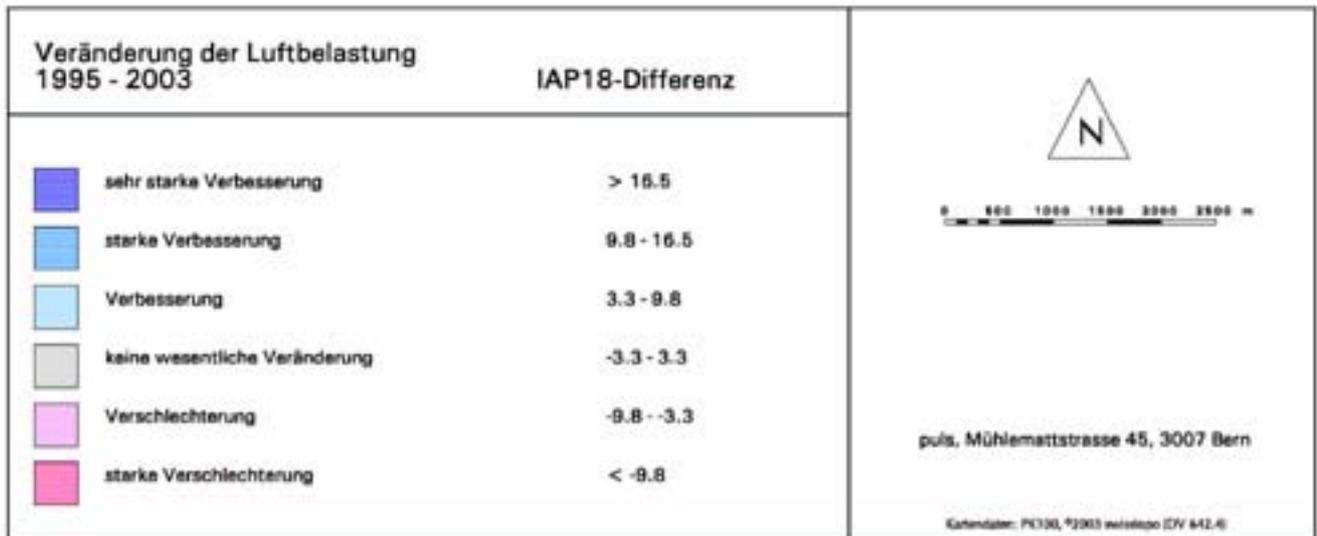
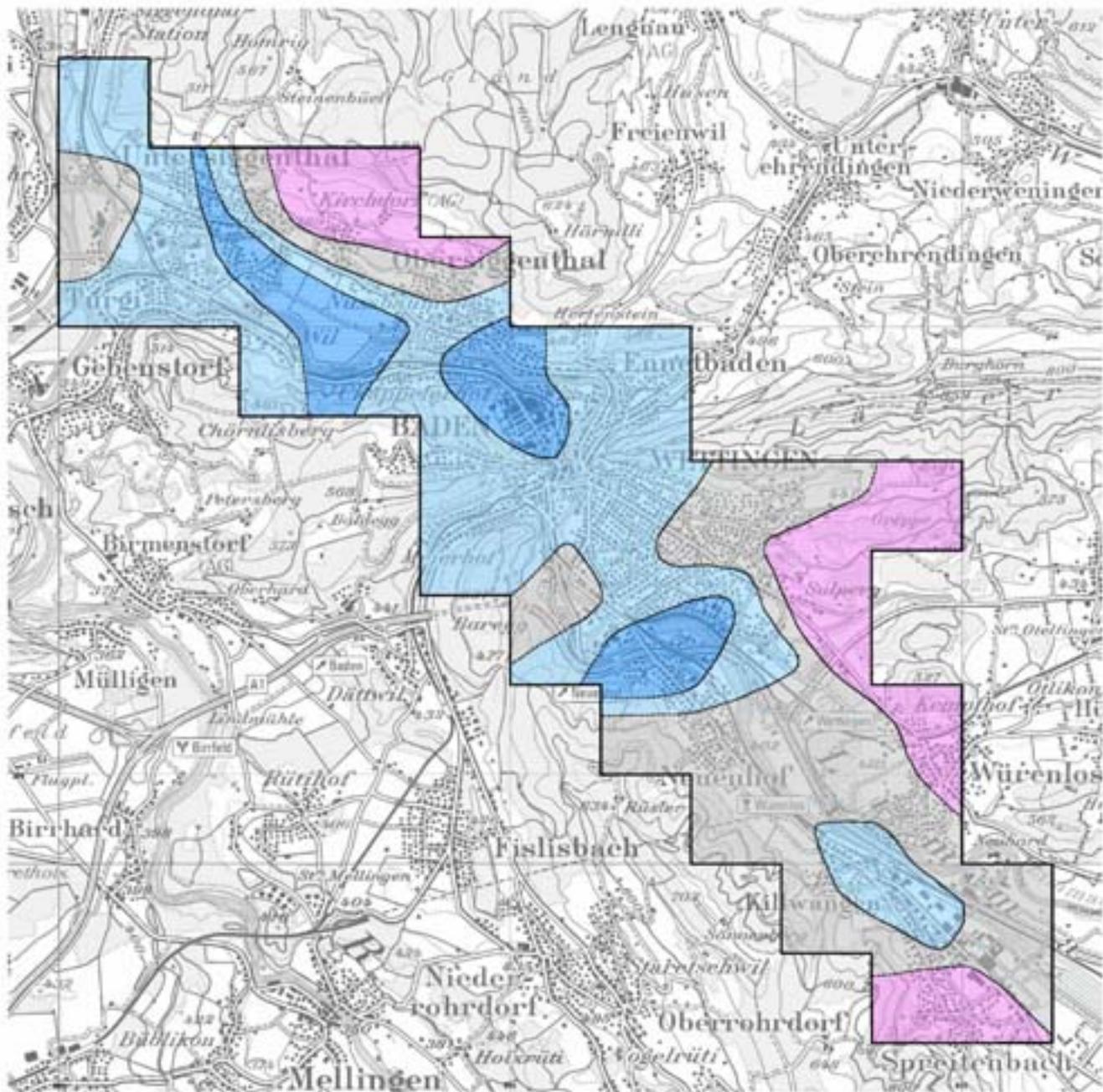
Differenzkarte 1989 - 1995

Bioindikation mit Flechten
Westliches Limmattal



Differenzkarte 1995 - 2003

Bioindikation mit Flechten
Westliches Limmattal



Differenzkarte 1989 bis 2003

In den letzten 14 Jahren hat sich die Luftbelastung im westlichen Limmattal zum Teil sehr stark verbessert (Abb. 11). So stark, dass eine neue Zone geschaffen wurde, damit diese Situation adäquat dargestellt werden kann: Die dunkelblaue Zone repräsentiert Georäume, die sich um mehr als 16.5 IAP-Punkte verbessert haben.

Diese Zonen sind in Turgi mit Ausdehnung nach Osten, zwischen Wettingen und Neuenhof auf beiden Seiten der Limmat und im Industriegebiet von Killwangen–Spreitenbach zu finden. Sie werden jeweils von mittelblauen Zonen starker Verbesserung umgeben. Diese Zone reicht im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes von Turgi bis ins Stadtzentrum von Baden und nach Ennetbaden.

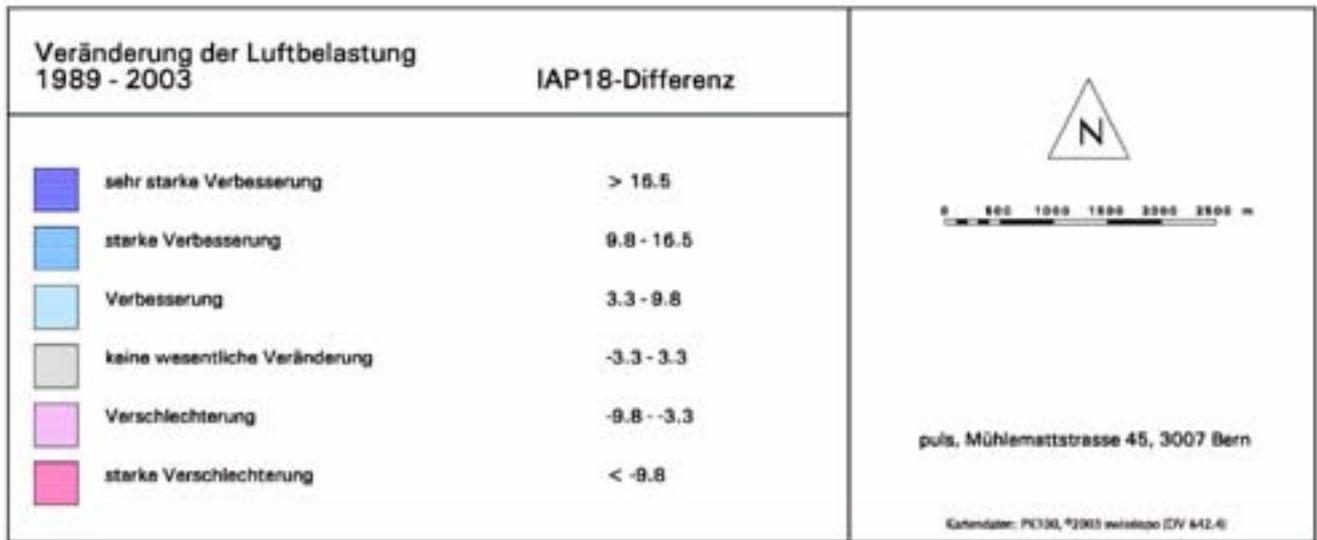
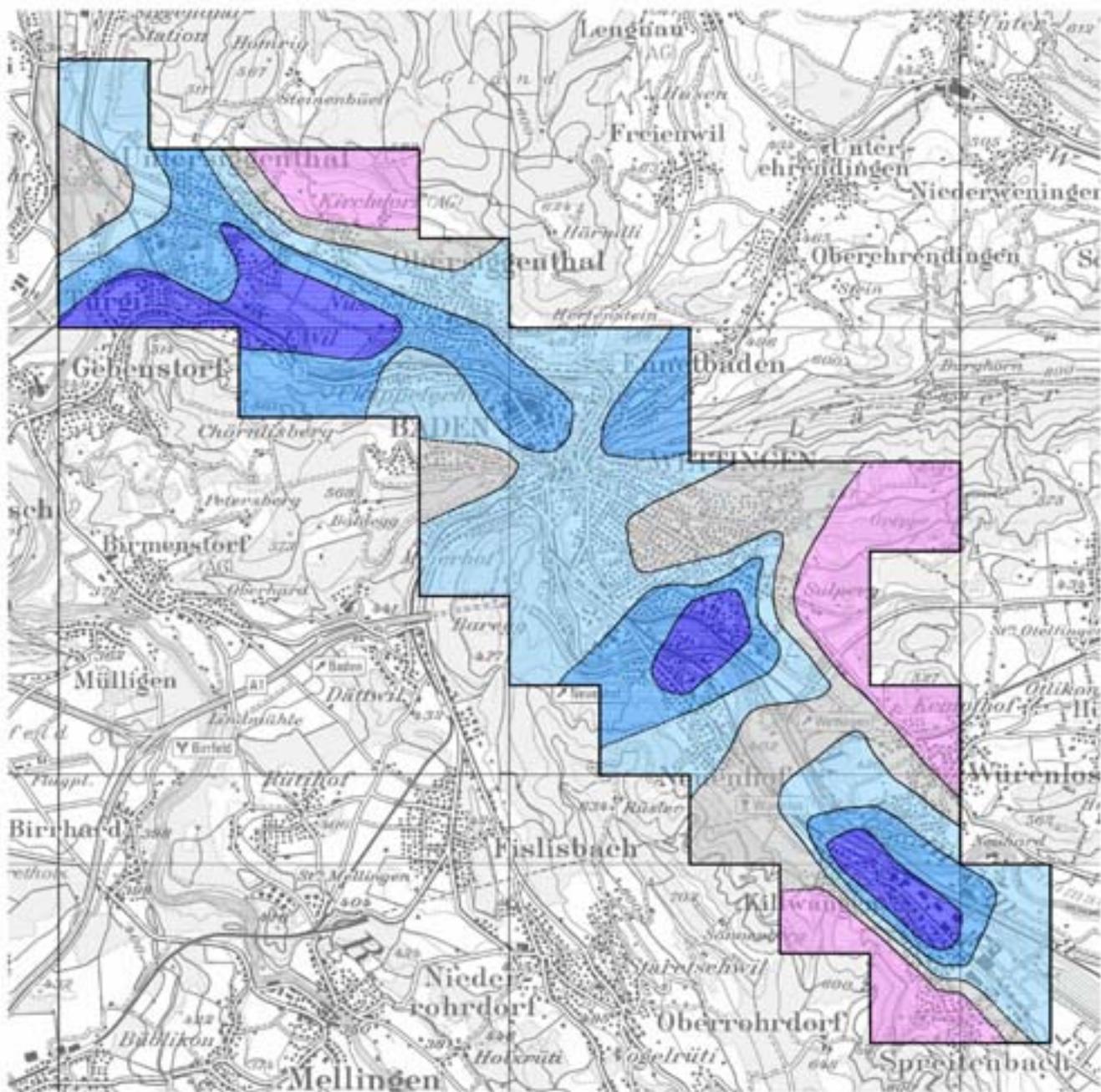
Diesen grossflächigen Verbesserungen stehen einige wenige Verschlechterungen der Luftqualität gegenüber: Oberhalb Untersiggenthal und Kirchdorf und im Eigi-Tal sind Gebiete betroffen, die auf den IAP-Karten 1995 und 2003 eine geringe Luftbelastung aufweisen. Die Verschlechterung in den Gebieten Sulperg, Würenlos und oberhalb Killwangen–Spreitenbach zeigt sich auch als Zonenänderung in der IAP-Karte 2003, die grünen Zonen sind verschwunden.

Die Zonen mit starken Verbesserungen und Zonen mit Verschlechterungen liegen zum Teil nahe beieinander, die Differenzkarte weist steile Gradienten auf. Dies zeigt zum einen die räumlich differenzierte Reaktion der Flechten und ist zum anderen auch ein Indiz für die grosse Sensibilität der Differenzkarten.

Zum einen ist dies die Folge der räumlich differenzierte Reaktion der Flechten und zum andern bedingt durch die relativ geringe Zonenbreite: Die Zonen der Differenzkarte umfassen jeweils 6.6 IAP-Werte.

Differenzkarte 1989 - 2003

Bioindikation mit Flechten
Westliches Limmattal



7. Saure und basische Immissionen

Die 41 verschiedenen Flechtenarten, die in der vorliegenden Untersuchung gefunden und für den IAP18-Wert berücksichtigt worden sind, stellen unterschiedliche Ansprüche an die Umwelt. Gewisse Arten reagieren sehr sensibel auf verschmutzte Luft und sind entsprechend selten; andere sind robuster und dringen bis ins Siedlungs- oder Industriegebiet vor.

Nebst dieser Schadstoff-Anzeige liefern die Flechten zusätzlich Hinweise auf saure oder basische Verhältnisse; daraus lassen sich Vermutungen über den Ursprung der Luftbelastung ableiten. Basische Verhältnisse findet man beispielsweise in landwirtschaftlich geprägten Regionen, wo Ammoniak aus Dünger und natürlichen Stäuben basische Immissionen liefern. Arten, die sich auf saure Rinden spezialisiert haben, verschwinden aus Gebieten, wo die Baumrinden durch Immissionen basisch werden.

Saure Immissionen sind das Resultat von Verbrennungsprozessen, insbesondere NO_x und SO_2 führen zu sauren Luftbelastungen. Entsprechend treten saure Immissionen primär in Industrie- und Siedlungszentren sowie in verkehrsbelasteten Gebieten auf. Hier findet man Flechtenarten, die saure Substrate bevorzugen.

Der Massstab für saure oder basische Immissionsverhältnisse ist der Acidoindex. Basis des Acidoindex' bilden die Artenzusammensetzung und die spezifischen Reaktionsweisen von Flechtenarten auf den Säuregrad ihres Habitats. Der Wert des Acidoindex' basiert zum einen auf den Frequenzwerten der fünf acidophilen Flechtenarten *Hypogymnia physodes*, *Hypogymnia tubulosa*, *Pseudevernia furfuracea*, *Evernia prunastri* und der Artengruppe *Parmelia glabratula-Gr.*, zum andern auf jenen der fünf basiphilen Arten *Xanthoria parietina*, *Physconia distorta*, *Parmelia subargentifera*, *Phaeophyscia orbicularis* und der Artengruppe *Physcia adscendens-Gr.* Die Frequenzsumme der fünf basiphilen Arten wird von der Frequenzsumme der fünf acidophilen Arten subtrahiert. Der Acidoindex wird jeweils pro Georaum gemittelt.

Jeder Kreis auf den Acidokarten (Abb. 12 bis 14, folgende Seiten) entspricht einem Georäummittelpunkt. Rote Kreise stehen für einen positiven Acidoindex, sie geben Hinweise auf das Überwiegen der sauren Immissionen in der Gesamtbelastung. Grüne Kreise bezeichnen basische Immissionen, der Acidoindex ist negativ. Die Kreisgrösse entspricht dem Wert des Acidoindex', je grösser der Wert desto grösser der Kreis. Der Acidoindex ist ein relatives Mass, eine Zuordnung zu einem absoluten Säurewert wie z.B. der pH-Wert ist nicht möglich. Die Entwicklungen von Acidoindex und pH-Wert können aber gut miteinander verglichen werden (vgl. Kap. 8, Seite 35).

Acidoindex 1989 und 1995

Im Jahr 1989 präsentierte sich die Lage im westlichen Limmattal überwiegend sauer geprägt (Abb. 12). Nur vereinzelte grüne Kreise wiesen auf basische Verhältnisse hin. So etwa nordwestlich von Untersiggenthal, östlich von Wettingen, in Würenlos und oberhalb Killwangen und Spreitenbach. Sechs Jahre später war das Gebiet immer noch mehrheitlich sauren Immissionen ausgesetzt (Abb. 13). Im Zeitraum von 1989 bis 1995 zeigte sich der Trend zu weniger sauren Immissionsverhältnissen sehr deutlich. Auffallend verändert hatte sich der Raum westlich von Baden, welcher basischer geprägt war. Diese Veränderungen liess sich auf die Sanierung der Kehrrechtverbrennungsanlage Turgi zurück führen. Auch der Raum Spreitenbach war basischer geprägt. Zugenommen haben die sauren Immissionen im limmatnahen Gebiet südlich von Baden und im nordöstlichen Teil von Wettingen.

Acidoindex 2003

In den vergangenen acht Jahren hat sich die Situation deutlich verändert, der Trend zu basischen Verhältnissen hat sich fortgesetzt (Abb. 14). Die Georäume mit einem negativen (=basischen) Acidoindex sind häufiger geworden. Sauer geprägt sind noch einzelne Georäume (Turgi, Nussbaumen, Baden, Umgebung von Wettingen und Neuenhof). Besonders auffällig ist die Veränderung im Raum Killwangen–Spreitenbach–Würenlos: Im Talboden sind die roten Kreise verschwunden, das ganze Gebiet ist basisch geprägt.

Acidoindex-Differenz 1989 bis 2003

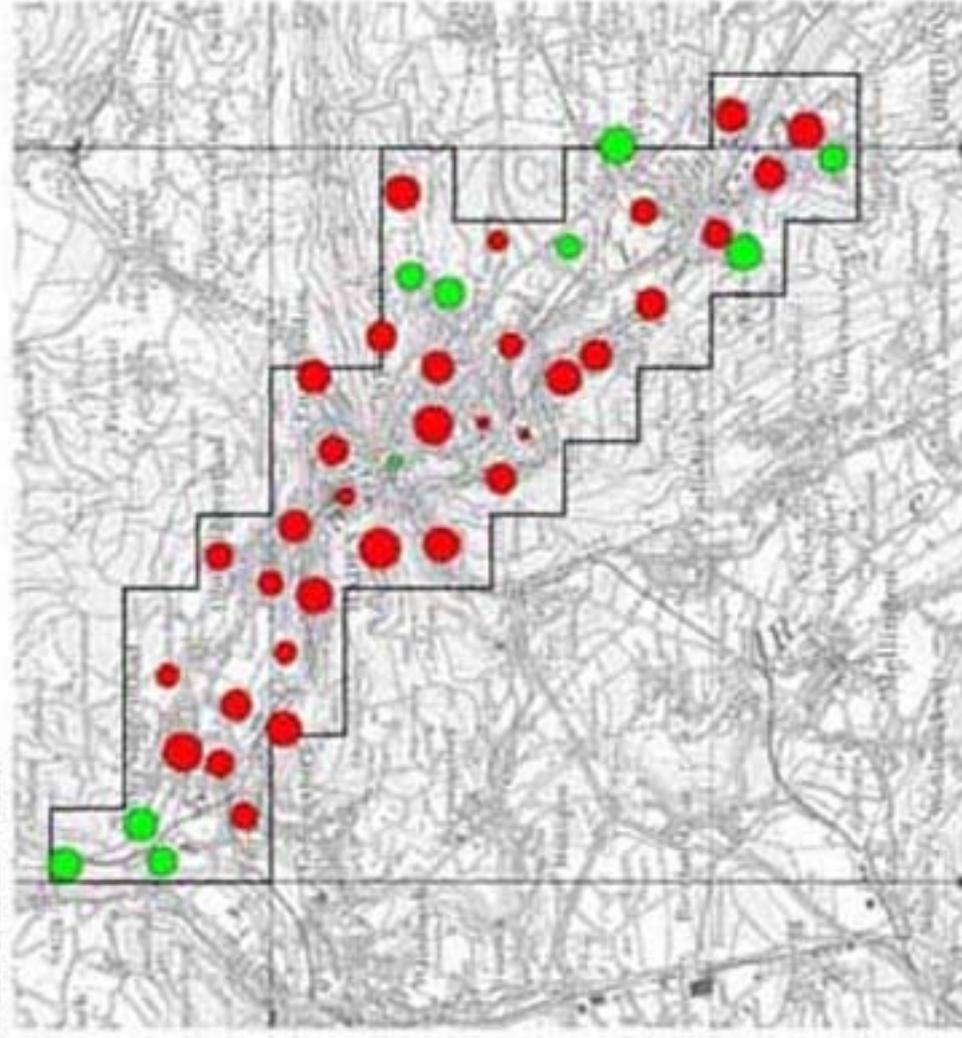
In Abbildung 15 ist die Differenz des Acidoindex' zwischen 1989 und 2003 dargestellt. Es zeigt sich, dass fast das gesamte Gebiet basischer geworden ist. Ausnahmen davon sind:

- das Stadtzentrum von Baden; hier sind auch 2003 noch saure Immissionen vorherrschend;
- einzelne Georäume in Siedlungszentren (Turgi, Obersiggenthal, Würenlos) und
- zwei randlich gelegene Georäume in Killwangen und Spreitenbach: hier sind die Immissionen saurer geworden; es sind gleichzeitig Gebiete, in welchen die Gesamtbelastung angestiegen ist.

Alle andern Georäume weisen heute deutlich basischere Immissionen auf als 1989.

Acidoindex 1989

Biindikation mit Flechten
Westliches Limmattal



Acidoindex



Hinweise auf saure Immissionen



Hinweise auf basische Immissionen

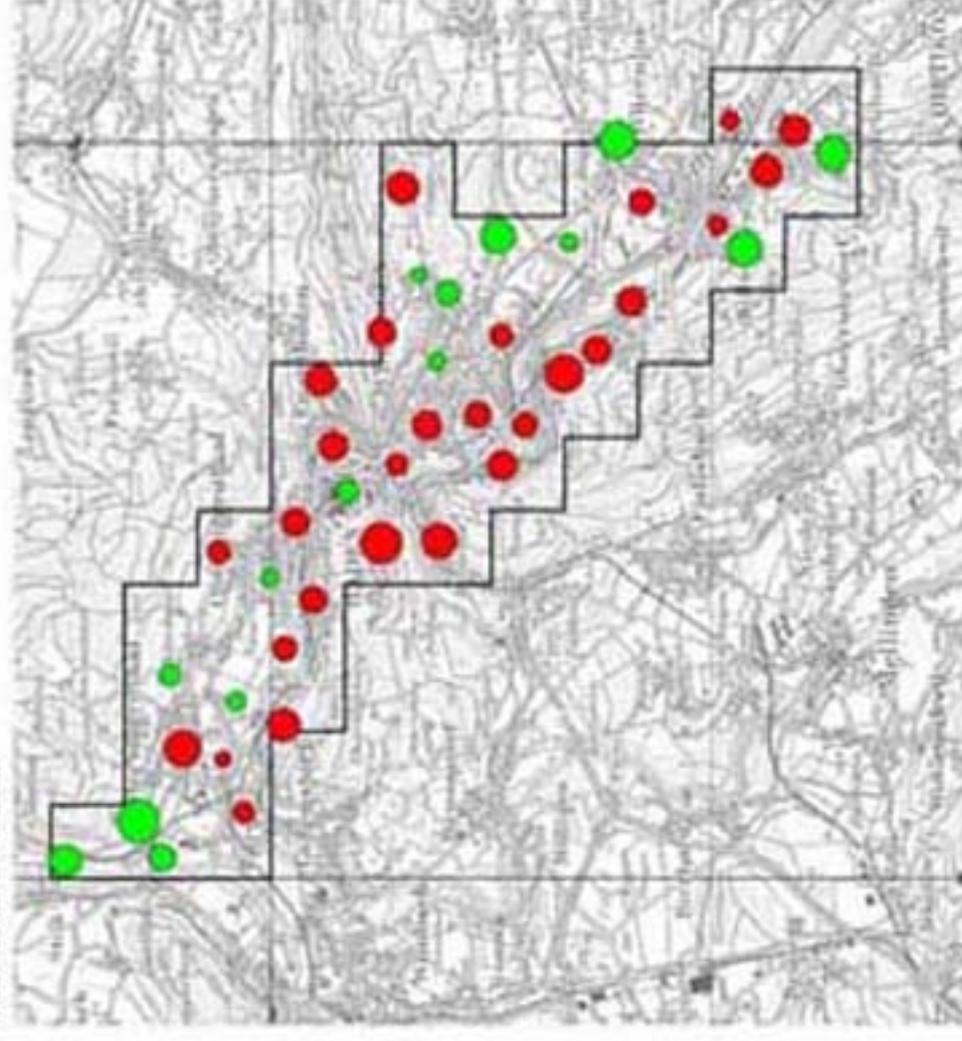


0 0,2 0,4 0,6 km

publ. Mufemattstrasse 43, 3007 Bern
Ausgaben: 1978, 1989, 1999, 2004, 2011, 2017, 2021, 2023

Acidoindex 1995

Biindikation mit Flechten
Westliches Limmattal



Acidoindex



Hinweise auf saure Immissionen



Hinweise auf basische Immissionen

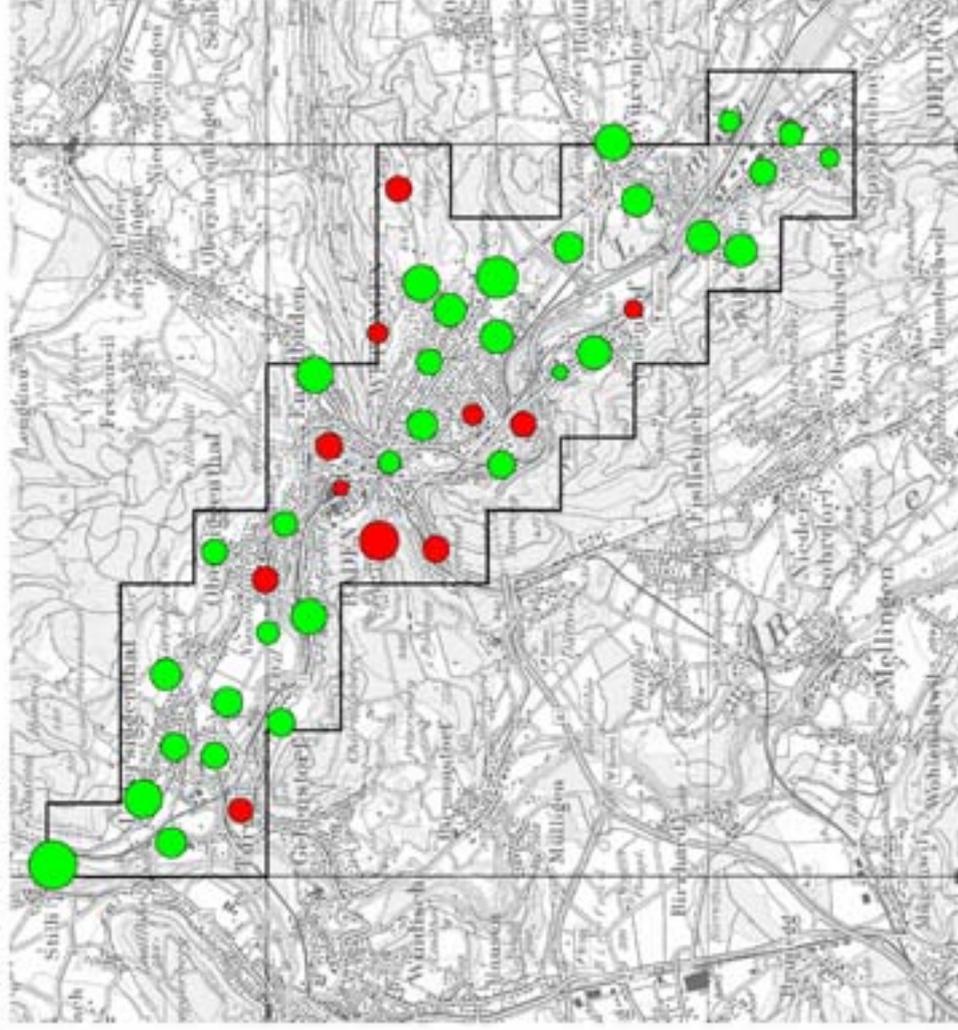


0 0,2 0,4 0,6 km

publ. Mufemattstrasse 43, 3007 Bern
Ausgaben: 1978, 1989, 1999, 2004, 2011, 2017, 2021, 2023

Acidoindex 2003

Bioindikation mit Flechten
Westliches Limmattal



Acidoindex



Hinweis auf saure Immissionen

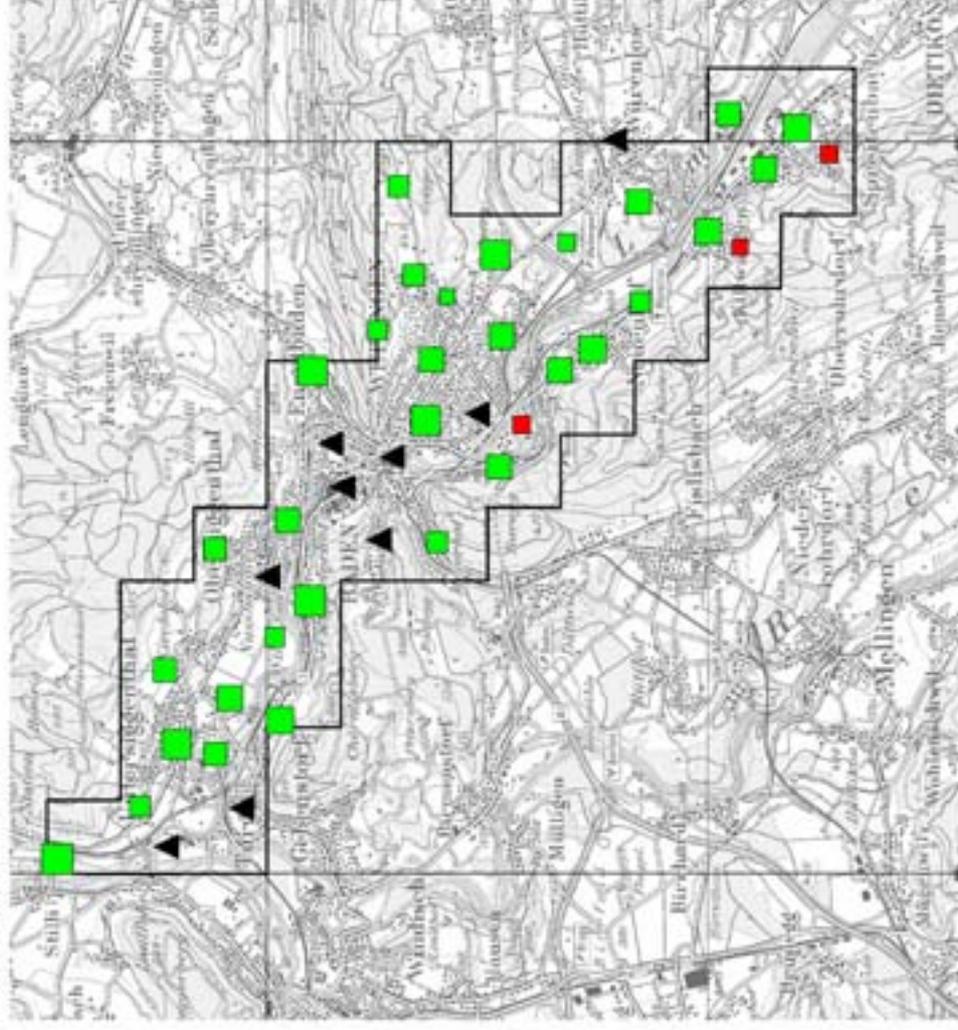
Hinweis auf basische Immissionen



puls, Mühlemattstrasse 45, 3007 Bern
Kartendaten: P1100, ©2003 swisstopo (SV 642.6)

Acidoindex Differenz 1989-2003

Bioindikation mit Flechten
Westliches Limmattal



Acidoindex



Immissionen sind saurer geworden

Immissionen sind basischer geworden

Veränderung unbedeutend



puls, Mühlemattstrasse 45, 3007 Bern
Kartendaten: P1100, ©2003 swisstopo (SV 642.6)

Entwicklung des Acidoindex'

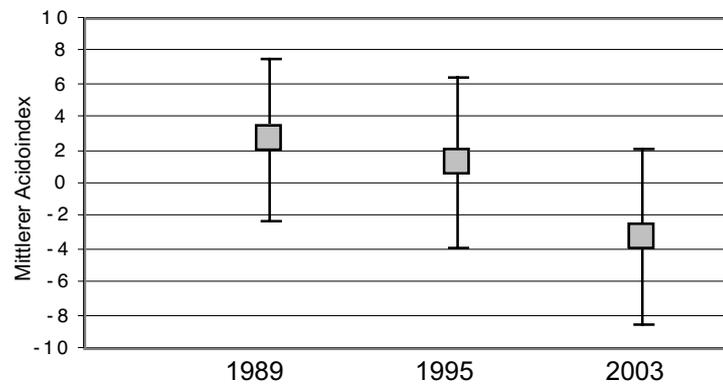


Abb. 16:
Mittelwert und Standardabweichung des Acidoindex' aller Georäume.

Abbildung 16 zeigt den mittleren Acidoindex über alle Georäume. Man erkennt deutlich, dass die Gesamtheit der Georäume basischer geworden ist, wobei die Streuung unter den Georäumen in etwa gleich geblieben ist.

Dieser Rückgang des Acidoindex' ist gleichläufig mit dem Anstieg des pH-Wertes im Regen (siehe dazu S. 35).

8. Emissions- und Immissionsdaten im Vergleich mit den Flechtendaten

Zum Vollzug der Luftreinhalteverordnung erstellte der Kanton Aargau unter anderem einen Emissionskataster und nimmt kontinuierliche technische Immissionsmessungen vor. Diese technischen Daten zur Luftqualität werden im Folgenden mit den Resultaten der Flechtenkartierung verglichen.

Emissionsdaten

In Abbildung 17 sind die Emissionsdaten der Schadstoffe Stickstoffoxide (NO_x), Schwefeldioxid (SO_2), flüchtige Kohlenwasserstoffe (VOC), Feinstaub PM_{10} und Ammoniak (NH_3) für den ganzen Kanton Aargau und für verschiedene Jahre aufgetragen (Kt. Aargau, 2002 und schriftliche Mitteilung von M. Schenk). Für den Vergleich mit den Flechtendaten werden diese gesamt-kantonalen Zahlen verwendet, da für das Limmattal keine ähnlich umfangreichen Daten zur Verfügung stehen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Emissionsentwicklung im Limmattal vergleichbar mit derjenigen im Gesamtkanton ist.

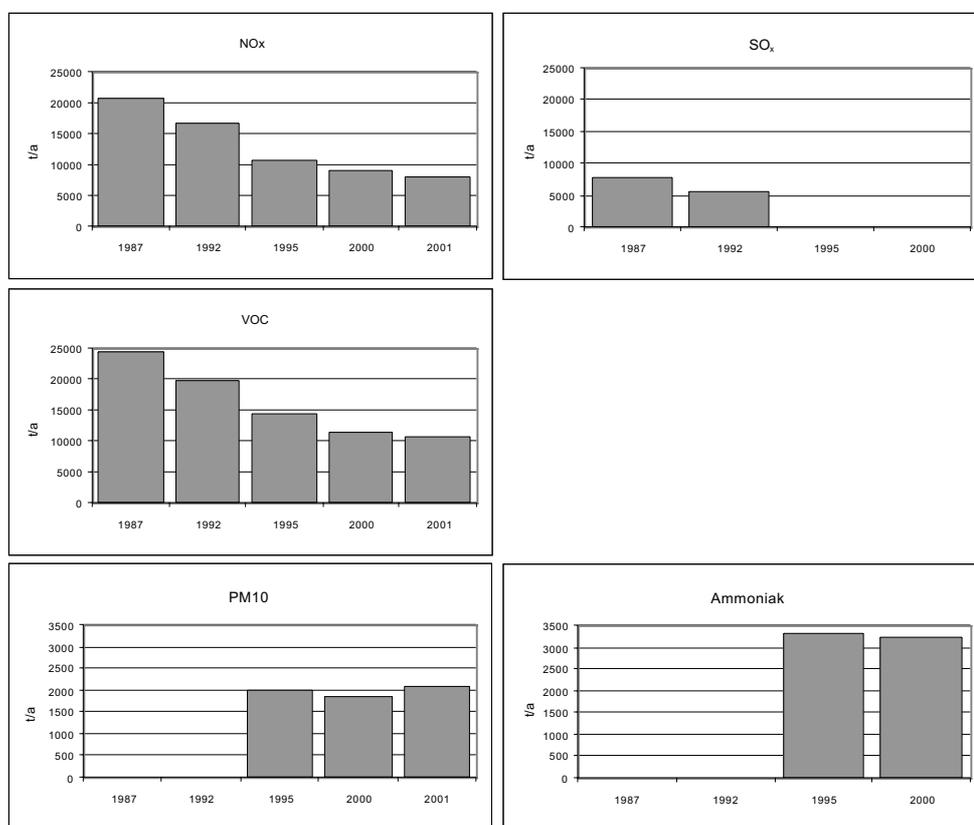


Abb. 17:
Emissionsdaten für
den Kanton Aargau.
Die Datenreihen für
 SO_x , PM_{10} und NH_3
sind unvollständig.

Stickstoffdioxide NO_x entstehen bei Verbrennungsprozessen. Hauptemittenten sind der Verkehr (2001: rund 60%) und Industrie und Gewerbe (rund 35%). In der Gemeinde Baden stammt sogar 83% der NO_2 -Emissionen aus dem Verkehr. Die Emissionen von Stickstoffdioxid haben im Zeitraum von 1987 bis 2001 um insgesamt 61% abgenommen.

Die flüchtigen Kohlenwasserstoffe VOC stammen im Kanton Aargau zu 66% aus Industrie und Gewerbe, 20% aus dem Verkehr und 12% aus den Haushaltungen. Auch diese Emissionen sind zwischen 1987 und 2001 stark zurückgegangen, die Abnahme betrug rund 57%.

Hauptemittenten von Schwefeldioxid SO_2 sind Industrie und Gewerbe (rund 75%). Für diesen Schadstoffe liegen nur Emissionszahlen von 1987 und 1992 vor. In dieser vergleichsweise kurzen Zeitspanne haben die Emissionen um 30% abgenommen.

Es ist davon auszugehen, dass die SO_2 -Emissionen seit 1992 weiter abgenommen haben, wenn auch nicht ganz im selben Umfang wie vor 1992 (BUWAL 1995 und 2003).

Für PM10 und Ammoniak liegen Emissionsdaten ab 1995 vor. Bei PM10 sind Verkehr sowie Industrie und Gewerbe zu je rund 40%, Land- und Forstwirtschaft zusammen zu rund 20% an den Emissionen beteiligt. Ammoniak stammt fast ausschliesslich aus der Land- und Forstwirtschaft.

Bei beiden Schadstoffen haben sich die Emissionen seit 1995 nicht wesentlich verändert.

Diese Emissionsreduktionen sind auf die vielen lufthygienischen Massnahmen zurück zu führen, welche in dieser Zeit von Bund, Kanton und Gemeinden realisiert wurden. Zu erwähnen sind insbesondere: Einführung des Katalysators, Entbleiung des Benzins, verschärfte Abgasvorschriften für alle Fahrzeugkategorien, Sanierungen von Industrieanlagen, obligatorische Ölfeuerungskontrollen, Entschwefelung des Heizöls, Lenkungsabgaben auf Heizöl, Lenkungsabgaben auf flüchtigen organischen Verbindungen und Öffentlichkeitsarbeit.

Vergleich Emissionsdaten und Flechtendaten

Die Flechtenuntersuchungen zeigen eine deutliche Verbesserung der Luftqualität seit 1989 an. Dieses Resultat wird durch die Emissionszahlen bestätigt: Die Emissionen verschiedener wichtiger Schadstoffe sind in diesen Jahren deutlich zurückgegangen.

Die grossflächigsten Verbesserungen der Luftqualität sind im Raum Turgi-Obersiggenthal festzustellen. Neben den oben genannten Massnahmen führten hier insbesondere die Sanierung der KVA Turgi und das neue Fern-

wärmenetz zu einer massiven lokalen Emissionsreduktion, die sich eindrücklich auf die Flechtenvegetation ausgewirkt hat.

Immissionsmessungen

Der Kanton Aargau erfasst die Luftbelastung seit 1990 anhand von verschiedenen Immissionsmessungen. Messstandorte, Messumfang, Messmethodik und gemessene Parameter haben sich aufgrund geänderter Rahmenbedingungen (z.B. neuer Parameter PM10 mit LRV-Grenzwert, Finanzen Kanton) seither teilweise verändert. Im Folgenden werden die Resultate der Immissionsmessungen im unteren Limmattal dargestellt, welche über längere Zeit unverändert erfasst wurden und sich deshalb zum Vergleich mit den Flechtendaten eignen.

Immissionsmessungen Obersiggenthal

Die Messstation Obersiggenthal liegt in der Agglomeration in rund 200m Distanz zu den nächsten Emissionsquellen (Verkehr, Siedlung).

Die Stickstoffdioxid-Immissionen (Abb. 18) sind an diesem Standort seit 1990 kontinuierlich zurückgegangen. Seit rund zehn Jahren sind keine Überschreitungen des Immissionsgrenzwertes (IGW) von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Jahresmittelwert) mehr vorgekommen. Die Werte der Passivsammler differieren von denjenigen der kontinuierlich messenden Station, da letztere auf Stichprobenmessungen und daraus hochgerechneten Jahresmittelwerten basieren.

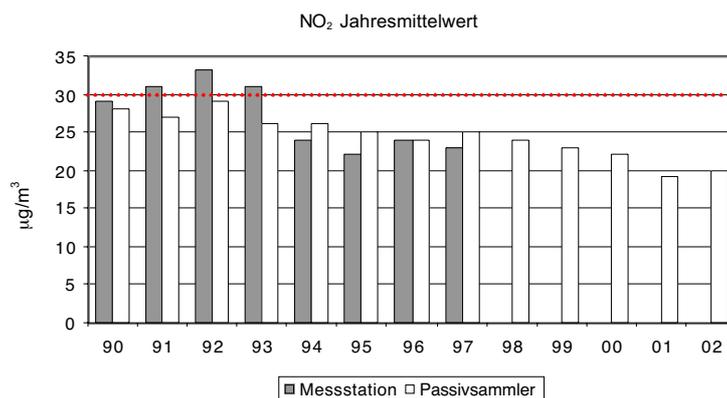
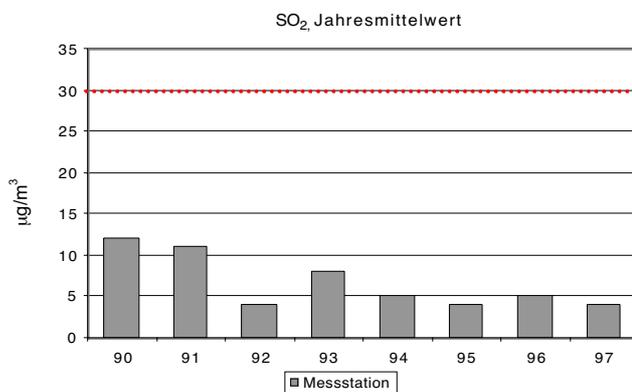


Abb. 18:
Die Stickstoffdioxid-
Werte in Obersig-
genthal liegen seit
1994 unter dem
Immissionsgrenzwert
von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

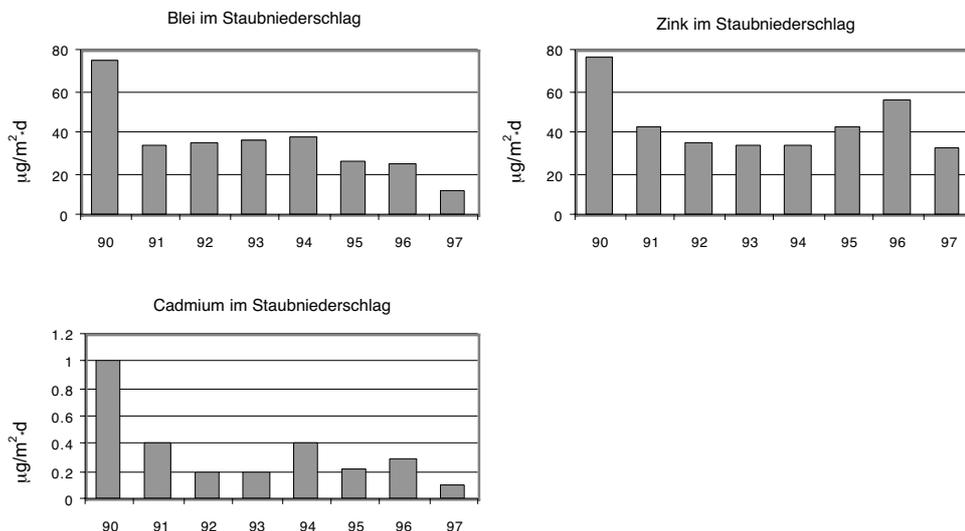
Die Schwefeldioxid-Immissionen liegen seit geraumer Zeit unterhalb des Grenzwertes (Abb. 19). Sie haben sich auf einem tiefen Niveau eingependelt.

Abb. 19:
Obersiggenthal: Der Jahresmittelwert von Schwefeldioxid liegt deutlich unter dem IGW von $30\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Am gleichen Standort wurden 1990 bis 1997 Schwermetall-Depositionen gemessen (als Staubinhaltsstoffe nach Bergerhoff-Methode, Abb. 20). Bei allen drei Schadstoffen Blei, Zink und Cadmium wurde über diesen Zeitraum eine Abnahme der Deposition nachgewiesen. Alle Werte liegen deutlich unter den Immissionsgrenzwerten (Blei $100\mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{Tag}$, Zink $400\mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{Tag}$ und Cadmium $2\mu\text{g}/\text{m}^2 \times \text{Tag}$). Dieser Rückgang ist primär auf die Sanierung der KVA Turgi zurückzuführen.

Abb. 20:
Schwermetallmessungen in Obersiggenthal:
Die Sanierung der KVA Turgi führt ab 1991 zu deutlich geringeren Schwermetallbelastungen.



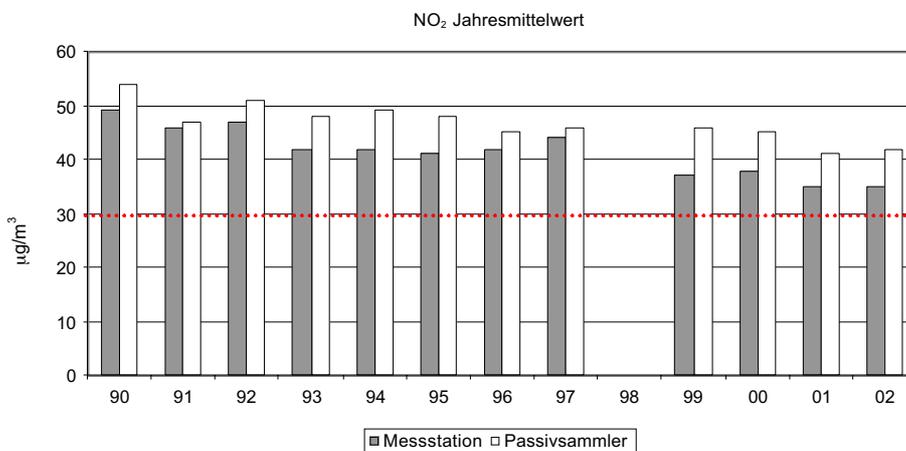
Die Flechtenuntersuchung zeigt für die Station Obersiggenthal eine massive Verbesserung auf. Die Station wies 1989 eine kritische, 1995 eine starke und

2003 nur noch eine mittlere Gesamtbelastung auf. Diese Verbesserung korreliert mit den technischen Immissionsmessungen: Auch sie weisen einen deutlichen Rückgang der Luftbelastung an diesem Standort aus.

Immissionsmessungen Baden

Die Messstation Baden Schulhausplatz liegt an verkehrsreicher Lage im Zentrum der Stadt. Die Stickstoffdioxid-Jahresmittelwerte liegen hier über dem Grenzwert. Die Unterschiede zwischen den Passivsammler-Werten und denjenigen der kontinuierlichen Messung sind messtechnisch bedingt.

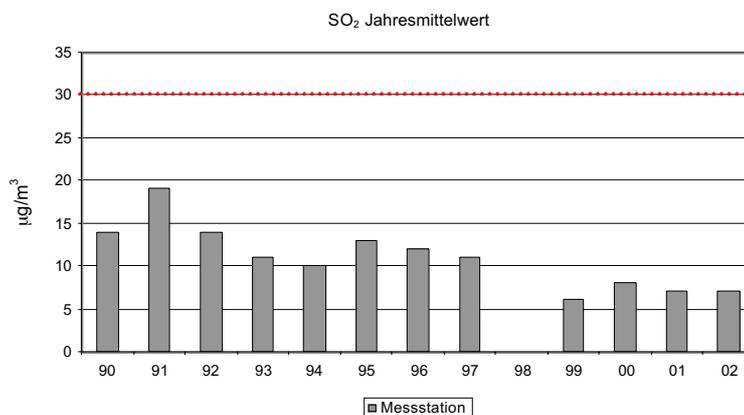
Abb. 21: Die Jahresmittelwerte von Stickstoffdioxid liegen im städtischen Bereich noch immer über dem Immissionsgrenzwert.



In Baden wurden 1993 und 2000 NO₂-Messkampagnen mit Passivsammler an 11 resp. 17 Stationen vorgenommen. An allen Stationen wurde ein Rückgang der NO₂-Belastung festgestellt, durchschnittlich betrug die Reduktion rund 20%.

Die Messwerte für Schwefeldioxid liegen auch in Baden (Messstation Schulhausplatz) deutlich unter dem Grenzwert. Sie haben seit 1990 abgenommen, liegen aber deutlich höher als diejenigen in Obersiggenthal.

Abb. 22: Messstation Baden: Die Jahresmittelwerte für SO₂ liegen unter dem IGW, aber höher als in der Agglomeration.



Auch in Baden zeigt sich eine Gleichläufigkeit von Flechtenuntersuchung und technischen Immissionsmessungen. Die Messstation Baden lag in den beiden früheren Untersuchungen in der (roten) Zone der kritischen Gesamtbelastung, heute ist sie noch stark belastet (orange Zone). Diese Verbesserung geht einher mit der Abnahme der Immissionsmesswerten. Nach wie vor ist aber das Gebiet im Zentrum von Baden stark mit Schadstoffen belastet, was auch die Flechten anzeigen.

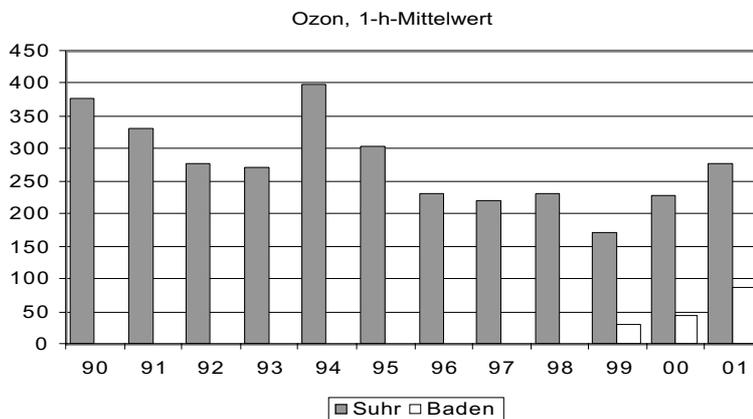
Ozonbelastung

Ozon ist ein Sekundärschadstoff und wird durch photochemische Reaktionen aus den Vorläuferschadstoffen Stickoxiden NO_x und den flüchtigen organischen Verbindungen VOC gebildet. Die Ozonbildung ist in der Umgebung von grossen Agglomerationen besonders intensiv, da dort ein sehr reaktives Gemisch von Vorläuferschadstoffen (z.B. aus der Morgenverkehrsspitze) vorliegt. Ozon ist eines der stärksten Oxidationsmittel und eines der stärksten Reizgase überhaupt. Aus dieser Eigenschaft resultiert eine hohe Aggressivität gegen menschliche, tierische und pflanzliche Gewebe sowie Materialien. Es greift beim Menschen vor allem Atemwege und Lungengewebe an (BUWAL 2003).

Da in Baden erst seit 1999 Ozon gemessen wird, werden die Messungen von Suhr zur Interpretation beigezogen (Abb. 23). Der Vergleich der Ozonmessungen in Suhr (Distelmatten) und in Baden (Schulhausplatz) zeigt, dass sich städtische und ländliche Stationen anders verhalten.

Stark verkehrsbeeinflusste Stationen zeigen geringere Überschreitungshäufigkeiten des Ozonegrenzwerts, was durch den Abbau des Ozons durch die hohen Konzentrationen von Stickstoffmonoxid verursacht wird. Das dabei gebildete Stickstoffdioxid ist jedoch selbst ein Luftschadstoff und gleichzeitig Vorläufersubstanz für die Ozonbildung in grösserer Entfernung von der Emissionsquelle (BUWAL 2003). Das zeigt sich deutlich in der Abbildung 23: der 1-h-Mittelwert von Ozon wird an der ländlichen Station Suhr massiv häufiger überschritten als im städtischen Baden.

Abb. 23:
Anzahl Überschreitungen des 1-h-Mittelwerts von Ozon. Die ländliche Station Suhr (Distelmatten) hat viel mehr Überschreitungen als das städtische Baden (Schulhausplatz).



Die Ozonspitzenbelastung hat in Suhr seit 1990 zwar abgenommen, aber deutlich weniger stark als die Belastung der Vorläufersubstanzen. Grund dafür sind die komplizierten chemischen Prozesse bei der Bildung von Ozon. Zudem unterliegen die Ozonbelastungen grossen jährlichen witterungsbedingten Schwankungen. So ergeben sich beim Ozon keine gesicherten Trends der Belastungsentwicklung (BUWAL 2003).

Die Flechtenkarten weisen für ländliche Gebiete sowohl Verbesserungen wie auch Verschlechterungen aus. Diese Entwicklung steht nicht im Widerspruch mit den Ozonmessungen, können aber auch nicht mit diesen direkt in Verbindung gebracht werden.

Schwebestaub

Neben dem grobkörnigen Sedimentstaub, welcher als Staubbiederschlag an der Station Obersiggenthal bis 1997 gemessen wurde, ist vor allem der lungengängige Feinstaub von lufthygienischem Interesse. Dieser wird bis 1997 als Schwebestaub TSP, heute als PM10 gemessen.

Die Schwebestaubbelastung lag an 1990 bis 1997 an allen Stationen im Kt. Aargau unter dem Grenzwert von $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In Baden wurde PM10 2002 erstmals gemessen; der Wert lag leicht über dem Grenzwert.

Es ist denkbar, dass sich in den vergangenen Jahren die Charakteristik der Staubemissionen und -immissionen geändert hat. So enthalten beispielsweise die Dieselabgase heute weniger Russpartikel, was die resultierenden Staubpartikel tendenziell leichter und kleiner werden lässt. Das würde heissen, dass die Luft mit weniger Staubmasse aber mehr Staubteilchen belastet wäre.

Leichtere Partikel würden weiter transportiert und würden zu einer höheren Belastung weiter entfernt von den Quellen führen. Diese wäre eine mögliche Erklärung für die Zunahme der Gesamtbelastung in den randlichen Gebieten des Limmattals, wie sie die Flechtenuntersuchung ausweist.

Diese Hypothese zur Veränderung der Staubbilastung konnte bisher aber nicht weiter mit Messergebnissen gestützt werden.

pH-Wert des Regens

Neben der trockenen Deposition in Staub- und Gasform spielt die nasse Deposition über Regen und Nebel für die Ökosysteme eine wichtige Rolle. Hier gibt die Analyse des Regenwassers Aufschluss über den Schadstoffeintrag. Im NABEL-Messnetz wird seit 1985 der pH-Wert des Regenwassers be-

stimmt. Dieser Wert hat seither stetig zugenommen, d.h. die Acidität des Regens hat abgenommen. Grund dafür ist primär die Abnahme des Sulfatgehaltes (SO_4^{2-} , gebildet aus SO_2) und in geringerem Masse die Reduktion der Nitrat- (NO_3^- , gebildet aus NO_x) und Chloridgehaltes (BUWAL 2003).

Dieser Rückgang des Säureeintrages manifestiert sich deutlich in der Flechtenvegetation: Der Acidoindex ist im Limmattal deutlich gestiegen, die basischen Immissionen haben gegenüber den sauren für die Flechten an Bedeutung gewonnen (siehe Kap. 7).

Technische Messungen und Flechten

Die Flechtenuntersuchungen und die technischen Messungen (zu Emission und Immission) weisen tendenziell eine Gleichläufigkeit, aber nicht eine vollständige Übereinstimmung auf. Dies ist nicht weiter erstaunlich, handelt es sich doch um zwei Messsysteme, welche das Phänomen Luftbelastung unterschiedlich erfassen:

Auf der einen Seite erfassen die Flechten die Luftqualität als biologisches System, das heisst ihre Anzeige beinhaltet die Wirkung der Luft auf ein Lebewesen. Als solches reagieren die Flechten auf Schadstoffgemische, synergistische und antagonistische Wirkungen der Schadstoffe werden angezeigt. Sie zeigen die Gesamtbelastung der Luft an, direkte Rückschlüsse auf Einzelschadstoffe sind nicht möglich.

Auf der andern Seite geben die technischen Messungen präzise Auskunft über Einzelschadstoffe. Die Messergebnisse sind rechtlich direkt relevant, da über Grenzwerte in der Luftreinhalteverordnung die maximal zulässigen Belastungen definiert sind.

So ergänzen sich diese beiden Messsysteme, keines kann durch das andere ersetzt werden.

9. Auswertung einzelner Flechtenarten

Anhand der Beschreibung einzelner, repräsentativer Flechtenarten und ihrer ökologischen Charakterisierung ergibt sich ein Bild der Flechtenvegetation in den verschiedenen Zonen der Flechtenkarte.

Die Betrachtung von Einzelarten kann Zusatzinformationen zu Gesamtbelastungssituation liefern. Ausserdem ist die Dokumentation des Verhaltens von Einzelarten interessant im Hinblick auf Veränderungen in den vergangenen 14 Jahren.

Die Flechtenarten haben unterschiedliche Ansprüche an ihre Umwelt. Je nach vorherrschenden Bedingungen wird die eine Art häufiger oder weniger häufig gefunden. Wichtige Kenngrössen für die ökologische Charakterisierung einer Flechtenart und –artengruppe sind die relative Häufigkeit im Gebiet, das räumliche Verbreitungsmuster, die Ansprüche bezüglich Säuregrad des Substrates (=pH-Schwerpunkt), die Nährstoffversorgung (Nitrotoleranz) und die Schadstoffempfindlichkeit (Toxitoleranz).

Abbildung 24 gibt Auskunft über die im Untersuchungsgebiet gefundenen 41 Flechtenarten und –gruppen. Für die Häufigkeit wird jede Flechtenart bezüglich ihres Vorkommens oder Fehlens in der gesamten Aufnahmefläche beurteilt.

Die häufigste vorkommende Art im Untersuchungsjahr 2003 ist die Runzelflechte *Parmelia sulcata*, welche auf 85.6% aller untersuchten Bäume zu finden ist, gefolgt von der Wimpernflechte *Physcia adscendens* auf 84.7% der Bäume. Nur 14 Arten kommen auf mehr als 10% der Bäume vor: Die Flechtenvegetation wird von wenigen Arten dominiert, was in einem urbanen Raum nicht aussergewöhnlich ist.

Die Kategorien der Roten Liste bedeuten:

- EN: endangered – stark gefährdet,
- VU: vulnerable – verletzlich,
- NT: near threatened – potenziell bedroht,
- LC: least concern – nicht gefährdet.

Die häufigsten Flechtenarten gehören fast ausschliesslich zu den nicht gefährdeten Arten. Erwähnenswert sind die zwei Arten der Kategorie EN: *Parmelia glabra* und *Parmelia quercina* sind im Schweizer Mittelland stark gefährdet. Sie wurden auch nur an je einem Baum gefunden.

Flechtenart	relative Häufigkeit in %			Kategorie Rote Liste	Differenz 1989/ 2003	Tendenz 1989 - 2003
	1989	1995	2003			
<i>Parmelia sulcata</i>	81.0	85.2	85.6	LC	4.6	↗
<i>Physcia adscendens-Gr.</i>	59.2	68.1	84.7	LC	25.5	↑
<i>Parmelia glabratula-Gr.</i>	54.0	68.5	74.5	LC, VU	20.5	↑
<i>Parmelia subrudecta</i>	41.2	57.4	73.1	LC	31.9	↑
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	18.5	25.0	56.9	LC	38.5	↑
<i>Phlyctis argena-Gr.</i>	46.4	50.9	47.7	LC	1.2	↗
<i>Parmelia tiliacea</i>	24.6	33.8	35.6	LC	11.0	↑
<i>Parmelia exasperatula</i>	40.3	41.7	35.2	LC	-5.1	↘
<i>Hypogymnia physodes</i>	45.5	42.1	30.6	LC	-14.9	↓
<i>Xanthoria parietina</i>	10.0	12.0	28.2	LC	18.3	↑
<i>Evernia prunastri</i>	21.3	21.8	25.9	LC	4.6	↗
<i>Lecanora argentata-Gr.</i>	21.8	22.2	18.1	VU	-3.7	↘
<i>Pertusaria albescens</i>	18.0	16.2	17.6	LC	-0.4	↘
<i>Lecanora carpineae-Gr.</i>		19.4	13.0			
<i>Parmelia subargentifera</i>	2.8	5.6	9.7	LC	6.9	↗
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	6.6	5.6	9.3	LC	2.6	↗
<i>Physconia grisea</i>		3.7	8.3	NT		
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	19.4	17.6	7.4	LC	-12.0	↓
<i>Parmelia caperata</i>		4.6	5.6	LC		
<i>Physconia distorta</i>	1.4	1.9	4.6	LC	3.2	↗
<i>Physcia aipolia-Gr.</i>		1.4	4.6	LC, VU		
<i>Xanthoria fallax</i>		0.5	4.2	VU		
<i>Parmelia saxatilis</i>		5.6	3.7	LC		
<i>Parmelia flaventior</i>		4.2	3.7	VU		
<i>Usnea sp.</i>		0.9	3.7			
<i>Ramalina pollinaria</i>	0.9	1.4	3.2	NT	2.3	↗
<i>Cetrelia cetrarioides-Gr.</i>		1.4	3.2	LC, VU		
<i>Normandina pulchella</i>		1.4	3.2	LC		
<i>Cladonia sp.</i>		0.9	2.8			
<i>Xanthoria polycarpa</i>		0.5	2.8	LC		
<i>Physconia enteroxantha</i>		0.0	2.8	VU		
<i>Graphis scripta</i>		1.9	2.3	LC		
<i>Parmelia acetabulum</i>		1.9	2.3	NT		
<i>Physconia perisidiosa</i>		0.9	2.3	NT		
<i>Ramalina farinacea</i>	1.4	3.2	1.4	VU	0.0	→
<i>Parmeliopsis ambigua</i>		0.9	0.9	LC		
<i>Parmelia exasperata</i>		1.9	0.5	VU		
<i>Parmelia glabra</i>		0.5	0.5	EN		
<i>Parmelia quercina</i>		0.5	0.5	EN		
<i>Parmelia submontana</i>		0.9	0.5	VU		
<i>Pertusaria amara</i>		0.9	0.5	LC		

Abb. 24:

Absolute und relative Häufigkeit der vorkommenden Flechtenarten und -gruppen. Kategorien der Roten Liste nach Scheidegger et al. 2002. Für das Jahr 1989 sind nicht alle Daten digital vorhanden.

Parmelia sulcata (Abb. 24a) war in allen drei Untersuchungsjahren die häufigste Art. Am stärksten zugenommen hat *Phaeophyscia orbicularis*, eine Art, die sehr toxisch und mittel acidophil bis mittel basiphil ist. Sie hat sich vor allem in Gebieten, die 2003 basisch geprägt sind, ausgebreitet. Die beiden säureliebenden Arten *Hypogymnia physodes* und *Pseudevernia furfuracea* sind recht stark zurückgegangen. Die gegenüber Luftverschmutzung empfindliche *Parmelia tiliacea* (Abb. 24b) konnte sicherlich von den allgemein besseren Bedingungen profitieren und sich ebenfalls ausbreiten.

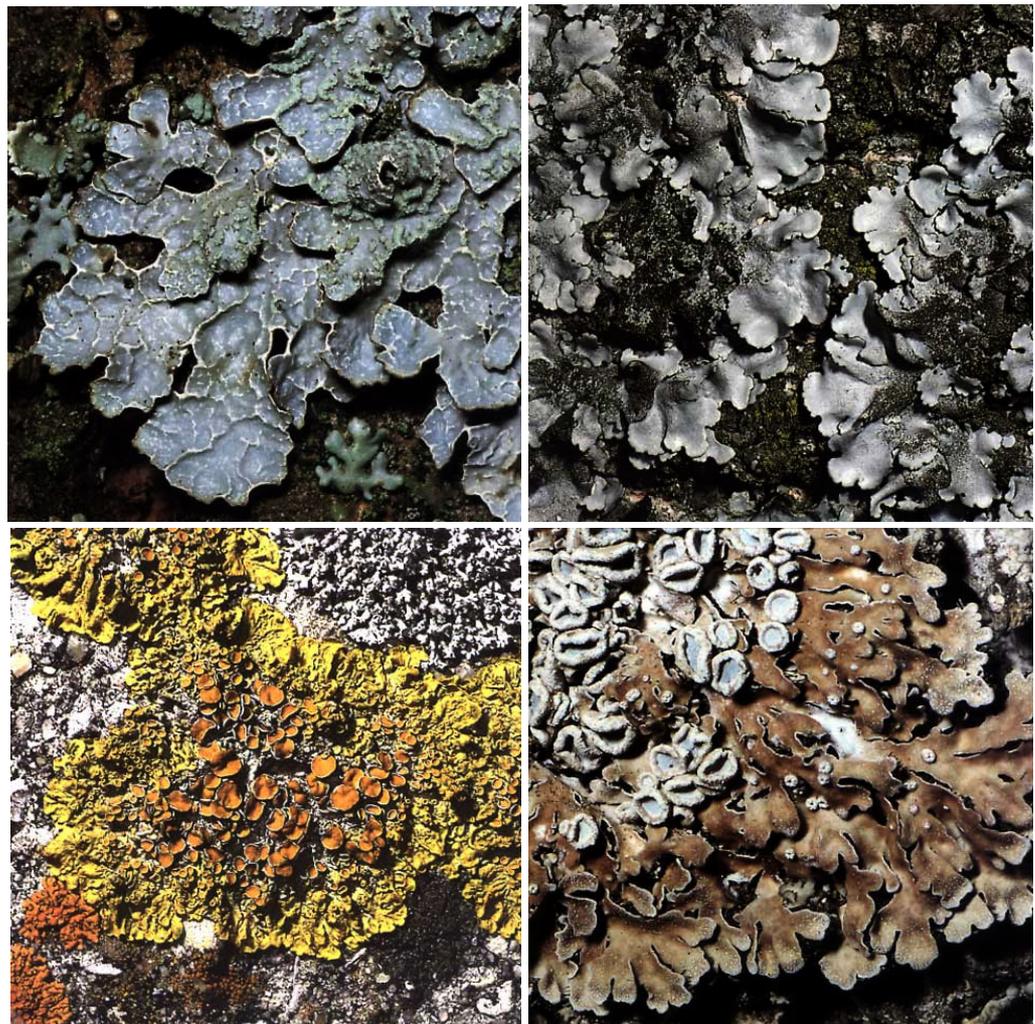


Abb. 24 a bis d: Flechtenarten, von links oben im Uhrzeigersinn:
a) *Parmelia sulcata*, Runzelflechte; b) *Parmelia tiliacea*, Lindenflechte;
c) *Physconia distorta*, Pulver-Physconie; d) *Xanthoria parietina*, Gelbblatflechte.

Mittlere Frequenz und Verbreitungskarten

Jede Flechtenart für sich weist ein ganz artspezifisches Verhalten auf bezüglich der Gesamtbelastung der Luft: So gibt es Arten, welche wenig empfindlich sind und bereits in der Flechtenwüste stellenweise auftreten, ein Maximum in der äusseren Kampfzone aufweisen, in der Normalzone jedoch durch andere Arten verdrängt werden. Empfindliche Arten dagegen erreichen ihr Verbreitungsoptimum erst in der Übergangs- oder Normalzone.

Dieses Verhalten wird mit der mittleren Frequenz dargestellt. Dazu wird von jeder Flechtenart der Mittelwert ihrer Frequenzen über ein bestimmtes Trägerbaum-Kollektiv gebildet. Dieses Kollektiv besteht aus Bäumen der gleichen Luftgütezone, die erhaltenen Werte werden in Abhängigkeit vom Flechtenindex IAP18 dargestellt.

Zur besseren Beschreibung des Verhaltens der Flechtenarten gegenüber der Gesamtbelastung werden die fünf Zonen der Luftgütekarte in je zwei Kollektive halbiert, so dass insgesamt zehn Kollektive resultieren (Abb. 25).

Gesamtbelastung	Kollektiv	IAP18-Bereich	Anzahl Bäume 2003
kritisch	1	0 - 9.3	11
	2	9.3 - 18.6	15
stark	3	18.6 - 25.2	12
	4	25.2 - 31.7	25
mittel	5	31.7 - 38.3	47
	6	38.3 - 44.8	32
gering	7	44.8 - 51.3	31
	8	51.3 - 57.8	23
sehr gering	9	57.8 - 67.1	15
	10	> 67.1	5

Abb. 25:
Trägerbaumkollektive zur Berechnung der Mittleren Frequenzen.

Eine für die Bioindikation ideale Zeigerart weist mit steigendem IAP18-Wert eine mehr oder weniger linear steigende mittlere Frequenz auf.

Es werden im Folgenden die mittlere Frequenzen von vier typischen Flechtenarten vorgestellt und diskutiert.

Als gute Zeiger der Luftverschmutzung und häufig aufgetretene Art wurde *Parmelia sulcata* ausgewählt. Die *Physcia adscendens*-Gruppe stellt ein Beispiel einer sehr häufigen, ziemlich toxtoleranten und weit verbreiteten Flechtenart dar. *Parmelia tiliacea* ist etwas empfindlicher und tritt deshalb im Gebiet weniger häufig auf. Als Zeiger der Acidität (Ansäuerung) einzelner Standorte ist *Hypogymnia physodes* aufgeführt.

Neben den Angaben zur Ökologie und Systematik werden die Verbreitungskarten und die mittleren Frequenzen der einzelnen Arten kurz diskutiert.

Parmelia sulcata

Ökologie

Ziemlich tolerant gegenüber Luftverschmutzung. Bevorzugt neutrale bis mässig saure Rinden und mässige bis ziemlich gute Nährstoffversorgung. *P. sulcata* hat eine ziemlich breite ökologische Amplitude und ist eine der häufigsten baumbewohnenden Flechten im Schweizer Mittelland.

Verbreitung

Die Blattflechte *Parmelia sulcata* ist im ganzen Untersuchungsgebiet weit verbreitet und tritt oft mit hohen Frequenzen auf. Da sie ziemlich toxitolerant ist, kommt sie nur in stärker belasteten Gebieten seltener vor, so z.B. in den Stadtzentren von Baden und Wettingen. Der Vergleich zwischen den drei Aufnahmejahren (Abb. 27) zeigt keine grosse Verschiebung der Verteilung und der Frequenzen (Zunahme von 81% [1989] auf 85% [2003]).

Mittlere Frequenz

Die relativ hohe Toxitoleranz von *P. sulcata* führt dazu, dass diese Flechtenart bereits in Zonen mit starker Belastung hohe mittlere Frequenzwerte erreicht. In sehr gering belasteten Gebieten erreicht sie sehr hohe Werte. Nur im Kollektiv 1 weist *P. sulcata* tiefe Werte auf. Sie eignet sich also gut als Indikatorart in sehr stark belasteten Gebieten. In allen drei Jahren ist der relativ starke Anstieg zwischen Kollektiv 1 und 3 vergleichbar (Abb. 26). Die mittleren Frequenzen 2003 liegen leicht tiefer als in den Jahren 1995 und 1989. Es werden aber die gleichen Minimum- und Maximumwerte erreicht.

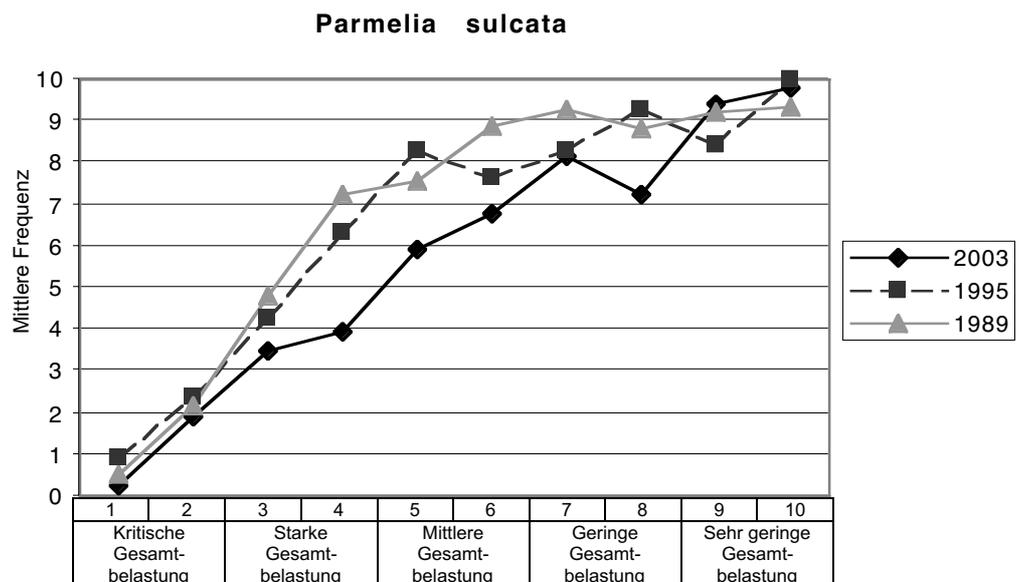
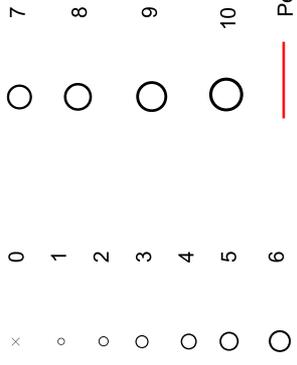


Abb. 26: Immissionsökologisch ideales Verhalten der ziemlich toxitoleranten Runzelflechte bei zunehmendem Flechtenindex und steigender Luftqualität.

Parmelia sulcata

Frequenz



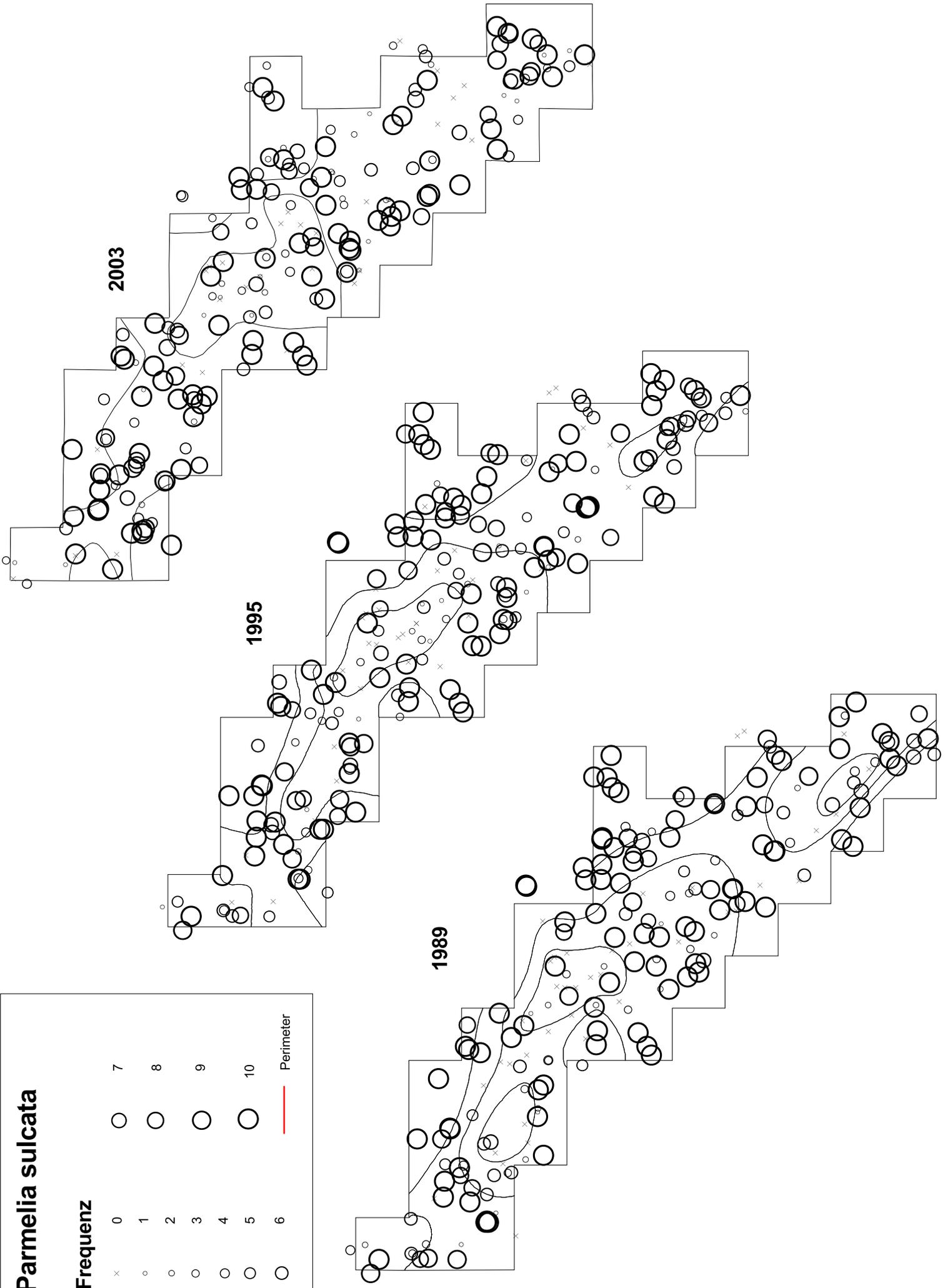
Perimeter



2003

1995

1989



Physcia adscendens-Gruppe

Ökologie

Ziemlich tolerant gegenüber Luftverschmutzung. Bevorzugt mässig saure bis mässig basische Rinden und ziemlich gute Nährstoffversorgung.

Systematik

Physcia adscendens (Fr.) Oliv., *Physcia tenella* (Scop.) DC., *Physcia dubia* (Hoffm.) Lettau, *Physcia vitii* Nadv.

Verbreitung

Physcia adscendens ist hinter *Parmelia sulcata* die zweithäufigste Art im Untersuchungsgebiet. Sie tritt in allen Teilen des Gebiet mehr oder weniger gleich häufig auf. *Physcia adscendens* hat sich in den letzten 14 Jahren stark ausgebreitet. 1989 kam sie nur auf 59% aller untersuchten Bäume vor, 1995 waren es 68% und 2003 85% (Abb. 29)!

Mittlere Frequenz

Das Diagramm (Abb. 28) zeigt, dass die Flechtenartengruppe 2003 tendenziell höhere Frequenzen aufweist als in den Jahren zuvor. Bei sehr kritischer Luftbelastung ist sie selten, ihre Frequenz steigt aber schon bei geringer Besse- rung steil an und erreicht schon in der Zone der starken Belastung hohe Werte.

Physcia adscendens-Gruppe

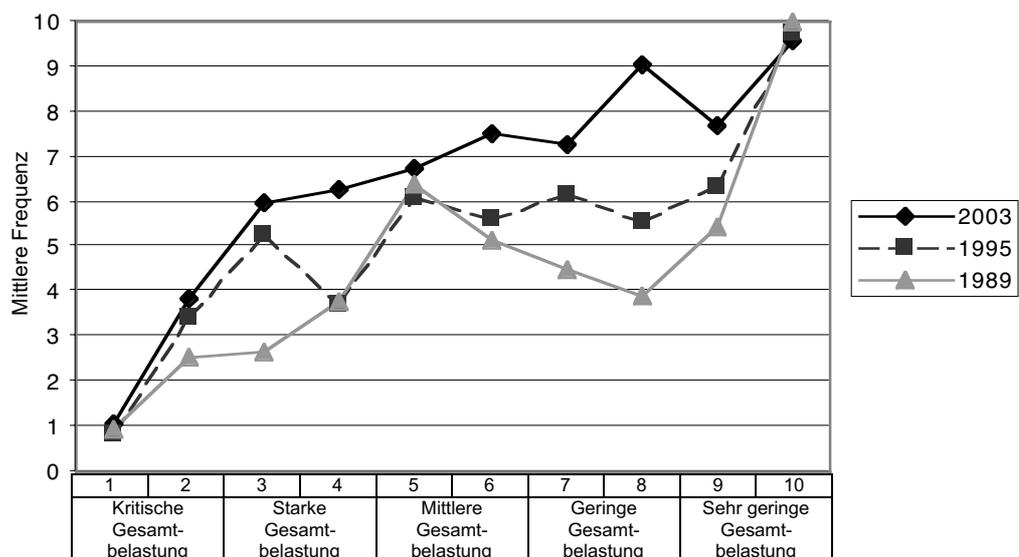
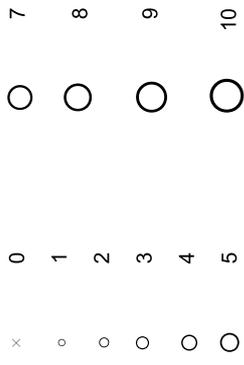


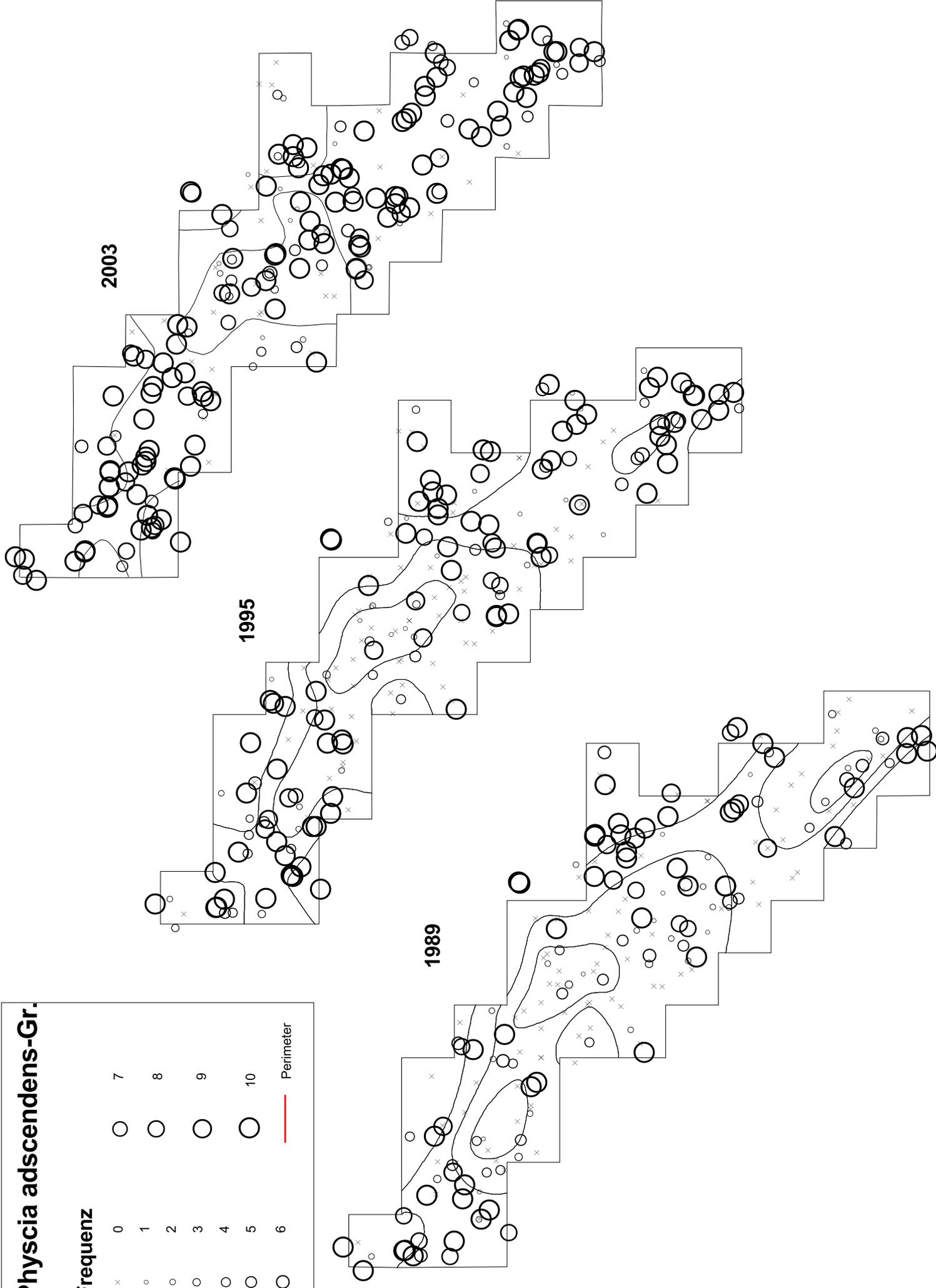
Abb. 28:
Die Wimpernflechte zeigt nicht ein einheitliches Verhalten in den drei Aufnahmejahren. Sie ist ziemlich toxtolerant und kommt auch bei hoher Belastung häufig vor.

Physcia adscendens-Gr.

Frequenz



Perimeter



Parmelia tiliacea

Systematik

In der Literatur wird unterschieden zwischen *Parmelia tiliacea* (Hoffm.) Ach. und *Parmelia pastillifera* (Harm.) Schub. & Klem. In dieser Untersuchung wurden die beiden Typen unter *Parmelia tiliacea* zusammengefasst.

Ökologie

Ziemlich empfindlich gegenüber Luftverschmutzung. Bevorzugt neutrale bis mässig saure Rinden und mässige bis ziemlich gute Nährstoffversorgung.

Verbreitung

Die Lindenflechte ist im untersuchten Gebiet nur punktuell und mit unterschiedlichen Frequenzen vertreten. Mit hohen Frequenzen kommt sie fast nur in gering belasteten Gebieten vor, so z.B. im Eigital oder bei Ennetbaden. Aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeit fehlt sie in stark belasteten Gebieten fast vollständig (Abb. 31).

Mittlere Frequenz

Parmelia tiliacea fehlt in den Zonen mit kritischer und sehr starker Belastung fast vollständig. Ab der Zone mittlerer Belastung nimmt die Frequenz langsam zu. Erst in der Zone mit geringer und sehr geringer Luftbelastung steigt die Kurve stark an. *Parmelia tiliacea* erreicht ihr Maximum in der Normalzone (Abb. 30). Dieses Verhalten ist typisch für empfindliche Flechtenarten.

Parmelia tiliacea

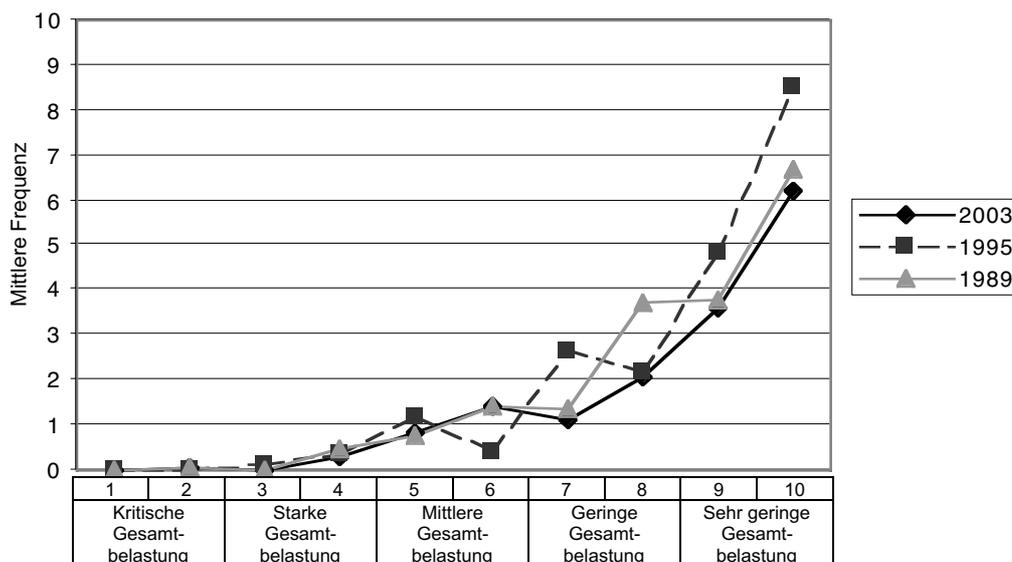
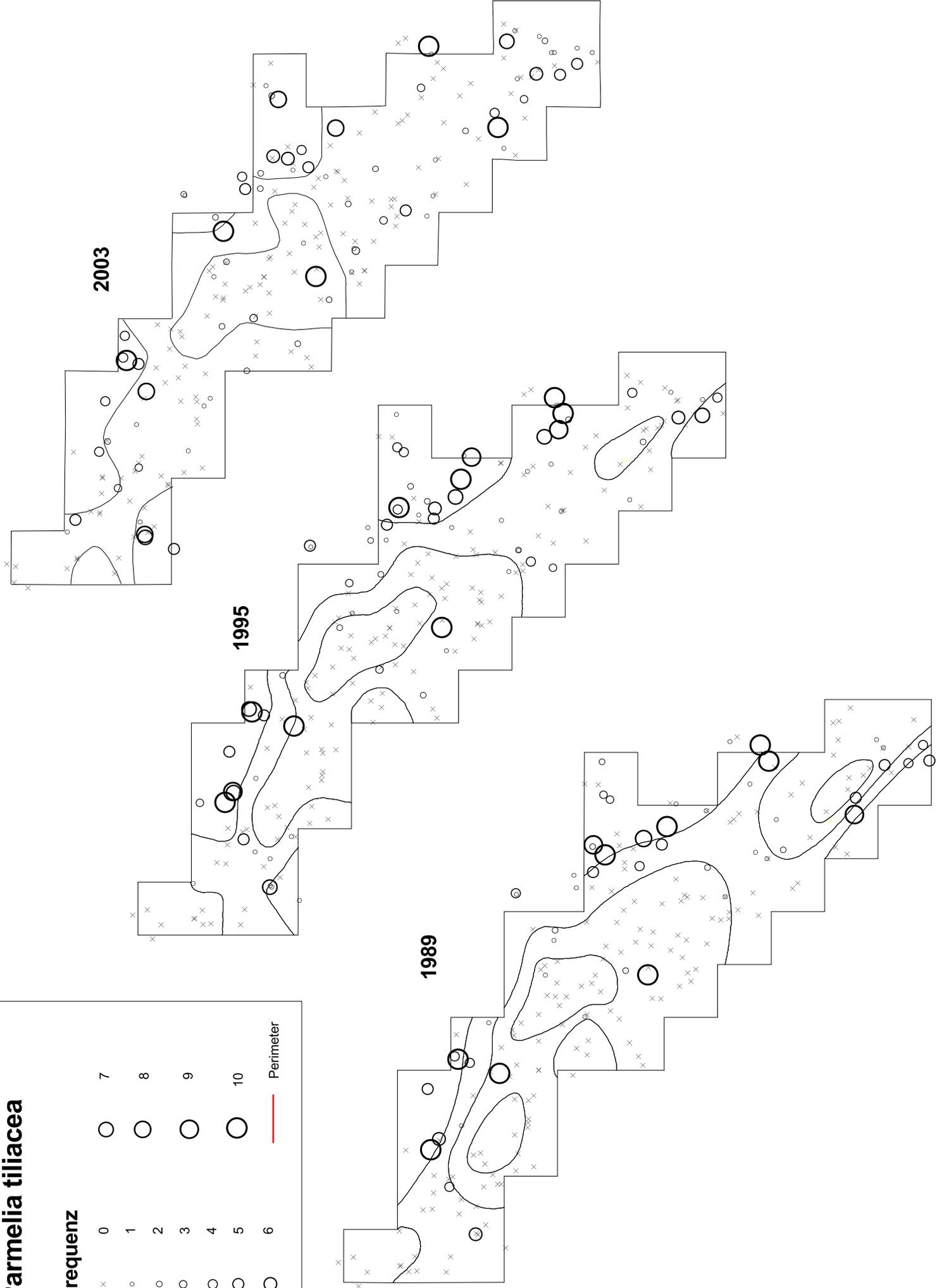
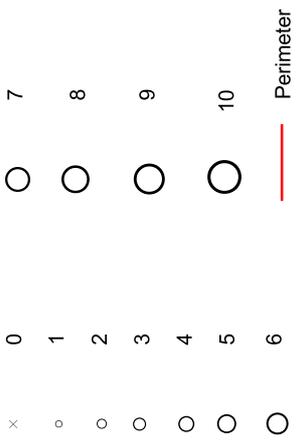


Abb. 30
Typisches Verhalten der ziemlich empfindlichen Lindenflechte. Sie ist bei hoher Luftbelastung selten und ihre Frequenz bei geringer Belastung steil an.

Parmelia tiliacea

Frequenz



Hypogymnia physodes

Ökologie

Ziemlich tolerant gegenüber Luftverschmutzung. Bevorzugt sehr saure bis mässig saure Rinde und arme bis mässig reiche Nährstoffversorgung.

Verbreitung

Die Blasenflechte tritt 2003 an 30% der Bäumen auf. Ihre Verbreitung beschränkt sich auf städtische Gebiete (Abb. 33). In städtischen Gebieten sind die Immissionen sauer geprägt, was der säureliebenden Art entgegenkommt. *H. physodes* ist auch seit 1989 ziemlich stark zurückgegangen, vor 14 Jahren trat sie an 45.5% aller Bäume auf.

Mittlere Frequenz

In stark belasteten Gebieten tritt *H. physodes* heute nur in geringen Frequenzen auf. Mit abnehmender Luftbelastung nimmt ihr Vorkommen zu und sie erreicht in der Normalzone ihr Maximum. Im Unterschied dazu erreichte sie 1989 und 1995 ihr Maximum annähernd schon in der Zone mit starker Luftbelastung (Abb. 32).

Hypogymnia physodes

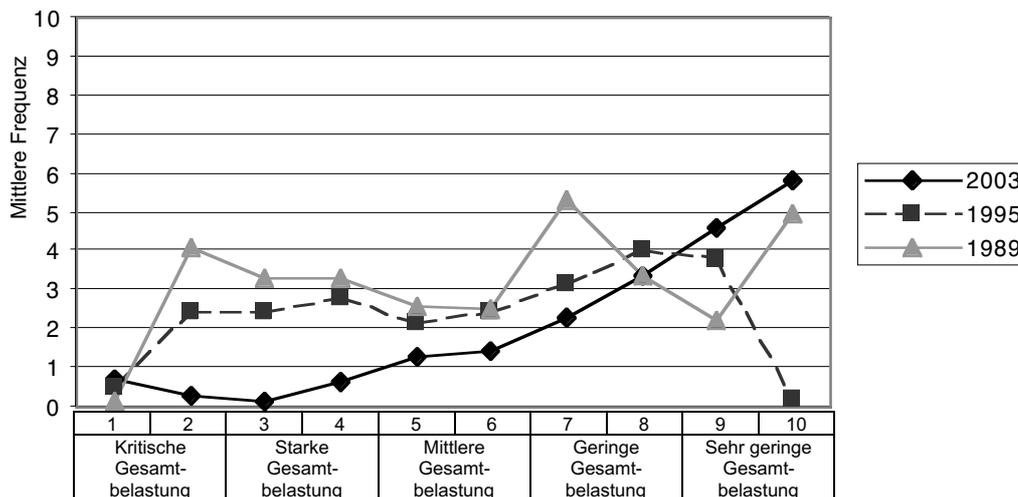
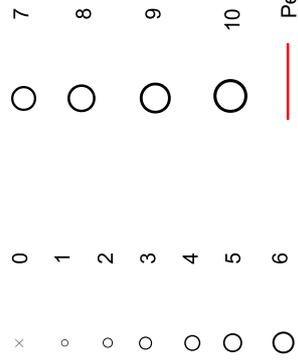


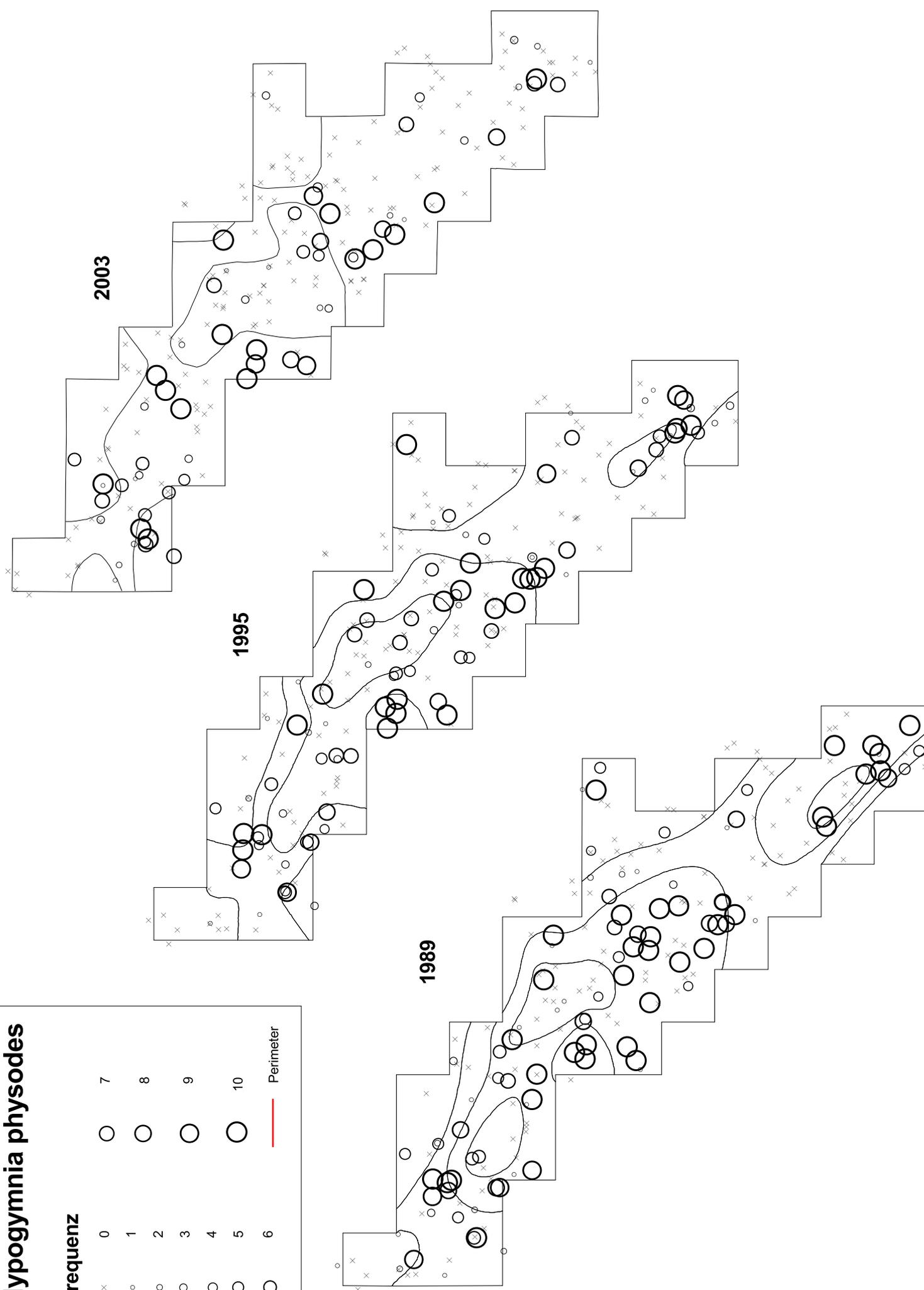
Abb. 32:
In den ersten zwei Untersuchungen erreichte *H. physodes* schon in stark belasteten Zonen ihr Maximum. 2003 steigt die Frequenz erst bei mittlerer Belastung an.

Hypogymnia physodes

Frequenz



Perimeter



10. Schlussfolgerungen

Die positive Entwicklung der Luftqualität im unteren Limmattal, wie sie die Flechtenuntersuchungen aufzeigen, ist als direkte Folge der lufthygienischen Sanierungsmassnahmen der letzten Jahren interpretierbar. Zur Reduktion der Luftbelastungen haben vor allem folgende Massnahmen beigetragen: Einführung des Katalysators, Entbleiung des Benzins, verschärfte Abgasvorschriften für alle Fahrzeugkategorien, Sanierungen von Industrieanlagen, obligatorische Ölfeuerungskontrollen, Entschwefelung des Heizöls, Lenkungsabgaben auf Heizöl, Lenkungsabgaben auf flüchtigen organischen Verbindungen und Öffentlichkeitsarbeit.

Auffallend ist die grossflächige Verbesserung der Flechtenvegetation im Raum Turgi–Obersiggenthal. Hier sind neben den oben genannten flächendeckend wirkenden Massnahmen zusätzlich die Sanierung der KVA Turgi und das neue Fernwärmenetz als wichtige emissionssenkende Massnahmen zu erwähnen, welche zu dieser Verbesserung der Luftqualität führten.

Neben den grossflächigen Verbesserungen sind in einigen Gebieten auch Verschlechterungen der Luftqualität festzustellen. Betroffen davon sind Gebiete, welche räumlich etwas höher gelegen sind und in der Ersterhebung 1989 durchwegs noch gering belastet waren.

Der Grund dieser Belastungszunahme ist nicht offensichtlich. Verantwortlich sind allenfalls Sekundärschadstoffe wie Ozon, die erst durch chemische Umwandlungen von Primärschadstoffen entstehen und deshalb ihre Wirkung in einiger Distanz zur Quelle voll entfalten. Technische Immissionsmessungen zeigen, dass die Ozonbelastung in diesen quellenfernen Gebieten nicht abgenommen haben.

Möglich ist auch, dass die fortschreitende Zersiedelung der Landschaft zu einer Belastungszunahme dieser Randgebiet führte.

Denkbar ist zudem, dass sich die Charakteristik der Staubbilastung verändert hat: tendenziell kleinere Staubpartikel würden weiter transportiert und führten zu einer Erhöhung der Belastung in quellenferneren Gebieten.

Trotz der wesentlichen Reduktion der Belastung in den letzten 14 Jahren weist der Raum Baden–Wettingen immer noch eine starke Gesamtbelastung auf. Diese Belastung wird auch durch die technischen Immissionsmessungen bestätigt, welche für das Zentrum von Baden nach wie vor Grenzwertüberschreitungen von NO₂, Ozon und PM₁₀ nachweisen.

Neben dieser starken Zentrumsbelastung ist der grösste Teil des Limmattals mittelstark belastet, nur randlich findet sich eine geringe Gesamtbelastung.

Die Luftreinhalteverordnung setzt als Ziel, die Luftbelastung auf ein verträgliches Mass für Mensch, Tier und Pflanze zu senken. Aus biologischer Sicht bedeutet diese gesetzliche Vorgabe, dass die Zonen mit kritischer und starker Gesamtbelastung gänzlich zu eliminieren sind und die Zone geringer Belastung weiter auszudehnen ist.

Dieses Ziel ist noch nicht erreicht. Für das Limmattal könnte das heissen, dass die heute noch vorhandene starke Gesamtbelastung wegfällt und der Anteil der geringen und sehr geringen Gesamtbelastung zusammen mindestens 50% beträgt.

Die mit den Flechten ausgewiesenen Erfolge ermutigen dazu, die eingeschlagene Luftreinehaltepolitik weiter zu verfolgen. Nach der weitgehend erfolgten Sanierung der wichtigsten Einzelemittenten und Emittentengruppen werden nun eine Kombination von vielen kleineren Massnahmen insbesondere auch im Verkehrsbereich notwendig sein, damit eine weitere Senkung der Luftbelastung erreicht werden kann. Bei weiteren Sanierungsanstrengungen ist zu erwarten, dass die Flechten in den stark belasteten Gebieten nochmals Zuwachs verzeichnen werden.

Im Limmattal wurde erstmalig in der Schweiz im gleichen Gebiet eine dritte Flechtenerhebung vorgenommen (Ersterhebung 1989, Wiederholungsuntersuchungen 1995 und 2003). Diese Untersuchungen haben eindrücklich gezeigt, dass sich die Flechten zur lufthygienischen Erfolgskontrolle eignen. Zur systematischen Überwachung der Luftqualität bietet sich die erneute Wiederholung der Flechtenuntersuchung in 5 bis 10 Jahren an. Die Grundlage dazu ist mit den vorgenommenen standardisierten Erfassungen und Auswertungen der Flechtendaten geschaffen.

Die erzielten Ergebnisse sind geeignet für die Information der Behörden und der Öffentlichkeit über den Erfolg der bisherigen Luftreinhaltepolitik und die Notwendigkeit weiterer Massnahmen. Die Untersuchung muss dazu in einer leicht verständlichen und ansprechenden Form aufbereitet und präsentiert werden.

11. Glossar

Acidoindex

Flechtenindex, welcher qualitative Aussagen über die Art der Immission liefert; der Index charakterisiert, ob die Immission vorwiegend basisch oder sauer geprägt ist.

Bioindikation

Anzeige von Umweltveränderungen mit Hilfe von Lebewesen oder lebenden Systemen. Bioindikatoren sind Organismen, die auf Schadstoffbelastungen mit Veränderungen ihrer Lebensfunktion antworten oder den Schadstoff messbar akkumulieren.

Differenzkarte

Visualisiert die räumliche Veränderung der Luftbelastung zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten.

Emission

Ausstoss von Schadstoffen an der Quelle.

Epiphyt

Baumbewohnende Pflanze oder Pilz.

Frequenz

Häufigkeitsmass; bezeichnet die Anzahl von 10 Teilfeldern des Frequenzgitters, in welchen eine Flechtenart vorkommt.

Frequenzgitter

Aufnahmegerät zur Bestimmung der Frequenz der Flechtenarten; das Gitter ist 50 cm hoch und umfasst den halben Stammumfang eines Trägerbaums; es ist in 10 gleich grosse Teilfelder unterteilt.

Georaum

Kollektiv von meist fünf benachbarten Trägerbäumen in einem geografisch einheitlichen Raum mit homogener Immissionssituation. Die Georäume sind die Grundeinheit für die Konstruktion der IAP-Luftgütekarte und für weitere Auswertungen.

Gesamtimmissionsbelastung

Belastung der Luft durch verschiedene Einzelschadstoffe, deren Kombinationswirkung mit dem Indikator Flechte erfasst wird.

IAP18

Index of atmospheric purity; Luftgütwert der Kalibrierten Flechtenindikationsmethode; Summe der Frequenzen aller berücksichtigten Flechtenarten an einem Trägerbaum.

Immission

Luftbelastung am Orte ihres Einwirkens auf die belebte und unbelebte Umwelt.

Isolinie

Verbindungsline (Kurve) gleicher Werte zur Konstruktion der Luftgütekarte und der Differenzkarte.

Kalibrierte Flechtenindikationsmethode

Mit technischen Luftschadstoffen geeichtes Erhebungsverfahren der Luftqualität auf der Basis der Verbreitung von Baumflechten. Entwickelt im Nationalen Forschungsprogramm 14.

NO, NO₂, NO_x

Stickoxide, vorwiegend Primärschadstoffe, Hauptemittent Verkehr.

O₃, Ozon

Sekundärschadstoff, gebildet aus den Vorläufersubstanzen NO_x und VOC unter Sonneneinwirkung.

Passivsammler

Einfaches Messverfahren mit Absorptionsröhrchen für SO₂, NO₂, O₃ mit begrenzter zeitlicher Auflösung (1 Tag bis einige Wochen).

PM10

Feine Staubpartikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner als 10 Mikrometer. Diese kleinen Partikel sind besonders gut lungengängig.

Primärschadstoff

Schadstoff, der an der Quelle entweicht.

Rote Liste

Rote Liste der Flechten im Sinne von Art. 14 Abs. 3 der NHGV: beinhaltet die gefährdeten, seltenen und geschützten Flechtenarten der Schweiz auf.

SO₂

Schwefeldioxid; Hauptemittent sind Feuerungen (Ölverbrennung).

Symbiose

Enge Lebensgemeinschaft von Organismen, welche unter sich Stoffwechselprodukte austauschen. Flechten sind symbiotische Lebewesen, sie bestehen aus einer Pilz- und einer Algenart.

Schwebestaub

Feine Staubpartikel in der Luft; können durch Einatmung bis in die Lunge gelangen.

Sekundärschadstoff

Schadstoff, der aus Primärschadstoffen durch chemische Umwandlung in der Atmosphäre gebildet wird; meist sind Sekundärschadstoffe erst fernab vom Emissionsort in höherer Konzentration vorhanden.

Trägerbaum

Ausgewählter freistehender Laubbaum (Linde, Esche, Eiche, Ahorn), welcher bestimmten Bedingungen genügen muss (Umfang, Rindenbeschaffenheit, Neigung etc.) und der Bestimmung des IAP-Wertes dient.

Transmission

Transport und Ausbreitung von Schadstoffen; Schadstoffe können in dieser Phase verdünnt und chemisch umgewandelt werden.

VOC

Flüchtige organische Verbindungen, entstehen vor allem beim Verdunsten von Lösungsmitteln und Treibstoffen und bei der unvollständigen Verbrennung.

12. Literatur

AGB, 1990. Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung im Kanton Aargau, Untersuchungen 1989; Baudepartement des Kantons Aargaus, Abteilung Umweltschutz, Aarau.

BUWAL, 2003. NABEL - Luftbelastung 2002. Schriftenreihe Umwelt Nr. 360. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

BUWAL, 1995. Nr. 256 Vom Menschen verursachte Luftschadstoff-Emissionen in der Schweiz von 1900 bis 2010. Schriftenreihe Umwelt Nr. 256. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

Kanton Aargau, 1991. Massnahmenplan Luftreinhaltung. Baudepartement des Kantons Aargau.

Kanton Aargau, 2002. Massnahmenplan Luft des Kantons Aargau. Abteilung für Umwelt, Kanton Aargau.

puls, 1995. Wiederholungsuntersuchung mit Flechten, 6-Jahrestrend der Luftbelastung im westlichen Limmattal; Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Umweltschutz. Bern.

UMWELT AARGAU, Sondernummer 1, Juni 1998. Luftreinhaltung - Immissionsmessungen im Kanton Aargau - Resultate 1997. Abteilung Umweltschutz, Kanton Aargau

UMWELT AARGAU, Sondernummer 5, März 1999. „Luftbelastung im Kanton Aargau - Immissionsmessbericht 1998“, Abteilung Umweltschutz, Kanton Aargau.

Urech, M., R. Herzig, 1991. Flechten als Bioindikatoren, Integriertes biologisches Messsystem der Luftverschmutzung für das Schweizer Mittelland, Bibliotheca Lichenologica, Band 43.

Scheidegger, C. & P. Clerc, 2002. Rote Liste der gefährdeten Arten der Schweiz: Baum- und erdbewohnende Flechten. Hrsg. BUWAL, Bern und WSL, Birmensdorf und CJBG, Genf. BUWAL-Reihe Vollzug Umwelt. 124 S.

13. Anhang

Für sämtliche 216 in dieser Untersuchung erfassten Trägerbäume sind folgende Angaben enthalten:

- Obj. 03: Objektnummer = Nummer des Trägerbaumes 2003
- Obj. 95: Objektnummer = Nummer des Trägerbaumes 1995
- Obj. 89: Objektnummer = Nummer des Trägerbaumes 1989
- X: horizontale Koordinate der Schweizer Landeskarte
- Y: vertikale Koordinate der Schweizer Landeskarte
- Geo: Nummer des Georaumes, welchem der Trägerbaum angehört
- IAP 89: IAP18-Wert des Trägerbaumes im Jahr 1989
- IAP 95: IAP18-Wert des Trägerbaumes im Jahr 1995
- IAP 03: IAP18-Wert des Trägerbaumes im Jahr 2003
- Ba.: Baumart

Es bedeuten:

- 1: einheimische Linde
- 2: ausländische Linde
- 3: Esche
- 4: Eiche
- 5: Spitzahorn
- 6: ausländischer Ahorn
- 7: Bergahorn
- 8: Feldahorn
- 9: Silberahorn

1 – 49: Frequenzwerte der 49 untersuchten Flechtenarten: Die Arten 1 bis 49 zählen zum IAP18-Wert.

- 1: *Bryoria fuscescens*
- 2: *Evernia prunastri*
- 3: *Pseudevernia furfuracea*
- 4: *Ramalina farinacea*
- 5: *Ramalina fastigiata*
- 6: *Ramalina fraxinea*

- 7: *Ramalina pollinaria*
- 8: *Usnea* sp.
- 9: *Anaptychia ciliaris*
- 10: *Cetrelia cetrarioides*-Gr.
- 11: *Cladonia* sp.
- 12: *Hypogymnia farinacea*
- 13: *Hypogymnia physodes*
- 14: *Hypogymnia tubulosa*
- 15: *Parmelia acetabulum*
- 16: *Parmelia caperata*
- 17: *Parmelia submontana*
- 18: *Parmelia exasperata*
- 19: *Parmelia exasperatula*
- 20: *Parmelia flaventior*
- 21: *Parmelia glabra*
- 22: *Parmelia glabratula*-Gr.
- 23: *Parmelia quercina*
- 24: *Parmelia revoluta*
- 25: *Parmelia saxatilis*
- 26: *Parmelia subargentifera*
- 27: *Parmelia subrudecta*
- 28: *Parmelia sulcata*
- 29: *Parmelia tiliacea*
- 30: *Parmeliopsis ambigua*
- 31: *Parmeliopsis hyperopta*
- 32: *Physcia aipolia*-Gr.
- 33: *Physcia adscendens*-Gr.
- 34: *Physcia caesia*
- 35: *Phaeophyscia orbicularis*
- 36: *Physconia perisidiosa*
- 37: *Physconia enteroxantha*
- 38: *Physconia grisea*
- 39: *Physconia distorta*
- 40: *Xanthoria fallax*-Gr.
- 41: *Xanthoria parietina*
- 42: *Xanthoria polycarpa*
- 43: *Graphis scripta*
- 44: *Lecanora carpinea*-Gr.
- 45: *Lecanora argentata*-Gr.
- 46: *Normandina pulchella*
- 47: *Pertusaria albescens*
- 48: *Pertusaria amara*
- 49: *Phlyctis argena*-Gr.

Obj03	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	
1	.	.	.	10	1	.	.	.	9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	.	.	1
7	.	.	10	10	.	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
8	10	.	10	.	.	.	1	.	10	.	.	.	.	.	.	.	.	3
9	.	.	7	10	.	.	.	.	10	.	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	1
15	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.
19	.	.	.	1	.	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
29	.	.	3	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	3	.	10	6	.	.	9
36	.	.	7	10	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	.	10
40	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6	.	4	.	4	.	4	.	9
49	.	.	10	6	2	.	.	.	4	.	3	.	.	.	1	.	2	.	.	.	.	.	3	5	.	10
86	.	.	6	9	6	.	.	.	10	.	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	.
87	.	.	10	6	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	10
88	2	.	1	10	4	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	8
89	.	.	10	10	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	10
90	.	.	7	10	2	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	.	.	.	10	1	.	.	.	.	4
107	.	.	10	6	.	.	.	.	6	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10
108	.	.	9	8	1	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6
109	.	.	5	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10
111	.	.	6	5	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	10
112	.	.	3	7	4	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	.	.	.	1	3	.	8	.	.	4
113	.	.	2	2	.	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	.	.	.	7	.	.	.	.	.	9
160	.	.	10	10	.	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
162	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
166	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	.	.	.	.	.
217	1	6	9	.	.	.	.	.	10	.	4	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
221	.	.	4	10	.	.	.	.	10	.	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	7
222	.	.	1	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
223	.	.	2	5	1	.	.	.	10	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	3
269	.	.	10	8	2	.	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
270	.	.	10	1	1	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
271	.	.	5	10	1	.	.	.	10	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
274	.	.	.	5	5	.	.	.	9	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	2
276	.	3	.	.	.	.	.	.	5	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	.	8
278	.	.	.	1	1	.	.	.	9	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
468	.	.	10	6	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10
469	.	.	2	5	.	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
470	.	.	1	3	.	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
471	1	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
473	.	4	1	10	1	.	.	.	10	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
474	.	.	1	9	.	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
479	.	8	.	10	3	.	.	.	10	.	8	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
480	7	.	1	.	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
481	.	.	1	10	.	.	.	.	9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	.	.	.	10
482	5	.	.	.	.	.	.	4	.	.	.	.	.	1	.	2	.	1

Obj03	Obj95	Obj89	X	Y	Geo	IAP89	IAP95	IAP03	Ba.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
777	777	777	664290	258440	28	47	47	49	3	.	2	2	.	.	.	.	1	.	.	.	.	9	7	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.
780	780	780	665900	259310	31	7	6	0	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
786	786	786	663430	259540	25	26	35	31	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
787	787	787	665050	259350	30	19	11	14	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
790	790	790	665650	259010	31	7	14	35	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
791	791	791	665790	259220	31	48	50	46	3	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	7	3	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
792	792	792	665410	259190	29	0	0	17	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
793	793	793	665390	259040	29	0	4	18	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
794	794	794	665590	258550	32	1	0	0	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
795	795	795	665640	258360	32	0	20	44	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
796	796	796	665480	258190	32	43	18	18	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
798	798	798	668900	256210	45	54	44	42	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
801	801	801	668590	256950	44	80	71	64	1	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
802	802	802	668260	257050	44	27	34	32	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
803	803	803	669200	254620	48	12	11	10	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
806	806	806	669720	254930	47	58	59	42	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
808	808	808	667320	259760	56	47	51	46	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
810	810	810	666050	259000	31	22	22	28	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
811	811	811	666640	259040	56	51	55	64	1	.	2	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	5	.	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.
813	813	813	670200	255770	47	30	22	22	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
814	814	814	670290	255640	47	33	35	28	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
815	815	815	670130	255200	47	59	50	53	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.
816	816	816	669830	255040	47	53	46	31	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
817	817	817	669990	255150	47	58	57	46	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
820	820	820	670560	253800	52	40	36	27	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
824	824	824	668390	254270	49	4	6	14	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
826	826	826	667040	255640	43	49	56	58	8	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
846	846	846	664090	257400	88	35	29	30	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
847	847	847	664260	257480	88	46	41	64	3	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	9	6	.	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.	.
848	848	848	664520	257650	88	51	54	40	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
851	851	851	660370	263100	89	29	24	32	1	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1401	1401	746	661700	261320	18	33	50	65	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1402	1402	745	661340	261350	18	28	32	44	5	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1404	1404	760	663440	261250	21	40	32	40	3	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1406	1406	11	663440	259840	24	3	15	45	5	.	1	.	.	.	.	.	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1407	1407	770	664070	260300	26	13	28	75	5	.	7	3	.	.	.	.	1	.	.	.	.	10	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1408	1408	784	663960	259380	25	22	27	21	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1409	1409	783	663490	259290	25	19	34	28	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1412	1412	.	665790	258285	32	.	11	17	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1422	1422	849	665100	258180	88	0	20	25	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.
1423	1423	504	665880	256640	35	22	22	45	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	.	.	.
1424	1424	504	665860	256640	35	22	37	24	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.
1425	1425	478	666280	256570	36	27	35	54	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1427	1427	779	664010	258600	28	35	20	38	9	.	2	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.

In den folgenden Tabellen werden Mittelwerte pro Georaum (geographisch einheitliche Räume mit durchschnittlich fünf Trägerbäumen) aufgeführt:

Geo: Nummer des Georaumes

K1 89: Mittelwert der horizontalen Koordinaten (Schweizer Landeskarte) der Trägerbäume von 1989

K2 89: Mittelwert der vertikalen Koordinaten der Trägerbäume von 1989

IAP 89: IAP18-Mittelwert im Jahr 1989

Ac 89: Acidoindex-Mittelwert 1989 (positive Werte stehen für saure Immissionen, negative Werte für basische)

K1 95: Mittelwert der horizontalen Koordinaten der Trägerbäume von 1995

K2 95: Mittelwert der vertikalen Koordinaten der Trägerbäume von 1995

IAP 95: IAP18-Mittelwert im Jahr 1995

Ac 95: Acidoindex-Mittelwert 1995

K1 03: Mittelwert der horizontalen Koordinaten der Trägerbäume von 2003

K2 03: Mittelwert der vertikalen Koordinaten der Trägerbäume von 2003

IAP 03: IAP18-Mittelwert im Jahr 2003

Ac 03: Acidoindex-Mittelwert 2003

Geo	K1 89	K2 89	IAP 89	Ac 89	K1 95	K2 95	IAP 95	Ac 95	K1 03	K2 03	IAP 03	Ac 03
16	660780	261775	30.50	-5.80	660773	261805	31.3	-14.10	661060	261690	35.2	-9.70
17	660278	261484	32.60	-4.00	660278	261484	30.4	-2.90	660462	261310	29.4	-4.60
18	661762	261206	39.40	10.50	661758	261208	45.0	8.70	661768	261262	56.6	-3.50
19	661614	260700	30.40	3.40	661614	260660	32.8	0.50	661652	260716	40.2	-3.00
20	660890	260370	33.80	3.10	660890	260370	48.6	1.50	660898	260360	56.2	2.20
21	662800	261414	54.00	1.70	662762	261386	57.2	-1.50	662758	261380	45.6	-4.90
22	662410	260474	10.40	4.70	662410	260474	16.6	-0.90	662378	260542	33.8	-4.40
23	662080	259826	21.40	7.10	662080	259826	41.8	5.80	662102	259816	41.6	-3.50
24	663127	259805	12.50	1.60	663125	259812	19.2	2.20	663332	259988	40.6	-1.70
25	663900	259406	30.20	8.70	663786	259424	29.6	2.90	663550	259434	36.4	-7.70
26	664062	260008	26.20	2.40	664082	260016	30.8	-0.60	664054	260026	39.0	2.80
27	664432	260718	45.00	3.30	664432	260718	51.8	1.70	664432	260718	47.4	-2.60
28	664537	258522	40.20	12.30	664555	258503	34.7	13.20	664584	258476	37.8	11.10
29	665254	258986	6.20	0.60	665258	258960	8.2	-1.40	665304	258996	25.0	0.40
30	664840	259675	14.30	5.50	664840	259675	10.5	3.40	664818	259763	26.3	-2.38
31	665874	259156	16.80	4.10	665874	259156	18.4	4.00	665874	259156	23.0	2.90
32	665720	258308	9.80	-0.20	665623	258284	11.5	1.30	665658	258335	17.6	-1.60
33	666218	257790	25.00	10.10	666158	257878	15.0	4.00	666164	257886	30.4	-4.60
34	666252	257115	23.20	0.20	666298	257188	22.5	2.80	666307	257198	28.0	1.25
35	665495	256873	28.30	4.30	665608	256854	31.2	4.40	665622	256812	31.6	-3.30
36	666085	256553	32.80	0.10	666162	256544	32.2	2.40	666174	256512	43.0	2.50
37	667422	258494	37.00	4.50	667422	258494	41.4	3.40	667422	258494	41.8	1.10
38	667008	257730	27.40	5.50	667026	257742	23.4	-0.70	667030	257790	18.2	-2.60
39	667304	256738	23.60	2.10	667374	256864	34.2	1.80	667372	256872	45.6	-6.30
40	666867	256015	22.00	7.80	666860	256010	27.7	10.40	666887	256012	42.3	-0.42
41	668246	258102	52.20	-3.20	668198	257993	48.8	-0.50	668104	257900	50.0	-8.30
42	668024	257582	38.60	-4.60	667958	257592	49.6	-2.20	667740	257512	45.8	-6.20
43	667168	255582	36.60	4.90	667176	255566	44.4	3.50	667158	255546	41.6	-6.60
44	668730	256915	55.30	1.10	668725	256910	55.0	-7.10	668180	256866	43.0	-13.40
45	668647	255945	40.00	-2.10	668647	255945	42.2	-0.70	668596	255894	42.0	-4.40
46	667870	254822	34.30	4.90	667843	255095	37.0	4.00	667748	255011	35.6	0.80
47	670027	255288	48.50	-8.10	670027	255288	44.8	-9.40	670027	255288	37.0	-8.17
48	669126	254918	28.40	2.80	669193	254952	34.8	2.80	669232	254962	33.5	-5.17
49	668820	253925	15.00	3.50	668880	253915	28.5	1.00	668732	254064	36.8	-6.10
50	668563	253558	47.80	-7.50	668553	253548	42.8	-7.30	668553	253548	44.0	-5.88

Geo	K1 89	K2 89	IAP 89	Ac 89	K1 95	K2 95	IAP 95	Ac 95	K1 03	K2 03	IAP 03	Ac 03
51	669638	253210	15.00	5.10	669618	253252	30.3	5.50	669621	253247	38.0	-2.83
52	670436	253734	29.80	5.80	670293	253750	40.3	1.00	670316	253700	39.6	-1.40
53	670226	252714	28.80	8.30	670166	252874	38.0	5.00	670140	252864	35.6	-2.30
54	669850	252343	47.50	-3.30	669850	252343	47.3	-6.80	669815	252340	35.3	-1.00
55	669386	258210	57.20	7.40	669386	258210	57.8	6.00	669390	258210	52.4	2.70
56	666882	259420	34.60	5.80	666764	259324	41.2	4.80	666856	259350	49.6	-8.60
88	664592	257676	30.40	7.40	664588	257710	32.8	7.60	664470	257698	37.4	2.90
89	660238	262800	25.80	-5.60	660238	262800	25.0	-5.40	660158	262923	36.5	-22.63

In den folgenden Tabellen werden Mittelwerte pro Georaum (geographisch einheitliche Räume mit durchschnittlich fünf Trägerbäumen) aufgeführt:

Geo: Nummer des Georaumes

K1 89/95: Mittelwert der horizontalen Koordinaten der Trägerbäume von 1989 und 1995

K2 89/95: Mittelwert der vertikalen Koordinaten der Trägerbäume von 1989 und 1995

IAP Diff 89/95: Differenz zwischen dem IAP18-Mittelwert von 1989 und dem IAP-Mittelwert von 1995

Ac Diff 89/95: Differenz zwischen Acidoindex 1989 und 1995

K1 95/03: Mittelwert der horizontalen Koordinaten der Trägerbäume von 1995 und 2003

K2 95/03: Mittelwert der vertikalen Koordinaten der Trägerbäume von 1995 und 2003

IAP Diff 95/03: Differenz zwischen dem IAP18-Mittelwert von 1995 und dem IAP-Mittelwert von 2003

Ac Diff 95/03: Differenz zwischen Acidoindex 1995 und 2003

K1 89/03: Mittelwert der horizontalen Koordinaten der Trägerbäume von 1989 und 2003

K2 89/03: Mittelwert der vertikalen Koordinaten der Trägerbäume von 1989 und 2003

IAP Diff 89/03: Differenz zwischen dem IAP18-Mittelwert von 1989 und dem IAP-Mittelwert von 2003

Ac Diff 89/03: Differenz zwischen Acidoindex 1989 und 2003

Geo	K1 89/95	K2 89/95	IAP Diff 89/95	Ac Diff 89/95	K1 95/03	K2 95/03	IAP Diff 95/03	Ac Diff 95/03	K1 89/03	K2 89/03	IAP Diff 89/03	Ac Diff 89/03
16	660776	261790	-0.75	-8.30	660916	261748	3.95	4.40	660920	261733	4.7	-3.90
17	660278	261484	2.20	1.10	660370	261397	-1.00	-1.70	660370	261397	-3.2	-0.60
18	661760	261207	-5.60	-1.80	661763	261235	11.60	-12.20	661765	261234	17.2	-14.00
19	661614	260680	-2.40	-2.90	661633	260688	7.40	-3.50	661633	260708	9.8	-6.40
20	660890	260370	-14.80	-1.60	660894	260365	7.60	0.70	660894	260365	22.4	-0.90
21	662781	261400	-3.20	-3.20	662760	261383	-11.60	-3.40	662779	261397	-8.4	-6.60
22	662410	260474	-6.20	-5.60	662394	260508	17.20	-3.50	662394	260508	23.4	-9.10
23	662080	259826	-20.40	-1.30	662091	259821	-0.20	-9.30	662091	259821	20.2	-10.60
24	663126	259808	-6.67	0.60	663229	259900	21.43	-3.90	663230	259897	28.1	-3.30
25	663843	259415	0.60	-5.80	663668	259429	6.80	-10.60	663725	259420	6.2	-16.40
26	664072	260012	-4.60	-3.00	664068	260021	8.20	3.40	664058	260017	12.8	0.40
27	664432	260718	-6.80	-1.60	664432	260718	-4.40	-4.30	664432	260718	2.4	-5.90
28	664546	258513	5.53	0.90	664570	258490	3.13	-2.10	664561	258499	-2.4	-1.20
29	665256	258973	-2.00	-2.00	665281	258978	16.80	1.80	665279	258991	18.8	-0.20
30	664840	259675	3.80	-2.10	664829	259719	15.75	-5.78	664829	259719	12.0	-7.88
31	665874	259156	-1.60	-0.10	665874	259156	4.60	-1.10	665874	259156	6.2	-1.20
32	665672	258296	-1.70	1.50	665641	258310	6.10	-2.90	665689	258322	7.8	-1.40
33	666188	257834	10.00	-6.10	666161	257882	15.40	-8.60	666191	257838	5.4	-14.70
34	666275	257152	0.70	2.60	666303	257193	5.50	-1.55	666279	257157	4.8	1.05
35	665552	256864	-2.90	0.10	665615	256833	0.40	-7.70	665559	256843	3.3	-7.60
36	666124	256549	0.60	2.30	666168	256528	10.80	0.10	666130	256533	10.2	2.40
37	667422	258494	-4.40	-1.10	667422	258494	0.40	-2.30	667422	258494	4.8	-3.40
38	667017	257736	4.00	-6.20	667028	257766	-5.20	-1.90	667019	257760	-9.2	-8.10
39	667339	256801	-10.60	-0.30	667373	256868	11.40	-8.10	667338	256805	22.0	-8.40
40	666864	256013	-5.67	2.60	666873	256011	14.67	-10.82	666877	256013	20.3	-8.22
41	668222	258047	3.45	2.70	668151	257946	1.25	-7.80	668175	258001	-2.2	-5.10
42	667991	257587	-11.00	2.40	667849	257552	-3.80	-4.00	667882	257547	7.2	-1.60
43	667172	255574	-7.80	-1.40	667167	255556	-2.80	-10.10	667163	255564	5.0	-11.50
44	668728	256913	0.30	-8.20	668453	256888	-12.00	-6.30	668455	256891	-12.3	-14.50
45	668647	255945	-2.17	1.40	668621	255920	-0.17	-3.70	668622	255920	2.0	-2.30
46	667857	254959	-2.70	-0.90	667796	255053	-1.40	-3.20	667809	254917	1.3	-4.10
47	670027	255288	3.67	-1.30	670027	255288	-7.83	1.23	670027	255288	-11.5	-0.07
48	669160	254935	-6.43	0.00	669213	254957	-1.33	-7.97	669179	254940	5.1	-7.97
49	668850	253920	-13.50	-2.50	668806	253990	8.30	-7.10	668776	253995	21.8	-9.60
50	668558	253553	5.05	0.20	668553	253548	1.25	1.43	668558	253553	-3.8	1.63

Geo	K1 89/95	K2 89/95	IAP Diff 89/95	Ac Diff 89/95	K1 95/03	K2 95/03	IAP Diff 95/03	Ac Diff 95/03	K1 89/03	K2 89/03	IAP Diff 89/03	Ac Diff 89/03
51	669628	253231	-15.33	0.40	669620	253249	7.67	-8.33	669629	253228	23.0	-7.93
52	670364	253742	-10.45	-4.80	670304	253725	-0.65	-2.40	670376	253717	9.8	-7.20
53	670196	252794	-9.20	-3.30	670153	252869	-2.40	-7.30	670183	252789	6.8	-10.60
54	669850	252343	0.25	-3.50	669833	252341	-12.00	5.80	669833	252342	-12.3	2.30
55	669386	258210	-0.60	-1.40	669388	258210	-5.40	-3.30	669388	258210	-4.8	-4.70
56	666823	259372	-6.60	-1.00	666810	259337	8.40	-13.40	666869	259385	15.0	-14.40
88	664590	257693	-2.40	0.20	664529	257704	4.60	-4.70	664531	257687	7.0	-4.50
89	660238	262800	0.80	0	660198	262861	11.50	-17.23	660198	262861	10.7	-17.03