

Flechten und Luftqualität im Kanton Zug: Wirkungskontrolle 2003

im Auftrag des Amtes für Umweltschutz, Kanton Zug

9. Juli 2004

in Zusammenarbeit mit
Kathrin Peter, > Evaluationen, Bern

Inhalt

1. Zusammenfassung	1
2. Einleitung	4
3. Ziele	6
4. Methode	7
5. Flechtenkarten 1993 und 2003.....	11
6. Differenzkarte 1993 – 2003.....	20
7. Auswertungen einzelner Flechtenarten	25
8. Acidindex und Nitroindex	34
9. Analyse der Veränderungen	47
9.1 Methodische Ursachen.....	49
9.2 Natürliche Prozesse.....	50
9.3 Standortfaktoren.....	52
9.4 Luftqualität.....	55
9.5 Flechten-Differenzkarte und technische Messdaten	61
9.6 Flechten und technische Messungen: Zwei Messsysteme.....	62
9.7 Vergleich mit andern Flechtenuntersuchungen im Mittelland	63
9.8 Mögliche Gründe für den Flechtenrückgang in unbelasteten Gebieten.....	65
10. Schlussfolgerungen	67
11. Glossar.....	69
12. Literatur	72
13. Anhang.....	73

Projektbearbeitung:

Dr. Martin Urech
Dr. Kathrin Peter
Ingrid Schär
Monika Schaffner
Michael Dietrich
Carmen Senn

1. Zusammenfassung

Die Flechtenindikationsmethode wird im Kanton Zug als Instrument der Wirkungskontrolle der vorgenommenen Luftreinhaltemassnahmen und deren Auswirkungen eingesetzt. Im Kanton Zug wurde 1993 die Luftqualität zum ersten Mal mit dieser biologischen Methode erfasst. Mit der vorliegenden Untersuchung 2003 wurde eine Wirkungskontrolle durchgeführt. Die heutige Luftbelastung wurde erfasst und die Veränderung der letzten zehn 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 unterschiedlicher Schadstoffe.

Luftgüte 1993

In der Luftgütekarte 1993 waren im Untersuchungsgebiet alle fünf Belastungsstufen von kritischer Gesamtbelastung bis zu sehr geringer Gesamtbelastung anzutreffen.

Auffallend ist die Zweiteilung der Luftgütekarte in eine westliche und eine östliche Hälfte. Die westliche Hälfte von Rotkreuz über Hünenberg bis Cham und Steinhausen ist grösstenteils mittel bis stark belastet (orange und gelbe Zone).

Die östliche Hälfte wird durch eine geringe und sehr geringe Gesamtbelastung (grüne und blaue Zone) charakterisiert. Ausnahmen bilden die beiden Zentren von Zug und Baar, welche höhere Belastungen aufweisen.

Luftgüte 2003

Zehn Jahre später bietet die Luftgütekarte ein etwas anderes Bild: Die gelben und orangen Zonen der mittleren und starken Gesamtbelastung dominieren die Luftgütekarte fast im ganzen Untersuchungsgebiet. Ausnahme bildet Un-

terägeri: Hier gehört der Grossteil der untersuchten Gebietes immer noch der grünen Zone der geringen Gesamtbelastung an. Die roten Flächen mit kritischer Belastung sind verschwunden.

Differenzkarte 1993 – 2003

Die Differenzkarte teilt sich in eine westliche Hälfte, in der die sich die Luftbelastung deutlich verbessert hat und in eine östliche Hälfte, in der sich die Situation ziemlich verschlechtert hat. Im Zentrum von Zug ist die einzige Fläche mit einer starken Verbesserung der Luftqualität (dunkelblaue Zone) zu finden.

Acidoindex und Nitroindex

1993 ist das untersuchte Gebiet basisch geprägt. Nur in wenigen Georäumen überwiegen die säureliebenden Flechtenarten, dies vor allem in den grösseren Siedlungen Zug, Cham und Baar. Am ausgeprägtesten sind die basischen Verhältnisse im Reusstal.

Zehn Jahre später hat sich die Flechtenvegetation noch stärker in Richtung basische Verhältnisse verschoben. Alle untersuchten Georäume sind jetzt als basisch ausgewiesen.

Der Nitroindex ist eine Messgrösse für den Eutrophierungsgrad durch Ammoniak. Er ist speziell für diese Untersuchung entwickelt worden. Die Flechten zeigen eine zunehmende Eutrophierung durch Ammoniak eintrag an, das Artenspektrum verschiebt sich in Richtung nitrophiler Arten und geht einher mit einer Artenverarmung.

Analyse der Veränderungen

Die festgestellten Veränderungen der Flechtenvegetation wurden in Bezug auf mögliche Ursachen analysiert. Methodische Ursachen, natürliche Prozesse und Standortfaktoren (mit Ausnahme der Nebelobergrenze und der Inversionslagen) konnten mit grosser Wahrscheinlichkeit als Ursachen für die Veränderungen ausgeschlossen werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass Luftbelastungen für die Veränderungen verantwortlich sind.

Die grossflächigen Verbesserungen der Gesamtbelastung im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes und im Zentrum von Zug, wie sie die Flechten-Differenzkarte ausweist, stimmen gut mit den technischen Daten zur Emission und Immission überein. Diese sind als direkte Auswirkungen der vielen

von Bund, Kanton und Gemeinden getroffenen Massnahmen zur Senkung der Luftbelastung zu interpretieren.

Im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes dagegen ist kein offensichtlicher Zusammenhang zwischen der Verschlechterung der Gesamtbelastung und den technischen Emissions- und Immissionsdaten erkennbar. Auffallend ist, dass diese Verschlechterungen fast ausschliesslich in Gebieten aufgetreten sind, welche in der Ersterhebung 1993 gering belastet waren. Dieses Phänomen ist in allen Flechtenuntersuchungen im Schweizer Mittelland feststellbar.

Flechten und technische Immissionsmessungen sind zwei verschiedene Messsysteme zur Erfassung der Luftbelastung. Sie müssen nicht unbedingt identische Resultate liefern; unterschiedliche Resultate, wie sie im östlichen Teil des untersuchten Gebietes festgestellt wurden, sind durchaus denkbar.

Als mögliche Gründe für den Flechtenrückgang in ehemals unbelasteten Gebieten sind zu nennen: ein Ansteigen der Nebelgrenze, der Einfluss bisher nicht erkannter Schadstoffe, die Kombinationswirkung von Schadstoffen, eine Mehrbelastung durch nährstoffhaltige Schadstoffe, eine erhöhte Bautätigkeit und eine Langzeitwirkung durch chronische Schädigung der Flechten. Gut denkbar ist auch, dass eine Kombination verschiedener dieser Ursachen zum festgestellten Flechtenrückgang geführt hat.

Schlussfolgerungen

Die Flechten erfasst die Gesamtbelastung der Luft und eignen sich zur Wirkungskontrolle der lufthygienischen Massnahmen, auch wenn in der vorliegenden Untersuchung nicht alle Ergebnisse in einen direkten Bezug zu den technischen Daten zur Luftqualität gebracht werden konnten. Gerade hier liegt ihr Wert als biologische Indikatoren: Sie ergänzen die technischen Messungen mit Aussagen zur Wirkung der Luftbelastung auf Lebewesen.

Zur systematischen Überwachung der Luftqualität bietet sich die erneute Wiederholung der Flechtenuntersuchung in 5 bis 10 Jahren an.

Die vorliegenden Ergebnisse können für die Information der Behörden und der Öffentlichkeit über die Wirkung der bisherigen Luftreinhaltepolitik und die Notwendigkeit weiterer Massnahmen verwendet werden. Die Untersuchung muss dazu in einer leicht verständlichen und ansprechenden Form aufbereitet und präsentiert werden.

2. Einleitung

Flechten als Bioindikatoren

Baumbewohnende Flechten sind empfindliche Zeiger der Luftverschmutzung. Sie sind anfällig 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 mit fast kahlen Rinden.

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

Untersuchung 1993

Im Kanton Zug wurde 1993 eine entsprechende Untersuchung durchgeführt (puls, 1994). Für die Gebiete um Rotkreuz, Hünenberg, Cham, Steinhäusen, Baar, Zug, Zugerberg und Unterägeri wurde eine flächendeckende Luftgütekarte erstellt, welche fünf Zonen unterschiedlicher Luftgesamtbelastung ausweist (vgl. Abb. 3, Seite 13). Im Reusstal schloss sich der Kanton Aargau diesen Untersuchungen an, so dass das Gebiet zwischen Sins und Dietwil in die Luftgütekarte integriert werden konnte.

Diese Flechtenuntersuchungen dienten als Grundlage für Öffentlichkeitsarbeit zur Luftreinhaltung. Eine gut besuchte Pressekonferenz eröffnete den ersten Flechtenlehrpfad der Schweiz in Zug und Hünenberg.

Bisherige Massnahmen

Der Regierungsrat des Kantons Zug hat im Juni 1990 einen ersten Massnahmenplan gegen übermässige Luftschadstoffe im Kanton Zug verabschiedet (RR Zug, 1990). Die dadurch ausgelösten Massnahmen führten zu Verbesserungen der Luftqualität. Noch sind aber nicht alle Grenzwerte der eidgenössischen Luftreinhalteverordnung eingehalten.

Deshalb wurde ein zweiter zentralschweizerischer Massnahmenplan er-

stellt. Dieser wurde von den Kantonen Luzern, Uri, Schwyz, Nidwalden, Obwalden und Zug gemeinsam erarbeitet und von der Zuger Regierung im Juli 2000 in Kraft gesetzt (RR Zug, 2000).

Ziel beider Massnahmenpläne ist es, die Luftbelastung markant zu senken.

Wirkungskontrolle

Wiederholungsuntersuchungen mit Flechten sind ein Instrument der Wirkungskontrolle von lufthygienischen Massnahmen, wie sie die genannten Massnahmenpläne vorsehen. Sie zeigen auf, ob sich die Sanierungsmassnahmen positiv auf die hochempfindlichen Flechten ausgewirkt haben.

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

In den letzten Jahren wurden in verschiedenen Teilen des Schweizer Mittellandes Wirkungskontrollen mit der Flechtenmethode durchgeführt. Diese Untersuchungen zeigten, dass sich diese Methode gut für den Nachweis von Luftqualitätsveränderungen eignet: In Gebieten mit Emissionsreduktionen wiesen die Flechten eine Verbesserung der Luftqualität nach. In Gebieten mit ehemals geringen und sehr geringen Belastungen gingen die Flechten dagegen vielfach zurück.

Aufbau des Berichts

In Kapitel 3 und 4 werden Ziel und Methode der Flechtenuntersuchung beschrieben. Die Resultate der Flechtenerhebungen sind in den Kapiteln 5 bis 8 dargestellt: Luftgütekarte 2003 (Kap. 5), Differenzkarte 1993-2003 (Kap. 6), Auswertungen zu den einzelnen Flechtenarten (Kap. 7) und Auswertungen zu Acido- und Nitroindex (Kap. 8).

Anschliessend werden in Kapitel 9 die Veränderungen der Flechtenvegetation von 1993 bis 2003 analysiert. Mögliche Ursachen für diese Veränderungen werden diskutiert, insbesondere Vergleiche mit technischen Luftdaten und weiteren Flechtenuntersuchungen im Schweizer Mittelland vorgenommen. Danach werden die Schlussfolgerungen dargelegt (Kap. 10). Den Abschluss des Berichtes bilden das Literaturverzeichnis, das Glossar und der Anhang mit den Flechtendaten.

3. Ziele

Die Wiederholung der Flechtenuntersuchung dient der Wirkungskontrolle der in den letzten zehn Jahren erfolgten lufthygienischen Massnahmen. Folgende Teilziele sollen die Wirkungsweise der durchgeführten lufthygienischen Massnahmen im Kanton Zug aufzeigen:

- Die Flechtenkartierung von 1993 soll wiederholt werden, die Daten sollen analog zu der früheren Untersuchung erhoben und ausgewertet werden.
- Der jetzige Zustand der Luftqualität soll analysiert und interpretiert werden. Die Luftbelastung 2003 wird mit Flechten als Bioindikatoren räumlich differenziert erfasst und in Form einer Luftgütekarte dargestellt.
- Die Entwicklung der Luftqualität seit 1993 soll erfasst und interpretiert werden. Die Veränderung der Immissionssituation von 1993 bis 2003 wird in Form einer Differenzkarte abgebildet.
- Der Vergleich zwischen Flechtenkarten und technischen Emissions- und Immissionsdaten soll zur Interpretation der biologischen Ergebnisse beitragen.
- Durch die Auswertung der vorkommenden Flechtenarten sollen zusätzliche Aussagen wie beispielsweise über den Säuregrad der Immissionen (Acidindex) oder der Nährstoffversorgung (Nitroindex) und deren Veränderungen gewonnen werden.
- Die Untersuchungsergebnisse sollen so dokumentiert werden, dass weitere Wiederholungsuntersuchungen in späteren Jahren möglich sind.
- Die Flechtenerhebung soll die Luftbelastungen sichtbar und erfahrbar machen. Sie dient als Grundlage für die Information von Behörden und Öffentlichkeit über die Wirkung der Luftreinhaltemassnahmen im Kanton Zug.

4. Methode

Lebewesen Flechte

Flechten sind unscheinbare Lebewesen, denen wir im Alltag oft begegnen, ohne sie wirklich wahrzunehmen. Flechten sind Doppellebewesen. Sie bestehen einerseits aus feinen Pilzfäden und andererseits aus Algenkugeln. Diese Lebensgemeinschaft wird Symbiose genannt. Der Pilz umklammert die Alge und bildet ein Stützgewebe, welches für die Flechte formgebend ist. Die Alge baut mit Hilfe von Sonnenenergie aus einfachen Molekülen Zucker auf. Diese Stoffwechselprodukte liefert sie teilweise an den Pilz, der selbst nicht zur Photosynthese fähig ist.

Flechten haben keine Wurzeln, sondern feine Haftfasern, mit denen sie sich an die Unterlage klammern können. Ihre Nährstoffe entnehmen sie aus der Luft, dem Regen, Nebel und Schnee. Schädliche und giftige Stoffe werden von den Flechten somit ebenso aufgenommen und wirken sich direkt auf den Zustand der Flechte aus.

Flechten, welche die Rinde von Bäumen besiedeln, schaden den Bäumen nicht. Es handelt sich bei Flechten nicht, wie manchmal fälschlicherweise vermutet wird, um eine Baumkrankheit oder um Schmarotzer. Absterbende Bäume können stark von Flechten bewachsen sein, da diese wegen Blatt- oder Nadelverlust der Trägerbäume bessere Lichtverhältnisse vorfinden. Nie sind jedoch die Flechten der Grund für das Absterben der Bäume. Flechten haften oberflächlich auf der Rinde oder anderen Untergründen und ernähren sich ausschliesslich aus der sie umgebenden Atmosphäre.

Die Symbiose ist ein sehr labiles Gleichgewicht zwischen den beiden Partnern. Kleinste Verschlechterungen der Umweltbedingungen können dieses zu Fall bringen.

Die Abhängigkeit von der Luft macht man sich zu Nutze, indem man die Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung einsetzt. 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 ohne oder mit wenig Flechten.

Kalibrierte Flechtenindikationsmethode

Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms 14 ‚Lufthaushalt und Luftverschmutzung in der Schweiz‘ wurde am Systematisch-Geobotanischen Institut der Universität Bern eine speziell an die Verhältnisse im Schweizer Mittelland angepasste Flechtenindikationsmethode zur Erfassung der Luftverschmutzung entwickelt (Urech et al. 1991). Die Methode wurde mit technischen Messdaten geeicht und wird deshalb ‚Kalibrierte Flechtenindikationsmethode‘ genannt.

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

Ideale Trägerbäume stehen frei, ausserdem sind sie möglichst senkrecht gewachsen und sie sollten keine tiefhängenden Äste sowie eine ungestörte Aufnahme­fläche aufweisen. Linden (Winter- und Sommerlinde), Eichen und Spitzahorne werden bevorzugt. In zweiter Linie kommen auch Eichen, Bergahorne und nicht-einheimische Linden als Trägerbäume in Frage.

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. 1).

Das Frequenzgitter ist 50 cm hoch, umfasst den halben Stammumfang und wird immer in Richtung des grössten Flechtenbewuchses am Baum befestigt. Die Aufnahme­fläche ist je nach Baumdicke unterschiedlich breit. Die 10 Flächen im Frequenzgitter sind am gleichen Baum gleich gross.

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. Der IAP18-Wert eines Trägerbaumes ist die Summe der Frequenzen aller



Abb. 1:
Trägerbaum mit
Frequenzgitter.

berücksichtigen 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.

Flechtenuntersuchung 2003

Die Flechtenuntersuchung wurde analog zu der Erhebung von 1993 durchgeführt. Aus Kostengründen wurden einige randliche Gebiete 2003 nicht mehr kartiert, so die Gebiete Unterhünenberg, Flächen nördlich von Steinhäusen und Baar, Teile des Zugerbergs, das Gebiet südlich von Unterägeri. Das Untersuchungsgebiet 2003 umfasst 49 km², vor zehn Jahren betrug die Fläche 70 km² (Abb. 3 und 4, Seiten 13 und 15).

Im Untersuchungsgebiet wurde möglichst an den gleichen Bäumen mit der identischen Methode der Flechtenluftgütewert IAP18 bestimmt. Durchschnittlich wurden pro km² rund 6 Bäume erfasst. Von den 268 kartierten Bäumen mussten 103 (entspricht 38%) ersetzt werden, da sie entweder gefällt wurden oder sich aus anderen Gründen nicht mehr für die Methode eigneten. Die Daten der einzelnen Bäume befinden sich im Anhang.

Die Flechtenwerte der einzelnen Bäume wurden in Gruppen von meist 5 Bäumen zu einem Mittelwert verrechnet. Diese Baumgruppen stehen in geographisch einheitlichen Räumen, sogenannten Georäumen. Das untersuchte Gebiet umfasst 56 Georäume. Es wird davon ausgegangen, dass die Flechten innerhalb eines Georaumes einer vergleichbaren Gesamtluftbelastung ausgesetzt sind. Die Daten der Georäume (Lage, Mittelwerte) befinden sich ebenfalls im Anhang.

5. Flechtenkarten 1993 und 2003

Erstellung der Luftgütekarte

Die flächendeckende Luftgütekarte zeigt räumlich differenziert die Auswirkungen der Luftbelastung auf die Flechten.

Die Luftgütekarte wird in Form einer Isolinkarte erstellt. Die Isolinkarten werden konstruiert, indem durch lineare Interpolation die Zonengrenzpunkte auf der Verbindungsgeraden zwischen zwei Georäumen ermittelt werden. Punkte gleicher Klassengrenzen werden anschliessend zu Polygonzügen verbunden und daraus eine fließende Isolinkarte gezogen.

Die Karte beinhaltet fünf Zonen unterschiedlicher Beeinträchtigung der Flechten, welche als Zonen der Luftbelastung interpretiert werden (Abb. 2).

Flechtenzone	Gesamtluftbelastung	Farbe	IAP18
Flechtenwüste	kritisch	rot	0 bis 18.6
Innere Kampfzone	stark	orange	18.6 bis 31.7
Äussere Kampfzone	mittel	gelb	31.7 bis 44.8
Übergangszone	gering	grün	44.8 bis 57.9
Normalzone	sehr gering	blau	> 57.9

Abb. 2:
Zoneneinteilung der
Luftgütekarte.

Die Zonengrenzen zwischen den einzelnen Zonen sind als Übergangsbereiche und deshalb nicht auf ihren metergenauen Verlauf hin zu interpretieren. Zudem sind alle am Rande des Untersuchungsgebietes liegenden Zonenverläufe schwierig zu interpretieren, da im angrenzenden Gebiet keine Informationen vorhanden sind. Diese randlichen Linien werden daher in den Karten durch Strichelung gekennzeichnet.

Die Luftgütekarte 1993

In der Luftgütekarte 1993 sind alle fünf Zonen vertreten (Abb. 3, nächste Seite): Zu diesem Zeitpunkt waren im Untersuchungsgebiet alle fünf Belastungsstufen von kritischer Gesamtbelastung bis zu sehr geringer Gesamtbelastung anzutreffen.

Auffallend ist die Zweiteilung der Luftgütekarte in eine westliche und eine östliche Hälfte. Die westliche Hälfte von Rotkreuz über Hünenberg bis Cham und Steinhausen ist grösstenteils mittel bis stark belastet (orange und gelbe Zone). Die östliche Hälfte wird durch eine geringe und sehr geringe Gesamtbelastung (grüne und blaue Zone) charakterisiert. Ausnahmen bilden die beiden Zentren von Zug und Baar, welche höhere Belastungen aufweisen.

Die rote Zone der kritischen Gesamtbelastung tritt kleinräumig im Zentrum von Zug und an drei Orten im Reusstal auf. Die orange Zone der starken Gesamtbelastung bedeckt grosse Teile des Reusstals und des Gebietes Cham-Steinhausen. Die gelbe Zone der mittleren Gesamtbelastung umschliesst die Zone der starken Gesamtbelastung und leitet über zu den Zonen geringerer Belastungen.

Die grüne Zone der geringen Gesamtbelastung nimmt in der Lorzeebene und um Baar viel Platz ein. Im westlichen Teil fehlt sie fast vollständig, nur an zwei höher gelegenen Orten tritt sie kleinflächig auf. Die blaue Zone der sehr geringen Gesamtbelastung findet sich nur in höher gelegenen Gebieten, so oberhalb Baar, am Zugerberg und in der Umgebung von Unterägeri.

Die Luftgütekarte 2003

Zehn Jahre später bietet die Luftgütekarte ein etwas anderes Bild (Abb. 4, S.15): Die gelben und orangen Zonen der mittleren und starken Gesamtbelastung dominieren die Luftgütekarte fast im ganzen Untersuchungsgebiet. Ausnahme bildet Unterägeri: Hier gehört der Grossteil der untersuchten Gebietes immer noch der grünen Zone mit geringer Gesamtbelastung an.

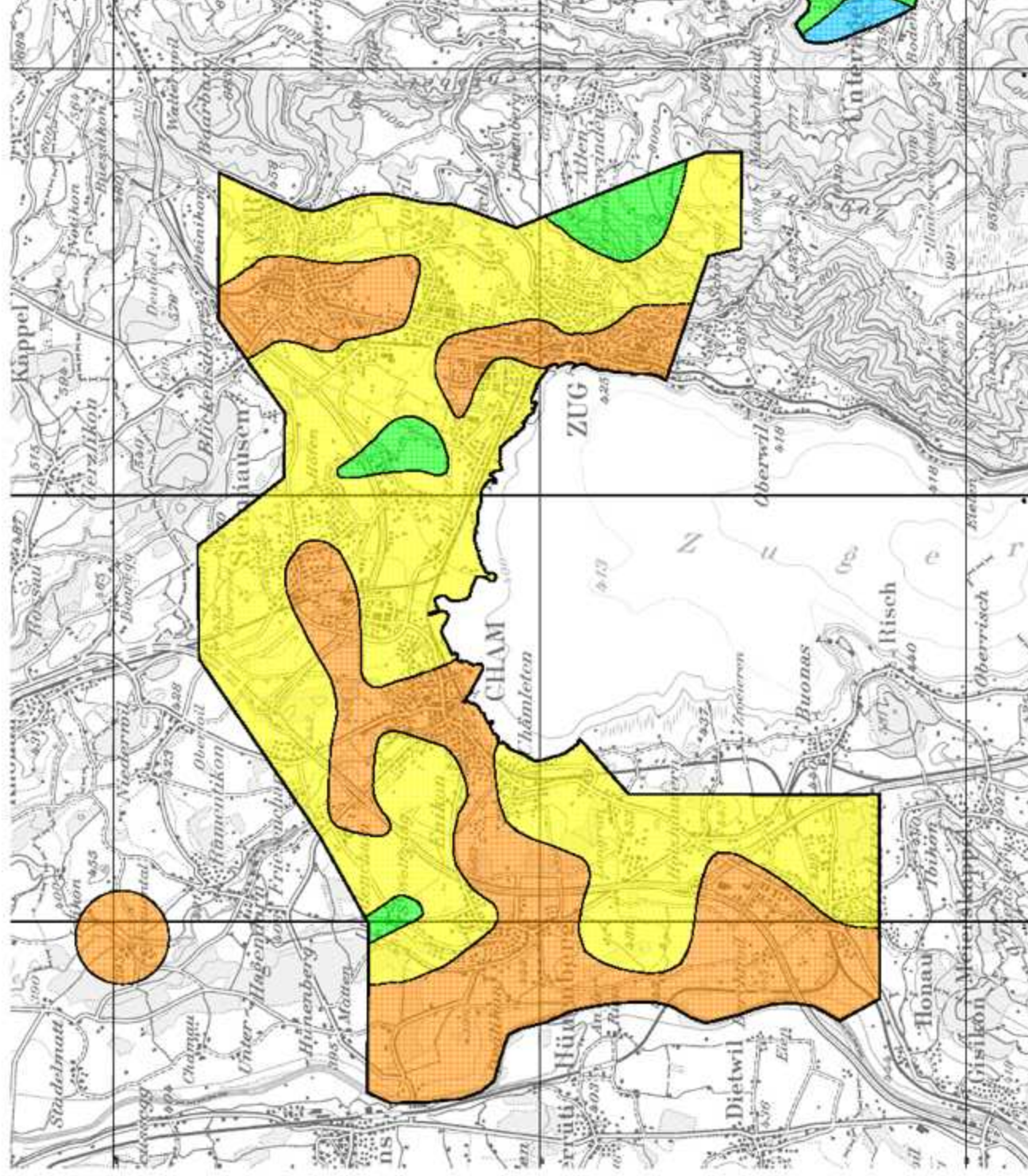
Nicht mehr vertreten ist die rote Zone der kritischen Gesamtbelastung. Die Flächen, welche 1993 noch kritisch belastet waren, sind heute orange. Diese Zone mit starker Gesamtbelastung bedeckt nach wie vor Teile des Reusstals und des Gebietes Cham-Steinhausen, wurde hier aber von der Zone mittleren Gesamtbelastung zurückgedrängt. Im Gegensatz dazu hat sich die orange Zone in Baar über grosse Teile des Siedlungsgebietes ausgedehnt.

Die gelbe Zone der mittleren Gesamtbelastung bedeckt heute den Grossteil des Gebietes. Sie hat sich im ganzen Gebiet ausgedehnt: im westlichen Teil gegenüber der Zone starker Belastung, im östlichen Teil auf Kosten der Zone geringer Belastung.

Die grüne Zone der geringen Gesamtbelastung wurde im ganzen Gebiet zurückgedrängt. Eine Ausnahme bildet Unterägeri, hier hat sich diese Zone zu Lasten der sehr geringen Gesamtbelastung ausgedehnt. In der Lorzeebene und um Baar ist diese Zone grossflächig zurückgegangen.

Luftgütekarte 2003

Bioindikation mit Flechten Kanton Zug



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

0 500 1000 1500 2000 2500 m



puls, Mühlemattstrasse 45, 3007 Bern

Kartendaten ©1994 and/or ©1994 DV 03/01/14



Gleiches gilt für die blaue Zone der sehr geringen Gesamtbelastung: Auch sie wurde zurückgedrängt und findet sich nur noch randlich in Unterägeri; die beiden ehemaligen Flecken oberhalb Baar und auf dem Zugerberg sind verschwunden.

Das heutige Muster der Luftbelastung im Kanton Zug ist vergleichbar mit demjenigen in andern Ballungsräumen, wie beispielsweise Limmattal Kt. AG (Untersuchungszeitpunkt 2003), Ausserschwyz (2001) und Luzern (1997): Die Luftgütekarten werden von der orangen und der gelben Zonen der starken und mittleren Gesamtbelastung dominiert. Geringere Belastungen treten nur randlich in lufthygienischen Gunstlagen auf.

Flächenanteile der einzelnen Zonen

Die Flächenanteile der einzelnen Zonen der beiden Luftgütekarten 1993 und 2003 sind in Abbildung 5 tabellarisch und in Abbildung 6 grafisch dargestellt. Für 1993 sind nur diejenigen Flächen berücksichtigt, welche 2003 erneut untersucht wurden.

Abb. 5:
Absolute und prozentuale Flächenanteile der einzelnen Belastungszonen.

Gesamtbelastung	Farbe	Fläche 1993		Fläche 2003	
		km ²	%	km ²	%
kritisch	rot	0.9	1.8	0.0	0.0
stark	orange	16.5	33.8	16.8	34.5
mittel	gelb	17.1	35.1	26.9	55.1
gering	grün	10.6	21.8	4.7	9.6
sehr gering	blau	3.6	7.5	0.4	0.8
Total		48.8	100	48.8	100

Flächenanteile in %

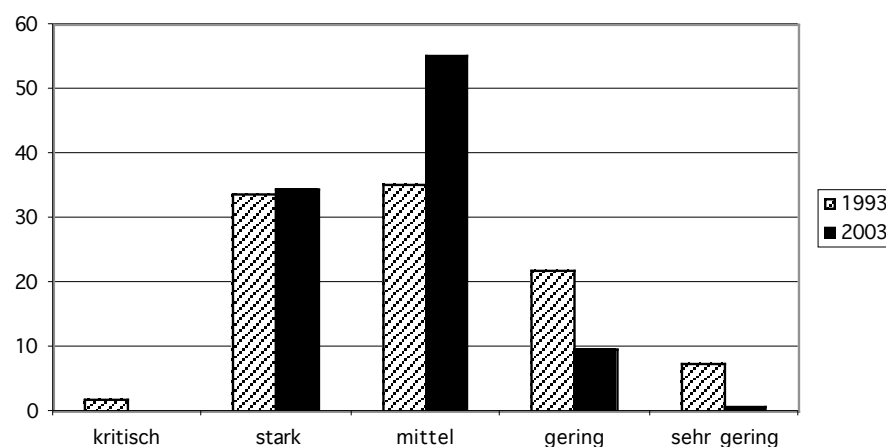


Abb. 6:
Prozentuale Flächenanteile der einzelnen Belastungszonen.

Insgesamt ist eine starke Nivellierung der Luftqualität festzustellen: Ehemals kritisch bis stark belastete Regionen sind heute stark bis mittel belastet, ehemals gering belastete Gebiete sind nun ebenfalls mittel belastet.

Diese Nivellierung der Luftqualität in den letzten 10 bis 15 Jahren wurde auch in anderen mit der Flechtenmethode untersuchten Regionen festgestellt, so beispielsweise in Stadt und Agglomeration Luzern, Limmattal Kt. AG, Kanton Nidwalden oder Fürstentum Liechtenstein.

Der Flächenanteil der gelben Zone hat in diesen zehn Jahren deutlich zugenommen, während die ‚randlichen‘ Zonen der sehr guten resp. sehr schlechten Luftqualität abgenommen haben. Die Abbildung 6 verdeutlicht diese Verschiebung der Zonenanteile zur Mitte hin (vgl. auch Abb. 12, Seite 23).

Artenzahl und Artenvielfalt

Die Luftbelastung äussert sich im Erscheinungsbild der Flechtenvegetation. So sind die Artenzusammensetzung, die Artenzahl (siehe Abb. 7) und die Frequenz (siehe Kap. 7) der Flechten in den fünf Zonen verschieden.

Die durchschnittliche Artenzahl pro Trägerbaum steigt regelmässig und fast linear mit zunehmend besserer Flechtenzone an (Abb. 7 und 8). 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. Die durchschnittliche Artenzahlen von 1993 und 2003 sind beinahe identisch.

Weitere Informationen liefert die Artenvielfalt (Abb. 7 und 9). Für diese Auswertung wurden nur Bäume berücksichtigt, die mehr als fünf Arten aufwiesen. Die Artenvielfalt gibt Auskunft darüber, wie viele verschiedene Flechtenarten auf den Trägerbäumen innerhalb einer Flechtenzone 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.

An den Bäumen der Zone sehr geringer Gesamtbelastung nimmt die Artenvielfalt wieder ab. Dies daher, weil das Kollektiv mit 18 Bäumen für eine statistisch fundierte Aussage zu klein ist. 1993 war die Zahl der Bäume in dieser Zone deutlich höher (64 statt 18 Bäume) und die hohe Artenvielfalt gut abgesichert.

Abb. 7:
Artenzahl und
Artenvielfalt in den
einzelnen Belas-
tungszonen.

2003	Artenzahl	Artenvielfalt	
Gesamtbelastung	Durchschnittliche Artenzahl pro Baum	Gesamtartenzahl pro Zone	Anzahl Bäume
kritisch	3.24	7	33
stark	4.87	13	83
mittel	7.13	15	88
gering	8.89	17	46
sehr gering	10.56	15	18

Artenzahl

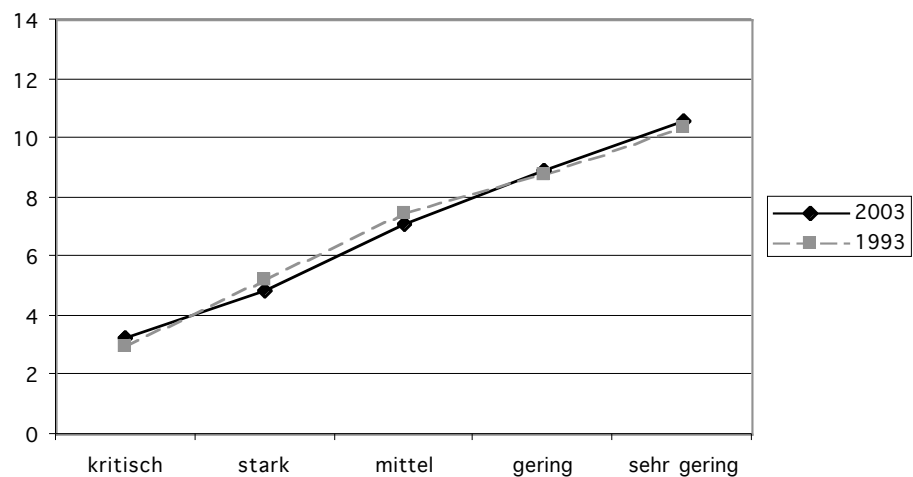


Abb. 8:
Artenzahl in den
einzelnen Belas-
tungszonen.

Artenvielfalt

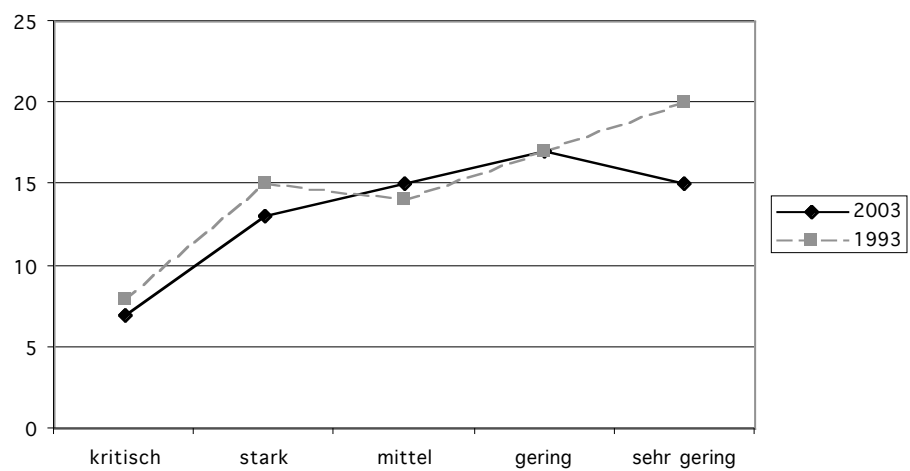


Abb. 9:
Artenvielfalt in den
einzelnen Belas-
tungszonen.

6. Differenzkarte 1993 – 2003

Die Differenzkarte visualisiert die räumliche Veränderung der Luftbelastung zwischen 1993 und 2003. Für die Erstellung der Differenzkarte werden die Luftgütewerte 2003 von den Luftgütewerten 1993 abgezogen. Verschlechterungen der Luftqualität äussern sich durch negative Differenzen, Verbesserungen durch positive. Die Differenzen werden in fünf Klassen unterteilt, damit Zonen gleicher Veränderung gebildet werden können. Die IAP-Differenz von 0 entspricht dem Mittelpunkt der Differenzzonen-Einteilung. Die Klassenbreite der Differenzkarte entspricht einer halben Klassenbreite der Luftgütekarte und umfasst 6.6 IAP-Punkte. Es ergeben sich folgende Differenzzonen:

IAP-Differenz	Veränderung	Farbe	Fläche km ²
> 9.8	starke Verbesserung	dunkelblau	0.5
9.8 bis 3.3	Verbesserung	hellblau	15.2
3.3 bis –3.3	keine wesentliche Veränderung	grau	15.2
–3.3 bis –9.8	Verschlechterung	hellrot	8.8
< –9.8	starke Verschlechterung	dunkelrot	9.1

Abb.10:
Zoneneinteilung der
Differenzkarte und
Flächenanteil.

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. Verbesserungen der Luftqualität werden als blaue Zonen dargestellt. Verschlechterungen zeigen sich rot. Grau dargestellt sind Gebiete ohne wesentliche Änderung der Luftbelastung.

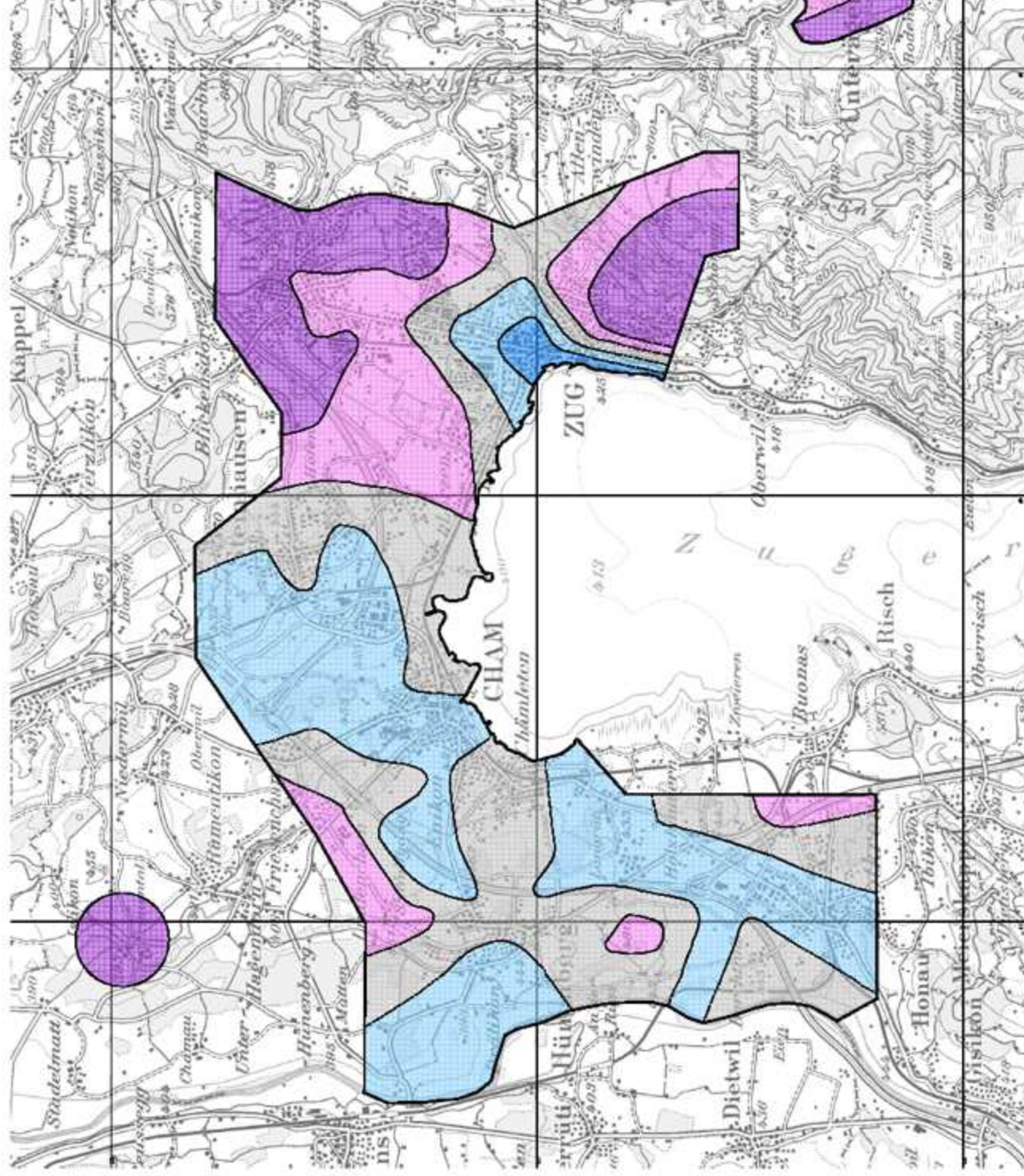
Beschreibung der Differenzkarte

Die Differenzkarte ist ähnlich der Luftgütekarte 1993 zweigeteilt (Abb. 11): der westliche Teil weist grossflächige Verbesserungen der Luftqualität auf (hellblaue Zone), im östlichen Teil dagegen überwiegen Verschlechterungen der Luftqualität (rote Zonen). Die Flächenanteile der einzelnen Zonen sind in Abbildung 10 aufgeführt.

Im Zentrum von Zug ist die einzige Fläche mit einer starken Verbesserung der Luftqualität (dunkelblaue Zone) zu finden.

Differenzkarte 1993-2003

Bioindikation mit Flechten Kanton Zug



Veränderung der Luftbelastung 1993-2003 IAP18-Differenz



0 500 1000 1500 2000 2500 m



puls, Mühlemattstrasse 45, 3007 Bern

Kartendaten ©1994 and/orque DV 03/01/14

In der Reussebene und im Gebiet Cham-Steinhausen bedeckt die hellblaue Zone mit Verbesserungen der Luftqualität beinahe die Hälfte der untersuchten Fläche. Die andere Hälfte ist durch die graue Zone, in welcher keine wesentlichen Veränderung der Luftqualität festgestellt wurde, charakterisiert. Verschlechterungen finden sich hier nur randlich und in leicht erhöhten Lagen.

Stark verschlechtert hat sich dagegen die Luftqualität in vier Gebieten: In Baar, wo die beiden roten Zonen das ganze untersuchte Gemeindegebiet bedecken, am Hang des Zugerberges, in Unterägeri und in Frauenthal.

Die Veränderungen der Luftbelastung sind stark mit der ursprünglichen Luftqualität gekoppelt: Verbesserungen sind vor allem in Gebieten festzustellen, welche 1993 kritische oder starke Gesamtbelastungen (rote und orange Zone der Luftgütekarte) aufwiesen. In ehemals gering oder sehr gering belasteten Gebieten wurden nirgends Verbesserungen festgestellt.

Verschlechterungen dagegen sind vorwiegend in Gebieten anzutreffen, welche 1993 gering und sehr gering belastet waren (grüne und blaue Zonen der Luftgütekarte).

Diesen Zusammenhang zwischen der Luftqualität 1993 und der Entwicklung in den letzten zehn Jahren veranschaulicht die Grafik in Abbildung 12: Die Veränderung des IAP-Wertes ist in Abhängigkeit des ursprünglichen IAP-Wertes/Zone aufgetragen.

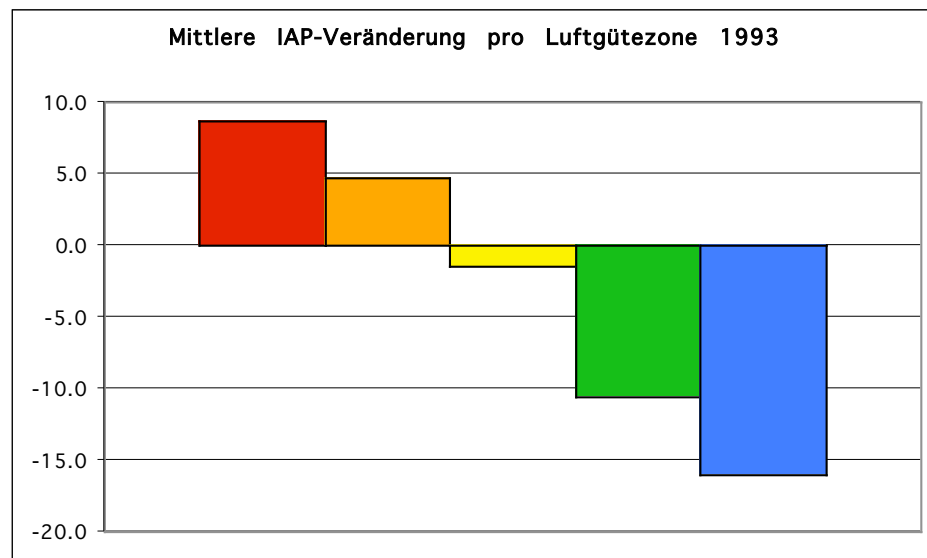


Abb.12:
Mittlere Veränderung des IAP-Wertes für die Belastungszonen 1993.

In den letzten zehn Jahren hat eine starke Nivellierung der Luftqualität stattgefunden: Ehemals kritisch bis stark belastete Regionen sind heute stark bis mittel belastet, ehemals gering belastete Gebiete sind nun ebenfalls mittel belastet.

Diese Nivellierung der Luftqualität in den letzten 10 bis 15 Jahren wurde auch in anderen untersuchten Regionen des Mittellandes festgestellt (vgl. dazu Kap. 9.7, Seite 64).

7. Auswertungen 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 zur Gesamtbelastungssituation liefern. Ausserdem ist die Dokumentation des Verhaltens von Einzelarten interessant im Hinblick auf Veränderungen in den vergangenen 10 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 sind die relative Häufigkeit im Gebiet, das räumliche Verbreitungsmuster, die Ansprüche bezüglich Säuregrad des Substrates (=pH-Schwerpunkt), die Ansprüche bezüglich Nährstoffversorgung (Nitrotoleranz) und die Schadstoffempfindlichkeit (Toxitoleranz).

Häufigkeit

Abbildung 13 gibt Auskunft über die im Untersuchungsgebiet gefundenen 43 Flechtenarten und –gruppen. Für die Häufigkeit wird jede Flechtenart bezüglich ihres Vorkommens oder Fehlens in der gesamten Aufnahme­fläche beurteilt. Aufgeführt sind die relativen Häufigkeiten der Untersuchungen 2003 und 1993.

Am häufigsten ist 2003 wie schon 1993 die Artengruppe der Wimpernflechte *Physcia adscendens*. Die Flechtenvegetation wird im Untersuchungsgebiet von insgesamt 13 Arten und Artengruppen geprägt, welche an mehr als 10% der Bäume auftreten, alle andern Arten und Artengruppen sind weniger häufig vorgekommen.

Vier Arten sind an über 70% der Bäume vorhanden. Danach nimmt die Häufigkeit rasch ab: insgesamt nur 13 der 43 gefundenen Arten sind an mehr als 10% der Bäume aufgetreten, 15 Arten und Artengruppen nur an maximal 2 der 268 untersuchten Bäumen. Die Flechtenvegetation wird von wenigen Arten dominiert, was in einem urbanen Raum nicht aussergewöhnlich ist.

Flechtenart	relative Häufigkeit		Kategorie Rote Liste	Differenz	Tendenz
	2003	1993		2003 - 1993	
<i>Phycia adscendens</i> -Gr.	88	86	LC	2	↗
<i>Candelariella xanthostigma</i>	87	75	LC	12	↗
<i>Phlyctis argena</i> -Gr.	78	66	LC	12	↗
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	71	44	LC	27	↑
<i>Parmelia subrudecta</i>	59	59	LC	0	→
<i>Parmelia sulcata</i>	59	71	LC	-12	↘
<i>Parmelia tiliacea</i>	47	56	LC	-9	↘
<i>Xanthoria parietina</i>	47	27	LC	20	↑
<i>Parmelia glabrata</i> -Gr.	36	41	LC, VU	-5	↘
<i>Lecanora argentata</i> -Gr.	32	45	VU	-13	↘
<i>Parmelia exasperatula</i>	20	46	LC	-26	↓
<i>Lecanora carpinea</i> -Gr.	15	25	div.	-10	↘
<i>Pertusaria albescens</i>	15	23	LC	-8	↘
<i>Parmelia flamentosa</i>	9	12	VU	-3	↘
<i>Ramalina pollinaria</i>	8	8	NT	0	→
<i>Hypogymnia physodes</i>	6	23	LC	-17	↓
<i>Physconia distorta</i>	6	7	LC	-1	→
<i>Evernia prunastri</i>	5	10	LC	-5	↘
<i>Xanthoria fallax</i> -Gr.	5	6	VU	-1	→
<i>Parmelia subargentifera</i>	4	7	LC	-3	↘
<i>Cladonia</i> sp	4	0	div.	4	↗
<i>Parmelia saxatilis</i>	4	2	LC	2	↗
<i>Normandina pulchella</i>	3	1	LC	2	↗
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	3	14	LC	-11	↘
<i>Parmelia glabra</i>	3	2	EN	1	→
<i>Physconia grisea</i>	3	2	NT	1	→
<i>Phycia aipolia</i> -Gr.	3	4	LC, VU	-1	→
<i>Parmelia caperata</i>	3	5	LC	-2	↘
<i>Physconia perisidiosa</i>	2	1	NT	1	→
<i>Graphis scripta</i>	2	1	LC	1	→
<i>Parmelia acetabulum</i>	2	3	NT	-1	→
<i>Ramalina fraxinea</i>	1	1	EN	0	→
<i>Phycia caesia</i>	1	1		0	→
<i>Pertusaria amara</i>	1	0	LC	1	→
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	1	3	LC	-2	↘
<i>Parmelia revoluta</i>	0	3	LC	-3	↘
<i>Ramalina farinacea</i>	0	3	VU	-3	↘
<i>Usnea</i> sp	0	1	div.	-1	→

Abb. 13:

Absolute und relative Häufigkeit der vorkommenden Flechtenarten und -gruppen. Kategorien der Roten Liste nach Scheidegger et al. 2002.

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 *Ramalina fraxinea* sind im Schweizer Mittelland stark gefährdet. Sie wurden nur an wenigen Bäumen gefunden.

Am stärksten zugenommen haben zwischen den beiden Untersuchungen *Phaeophyscia orbicularis* und *Xanthoria parietina*, Arten, die toxitolerant und neutrophil sind. Deutlich zurückgegangen sind vor allem säureliebende Arten wie *Hypogymnia physodes* und *Pseudevernia furfuracea* (vgl. auch folgende Kapitel).

Toxitoleranz

Die Toxitoleranz ist ein Mass für die Empfindlichkeit der einzelnen Flechtenarten gegenüber der Luftverschmutzung. Der Toxitoleranzwert ist definiert als mittlere Begleitartenzahl einer Flechtenart im Untersuchungsgebiet. Aufgrund ihres Toxitoleranzwertes werden die Flechten in folgende fünf Empfindlichkeitsstufen abnehmender Toxitoleranz eingeteilt:

- sehr toxitolerant (Flechte toleriert grosse Immissionsbelastung)
- ziemlich toxitolerant
- ziemlich empfindlich
- empfindlich
- sehr empfindlich (Flechte toleriert nur sehr kleine Immissionsbelastung).

Eine empfindliche Flechtenart gedeiht da, wo die Luftgüte besser und somit mehr Flechten vorhanden sind. Empfindliche Arten haben eine grosse Begleitartenzahl. Sehr toxitolerante Arten sind dagegen da anzutreffen, wo nur wenig Flechten wachsen können. Sie haben kleine Begleitartenzahlen.

Der Toxitoleranzwert ist stark gebietsabhängig. Sein Betrag hängt vom Reichtum der Flechtenvegetation, von der Immissionssituation und der Grösse des Untersuchungsgebietes ab.

In Abbildung 14 sind Toxitoleranzstufen derjenigen Flechtenarten angegeben, welche in beiden Untersuchungen mindestens an fünf Prozent der Bäume auftraten.

Bezüglich Toxitoleranz sind keine wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungen festzustellen, nur bei wenigen Arten hat sich die Einstufung der Toxitoleranz geändert. Einzig *Hypogymnia physodes*, deren

Häufigkeit von 23% (1993) auf 6% (2003, siehe Abb.12) abgenommen hat, hat ihre Toxitoleranz um 2 Stufen verändert und gilt jetzt im Gebiet von Zug als ‚empfindlich‘.

Flechtenart	sehr toxisch	zieml. toxisch	zieml. empfindlich	empfindlich	sehr empfindlich
<i>Physcia adscendens</i> - Gr.	●				
<i>Phaeophyscia orbicularis</i> - Gr.	●				
<i>Xanthoria parietina</i>		●			
<i>Parmelia exasperatula</i>			●		
<i>Parmelia sulcata</i>		●			
<i>Lecanora argentata</i> - Gr.		●			
<i>Hypogymnia physodes</i>				●	
<i>Parmelia subrudecta</i>		●			
<i>Parmelia flamentosa</i>				●	
<i>Parmelia glabrata</i> - Gr.			●		
<i>Parmelia tiliacea</i> - Gr.			●		
<i>Pertusaria albescens</i>		●			
<i>Xanthoria fallax</i> - Gr.				●	
<i>Lecanora carpinea</i> - Gr.			●		
<i>Ramalina pollinaria</i>				●	
<i>Evernia prunastri</i>				●	
<i>Physconia distorta</i>					●

Abb.14:
Toxitoleranzstufen
1993 und 2003 für
Arten, welche an
mehr als 5% der
Bäume auftraten;
geordnet nach zu-
nehmender Toxito-
leranz.

	Toxitoleranzwert 1993
●	Toxitoleranzwert 2003

Mittlere Frequenz

Entsprechend ihrer Toxitoleranz weist jede Flechtenart für sich ein artspezifisches Verhalten bezüglich der Gesamtbelastungszonen auf: So gibt es Arten, welche wenig empfindlich sind und bereits in der Zone kritischer Belastung auftreten und ein Maximum in der Zone mit starker Belastung aufweisen, in der sehr geringen Belastungszone jedoch durch andere Arten verdrängt wer-

den. Empfindliche Arten dagegen erreichen ihr Verbreitungsoptimum erst in den Zonen geringer Gesamtbelastung.

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.

Exemplarisch ist in Abbildung 15 die mittlere Frequenz der Lindenflechte *Parmelia tiliacea* dargestellt.

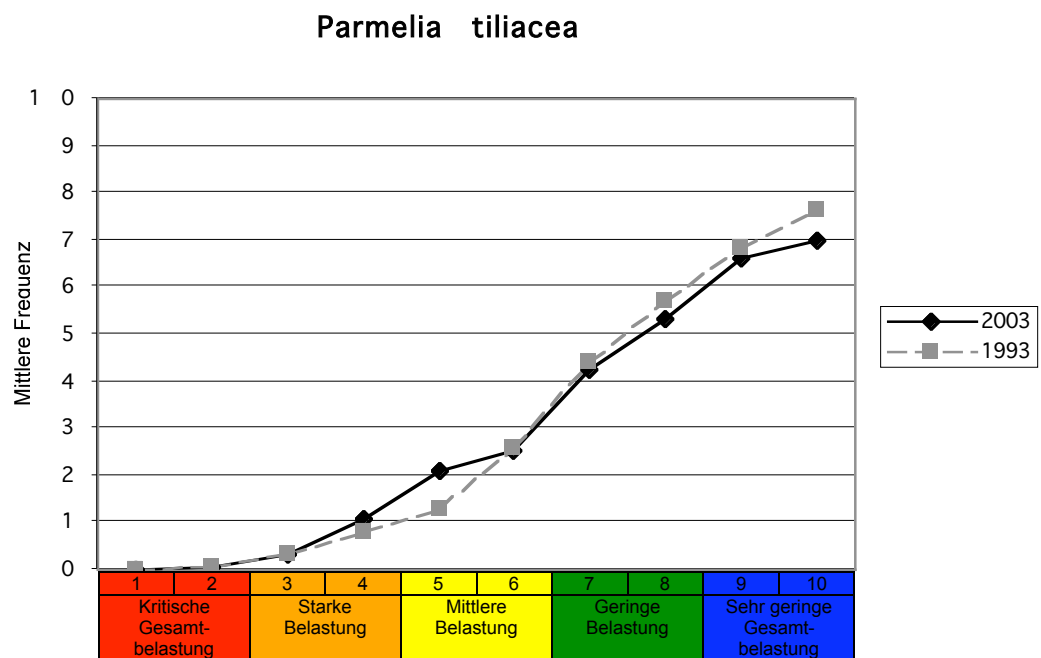


Abb. 15:
Mittlere Frequenz der
Lindenflechte
Parmelia tiliacea.

Parmelia tiliacea fehlt in der Zone mit kritischer Belastung fast vollständig. Ab der Zone starker Belastung nimmt die Frequenz langsam zu. Erst in der Zone mit geringer Luftbelastung steigt die Kurve stark an und erreicht ihr Maximum in der Zone sehr geringer Belastung. Dieses Verhalten ist typisch für ziemlich empfindliche Flechtenarten; der regelmäßige Anstieg der Frequenzwerte über die ganze Belastungsskala charakterisiert *Parmelia tiliacea* als eine ideale Zeigerart.

pH-Schwerpunkt

Die einzelnen Flechtenarten zeigen unterschiedliche Ansprüche an den Untergrund, welchen sie bewachsen. Herausgelöste Substanzen des Untergrundes werden indirekt, z.B. durch das Stammabflusswasser, welches mit mehr oder weniger Nährstoffen verschiedener Zusammensetzung versetzt sein kann, von der Flechte aufgenommen. Eine wichtige Eigenschaft des Untergrunds ist der pH-Wert.

Abbildung 16 enthält Angaben zum pH-Schwerpunkt von 31 häufigeren Flechtenarten. Die Angaben zum pH-Schwerpunkt stammen aus Wirth 1980.

Die sieben unterschiedenen Stufen sind:

- sehr acidophil (sehr säureliebend)
- acidophil
- mässig acidophil
- subneutrophil
- neutrophil (pH-neutral)
- mässig basiphil
- basiphil (basenliebend)

Einige Flechtenarten können Substrate mit sehr unterschiedlichem pH-Wert bewachsen, andere beschränken sich auf einen engen pH-Bereich. Diese art-spezifischen Eigenschaften bezüglich Acidität bilden die Grundlage für die Auswertungen zum Acidoindex (siehe Kapitel 8, Seite 34).

Nitrotoleranz

Abbildung 16 enthält Angaben zur Nitrotoleranz von 31 häufigeren Flechtenarten.

Die Nitrotoleranz einer Flechte gibt Auskunft über die tolerierbaren Nährstoffverhältnisse, speziell bezogen auf die Stickstoffversorgung. Nitrophile Flechtenarten sind auf Unterlagen oder in einer stofflichen Belastung der Luft häufig, welche über ein N-Überangebot verfügen. Für anitrophile (N-meidende) Flechten gilt das Gegenteil.

Eutrophierung findet statt, wenn der N-Eintrag die Aufnahmekapazität des Substrates übersteigt. Z.B. führt der N-Überschuss im Boden zu einer Anreicherung und damit verbunden zu einem Nährstoffungleichgewicht (z.B. Mangel an K-, P- oder Mg) (FAL et al. 1996). Bei Flechten ist ein Gleiches denkbar, da sie ohne Selektion Stoffe aufnehmen, welche sie umgeben. Ist die Sättigung der Luft an N-Verbindungen zu hoch, so kommt es in der Flechte zu einer übermässigen Anreicherung und einem Nährstoffungleichgewicht. Die sensiblen Arten verschwinden in der Folge und nur wenige Flechtenarten

können sich mit angereichertem Stickstoff und dem damit zusammenhängenden Mangel an essentiellen Nährstoffen arrangieren. Die ökologisch kritische Grenze der N-Deposition heisst „critical load“. Der „critical load“ einzelner Flechtenarten ist nicht bekannt. Studien belegen jedoch die Abhängigkeit der Vorkommen bestimmter Flechtenarten mit der Höhe von Ammoniak- und Ammoniumverschmutzung (van Herk 1999, vgl. Kap. 8, S. 42).

Abbildung 16 macht deutlich, dass basiphile Arten meist auch eine hohe Nitrotoleranz aufweisen und säureliebende Arten in der Regel die N-Nährstoffanreicherung meiden (anitrophil). Eutrophierung durch Ammoniakdepositionen in Quellennähe wirkt sich basisch aus. Die Nitrifikation von Ammonium im Boden führt zu sauren Milieus. Da Flechten ihre Nahrung durch den Kontakt zur Luft beziehen, sind sie in erster Linie des basischen N-Überschusses aus der mittelbaren Umgebung ausgesetzt. Rhim belegt, dass die NH_3 -N-Deposition in emissionsreichen Gebieten am höchsten ist, da ungefähr die Hälfte des emittierten Ammoniaks innerhalb von wenigen Stunden bzw. innerhalb von 10 km wieder deponiert wird (FAL 1996).

Verschwinden die anitrophilen Arten, so ist dies folglich als Frühwarnung einer drohenden Überdüngung auch für weitere Ökosysteme zu verstehen.

Flechtenart	pH-Schwerpunkt nach Wirth 1980							Nitrotoleranz nach Wirth 1980				
	sehr acidophil	zieml. acidophil	mässig acidophil	subneutrophil	neutrophil	mässig basiphil	basiphil	anitrophil	mässig nitrophil	ziemlich nitrophil	sehr nitrophil	extrem nitrophil
<i>Lecanora conizaeoides</i> -Gr.	●	●						●	●	○		
<i>Parmelia saxatilis</i>	●	●						●	●			
<i>Parmelia flaventior</i>	●	●	○						●	●		
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	●	●	○					●	○			
<i>Evernia prunastri</i>	●	●	●					●	●			
<i>Hypogymnia physodes</i>	●	●	●					●	●			
<i>Parmelia glabrata</i> -Gr.	●	●	●					○	●	●		
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	○	●	●	○				●	●			
<i>Parmelia caperata</i>		●	●					●	○			
<i>Parmelia revoluta</i>		●	●					●	○			
<i>Parmelia subrudecta</i>		●	●					●	●	○		
<i>Ramalina pollinaria</i>		●	●					○	●	●		
<i>Pertusaria albescens</i>		●	●	○				●	●	○		
<i>Ramalina farinacea</i>		●	●	●				●	●			
<i>Parmelia exasperatula</i>		●	●	●	○				○	●	○	
<i>Graphis scripta</i>		○	●	○				●				
<i>Candelariella xanthos.</i> -Gr.		○	●	●				○	●	●		
<i>Parmelia sulcata</i>		○	●	●					●	●		
<i>Parmelia tiliacea</i> -Gr.		○	●	●					●	●		
<i>Parmelia acetabulum</i>		○	●	●	●				●	●		
<i>Lecanora carpinea</i> -Gr.			●					●	●	○		
<i>Lecanora argentata</i> -Gr.			●	○				●	●			
<i>Parmelia glabra</i>			●	●					●			
<i>Physcia aipolia</i> -Gr.			●	●					●	●		
<i>Xanthoria fallax</i> -Gr.			●	●						●	●	
<i>Physconia distorta</i>			●	●	●				●	●		
<i>Physcia adscendens</i> -Gr.			●	●	●	●			●	●	●	
<i>Phaeophyscia orbicularis</i> -Gr.			●	●	●	●	○			○	●	○
<i>Physconia grisea</i>				●						●		
<i>Xanthoria parietina</i>				●	●	●			●	●		
<i>Parmelia subargentifera</i>				●	●	●				●	○	

Abb.16:
pH-Schwerpunkt
und Nitrotoleranz
der wichtigsten
Arten im Unter-
suchungsgebiet,
geordnet nach
pH-Schwerpunkt
(vgl. Tabelle 23,
S. 78 im Bericht
puls 1994).
Gefüllter Kreis:
Bevorzugter
Bereich
Leerer Kreis:
tolerierter Be-
reich.

Die Angaben stammen aus Wirth 1980 und sind als Tendenzen zu betrachten.

Die Einteilung umfasst fünf Klassen zunehmender Nitrotoleranz:

- anitrophil (Flechte toleriert nur sehr nährstoffarme Verhältnisse)
- mässig nitrophil
- ziemlich nitrophil
- sehr nitrophil
- extrem nitrophil (Flechte toleriert extrem nährstoffreiche Verhältnisse)

Diese artspezifischen Eigenschaften bezüglich Nitrotoleranz bilden die Grundlage für die Auswertungen zum Nitroindex (siehe Kapitel 8, Seite 42).

8. Acidoindex und Nitroindex

Acidoindex

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, reagieren die Flechten artspezifisch auf den Säuregrad des Substrates. Das Artenspektrum verschiebt sich in Richtung acidophiler Arten bei saurer Unterlage in Folge von sauren Immissionen und in Richtung basiphiler Arten bei basischer Unterlage und basischen Immissionen. Flechtenarten, die sich auf saure Rinden spezialisiert haben, verschwinden aus Gebieten, wo die Baumrinden durch Immissionen basisch werden.

Basische Verhältnisse findet man beispielsweise in landwirtschaftlich geprägten Regionen, wo Ammoniak aus der Landwirtschaft und Stäuben basische Immissionen liefern. Laut mündlicher Informationen aus dem Bundesamt für Landwirtschaft beträgt der Anteil an Ammoniakemissionen aus Autokatalysatoren bereits 10% mit steigender Tendenz. Zunehmend basische Flechtenvegetation ist daher auch in Gebieten mit hohem Verkehrsaufkommen zu erwarten.

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. Das Auftreten der beiden Flechtenartengruppen wird also gegeneinander abgewogen. Der Acidoindex wird jeweils pro Georaum gemittelt. Der erhaltene Wert wird durch den IAP18-Wert des entsprechenden Georaumes dividiert. So erhält man einen bezüglich Gesamtbelastung relativierten Wert. Das heisst, auch an Orten mit niedrigem IAP18-

Wert kann der Acidoindex, wenn es der Situation entspricht, hohe Werte annehmen.

Jeder Kreis auf den Acidokarten (Abb. 17 bis 19, folgende Seiten) entspricht einem Georäummittelpunkt. Rote Kreise stehen für einen positiven Acidoindex, sie geben Hinweise auf das Überwiegen der sauren Immissionen in der Gesamtbelastung. Blaue Kreise bezeichnen basische Immissionen, der Acidoindex ist negativ. Die Kreisgrösse entspricht dem Wert des Acidoindex', je grösser der Wert, desto grösser der Kreis. Das gilt analog auch für die Quadrate der Acido-Differenzkarte.

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. 9.3, Seite 52).

Acidoindex 1993

Schon 1993 ist das untersuchte Gebiet basisch geprägt (Abb. 17, nächste Seite). Nur in wenigen Georäumen überwiegen die säureliebenden Flechtenarten, dies vor allem in den grösseren Siedlungen Zug, Cham und Baar. Am ausgeprägtesten sind die basischen Verhältnisse im Reusstal.

Acidoindex 2003

Zehn Jahre später hat sich die Flechtenvegetation noch stärker in Richtung basische Verhältnisse verschoben (Abb. 18, Seite 39). Alle untersuchten Georäume sind jetzt als basisch ausgewiesen, überall sind mehr basiphile als acidophile Flechtenarten vorhanden.

Nach wie vor sind die grössten Acidoindexwerte im Reusstal zu finden, hier dominieren basiphile Arten am ausgeprägtesten.

Veränderung des Acidoindex 1993 bis 2003

In Abbildung 19 (Seite 41) ist die Differenz des Acidoindex' zwischen 1993 und 2003 dargestellt. Es zeigt sich auch in dieser Darstellung, dass fast das gesamte Gebiet basischer geworden ist. Ausnahmen davon sind zwei Georäume im Reusstal, welche sich in Richtung acidophile Verhältnisse entwickelt haben und einige Georäume in Siedlungsgebieten, in denen sich der Acidoindex nur unbedeutend verändert hat.

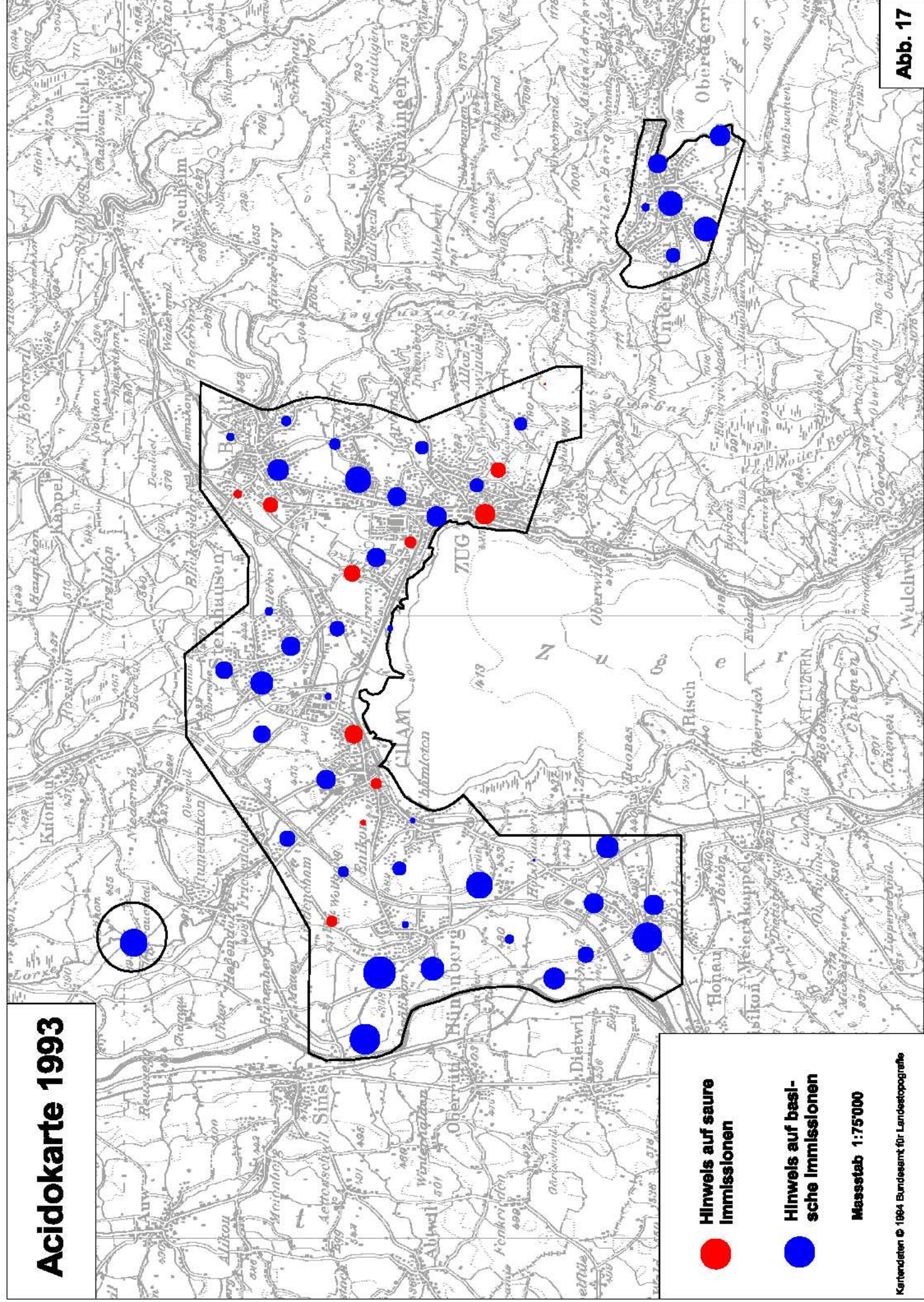
Alle andern Georäume weisen heute deutlich basischere Verhältnisse auf als 1993. Illustriert wird das auch durch den Vergleich der mittleren Acidoindex über alle Georäume:

Mittlerer Acidoindex 1993: -0.13 ± 0.2

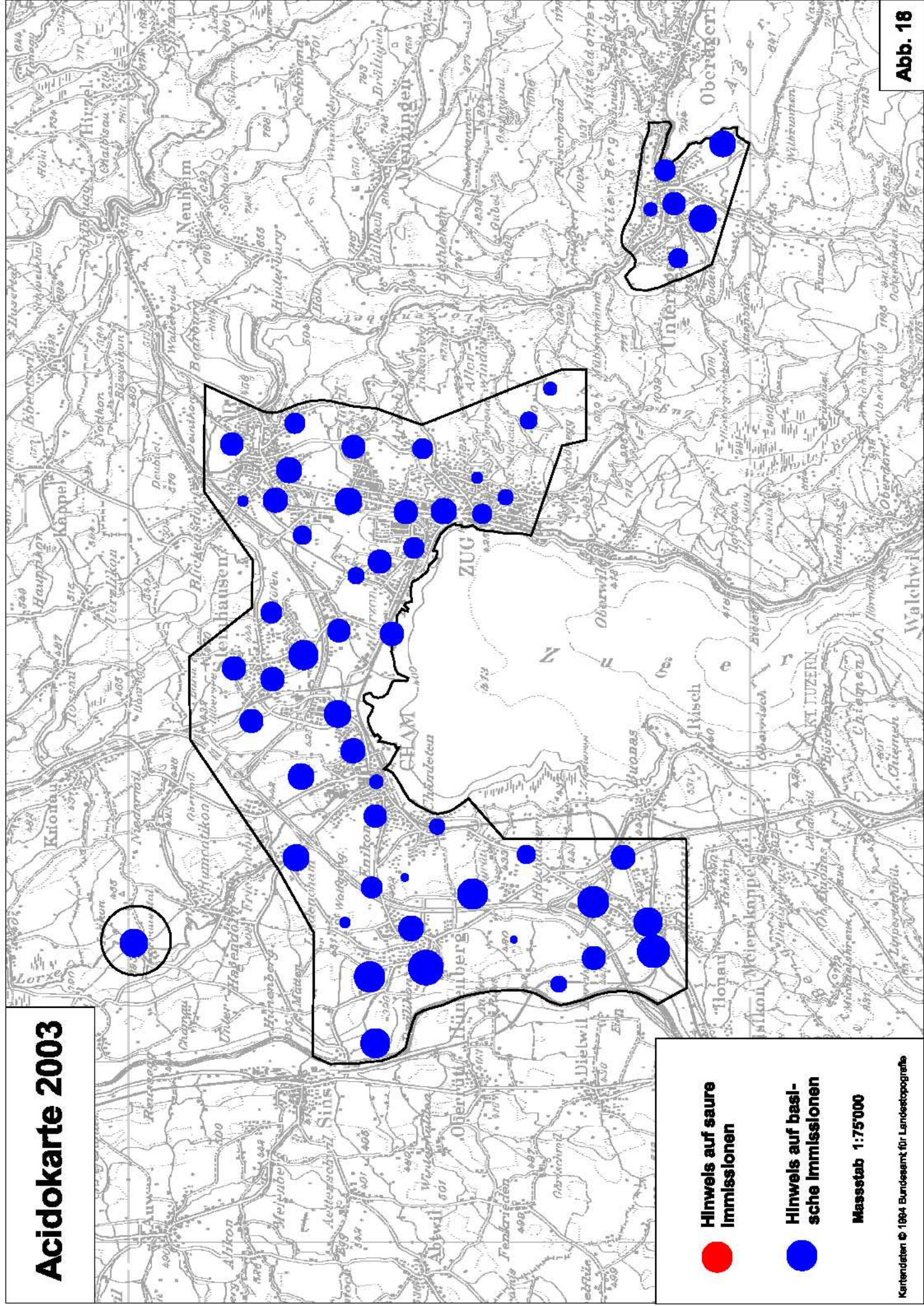
Mittlerer Acidoindex 2003: -0.3 ± 0.1

Der mittlere Acidoindex hat deutlich abgenommen, wobei die Streuung unter den Georäumen in etwa gleich geblieben ist.

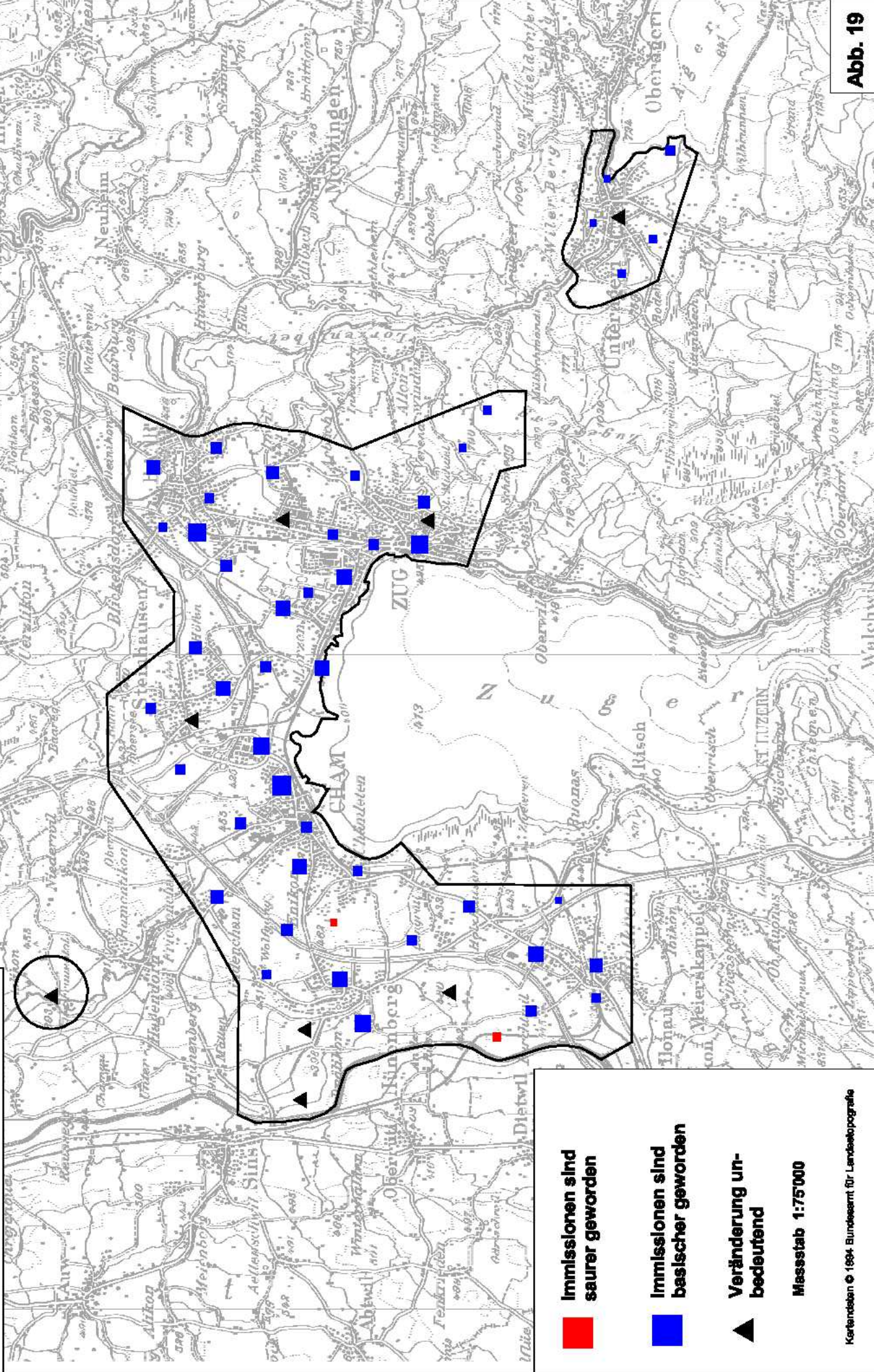
Acidokarte 1993



Acidokarte 2003



Acidokarte Differenz 1993 - 2003



**Immissionen sind
saurer geworden**



**Immissionen sind
basischer geworden**



**Veränderung un-
bedeutend**



Massstab 1:75000

Nitroindex

Flechten zeigen die zunehmende Eutrophierung durch Ammoniak eintrag differenziert an. Das Artenspektrum verschiebt sich in Richtung nitrophiler Arten und geht einher mit einer Artenverarmung.

Eine Eutrophierung führt zuerst zu verstärktem Wachstum, welches längerfristig eine Destabilisierung der Flechten zu Folge hat. Der N-Überschuss in unmittelbarer Nähe von Ammoniakquellen ist basisch und wirkt schleichend. Die Deposition von Ammonium ist weiträumig und am höchsten in niederschlagsreichen Gebieten. Ammoniakemissionen können sowohl zur Versauerung wie zur Eutrophierung beitragen.

Die oxidierten sauren N-Depositionen sind ebenfalls in niederschlagsreichen Regionen sowie in städtischen Regionen am höchsten (FAL 1996).

Die Messgrösse für den Eutrophierungsgrad durch Ammoniak ist der Nitroindex. Er ist speziell im Rahmen dieser Untersuchung entwickelt worden. Basis des Nitroindex' bilden die Artenzusammensetzung und die spezifischen Reaktionsweisen von Flechtenarten auf den N-Überschuss in ihrem Lebensraum (vgl. Abb. 16).

Der Wert des Nitroindex' rechnet sich zum einen auf den Frequenzwerten der sechs nitrophilen Flechtenarten *Xanthoria parietina*, *Xanthoria fallax*-Gr. *Physconia grisea*, *Candelariella xanthostigma*-Gr. (mit *Candelaria concolor*), *Phaeophyscia orbicularis*-Gr. und der Artengruppe *Physcia adscendens*-Gr. Die Summe ihrer relativen Häufigkeiten hat seit 1993 um 60% zugenommen. Zum andern die anitrophilen Arten *Hypogymnia physodes*, *Pseudevernia furfuracea*, *Evernia prunastri*, *Parmelia saxatilis*, *Pertusaria albescens* und die Artengruppen *Lecanora carpinea*-Gr. und *Lecanora argentata*-Gr. Sie sind in den letzten 10 Jahren im Kanton Zug zu 63% verschwunden.

Der Nitroindex ist die Summe der Veränderung beider Flechtengruppen jeweils pro Georaum.

Die Veränderung dieser beiden Flechtengruppen einander gegenübergestellt, ergibt ein differenziertes Bild über die zunehmende Eutrophierung im Kanton Zug. Da zur Berechnung des Nitroindex' Flechtenarten verwendet werden, welche gleichzeitig basische Immissionen anzeigen, gibt der Nitroindex Auskunft über eine basisch geprägte Eutrophierung, d.h. einer Eutrophierung durch Ammoniak. Da 50% des emittierten Ammoniaks innerhalb von 10 km wieder deponiert wird (FAL 1996), kann auf Ammoniakemissionen in der näheren Umgebung des Flechtenstandortes geschlossen werden.

Jeder Kreis auf der Nitrotoleranzkarte (Abb. 20, S.45) entspricht einem Georäummittelpunkt. Grosse rote und dunkelrote Kreise stehen für eine massive

Zunahme der Eutrophierung. Grosse hellrosa und altrosa Kreise bedeuten, dass sich die Auswirkungen der Eutrophierung nicht geändert haben.

Die Zunahme der Eutrophierung geht bei den dunkelroten Kreisen mit einer höheren Luftverschmutzung einher, bei den heller roten Kreisen mit einer Abnahme der Luftbelastung.

Gleichbleibende Eutrophierung bei zunehmender Luftverschmutzung sind hellrosa dargestellte Kreise. Altrosa Kreise bedeuten gleichbleibende Eutrophierung bei abnehmender Luftbelastung.

Kleine Kreise bezeichnen Situationen, deren Veränderungen zwar Tendenzen aufzeigen, doch zu wenig ausgeprägt sind, um interpretiert zu werden.

Veränderung des Eutrophierungsgrades

Die Stickstoffverhältnisse in der Schweiz sind das Resultat aus einem Gemisch verschiedener N-Immissionen. 1995 bestanden die N-Verbindungen etwa zu 40% aus oxydierten N-Depositionen (NO_3^- , NO_2 , HNO_3), welche vorwiegend aus Verbrennungsprozessen stammen und etwa zu 60% aus reduzierten N-Verbindungen (NH_3 , NH_4^+), hauptsächlich aus Quellen der Landwirtschaft (FAL 1996).

In Abbildung 20 ist der Nitroindex dargestellt. Er zeigt die Veränderung der Eutrophierungsverhältnisse in Kombination mit der Veränderung der Immissionssituation zwischen 1993 und 2003.

Im Untersuchungsgebiet konnte keine Situation mit rückläufiger N-Deposition, mit rückläufiger Eutrophierung festgestellt werden, obwohl die Luftbelastung mancherorts zurückgegangen ist.

In Unterägeri hat sich die Eutrophierung nicht verändert, die Luftbelastung ist aber erhöht. Die zusätzliche Belastungen sind deshalb eher auf Schadstoffimporte aus den benachbarten Regionen zurückzuführen (Unterägeri ist ein niederschlagsreiches Gebiet) als auf Emissionszunahmen von Ammoniak in der nahen Umgebung.

Analog dazu zeigt sich die Situation am Zugerberg. Es sind keine zusätzlichen unmittelbaren Ammoniakquellen vorhanden, jedoch eine durch weiträumigen Import geprägte Luftbelastung. Die Moorlandschaft auf dem Zugerberg zeugt von reichen Niederschlägen.

Anders die Situation um Baar und in der Ebene des Lorzestuflusses in den Zugersee. Hier hat sowohl die basisch geprägte Eutrophierung wie die Luftbelastung zugenommen. Dies deutet auf eine zunehmende Ammoniakbelastung aus nahe gelegenen Quellen hin. Direkte Toxizitäten sind entweder bei hohen Konzentrationen in nächster Umgebung zu erwarten (vgl. FAL 1996) oder

durch längerfristigen Stress der Flechten aufgrund längerer Exposition hoher Konzentrationen.

Das nördliche Gebiet von Cham und das Zentrum von Zug sind zwar entlastet von Immissionen, doch auch hier ist eine Zunahme des Eutrophierungsgrades festzustellen. Diese Eutrophierungszunahme kann durch den Rückgang der sauren Immissionen oder durch eine Emissionszunahme aus nahe gelegenen Ammoniakquellen verursacht sein.

Rotkreuz ist ebenfalls einer weniger starken Luftbelastung ausgesetzt. Die Luftqualität ist gestiegen. Die Eutrophierung hat ebenfalls zugenommen. Wie weit hier der Verkehr und die Katalysatoren eine Rolle spielen, wäre abzuklären.

Spannend ist die Situation an der Westexposition des Hünenberges. Die Luftqualität hat sich stark verbessert. Der Eutrophierungsgrad ist gleich geblieben. Hier lassen sich interessante Erwägungen anstellen:

Die Situation muss das Ergebnis und eine grosse Entlastung durch weiträumige Verfrachtung von Luftschadstoffen sein, was Immissionen mit oxydierten N-Verbindungen betrifft. Die unmittelbaren Ammoniakquellen haben sich nicht verstärkt. Die massive Belastung von 1993 muss durch fernere Quellen zustande gekommen sein, welche in der Zwischenzeit saniert wurden.

Differenz 1993 - 2003 Nitrotoleranz/Nährstoffversorgung

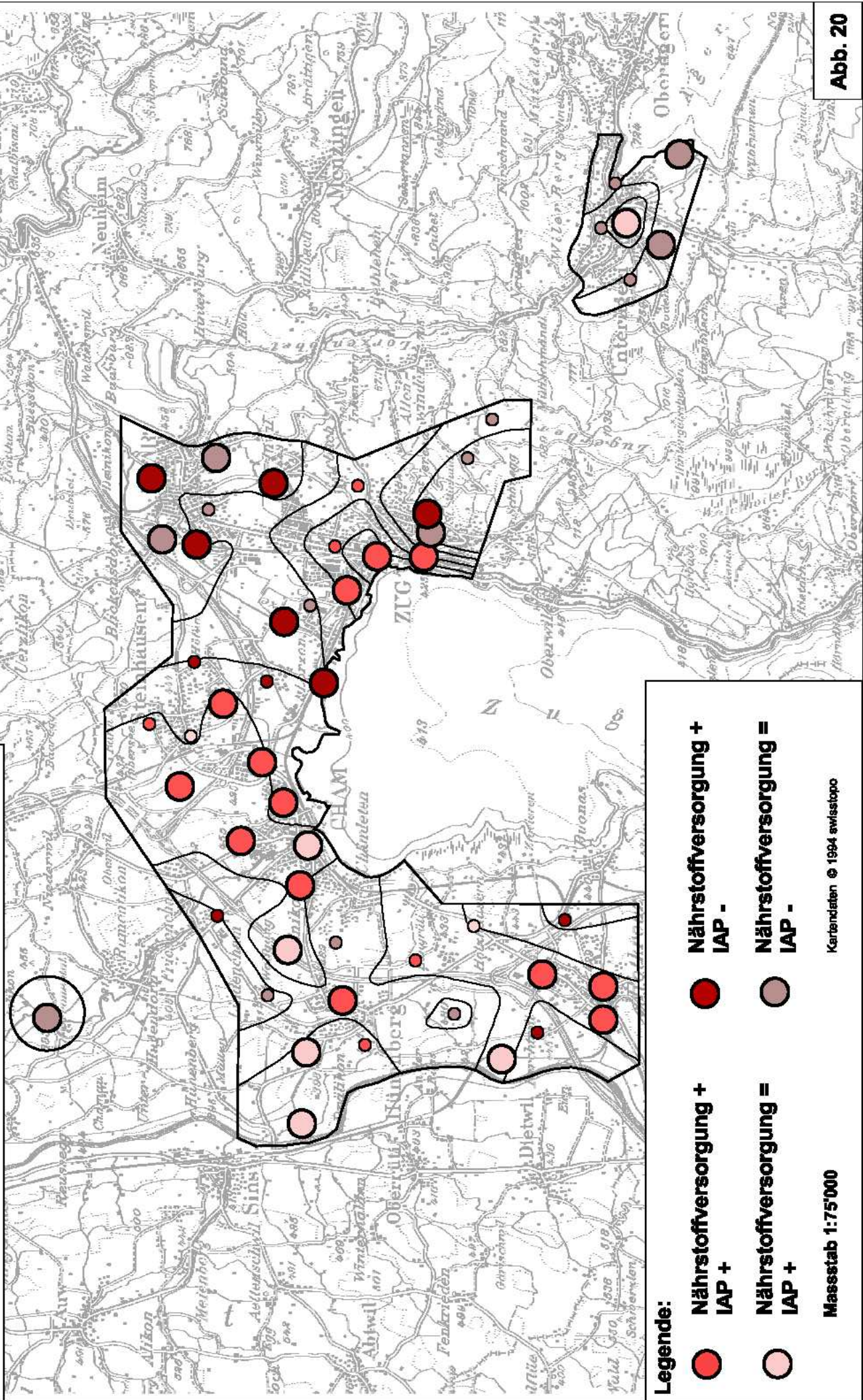


Abb. 20

9. Analyse der Veränderungen

Die Resultate der Flechtenkartierung 2003 zeigen deutliche Unterschiede gegenüber denjenigen von 1993 (vgl. vorangehende Kapitel). Die auffälligsten Veränderungen gegenüber 1993 sind:

- Die Zone der kritischen Gesamtbelastung ist 2003 nicht mehr vorhanden.
- Die Zonen der starken und mittleren Gesamtbelastung haben sich auf Kosten der Zonen der geringen und sehr geringen Gesamtbelastung deutlich ausgedehnt.
- Auf starke Verschlechterungen der Luftqualität weisen die Flechten in Baar, am Zugerberg und in Unterägeri hin; das sind alles Gebiete, welche 1993 grösstenteils gering belastet waren.
- Die Auswertungen zu Acido- und Nitroindex zeigen, dass heute eine wesentlich basiphilere und nitrophilere Flechtenvegetation anzutreffen ist als vor 10 Jahren.

Welches sind die Gründe für diese Veränderungen? Die Flechtenindikation geht davon aus, dass diese Veränderungen durch Änderungen in der Luftqualität bedingt sind – die Flechtenmethode wurde mit dem Ziel der Luftqualitätsanzeige entwickelt und mit technischen Immissionsmessungen geeicht. Seit Jahren wird sie erfolgreich zum Nachweis von Luftbelastungen eingesetzt.

Theoretisch können solche Veränderungen auch andere Ursachen haben. Neben der Luftqualität lassen sich drei weitere mögliche Gruppen von Einflussgrössen unterscheiden:

- Methodische Ursachen: Faktoren methodischer und erhebungstechnischer Art wie BearbeiterInneneinfluss, Baumqualität etc.
- Natürliche Prozesse: Dynamische Veränderungsprozesse in der Natur, welche zu Veränderungen der Flechtenvegetation führen wie Artendominanzen, Artenverschiebungen etc.
- Standortfaktoren: Physikalisch-chemische Veränderungen am Standort, wie pH-Verschiebungen im Niederschlag, klimatische Faktoren wie Nebelhäufigkeit etc.

Der Zusammenhang zwischen Luftqualität, Flechtenindikation, technischen Luftdaten und diesen weiteren Einflussgrössen ist in Abbildung 21 schematisch dargestellt. Dieses Modell dient als Grundlage der folgenden Analyse der Veränderungen in der Flechtenvegetation. Für die einzelnen diskutierten Aspekte sind die jeweiligen Kapitel angegeben.

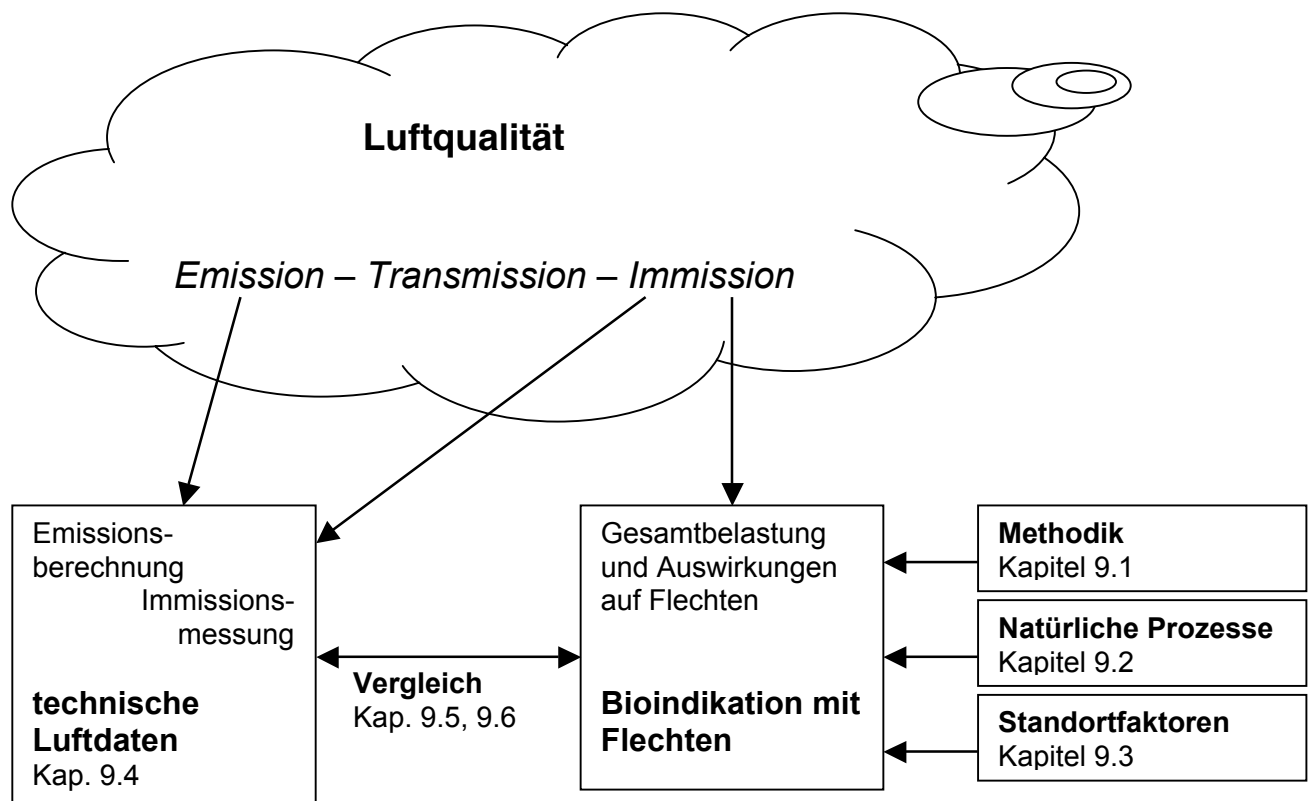


Abb.21:
Zusammenhang
zwischen Luftqualität,
technischen Luftda-
ten und weiteren
Einflussgrössen auf
die Flechten.

In einem ersten Schritt werden die drei Einflussgrössen methodische Ursachen, natürliche Prozesse und Standortfaktoren analysiert (Kap. 9.1 bis 9.3). Ziel ist es, für jede Faktorengruppe den Beitrag ihres Einflusses auf die festgestellte Veränderung der Flechtenvegetation abzuschätzen. Danach wird der Zusammenhang zu den technischen Daten zur Luftqualität aufgezeigt sowie Übereinstimmungen und Abweichungen festgehalten (Kap. 9.4 bis 9.6). Abschliessend wird die Zuger Untersuchung mit anderen Flech-
tenerhebungen im Schweizer Mittelland verglichen und mögliche Gründe für den Flechtenrückgang in unbelasteten Gebieten aufgelistet (Kap. 9.7 und 9.8).

9.1 Methodische Ursachen

Die Flechtenindikationsmethode ist ein hochstandardisiertes Verfahren. Die Methodenentwicklung im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramm NFP14 hatte zum Ziel, die Methode soweit zu optimieren, dass die gefundenen Unterschiede in den IAP-Werten einzig durch die Unterschiede in der Luftbelastungen erklärt werden können. Trotz dieser Optimierung sind folgende Arbeitsschritte als kritisch bezüglich Fehleranfälligkeit zu bezeichnen:

- Qualität der Trägerbäume
- Flechtenartenkenntnisse der BearbeiterInnen
- Datenauswertungen: Koordinatenbestimmung, Kartenkonstruktion, Digitalisierung etc.

Qualität der Trägerbäume

Die Erhebung der Flechtendaten erfolgt an freistehenden Trägerbäume, welche verschiedene Mindestanforderungen erfüllen müssen (Baumart, Alter, gerader Stamm etc.; vgl. Kap. 4, Seite 8). Auch unter den Bäumen, welche diese Mindestanforderungen erfüllen, gibt es noch Qualitätsunterschiede. So gilt beispielsweise ein durch ein Gebäude beschatteter Baum als weniger ideal als ein nicht beschatteter Baum.

Diese Baumqualität wird für jeden erfassten Baum in einer sechsstufigen Skala festgehalten. Allgemein gilt, dass in ländlichen Gebieten die durchschnittliche Baumqualität tiefer liegt als in Siedlungsgebieten. Dies trifft teilweise auch für die Untersuchung im Kanton Zug zu, und zwar sowohl 1993 wie auch 2003: Das Baumqualitätsmuster unterscheidet sich zwischen 1993 und 2003 kaum, die Baumqualität liegt 2003 durchschnittlich etwas höher als 1993. Zudem besteht keine Korrelation zwischen Baumqualität und IAP18-Wert.

Auch bei den Trägerbaumarten gab es nur geringfügige Verschiebungen. In beiden Untersuchungen sind über 90% der Bäume Sommer- und Winterlinden, Eschen, Eichen und Spitzahorne; in die restlichen Prozente teilen sich weitere Linden- und Ahornarten wie Berg- und Feldahorn.

Fazit: Die Veränderungen der Trägerbaumqualität hat mit grosser Wahrscheinlichkeit keinen Einfluss auf die Veränderung der Flechtenvegetation.

Flechtenartenkenntnisse der BearbeiterInnen

Die Ansprache der Flechtenarten ist anspruchsvoll; zudem unterliegt die Systematik der Flechten einem ständigen Wandel. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass Flechten von verschiedenen Personen unterschiedlich ange-

sprochen werden. Das Zusammenfassen schwierig anzusprechender Flechtenarten zu Artengruppen mit einfachen Erkennungsmerkmalen soll dem entgegen wirken.

Die beiden Erhebungen wurden von qualifizierten FlechtenkundlerInnen durchgeführt, die jeweils schon an mehreren Erhebungen beteiligt waren. Das Nachbestimmen von gesammelten Proben im Labor und Stichprobenkontrollen an einzelnen Bäumen dienten der Qualitätssicherung. Unabhängige Vergleichsuntersuchungen im Rahmen der Methodenentwicklung ergaben Abweichungen durch die Datenerhebung verschiedener BearbeiterInnen von wenigen IAP18-Punkten. Zum Vergleich: Die Zonenbreite der Luftgütekarte beträgt rund 13 IAP18-Punkte.

Systematische Fehler in der Artenansprache würden sich räumlich entsprechend der Aufteilung auf die KartiererInnen auswirken. Es wurden keine solche Muster gefunden.

Fazit: Der BearbeiterInneneinfluss verursacht potenzielle Abweichungen von wenigen IAP18-Punkten. Wir gehen davon aus, dass der BearbeiterInneneinfluss nur einen unwesentlichen Einfluss auf die Flechtenergebnisse hat.

Datenauswertungen

Zur Herstellung der Luftgütekarten durchlaufen die im Feld erhobenen Daten verschiedene Arbeitsschritte: Koordinatenbestimmung, Berechnung der Georäumwerte, Konstruktion der Isolinien, Digitalisierung und GIS-Verarbeitung. Die Resultate dieser Schritte werden einzeln auf ihre Plausibilität geprüft. Die Auswertung zweier ähnlicher Datenkollektive (1993 und 2003) erhöht die Chance, dass allfällige Fehler entdeckt werden.

Auch systematische Methodenfehler wären denkbar; diese hätten jedoch bereits bei früheren, andernorts durchgeführten Untersuchungen entdeckt werden müssen.

Fazit: Die Datenauswertungen haben mit grösster Wahrscheinlichkeit keinen Einfluss auf die festgestellte Veränderung der Flechtenvegetation.

9.2 Natürliche Prozesse

Es besteht die Möglichkeit, dass die beobachteten Veränderungen in der Flechtenvegetation durch natürlich-dynamische Prozesse verursacht werden. In diesem Fall sollten sich bei Schlüsselgrössen des Flechtenbewuchses Veränderungsmuster erkennen lassen. Für folgende Schlüsselgrössen liegen Auswertungen vor:

- Artenzahl und Artenvielfalt
- Häufigkeit der einzelnen Flechtenarten und –artengruppen
- Mittlere Frequenz und Verbreitungskarten
- Toxitoleranz

Artenzahl und Artenvielfalt

Der IAP18 setzt sich aus zwei Faktoren zusammen: Der Anzahl Arten und der Frequenzen der einzelnen Arten. Bei gleichem IAP18-Wert können diese beiden Faktoren unterschiedlich ausgeprägt sein: Eine hohe Anzahl von Arten mit tiefen Frequenzen führt zum gleichen IAP18-Wert wie eine tiefe Anzahl Arten mit hohen Frequenzen. Veränderungen von Artenzahl und Artenvielfalt sind bei gleichen IAP18-Werten durchaus denkbar.

Die entsprechenden Auswertungen zeigen, dass sich Artenzahl und Artenvielfalt in den beiden Untersuchungen kaum unterscheiden (siehe Kapitel 5, Seite 19). Diese Auswertungen liefern keinen Hinweis auf eine natürliche Veränderung der Flechtenvegetation.

Häufigkeit und mittlere Frequenz

Die absoluten und relativen Häufigkeiten der einzelnen Flechtenarten sind in Kapitel 7, Seite 26 aufgeführt. Einzelne Arten weisen von 1993 bis 2003 Zu- respektive Abnahmen von teilweise über 20% auf. Zugenommen haben vor allem basen- und nährstoffliebende Arten, während die säure- und nährstoffmeidenden Arten meist abgenommen haben. Dieser Trend wird auch durch die Auswertungen zum Acido- und zum Nitroindex veranschaulicht (Kap. 8, Seite 34). Die Veränderungen bezüglich Acidität sind erklärbar durch die Zunahme des pH-Wertes im Niederschlag. Die festgestellten Veränderungen des Nitroindex' (als Mass des Nährstoffangebotes) werden als Änderung der Nährstoffzusammensetzung in den Immissionen interpretiert (Kap. 8). Ansonsten lassen die Häufigkeiten keine weiteren Muster erkennen.

Die mittleren Frequenzen (Kap. 7, Seite 28) zeigen für einzelne Arten Unterschiede zwischen den beiden Erhebungen. Diese sind aber direkt gekoppelt mit den Häufigkeitszu- respektive –abnahmen wie sie eben diskutiert wurden. Auch sie lassen keine weiteren Veränderungsmuster erkennen.

Toxitoleranz

Bezüglich der Toxitoleranz der einzelnen Arten wurden keine wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungen festgestellt. Auch diese Auswertungen liefern keinen Hinweis auf eine natürliche Veränderung der Flechtenvegetation.

Fazit: Die Artenauswertungen zeigen als einzige wesentliche Veränderung die Verschiebung des Artenspektrums in Richtung basiphilere und nitrophilere Arten. Diese Verschiebung lässt sich durch die Zunahme des pH-Wertes im Niederschlag erklären.

Es ist deshalb kaum wahrscheinlich, dass natürlich-dynamische Prozesse in der Flechtenvegetation die Unterschiede zwischen den beiden Erhebungen 1993 und 2003 verursachen.

9.3 Standortfaktoren

Flechten sind erst ab einem gewissen Feuchtigkeitsgehalt stoffwechselaktiv. In diesem Zustand nehmen sie Nähr- und Schadstoffe direkt aus der Atmosphäre auf (gasförmig, aus dem Regen, Tau und Nebel) und auch aus dem über ihr Substrat fließendes Abflusswasser. Als wichtige Standortfaktoren sind deshalb zu nennen:

- pH-Wert des Substrates und des Niederschlags
- Klimafaktoren, insbesondere Feuchtigkeit, Regen, Nebel, Inversionen

pH-Werte

Der Standortfaktor pH ist abhängig vom pH der Rinde, auf der die Flechte wächst, vom pH des Stammabflusswassers, welches über die Flechte läuft und vom pH der an die Flechten herangetragenen Partikel und Feuchtigkeit.

pH der Rinde: Die Rinde jeder Baumart hat einen artspezifischen pH-Wert. Die in den Flechtenuntersuchung berücksichtigten Baumarten Linden, Eichen, Eichen und Ahorne haben ähnliche, aber nicht identische Borken-pHs.

pH des Stammabflusswassers: Die Baumkrone wirkt als grosses Segel, welches die Luftschadstoffe als trockene und nasse Depositionen einfängt und diese als Stammabflusswasser den Flechten zugeführt. Der pH des Stammabflusswassers korreliert deshalb direkt mit dem:

pH der Feuchtigkeit: Dieser pH-Wert zeigt in den letzten 10 Jahren ein deutlich steigende Tendenz (Messungen des Regenwasser-pHs im NABEL-Messnetz), das heisst 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 des Nitrat- (NO_3^- , gebildet aus NO_x) und Chloridgehaltes (BUWAL 2003). Dieser Rückgang des Säureeintrages manifestiert sich deutlich in der Flechtenvegetation, wie die Auswertungen zum Acidoindex zeigen (Kap. 8, Seite 33): Die basiphilen Flechten haben fast im ganzen Untersuchungsgebiet gegenüber den acidophilen Flechten an Bedeutung gewonnen.

Denkbar wäre, dass sich diese Verschiebung des Artenspektrums auch auf den IAP18-Wert auswirkt. Es besteht aber kein offensichtlicher Zusammenhang zwischen der Veränderung des Acidoindex und des IAP18-Wertes, die beiden Werte sind nicht korreliert. Auch ist zu erwarten, dass sich ein solcher Einfluss in den Parametern Artenzahl und Artenvielfalt bemerkbar machen würde.

Fazit: Die Zusammensetzung der Flechtenvegetation hat sich parallel zum Anstieg des pH-Wertes in der atmosphärischen Deposition verändert. Diese Veränderung hat aber mit grosser Wahrscheinlichkeit keinen Einfluss auf die Höhe des Flechten-Luftgütwert IAP18.

Klimafaktoren

Veränderte Feuchtigkeitsverhältnisse können sich sowohl positiv wie auch negativ auf das Flechtenwachstum auswirken: A priori sind Flechten auf Feuchtigkeit angewiesen, da ansonsten ihr Stoffwechsel eingestellt ist (Trockenstarre); je höher die Feuchtigkeit, desto grösser das Flechtenwachstum. Dies aber nur bei guter Luftqualität: Werden mit der Luftfeuchte viele flechtenschädigende Stoffe an die Flechten herangetragen, so wirkt sich diese schadstoffhaltige Feuchtigkeit negativ auf das Flechtenwachstum aus.

Im Untersuchungsgebiet werden meteorologische Daten an den Stationen Cham und Zugerberg gemessen. An beiden Stationen haben sich die Jahresdurchschnittswerte der relativen Feuchtigkeit und der Niederschlagsmenge in den letzten zehn Jahren nur unwesentlich verändert. Die tiefsten Niederschlagswerte wurden an beiden Stationen 2003 gemessen (rund 20% weniger Niederschlag als der Durchschnitt der vorgegangenen Jahre).

Es stellt sich die Frage, ob der sehr heisse Sommer von 2003 allenfalls Auswirkungen auf die Flechtenvegetation gehabt haben könnte. Bei grosser Trockenheit können Flechten ihr Wachstum einstellen, sie verfallen in eine Trockenstarre. Dies ermöglicht es ihnen, auch auf Substraten (wie beispielsweise Felsen) zu überleben, die Spitzentemperaturen bis 80 °C erreichen. Flechten sind also sehr hitzeresistent, eine direkte Schädigung durch die hohen Temperaturen ist auszuschliessen. Denkbar ist allenfalls eine leicht verkürzte Wachstumszeit. Da die Flechten üblicherweise nur ein paar Millimeter pro

Jahr wachsen und die Flechtenvegetation ein Abbild der Lebensbedingungen der letzten paar Jahre ist (vgl. Kap. 4, Seite 7), ist der Einfluss eines einzelnen heissen Sommers als minim zu bezeichnen.

Als weitere meteorologischen Einflussgrössen gilt es den Nebel und die austauscharmen Wetterlagen (Inversionen) zu erwähnen. Diese Wetterlagen sind sehr stabil, emittierte Schadstoffe werden angereichert, entsprechend hoch sind die Schadstoffimmissionen während Inversionslagen. Messungen haben ergeben, dass der Nebel, welcher oft mit Inversionslagen gekoppelt auftritt, hohe Schadstoffkonzentrationen beinhaltet.

Nebelmessungen werden im Untersuchungsgebiet keine vorgenommen. Es existiert aber eine modellierte Kaltluftgebietskarte, welche Rückschlüsse auf die Nebelhäufigkeit des Untersuchungsgebietes zulässt (GIUB 1989).

Diese Kaltluftgebietskarte diene zur Interpretation der Luftgütekarte 1993: Sie weist für den westlichen Teil des Untersuchungsgebietes, welcher als stärker belastet ausgewiesen wurde, eine höhere Inversions-Wahrscheinlichkeit aus. Der östliche Teil um Baar und Zug, welcher etwas höher gelegen ist und 1993 weniger stark belastet war, gilt als weniger nebelgefährdet.

In den letzten zehn Jahren hat sich die Luftqualität im höher gelegenen östlichen Teil des Untersuchungsgebietes deutlich verschlechtert: Könnte allenfalls eine steigende Nebelobergrenze zu dieser Veränderung beigetragen haben? Da keine Nebelmessungen vorliegen, ist man auf (subjektive) Beobachtungen angewiesen. Laut mündlicher Mitteilung von Ralph Rickli, Meteotest Bern, wird im ganzen Schweizer Mittelland eine steigende Nebelobergrenze beobachtet. Leider liegen keine Messungen dazu vor. Parallel mit der steigenden Nebelgrenze wird beobachtet, dass die Bodennebellagen eher instabiler, weniger hartnäckig sind als früher. Dies würde in Gebieten mit ehemals starken Inversionslagen wie der westliche Teil des Untersuchungsgebietes tendenziell zu einer Abnahme der Luftbelastung führen. Dies würde mit den Verbesserungen im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes, wie sie die Differenzkarte (Kap. 7) ausweist, übereinstimmen.

Fazit: Es ist denkbar, dass ein Ansteigen der Nebelgrenze im östlichen, höher gelegenen Teil des Untersuchungsgebietes einen Beitrag zur dort festgestellten Abnahme der Flechtenvegetation geleistet hat. Auch denkbar ist, dass die eher instabileren Inversionslagen zur Verbesserung der durch die Flechten angezeigten Luftqualität im westlichen Teil mithilft. Beides sind aber Vermutungen, welche bisher nicht durch Messungen belegt werden konnten.

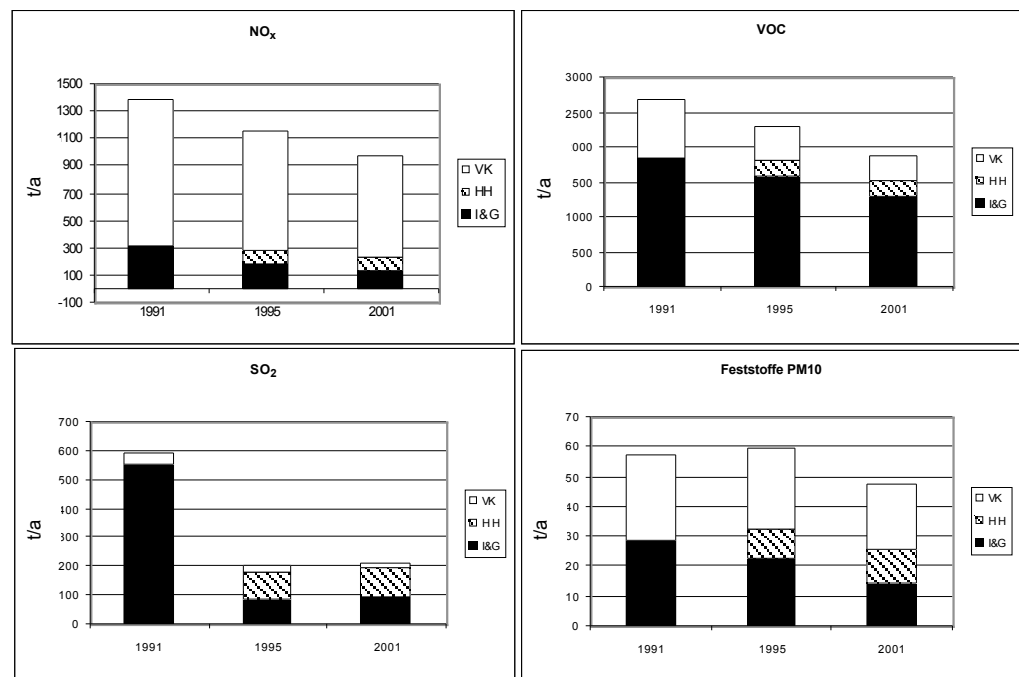
9.4 Luftqualität

Im Folgenden geht es darum, den räumlich-zeitlichen Zusammenhang zwischen den Flechtenuntersuchungen und andern Daten zur Luftqualität, insbesondere Emissionsberechnungen und technische Immissionsmessungen zu analysieren.

Emissionen

In Abbildung 22 sind die berechneten Emissionsdaten der Schadstoffe Stickstoffoxide (NO_x), Schwefeldioxid (SO_2), Feststoffe und flüchtige organische Verbindungen (VOC) für die Jahre 1991, 1995 und 2001 aufgetragen. Zur Vereinfachung sind die Daten für den ganzen Kanton Zug angegeben. Da das Flechten-Untersuchungsgebiet die Gebiete mit den grössten Emissionsquellen umfasst, kann davon ausgegangen werden, dass die Emissionsentwicklung im Untersuchungsgebiet vergleichbar ist mit derjenigen im Gesamtkanton.

Abb. 22:
Emissionsdaten für
den Kanton Zug.
VK: Verkehr,
HH: Haushaltungen,
I&G: Industrie und
Gewerbe.



Nicht berücksichtigt sind die Offroad-Emissionen. Diese Zahlen sind zwar für 2000 bekannt, Angaben fehlen aber für die vorangegangenen Jahre. Für 1991 fehlen zudem die Emissionen der Quellengruppe Haushalt.

Für Ammoniak liegen keine Berechnungen der Gesamtemissionen vor. Die Emissionskarten Schweiz des BUWAL (www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_luft/luftbelastung/karten) weisen fast im ganzen Untersu-

chungsgebiet überdurchschnittliche Emissionsraten von Ammoniak auf. Rund 90% des Ammoniaks stammten 1990 aus der Landwirtschaft. Sie entstehen überall dort, wo tierische Exkremente oder stickstoffhaltige Dünger mit der Luft in Kontakt kommen. 79% der schweizerischen landwirtschaftlichen Emissionen stammen aus der Tierhaltung, wovon 70% auf die Rindviehhaltung zurück zu führen sind. Die Emissionen aus der Tierhaltung hatten 1990 ihren Ursprung zu knapp 30% im Stallbereich, zu 10% bei der Hofdüngerlagerung, zu 60% in der Hofdüngeranwendung und nur 2% beim Weidebetrieb. Etwa 10% der landwirtschaftlichen Emissionen ergaben sich durch den Einsatz von Mineraldünger, wobei der Harnstoff die grösste Quelle darstellte. Mit dem Rückgang des Mineraldüngereinsatzes nahmen diese Emissionen von 1990 – 1995 stark ab. Rund 10% der Ammoniakemissionen stammten 1990 aus nichtlandwirtschaftlichen anthropogenen Quellen. Wegen der Abnahme der landwirtschaftlichen Emissionen und der Zunahme beim Verkehr nahm dieser Anteil bis 1995 deutlich zu. Dies ist auf die Zunahme der mit Katalysator ausgerüsteten Fahrzeuge zurückzuführen (FAL. et al. 1996). Aktuell wird vermutet, dass der Anteil des Verkehrs an den Ammoniakemissionen auf 10% angestiegen ist.

Die Entwicklung und Verteilung der Ammoniakemissionen seit 1995 ist unklar.

Immissionen

Der Kanton Zug erfasst die Luftbelastung seit 1988 anhand von verschiedenen Immissionsmessungen. Messstandorte, Messumfang, Messmethodik und gemessene Parameter haben sich aufgrund geänderter Rahmenbedingungen (z.B. neuer Parameter PM10 mit LRV-Grenzwert, interkantonales Luftmessnetz in-luft) seither teilweise verändert.

Kontinuierliche Messungen mehrerer Schadstoffe wurden von 1988 bis 1998 in Inwil, Gemeinde Baar, vorgenommen (Abb. 23, linke Hälfte). Diese Messstation wurde durch die Messstation Zug Postplatz ersetzt. Hier liegen Daten von 2000 bis 2003 vor (Abb. 23., rechte Hälfte). Für Ozon liegen zusätzlich Daten der Messstation Zugerberg für die Jahre 1998 bis 2003 vor. Diese Station wird vom Institut für angewandte Pflanzenbiologie in Schönenbuch betreut.

An 20 Standorten wird seit 1992 die NO_2 -Belastung mit Passivsammlern gemessen (siehe Unterkap. Stickstoffoxide NO_x , Seite 58).

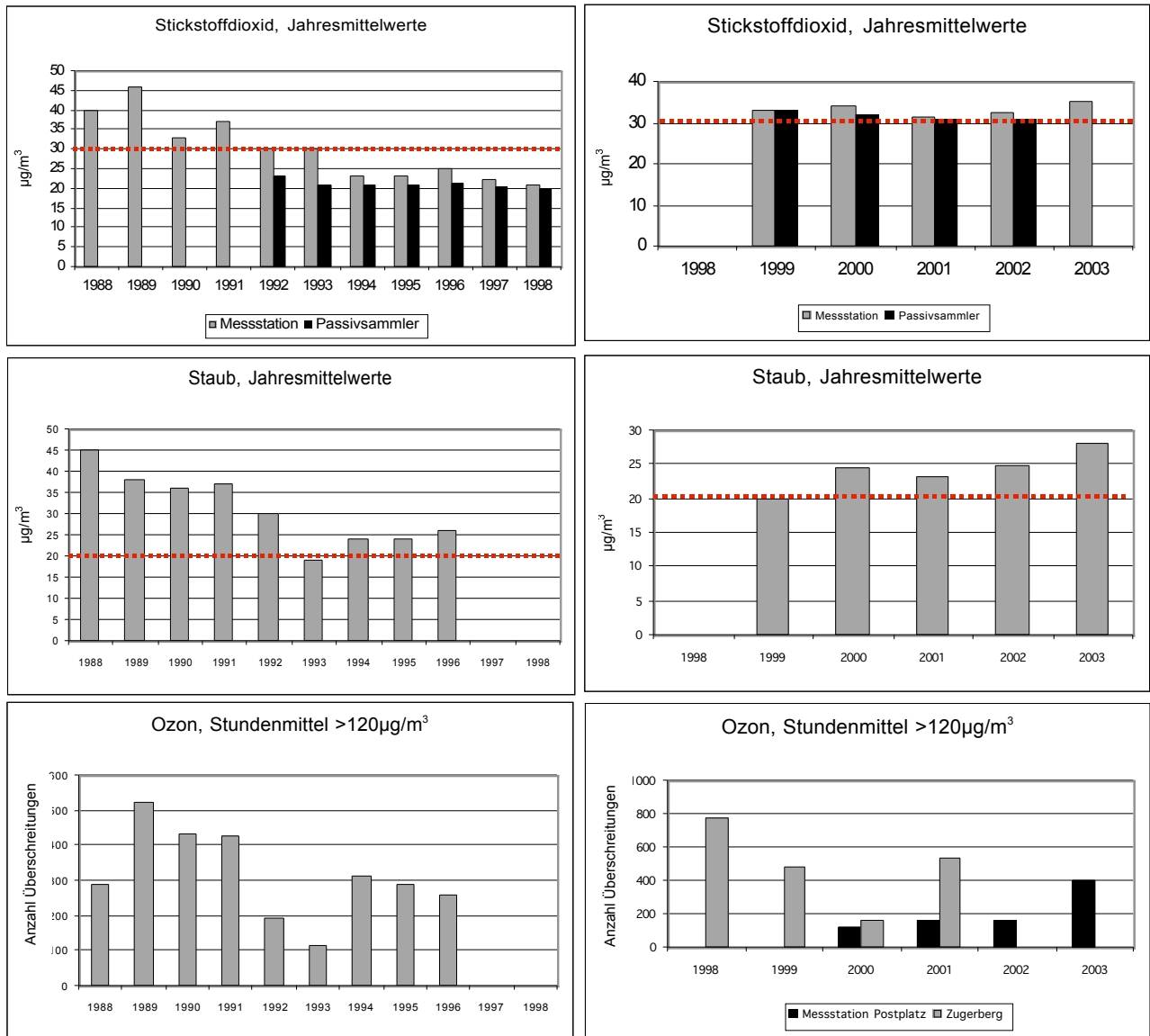


Abb. 23:
Immissionsdaten an den beiden Stationen Inwil (links) und Zug Postplatz (rechts).

Stickstoffoxide NO_x

Stickstoffoxide NO_x entstehen bei Verbrennungsprozessen. Hauptemittent ist im Kanton Zug der Verkehr mit rund 75%. Die Emissionen von Stickstoffdioxid haben im Zeitraum von 1991 bis 2001 um rund einen Drittel abgenommen (Abb. 22).

Auch die Immissionen von NO₂ sind seit 1988 rückläufig. Die grössten Abnahmen sind in der Zeit von 1988 bis 1994 festzustellen (Station Inwil, Abb. 23). Diese Zeitperiode überschneidet sich nur teilweise mit derjenigen der Flechtenuntersuchung. Aber auch in darauffolgenden Jahren nahm die NO₂-Belastung tendenziell ab.

Dies zeigen auch die umfangreichen NO₂-Passivsammlermessungen im Kanton: In Abbildung 24 sind die Daten der 12 Stationen enthalten, welche im Flechtenuntersuchungsgebiet liegen. Die Abnahme betrug von 1992 bis 2002 durchschnittlich rund 10%, und verlief an allen Stationen ähnlich. Der LRV-Grenzwert von 30 µg/m³ wird auch 2002 noch nicht an allen Stationen eingehalten.

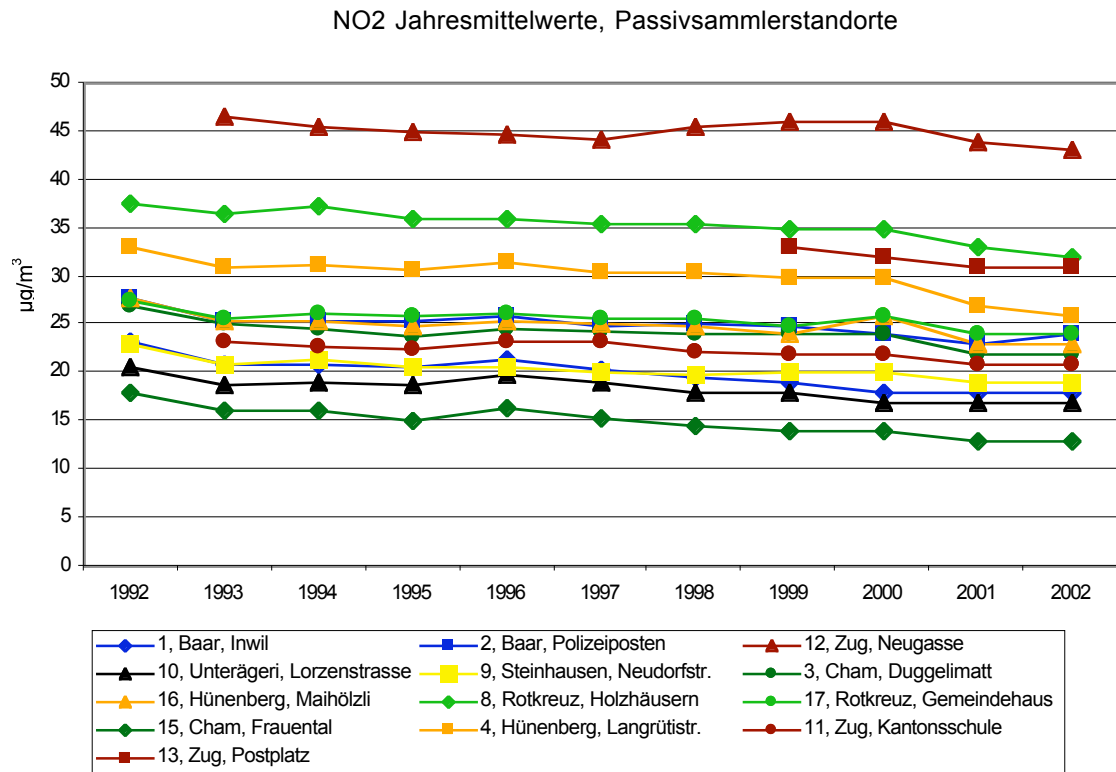


Abb. 24:
NO₂-Immissionsdaten gemessen an 12 Standorten mit Passivsammlern.

Flüchtige Kohlenwasserstoffe VOC

Die Emissionen von flüchtigen Kohlenwasserstoffe VOC haben sich ähnlich entwickelt wie diejenigen von NO_x : Auch sie haben von 1991 bis 2001 um über 30% abgenommen. VOC stammen im Kanton Zug heute zu rund 70% aus Industrie und Gewerbe, 20% aus dem Verkehr und 10% aus den Haushaltungen.

Schwefeldioxid SO_2

Die Emissionen von Schwefeldioxid SO_2 haben zwischen 1991 und 1995 um zwei Drittel abgenommen, danach sind sie konstant geblieben. Diese Abnahme ist zum grössten Teil auf die Sanierungen der Papierfabrik Cham zurückzuführen: Stammten 1991 noch rund 80% des SO_2 aus der Quellengruppe Industrie und Gewerbe, so sind heute Industrie und Gewerbe sowie Haushalt zu je fast 50% für die SO_2 -Emissionen verantwortlich (Abb. 22). Für SO_2 liegen keine Immissionsmessungen vor.

Feststoffe, Staub

Die Feststoffemissionen stammen zu rund der Hälfte aus dem Verkehr, weitere 30% von der Quellengruppe Industrie und Gewerbe. Auch diese Emissionen haben in den letzten Jahren abgenommen, von 1991 bis 2001 um rund 20% (Abb. 22).

Die Staubimmissionen haben zwischen 1988 und 1993 deutlich abgenommen, dann bis 1996 sind sie unverändert geblieben (Messungen als Schwebestaub an der Station Inwil, Abb. 23). Die PM_{10} -Messungen in Zug zeigen seit 1999 einen tendenziellen Anstieg der Feinstaubbelastung, der Grenzwert der Luftreinhalteverordnung ist an dieser Station überschritten (Abb. 23).

Ozon

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).

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 wird an der ländlichen Station Zugerberg deutlich häufiger überschritten als in der Stadt Zug.

Die Ozonmessungen in Inwil 1988 bis 1998 zeigen tendenziell eine leichte Abnahme der Ozonspitzenbelastungen. Die Abnahme war aber weniger stark als die Belastungsabnahmen 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).

Ammoniak NH_3 , Ammonium NH_4

Für Ammoniak und Ammonium liegen keine Immissionsmessungen vor. Immissionsberechnungen des BUWAL zeigen für das Untersuchungsgebiet recht hohe Belastungen (3 bis 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Interessant aus ökologischer Sicht sind auch die BUWAL-Berechnungen der Stickstoffeinträge. Diese setzen sich aus rund 40% Stickoxid-N und rund 60% Ammoniak-N zusammen.

Die meisten natürlichen Ökosysteme sind empfindlich gegenüber Stickstoffeinträgen (Wälder, Moore, Magerwiesen etc). Der aus ökologischer Sicht maximal zulässige Stickstoffeintrag (critical load) liegt für diese Ökosysteme bei rund 10 kg N/ha und Jahr. Im ganzen Untersuchungsgebiet wird dieser Wert deutlich überschritten: Die berechneten Stickstoffeinträge liegen zwischen 20 und 40 kg N/ha und Jahr.

Fazit: Die berechneten Emissionen der vier Schadstoffe NO_x , VOC, SO_2 und Feststoffe sind in der Zeit von 1991 bis 2001 gesunken. Die Entwicklung der Ammoniakemissionen ist unklar.

Die Immissionsmessungen zeigen für NO_2 ebenfalls sinkende Belastungen an. Die Staubbelastungen haben bis 1993 auch abgenommen, danach stagnierten sie und in den letzten Jahren sind sie wieder leicht angestiegen. Für Ozon ergeben sich keine gesicherten Trends der Immissionsentwicklung. Für

alle andern Schadstoffe liegen nur für einen kurzen Zeitraum oder gar keine Immissionsmessungen vor.

9.5 Flechten-Differenzkarte und technische Messdaten

Die Veränderung der Flechtenvegetation wird durch die Flechten-Differenzkarte abgebildet, welche im westlichen Teil grossflächige Verbesserungen der Luftqualität ausweist. Diese korrespondieren mit den oben erwähnten Emissions- und Immissionsreduktionen verschiedener Schadstoffe. Insbesondere liegt auch Cham in diesem Gebiet; in dieser Gemeinde führte die Sanierung der Papierfabrik zu Emissionsreduktionen von 94% (!) beim SO_2 und je über 50% beim NO_x und bei den Feststoffen.

Durch die Abgabe der Schadstoffe über einen Industriekamin und die Windverfrachtung wurde ein grösseres Gebiet mit diesen Schadstoffen belastet. Entsprechend kann vermutet werden, dass ein grösseres Gebiet um die Fabrik von diesen Emissionsreduktionen profitieren konnte. Diese Vermutung wird durch die grossflächigen Verbesserungen der Gesamtbelastung in der Differenzkarte gestützt.

Die Tendenzen der Emissionen, Immissionen und der Gesamtbelastung in der Gemeinde Cham sind in Abbildung 25 dargestellt.

Im Zentrum von Zug ist die Gesamtbelastung ebenfalls zurückgegangen. Auch diese Verbesserung korrespondiert mit den Abnahmen der Emissionen und Immissionen in diesem Gebiet.

In der Gemeinde Baar ergibt sich ein anderes Bild: Hier haben die NO_x - und VOC-Emissionen sowie die NO_2 -Immissionen abgenommen, SO_2 - und Feststoffemissionen sowie die Ozon- und Staubb Belastung sind ungefähr gleich geblieben – die durch die Flechten ausgewiesene Gesamtbelastung dagegen hat zugenommen. Diese Tendenzen sind in Abbildung 25 denjenigen der Gemeinde Cham gegenüber gestellt.

In der topographisch vom übrigen Untersuchungsgebiet abgetrennten Gemeinde Unterägeri liegen die berechneten Emissionen rund 70-80% tiefer als in den Gemeinden Baar, Cham und Zug. Es erstaunt deshalb nicht, dass die Luftgütekarte für dieses Gebiet eine geringe Gesamtbelastung ausweist als in den andern erfassten Gemeinden.

Die Emissionen der genannten vier Schadstoffe haben sich in Unterägeri zwischen 1991 und 2001 kaum verändert; die Gesamtbelastung hingegen hat sich, gemäss Differenzkarte, verschlechtert.

Abb. 25:
Trends der Emissionen, Immissionen und Gesamtbelastung in den Gemeinden Cham und Baar.

Veränderungen	Gemeinde Cham	Gemeinde Baar
Emissionen:		
NOx	↓	↘
VOC	↘	↘
SO ₂	↓↓	→
Feststoffe	↓	→
Immissionen:		
NOx	↘	↘
Ozon	—	(→)
Staub	—	(→)
Gesamtbelastung	↘	↑

Auch hier ist ein ähnliches Phänomen festzustellen wie in Baar: In einem Gebiet, welches 1993 nur eine geringere Gesamtbelastung aufweist, hat sich die durch die Flechten ausgewiesene Gesamtbelastung erhöht, während die technischen Luftdaten auf eine in etwa gleichbleibende Belastung schliessen lassen.

Fazit: Die grossflächigen Verbesserungen der Gesamtbelastung im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes und im Zentrum von Zug, wie sie die Flechten-Differenzkarte ausweist, stimmen gut mit den technischen Daten zur Emission und Immission überein. Im östlichen Teil dagegen ist kein offensichtlicher Zusammenhang zwischen den Verschlechterung der Gesamtbelastung und den Emissions- und Immissionsdaten erkennbar. Auffallend ist, dass diese Verschlechterungen fast ausschliesslich in Gebieten aufgetreten sind, welche in der Ersterhebung 1993 gering belastet waren.

9.6 Flechten und technische Messungen: Zwei Messsysteme

Flechtenuntersuchungen, technische Messungen und Berechnungen (zu Emission und Immission) weisen meistens eine Gleichläufigkeit auf, da sie beide das Phänomen Luftbelastung erfassen. Die beiden Messsysteme unterscheiden sich aber in einigen wichtigen Punkten, eine vollständige Übereinstimmung der Messgrössen ist nicht zu erwarten. Welches sind die hauptsächlichsten Unterschiede dieser beiden Messsysteme?

Auf der einen Seite erfassen die Flechten die Luftqualität als biologisches System, das heisst, ihre Anzeige beinhaltet die Wirkung der Luftbelastung auf ein Lebewesen. Als solches reagieren die Flechten auf das gesamte Schad-

stoffgemisch, die Auswirkungen aller Schadstoffe werden angezeigt. Sie zeigen die Gesamtbelastung der Luft an, direkte Rückschlüsse auf Einzelschadstoffe sind nicht möglich. Durch die Erfassung von über 260 Einzelbäumen wird die Belastung flächendeckend charakterisiert.

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. Die Immissionsmessungen beziehen sich eng auf den gewählten Messstandort. Je nach Distanz des Messpunktes zu einer relevanten Emissionsquelle (z.B. Strassenabstand) kann der Immissionswert sehr unterschiedlich ausfallen.

9.7 Vergleich mit andern Flechtenuntersuchungen im Mittelland

Die Diskrepanzen zwischen Veränderung der Flechtenvegetation und Veränderung von Emissionen und Immissionen sind fast ausschliesslich in Gebieten aufgetreten, welche 1993 eine geringe Gesamtbelastung aufwiesen.

Dieser Rückgang in Gebieten mit ehemals verhältnismässig reicher Flechtenvegetation ist auch in allen andern untersuchten Gebieten des Schweizer Mittellandes feststellbar.

In Abbildung 26 ist der Zusammenhang zwischen dem IAP18-Wert der Ersterhebung und der IAP18-Veränderungen für jeden untersuchten Georraum aufgetragen. Enthalten sind neben der Untersuchung von Zug (1993-2003) die Erhebungen in Luzern (1987-1997), in Winterthur (1989-1996) und im Limmatall AG (1989-2003).

Es gibt einen klaren Trend, der allen Untersuchungen gemeinsam ist: In ehemals belasteten Gebieten (tiefe IAP18-Werte der Ersterhebung) sind die Veränderungen der IAP18-Werte durchwegs positiv, das heisst die Gesamtbelastung hat abgenommen. Im Gegensatz dazu sind in ehemals gering belasteten Gebieten fast ausschliesslich negative Veränderungen festzustellen, das heisst die Gesamtbelastung hat zugenommen. Die Grafik bestätigt die klare Nivellierung der Gesamtbelastung, wie sie schon in Kapitel 5 (Seite 11) angesprochen wurde.

Vergleichbare Phänomene wurden auch in Wiederholungsuntersuchungen im Fürstentum Liechtenstein und im Bündner Rheintal festgestellt. Da dort eine an die speziellen klimatischen Verhältnisse angepasste Flechtenmethode angewendet wird, werden die Resultate nicht in die Abbildung 26 integriert.

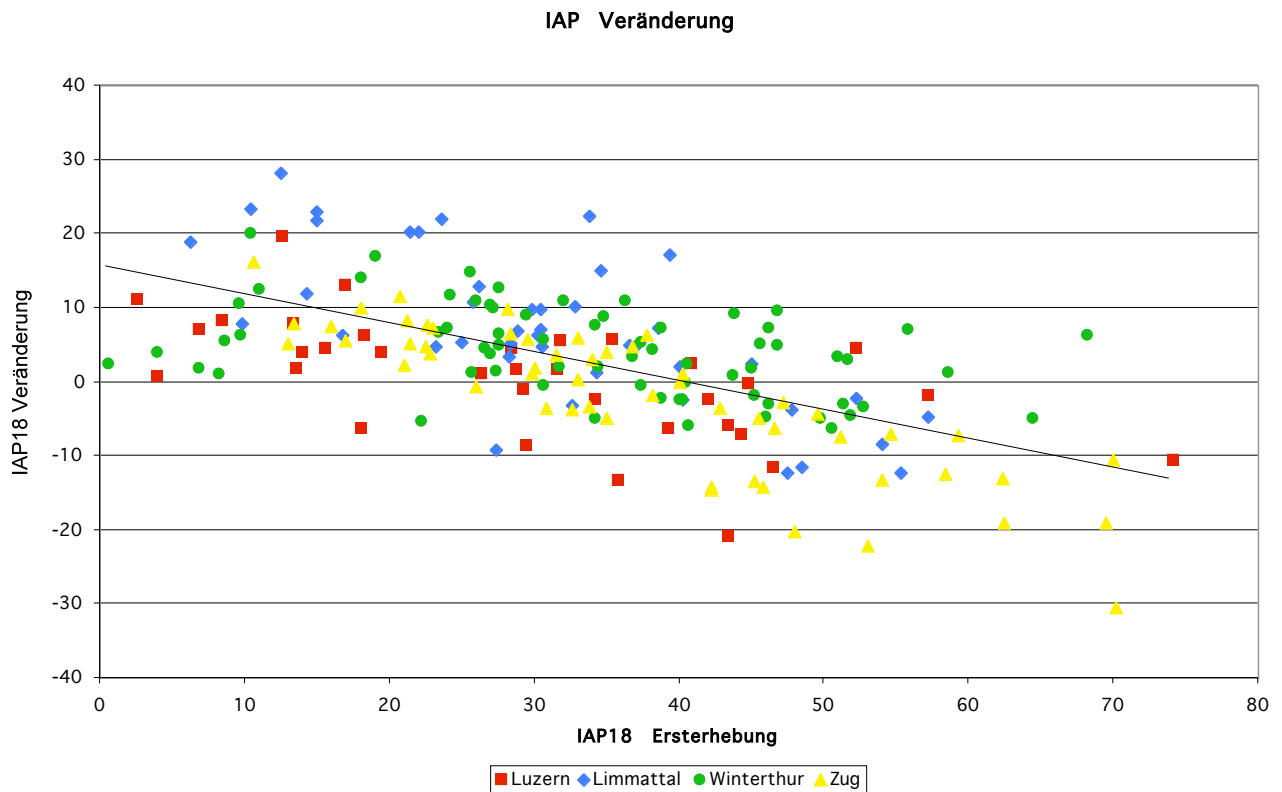


Abb. 26:
IAP-Veränderung in Abhängigkeit des IAP18-Wertes der Ersterhebung für verschiedene Untersuchungen im Schweizer Mittelland.

Vergleicht man die Streuung der Zuger Georäume mit denjenigen der andern Untersuchungen, so fällt auf, dass im Kanton Zug mehr Georäume mit einer ehemals geringen Belastung erfasst wurden und dass deren negative Veränderung tendenziell stärker ausgefallen sind als bei den andern Untersuchungen. Im unteren IAP18-Wertebereich dagegen sind die Veränderungen der Zuger Georäume mit denjenigen der andern Untersuchungen vergleichbar.

Fazit: Die Nivellierung der durch die Flechten ausgewiesenen Gesamtbelastung ist in allen Untersuchungen im Schweizer Mittelland feststellbar, die Verschlechterung der Gesamtbelastung in ehemals gering belasteten Gebieten ist kein spezifisches Zuger Phänomen.

9.8 Mögliche Gründe für den Flechtenrückgang in unbelasteten Gebieten

Die am Anfang dieses Kapitels aufgeführten Veränderungen der Flechtenvegetation gegenüber 1993 können mit Veränderungen der Luftqualität in engen Zusammenhang gebracht werden. Nicht schlüssig beantwortet werden kann vorläufig der Flechtenrückgang in ehemals unbelasteten Gebieten. Die Analyse der Veränderungen lässt sich bezüglich dieses Phänomens wie folgt zusammenfassen:

- In Gebieten, welche in der Ersterhebung 1993 gering belastet waren, weisen die Flechten auf eine Verschlechterung der Luftqualität hin und weichen damit von den Resultaten der technischen Messungen ab.
- Abweichungen zwischen Flechtenuntersuchung und technischen Messungen sind aus messtechnischen Gründen möglich.
- Einen Rückgang der Flechtenvegetation in ehemals gering belasteten Gebieten wurde in allen Wiederholungsuntersuchungen im Schweizer Mittelland festgestellt.
- Methodische Ursachen, natürliche Prozesse und Standortfaktoren konnten mit Ausnahme der Nebelobergrenze und der Inversionslagen mit grosser Wahrscheinlichkeit als Ursachen für diese Abweichungen ausgeschlossen werden.

Bleibt die Frage nach den Gründen für den festgestellten Rückgang der Flechten in unbelasteten Gebieten. Offensichtliche Ursachen konnten bisher keine gefunden werden. Die folgenden möglichen Gründe sind deshalb als Thesen zu verstehen:

- **Nebelgrenze:** Es ist denkbar, dass ein Ansteigen der Nebelgrenze zu höheren Belastungen in den ehemals nebelfreien und geringer belasteten Gebieten führt.
- **Schadstoffe:** Möglicherweise beeinträchtigen bisher unbekannte oder nicht gemessene Luftschadstoffe die Flechten. Denkbar sind unter anderem Sekundärschadstoffe, deren Wirkungsgebiet in einiger Distanz zu den Quellen liegt.
- **Kombinationswirkungen:** Nicht auszuschliessen ist die kombinierte Wirkung von mehreren Einzelwirkungen (Schadstoffe, Klima etc), welche bisher nicht bekannt sind.
- **Nährstoffzusammensetzung:** Der Nitroindex weist darauf hin, dass sich die Zusammensetzung des Nährstoffangebotes für Flechten in Teilen des Untersuchungsgebietes erhöht hat.

In Gebieten mit ehemals unbelasteten Gebieten wurden zwei Arten von Veränderungen festgestellt: In Unterägeri und am Zugerberg ist die Nährstoffversorgung gleich geblieben. In diesen regenreichen Gebiete sind daher eher auf eine durch weiträumige Importe geprägte Luftbelastungen zu schliessen.

In Baar und in der Lorzeebene dagegen hat die Eutrophierung deutlich zugenommen. Hier deuten die Verhältnisse auf die Zunahme von nahen nährstoffhaltigen Quellen (Ammoniak, Staub).

- **Bautätigkeit:** Die Bautätigkeit führt zu erhöhten Emissionen, insbesondere die Staubbelastung nimmt markant zu. Es wäre denkbar, dass erhöhte Bautätigkeit zum Flechtenrückgang geführt hat. Gemäss dem Amt für Raumplanung des Kantons Zug war die Bautätigkeit in der Stadt Zug eher gering, es entstanden vor allem Verdichtungsbauten. Die grösste Bautätigkeit war im Gebiet Ennetsee (Risch, Hünenberg, Cham) Die Bevölkerungszahlen, als indirekter Indikator der Bautätigkeit, zeigen für die Gemeinden Baar und Unterägeri (Gebiete mit Verschlechterung der Gesamtbelastung) keine grösseren Bevölkerungszunahmen als in den übrigen Gebieten.
- **Langzeitwirkung:** Denkbar ist, dass die Flechtenvegetation durch die seit Jahrzehnten anhaltende Belastung mit Luftschadstoffen einer chronischen Schädigung unterliegt. Manifestieren würde sich diese Schädigung in einer bisher nicht erkannten Verarmung der Flechtenvegetation vor allem in Gebieten, welche vor einigen Jahren noch eine gute ausgebildete Flechtenvegetation aufwiesen, wie dies in mehreren Untersuchungsgebieten im Schweizer Mittelland festgestellt werden konnte.

10. Schlussfolgerungen

Die Flechtenindikation erfasst die Gesamtbelastung der Luft wirkungsbezogen und flächendeckend. Sie ergänzt damit die technischen Immissionsmessungen und ermöglicht eine regelmässige Überwachung und Wirkungskontrolle von lufthygienischen Massnahmen.

Seit der Ersterhebung von 1993 realisierten Bund, Kanton und Gemeinden aufgrund der eidgenössischen Luftreinhalteverordnung und der kantonalen Massnahmenplanung Luft (RR Zug, 1990 und 2000) viele lufthygienische Massnahmen. 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.

Diese Massnahmen zeigen Wirkung: Die Luftgütekarte weist heute keine Zonen mit kritischer Gesamtbelastung mehr auf, die Differenzkarte zeigt im Gebiet Rotkreuz, Hünenberg, Cham, Steinhausen und im Zentrum von Zug grossflächige Verbesserungen der Luftqualität an.

Die grössten Teile des Untersuchungsgebietes sind aber nach wie vor stark bis mittel belastet. Diese Belastung wird auch durch die technischen Immissionsmessungen bestätigt, welche für das Zentrum von Zug nach wie vor Grenzwertüberschreitungen von NO₂, Ozon und PM₁₀ nachweisen.

Die Luftreinhalteverordnung setzt als Ziel, die Luftbelastung auf ein vertragliches 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 untersuchte Gebiet könnte das heissen, dass die heute noch vorhandene starke Gesamtbelastung wegfällt und der Anteil der geringen und sehr geringen Gesamtbelastung zusammen mindestens 50% der Fläche beträgt.

Die Sanierung der wichtigsten Einzelemittenten und Emittentengruppen ist erfolgt. Eine weitere Senkung der Luftbelastung macht die Kombination von vielen kleineren Massnahmen insbesondere auch im Verkehrsbereich notwendig.

Die Differenzkarte zeigt auch einen Trend zur Verschlechterung der Luftqualität auf. In Gebieten, welche 1993 eine geringe Gesamtbelastung aufwiesen wie Baar, Zugerberg und Unterägeri, hat sich die Luftqualität trotz der getroffenen Massnahmen verschlechtert. Die Analyse der Veränderungen konnte keine klaren Ursachen für dieses Phänomen, welches auch in allen andern Flechtenuntersuchungen im Schweizer Mittelland festgestellt wurde, finden.

Mögliche Gründe sind ein Ansteigen der Nebelgrenze, der Einfluss bisher nicht erkannter Schadstoffe, die Kombinationswirkung von Schadstoffen, eine Mehrbelastung durch nährstoffhaltige Schadstoffe, eine erhöhte Bautätigkeit und eine Langzeitwirkung durch chronische Schädigung der Flechten. Gut denkbar ist auch, dass eine Kombination verschiedener dieser Ursachen zum festgestellten Flechtenrückgang geführt hat.

Die Flechten als hochempfindliches Frühwarnsystem geben uns einen Hinweis auf eine Beeinträchtigung der Artenvielfalt, auf eine Abnahme der Biodiversität in Gebieten mit ehemals reicher Flechtenvegetation. Dieser Hinweis sollte unbedingt weiterverfolgt werden, auch oder gerade weil die Ursachen dafür nicht klar sind.

Die Flechten eignen sich zur Wirkungskontrolle der lufthygienischen Massnahmen, auch wenn nicht alle Ergebnisse in einen direkten Bezug zu den technischen Daten zur Luftqualität gebracht werden konnten. Gerade hier liegt ihr Wert als biologische Indikatoren: Sie ergänzen die technischen Messungen mit Aussagen zur Wirkung der Luftbelastung auf Lebewesen. 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 vorliegenden Ergebnisse können für die Information der Behörden und der Öffentlichkeit über die Wirkung der bisherigen Luftreinhaltepolitik und die Notwendigkeit weiterer Massnahmen verwendet werden. Das Hauptgewicht kann dabei auf die Wirkungsanzeige der Luftbelastung durch die Flechten und auf die heutige Belastungssituation gelegt werden. 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.

critical load

Eine quantitative Abschätzung einer Exposition gegenüber einem oder mehreren Schadstoffen, unterhalb welcher signifikante schädliche Auswirkungen auf empfindliche Elemente der Umwelt nach dem Stand des Wissens nicht vorkommen. (Exposition bedeutet eine Deposition pro Flächeneinheit, z.B. kg/ha*Jahr.)

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; Luftgütewert 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.

Nitroindex

Der Nitroindex ist eine Messgrösse für den Eutrophierungsgrad durch Ammoniak.

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 symbiontische 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

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.

FAL, IUL, FAT, Oktober 1996: Ammoniakemissionen Schweiz, Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft im Rahmen der Bundesratsbeschlüsse.

Geographisches Institut der Universität Bern (GIUB), 1989. Das Ausbreitungsklima der Innerschweiz. Schlussbericht, Band 2. 105 S.

puls 1994: Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten im Kanton Zug und im Raum Sins-Dietwil im Auftrag des Amtes für Umweltschutz des Kantons Aargau; Baudirektion des Kantons Zug.

RR Zug, 1990. Massnahmenplan gegen übermässige Luftschadstoffe (Immissionen) im Kanton Zug. Beschluss der Zuger Regierung vom 11. Juni 1990.

RR Zug, 2000. Massnahmenplan Luftreinhaltung des Kantons Zug. Beschluss der Zuger Regierung vom Juli 2000.

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.

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

Van Herk 1999. Mapping of ammonia pollution with epiphytic lichens in the Netherlands. The Lichenologist, Vol.31.

Wirth, V., 1980. Flechtenflora. Unitaschenbücher UTB 1062. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

13. Anhang

Für sämtliche 268 in dieser Untersuchung erfassten Trägerbäume sind folgende Angaben enthalten:

Obj. 03:	Objektnummer = Nummer des Trägerbaumes 2003
Obj. 93	Objektnummer = Nummer des Trägerbaumes 1993
K1:	horizontale Koordinate der Schweizer Landeskarte
K2:	vertikale Koordinate der Schweizer Landeskarte
Geo:	Nummer des Georaumes, welchem der Trägerbaum angehört
IAP93	IAP18-Wert des Trägerbaumes im Jahr 1993
IAP03:	IAP18-Wert des Trägerbaumes im Jahr 2003
B-art:	Baumart

Es bedeuten:

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

Frequenzwerte der 50 untersuchten Flechtenarten: 49 Arten zählen zum I-AP18-Wert, *Candelariella xanthostigma* zählt nicht zum IAP18.

Bry	<i>Bryoria fuscescens</i>
Eve	<i>Evernia prunastri</i>
Pse	<i>Pseudevernia furfuracea</i>
Rafr	<i>Ramalina farinacea</i>
Rafs	<i>Ramalina fastigiata</i>
Rafx	<i>Ramalina fraxinea</i>

Rapo	Ramalina pollinaria
Usn	Usnea sp.
Anap	Anaptychia ciliaris
Cetr	Cetrelia cetrarioides-Gr.
Cla	Cladonia sp.
Hfar	Hypogymnia farinacea
HPhys	Hypogymnia physodes
HTub	Hypogymnia tubulosa
ParAce	Parmelia acetabulum
ParC	Parmelia caperata
Psub	Parmelia submontana
ExtA	Parmelia exasperata
Exla	Parmelia exasperatula
Fla	Parmelia flaventior
ParG	Parmelia glabra
ParGula	Parmelia glabratula-Gr.
ParQu	Parmelia quercina
Rev	Parmelia revoluta
Sax	Parmelia saxatilis
Suba	Parmelia subargentifera
Subr	Parmelia subrudecta
Sulc	Parmelia sulcata
Til	Parmelia tiliacea
PAmb	Parmeliopsis ambigua
Phyp	Parmeliopsis hyperopta
Aip	Physcia aipolia-Gr.
Ads	Physcia adscendens-Gr.
Cae	Physcia caesia
Orb	Phaeophyscia orbicularis
Per	Physconia perisidiosa
Ento	Physconia enteroxantha
Gri	Physconia grisea
PDist	Physconia distorta
Xfal	Xanthoria fallax-Gr.
Xpar	Xanthoria parietina
XPo	Xanthoria polycarpa
Gra	Graphis scripta
LCar	Lecanora carpinea-Gr.
Larg	Lecanora argentata-Gr.
Nor	Normandina pulchella
Palb	Pertusaria albescens
PAma	Pertusaria amara
Phly	Phlyctis argena-Gr.
Cand	Candelariella xanthostigma

Ob03	k1	k2	Geo	IAP93	IAP03	B-art	Bry	Eve	Pse	Rafr	Rafs	Rafx	Rapo	Usn	Anap	Cetr	Cla	Hfar	HPhys	HTub	ParAce	ParC	Psub	Exta	Exla	Fla	ParC
114	674920	224980	71	17	31	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.
115	673010	225990	1	21	26	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
116	675450	225540	8	40	49	2	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	4	.	
117	674950	225340	5	25	28	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
118	674880	225240	5	38	29	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
119	674490	225340	71	24	9	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
120	675840	227300	10	27	28	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
121	675620	226670	4	13	26	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
122	672970	226130	1	22	25	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
123	674980	225200	5	33	53	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	10	.	.	
124	675120	225760	5	26	34	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
125	676900	226200	11	35	37	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
126	675900	226310	7	29	17	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
127	677250	225880	16	9	16	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
128	678100	226060	19	23	38	2	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.	.	5	.	.	.	.	.	4	.	.	
129	677020	225400	12	47	40	2	.	1	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	
130	677040	225870	11	23	10	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
131	676740	225850	11	30	50	2	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	.	
132	676150	225970	7	25	36	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
133	676200	225610	8	20	23	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
134	675410	225630	8	11	14	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
135	676630	225590	8	53	22	2	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
136	676440	225010	12	57	88	1	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	
137	676640	225250	12	30	28	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
138	676900	224840	12	24	34	2	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
139	676710	225670	11	42	40	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
140	677300	226070	16	18	13	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	2	.	
141	676840	226510	11	36	38	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	
142	676340	227430	10	41	34	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
143	676060	227540	10	30	21	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
144	676970	226880	15	22	26	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
145	677170	227650	15	30	45	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
150	675920	227250	10	45	28	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	
151	676750	226910	10	41	41	2	.	.	1	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	

Ob03	ParGula	ParQu	Rev	Sax	Suba	Subr	Sulc	Til	PAmb	Phyp	Aip	Ads	Cae	Orb	Per	Ento	Gri	PDist	Xfal	Xpar	XPo	Gra	LCar	Larg	Nor	Palb	PAma	Phly	Cand	
114	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	7	.	.	.	1	.	.	.	.		
115	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	7	.	2	.	.	.	.	.	7	.	8	.	
116	9	.	.	.	.	7	10	5	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	5	
117	6	.	.	.	.	.	10	.	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	10	
118	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	4	4	.	.	.	.	.	.	.	1	10	
119	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	2	5	.	
120	.	.	.	.	.	.	2	1	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	2	10	.	
121	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	7	.	.	.	.	.	9	.	.	.	.	.	.	.	10	.	
122	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	8	.	.	.	.	.	7	.	.	.	.	.	.	.	.	7	.
123	.	.	.	.	.	2	7	2	.	.	.	10	.	8	.	.	.	.	.	1	.	.	2	2	.	.	.	8	10	.
124	2	.	.	.	.	.	9	1	.	.	2	10	.	6	.	.	.	.	1	.	.	.	2	1	.	.	.	.	10	.
125	10	.	.	.	.	6	7	.	.	.	.	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	7	10	.
126	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	.	7	5	.
127	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.
128	4	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	10	5	.
129	.	.	.	2	.	10	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	10	.	10	9	.
130	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	.	.	.	4	10	.
131	.	.	.	.	.	5	7	1	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	3	10	.
132	.	.	.	.	.	4	2	4	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	1	10	.
133	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	3	.	.	10	10	.
134	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	10	.
135	1	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6	.	10	.	.
136	10	.	.	.	5	5	8	10	.	.	.	10	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	10	10	.	6	.	10	10	.
137	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	7	.	.	.	.	.	.	.	1	10	.
138	2	.	.	.	.	9	4	.	.	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	.	.	.	10	6	.	.
139	5	.	.	.	.	.	9	2	.	.	.	10	.	8	.	.	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	1	10	.	.
140	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	2	.
141	.	.	.	.	.	1	6	1	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	2	.	.	2	2	.	.	.	3	10	.
142	.	.	.	.	.	8	2	1	.	.	.	10	.	2	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	10	10	.
143	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	.	8	.	.	.	.	.	1	.	.	.	4	.	.	.	.	5	.
144	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6	.	5	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	5	.	.	9	10	.
145	2	.	.	.	.	7	8	.	.	.	.	10	.	6	.	.	.	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.	8	9	.
150	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	2	10	.
151	2	.	.	.	.	4	9	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	8	.	10	1	.

Ob03	ParGula	ParQu	Rev	Sax	Suba	Subr	Sulc	Til	PAmb	Phyp	Aip	Ads	Cae	Orb	Per	Ento	Gri	PDist	Xfal	Xpar	XPo	Gra	LCar	Larg	Nor	Palb	PAma	Phly	Cand
152	.	.	.	1	.	5	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.
153	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	10	.	.	.	6	.	.	.	.	10
154	.	.	.	.	.	.	4	.	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	4	10	
155	.	.	.	.	.	4	1	.	.	.	.	8	.	9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	5	
156	.	.	.	2	.	9	10	2	.	.	.	7	.	7	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	3	10	
157	.	.	.	.	.	1	2	3	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	6	.	.	.	.	2	.	.	10	
158	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	.	.	.	7	.	
159	.	.	.	.	.	2	5	3	.	.	.	10	.	2	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	5	7	
160	3	.	.	.	.	3	3	8	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	4	10	5	
161	2	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	10	
162	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	9	.	10	.	.	.	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.	1	
163	.	.	.	.	.	.	7	.	.	.	.	10	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	10	
164	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	7	.	.	.	.	.	.	1	10	
165	.	.	.	.	.	10	5	2	.	.	.	8	.	5	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	10	10	
166	4	.	.	.	.	10	10	.	.	.	.	8	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	8	10	
167	3	.	.	2	.	2	3	5	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	2	.	.	1	6	.	.	7	10	
168	.	.	.	.	.	2	.	2	.	.	.	9	.	10	.	.	.	.	.	2	.	.	6	1	.	.	2	10	
169	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	9	.	8	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	2	.	3	.	
170	.	.	.	.	1	3	.	.	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	5	.	.	1	.	.	.	.	10	
171	.	.	.	.	.	5	7	6	.	.	.	10	.	9	.	.	.	.	.	7	.	.	.	.	.	.	.	10	
172	1	.	.	.	.	.	8	9	.	.	.	10	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	
178	.	.	.	.	.	1	.	6	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	5	.	.	.	9	.	.	.	6	
179	10	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	1	4	.	.	.	4	.	.	2	10	
180	3	.	.	.	.	8	4	1	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	6	
181	5	.	.	.	.	1	4	.	.	.	.	10	.	5	.	.	.	.	.	3	.	.	1	.	.	.	10	10	
184	.	.	.	.	.	2	1	1	.	.	.	10	.	6	.	.	.	.	.	7	.	.	.	.	.	.	6	10	
185	1	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	10	.	5	.	.	.	.	.	4	.	.	.	.	.	.	9	10	
187	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	
188	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	7	10	
189	7	.	.	.	.	7	7	6	.	.	.	10	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	10	10	
190	.	.	.	.	.	4	7	3	.	.	.	10	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	7	10	
191	1	.	.	.	.	4	6	.	.	.	.	10	.	10	.	.	.	1	.	2	.	.	1	3	.	.	4	10	
192	.	.	.	.	.	1	9	4	.	.	.	10	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	10	
193	5	.	.	.	.	3	9	3	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	6	

Ob03	ParGula	ParQu	Rev	Sax	Suba	Subr	Sulc	Til	PAmb	Phyp	Aip	Ads	Cae	Orb	Per	Ento	Gri	PDist	Xfal	Xpar	XPo	Gra	LCar	Larg	Nor	Palb	PAma	Phly	Cand
480	1	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
481	9	.	.	.	.	5	9	.	.	.	.	10	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	
482	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	
483	1	2	.	3	.	2	.	5	.	.	.	2	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	10	
484	.	.	.	.	.	7	2	3	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	5	.	10	
485	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	8	
486	.	.	.	.	1	2	.	.	.	.	.	8	.	7	.	.	.	.	.	4	.	.	2	.	.	.	10	10	
487	.	.	.	.	.	10	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	10	10	
488	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	10	.	5	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	10	
489	.	.	.	.	.	10	5	1	.	.	.	10	.	9	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	7	10	
490	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	1	.	.	.	.	.	2	.	.	.	5	.	.	.	10	
491	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	9	.	.	.	3	.	.	2	10	
492	.	.	.	.	.	4	4	.	.	.	.	10	.	6	.	.	.	.	.	3	.	.	9	.	.	.	2	10	
493	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	6	.	.	.	1	.	.	.	10	
494	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	10	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	10	
495	5	.	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	
496	1	.	.	.	.	3	4	.	.	.	.	10	.	10	1	.	.	.	1	4	.	.	.	1	.	.	3	10	
497	.	.	.	.	.	.	2	4	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.	10	
498	1	.	.	.	.	3	3	.	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.	10	
499	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	3	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	1	.	9	10	
500	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	10	
504	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	.	3	10	
506	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	3	.	9	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	3	10	
507	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	10	
508	.	.	.	.	.	8	6	5	.	.	.	10	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	
509	.	.	.	.	.	5	2	.	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	6	.	.	.	1	.	.	.	5	
510	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	10	.	10	.	.	.	.	.	6	.	.	.	1	.	.	3	10	
511	5	.	.	.	.	.	1	10	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	3	.	.	.	7	3
512	.	.	.	.	.	3	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	7	.
514	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	5	.	.	.	.	.	10	.	.	.	9	.	.	.	3	10

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

Geo:	Nummer des Georaumes
K1 93:	Mittelwert der horizontalen Koordinaten (Schweizer Landeskarte) der Trägerbäume von 1993
K2 93:	Mittelwert der vertikalen Koordinaten der Trägerbäume von 1993
IAP 93:	IAP Mittelwert im Jahr 1993
Ac 93:	Acidoindex-Mittelwert 1993 (positive Werte stehen für saure Immissionen, negative Werte für basische)
K1 03:	Mittelwert der horizontalen Koordinaten der Trägerbäume von 2003
K2 03:	Mittelwert der vertikalen Koordinaten der Trägerbäume von 2003
IAP 03:	IAP Mittelwert im Jahr 2003
Ac 03:	Acidoindex-Mittelwert 2003
MW K1:	Mittelwert der horizontalen Koordinaten der Trägerbäume von 1993 und 2003
MW K2:	Mittelwert der vertikalen Koordinaten der Trägerbäume von 1993 und 2003
IAP-Diff:	Differenz zwischen dem IAP 18-Mittelwert von 2003 und dem IAP-Mittelwert von 1993
Ac Diff:	Differenz zwischen Acidoindex 2003 und 1993

Geo	K1 93	K2 93	IAP 93	Ac 93	K1 03	K2 03	IAP 03	Ac 03	MW K1	MW K2	IAP-Diff	Ac-Diff
1	673204	226106	22.8	-0.47	673200	226010	26.6	-0.47	673202	226058	3.8	0.00
2	674280	225880	22.5	-0.57	674263	226113	27.3	-0.52	674271	225996	4.8	0.05
3	674760	229832	42.2	-0.40	674810	229900	27.6	-0.43	674785	229866	-14.6	-0.03
4	675100	226650	54.6	0.06	675140	226502	47.6	-0.06	675120	226576	-7.0	-0.13
5	675052	225460	30.0	-0.02	675042	225446	31.8	-0.35	675047	225453	1.8	-0.32
6	675365	221465	28.3	-0.21	675144	221634	34.8	-0.45	675255	221550	6.5	-0.24
7	675903	226458	20.8	-0.06	675698	226075	32.3	-0.25	675800	226266	11.5	-0.19
8	675956	225562	30.8	-0.10	675866	225546	27.2	-0.04	675911	225554	-3.6	0.06
9	676300	222205	45.5	-0.26	676190	222030	40.6	-0.32	676245	222118	-4.9	-0.06
10	676432	227364	33.8	-0.16	676182	227286	30.4	-0.38	676307	227325	-3.4	-0.22
11	676690	226135	31.5	0.02	676846	226020	35.0	-0.29	676768	226078	3.5	-0.30
12	676726	225346	40.0	-0.02	676682	225024	40.0	-0.14	676704	225185	0.0	-0.13
15	677384	226738	23.0	-0.20	677486	227204	30.2	-0.37	677435	226971	7.2	-0.18
16	677323	225930	17.0	0.06	677404	226006	22.6	-0.11	677363	225968	5.6	-0.17
18	678114	227768	28.2	-0.16	678383	228005	38.0	-0.30	678248	227887	9.8	-0.14
19	678112	226290	29.8	0.17	677903	226376	30.8	-0.33	678008	226333	1.0	-0.51
20	679142	228380	36.8	-0.17	679224	228294	41.6	-0.31	679183	228337	4.8	-0.14
21	678944	227774	21.0	-0.28	679053	227665	23.3	-0.32	678998	227720	2.3	-0.04
22	678723	226698	33.0	-0.02	678492	226614	39.0	-0.41	678607	226656	6.0	-0.38
23	679533	227300	29.5	-0.19	679440	227170	35.2	-0.48	679486	227235	5.7	-0.29
25	680094	227648	47.2	-0.03	680122	227680	44.4	-0.25	680108	227664	-2.8	-0.22
26	679810	226564	38.2	-0.12	679828	226596	36.4	-0.29	679819	226580	-1.8	-0.17
27	679816	225706	42.8	-0.02	679784	225750	39.2	-0.31	679800	225728	-3.6	-0.30
28	680708	226318	59.3	0.14	680713	226325	52.0	-0.15	680710	226321	-7.3	-0.29
30	681978	228154	53.0	0.03	681910	228144	30.8	-0.06	681944	228149	-22.2	-0.10
31	681805	227623	48.0	0.12	681932	227626	27.8	-0.34	681869	227625	-20.2	-0.46
32	680963	225923	35.0	-0.19	680940	225950	30.0	-0.30	680951	225936	-5.0	-0.11
33	681208	225384	35.0	0.07	681160	225388	39.0	-0.24	681184	225386	4.0	-0.31
34	682372	227508	26.0	-0.24	682412	227400	25.4	-0.36	682392	227454	-0.6	-0.12
35	682900	228282	45.2	-0.03	682824	228324	31.8	-0.29	682862	228303	-13.4	-0.26
36	682784	226600	45.8	-0.07	682788	226368	31.6	-0.30	682786	226484	-14.2	-0.23
37	682210	226220	33.0	-0.36	681910	226452	33.2	-0.39	682060	226336	0.2	-0.03

Geo	K1 93	K2 93	IAP 93	Ac 93	K1 03	K2 03	IAP 03	Ac 03	MW K1	MW K2	IAP-Diff	Ac-Diff
38	681938	225595	21.3	-0.19	681740	225530	29.4	-0.32	681839	225563	8.2	-0.13
39	681620	224958	10.6	-0.22	681756	224914	26.8	-0.36	681688	224936	16.2	-0.15
40	681658	224178	21.4	0.21	681706	224298	26.6	-0.21	681682	224238	5.2	-0.43
42	683162	227372	70.2	-0.05	683166	227316	39.6	-0.23	683164	227344	-30.6	-0.18
43	682728	225196	40.2	-0.09	682756	225250	41.2	-0.22	682742	225223	1.0	-0.13
44	682122	224310	42.2	-0.10	681976	223926	28.0	-0.13	682049	224118	-14.2	-0.03
45	682366	223972	54.0	0.12	682290	224380	40.8	-0.07	682328	224176	-13.2	-0.20
46	683106	223604	62.4	-0.09	683210	223550	49.4	-0.17	683158	223577	-13.0	-0.08
48	683752	223216	46.6	0.00	683722	223204	40.4	-0.10	683737	223210	-6.2	-0.10
50	685825	221153	70.0	-0.11	685820	221145	59.5	-0.21	685823	221149	-10.5	-0.10
52	686596	221590	49.6	-0.03	686608	221586	45.2	-0.10	686602	221588	-4.4	-0.07
53	686662	221188	37.8	-0.32	686698	221220	44.0	-0.28	686680	221204	6.2	0.03
54	686250	220615	62.5	-0.32	686452	220748	43.4	-0.41	686351	220682	-19.1	-0.10
57	687304	221398	58.4	-0.18	687230	221358	46.0	-0.25	687267	221378	-12.4	-0.07
58	687748	220393	69.5	-0.23	687660	220435	50.5	-0.38	687704	220414	-19.0	-0.15
71	674338	225020	13.0	-0.29	674332	225262	18.2	-0.68	674335	225141	5.2	-0.38
73	674182	223062	13.4	-0.25	674174	222982	21.2	-0.15	674178	223022	7.8	0.10
74	674815	223785	51.2	-0.04	674580	224054	43.8	-0.03	674698	223920	-7.4	0.01
75	675686	224264	22.6	-0.38	675598	224450	30.3	-0.52	675642	224357	7.7	-0.14
79	674560	222558	32.6	-0.13	674800	222776	28.8	-0.31	674680	222667	-3.8	-0.17
80	675398	222424	18.0	-0.21	675470	222508	28.0	-0.54	675434	222466	10.0	-0.33
81	676085	223395	34.0	0.00	676234	223584	37.0	-0.19	676160	223490	3.0	-0.19
87	674842	221554	16.0	-0.47	674610	221684	23.5	-0.58	674726	221619	7.5	-0.11
88					681364	227186	36.2	-0.19				