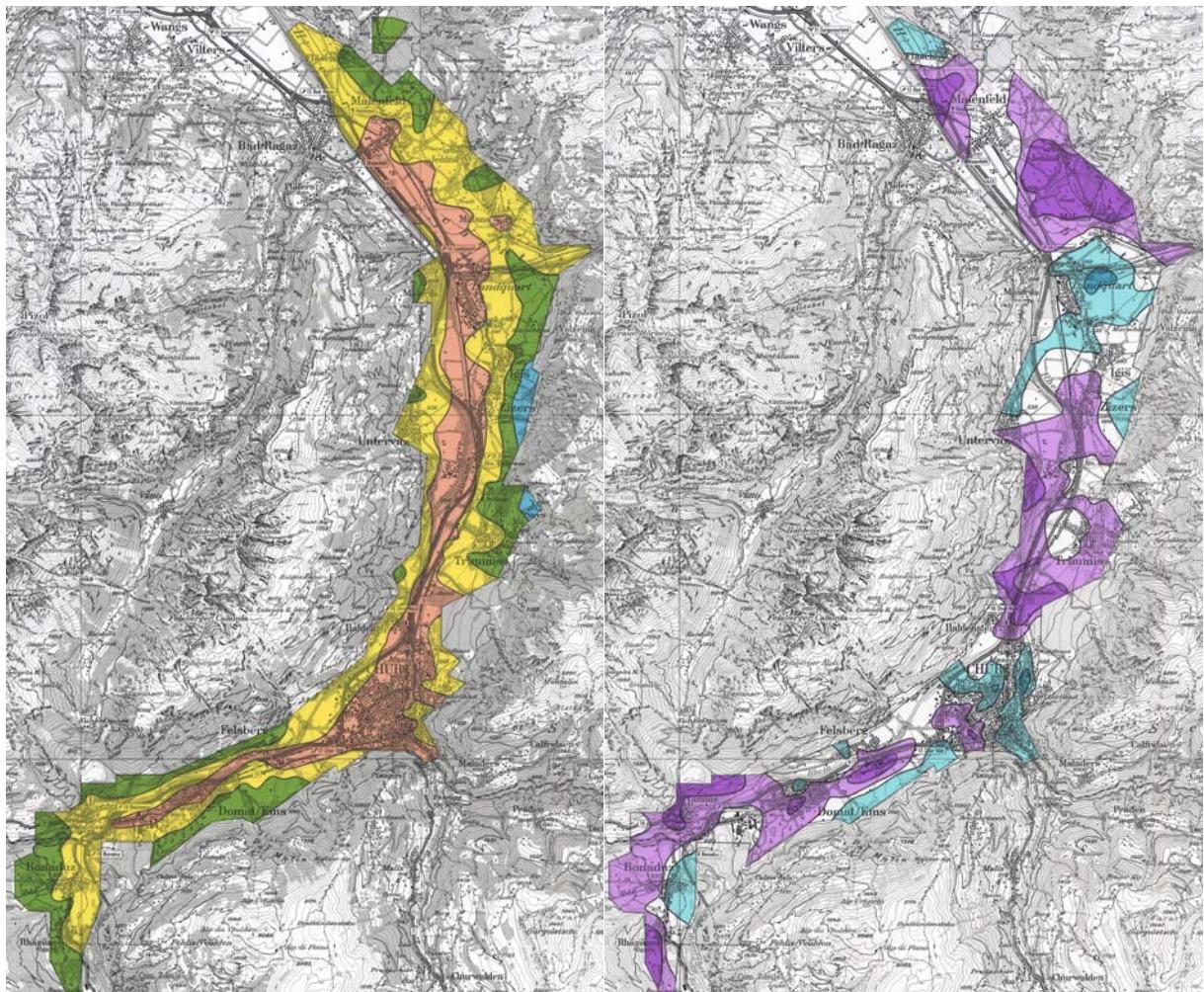


# Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten im Kanton Graubünden

## Zweite Erfolgskontrolle - Dritte Erhebung im Bündner Rheintal von 2011



### Kurzfassung

28. Oktober 2013

Dr. Rolf Herzig  
AGB Arbeitsgemeinschaft für Bioindikation,  
Umweltbeobachtung und ökologische Planung  
Quartiergasse 12, CH 3013 Bern

## **Impressum**

---

### **Projekt-Bearbeitung**

*Dr. Rolf Herzig  
AGB, Arbeitsgemeinschaft für Bioindikation,  
Umweltbeobachtung und ökologische Planung  
Quartiergasse 12, 3013 Bern  
Tel. 031 332 66 29, Mobil 079 218 40 71  
E-mail: rolf.herzig.agb@bluewin.ch*

### **Projektleitung**

*Dr. Georg Thomann und Hanspeter Lötscher  
Amt für Umwelt und Natur, Abteilung Luft, Lärm und Strahlung  
Gürtelstrasse 89, 7001 Chur  
Tel. 081 257 29 46*

### **Begleitung**

*Dr. Georg Thomann, Hanspeter Lötscher und Nicolin Ragaz  
Amt für Umwelt und Natur, Chur*

### **mit freundlicher Mitwirkung von**

*Dr. Jochen Boch, Institut für Pflanzenbiologie, Universität Bern  
Hanna Britt-Barth, Winterthur und Niko Tschacher, Bern  
Hans Zimmermann, MapInfo-Experte, Bern und Lipari*

# **Luftqualität im Bündner Rheintal anhand der dritten Flechtenkartierung von 2011 - 15 - 25 Jahre nach der Erstuntersuchung**

## **● Dritte Flechtenkartierung im Bündner Rheintal**

Gestützt auf die positiven Erfahrungen mit bereits zwei vorliegenden Flechtenuntersuchungen hat sich der Kanton Graubünden im Frühjahr 2010 entschieden im Bündner Rheintal und Misox die aktuelle Luftqualität mit einer dritten Flechtenkartierung ganzheitlich untersuchen zu lassen (Auftrag 2010-2013).

Die aktuelle Luftqualitätsuntersuchung im 93km<sup>2</sup> grossen Bündner Rheintal zwischen Fläsch und Rhäzüns wurde vom Sommer 2010 bis Herbst 2011 mit Hilfe von Flechten an Laubbäumen durchgeführt. Die Untersuchung erfolgte mit derselben «Bündner Flechtenindikationsmethode», welche seit drei Jahrzehnten mit grossem Erfolg in der Luftreinhaltung eingesetzt wird.

Das Hauptergebnis dieser dritten Flechtenkartierung bildet die aktuelle Luftgütekarte, welche die Luftqualität aufgrund der Beeinträchtigung der immissions-empfindlichen Baumflechten wirkungsbezogen, in Form von fünf standardisierten Luftgütezonen darstellt. Diese Luftgütekarten können direkt mit den beiden früheren Bündner Untersuchungen verglichen werden. Zusätzlich veranschaulichen die beiden Differenzkarten die Veränderung der Luftgüte in den beiden Beobachtungszeiträumen der letzten 25, beziehungsweise 15 Jahre.

### **Bioindikation mit Flechten**

*Flechten sind sehr sensible, aus Pilzen und Algen bestehende Symbioselebewesen, welche ihre Nährstoffe direkt aus der Atmosphäre (Luft, Regen, Nebel, Schnee) aufnehmen. Daher eignen sich Flechten als «lebende Messgeräte» besonders, um die Auswirkungen von komplexen Luftschadstoff-Gemischen auf sensible Organismen aufzuzeigen. Seit Jahrzehnten dienen daher die baumbewohnenden Flechten als Frühwarnsystem der Luftverschmutzung für den Menschen.*

*Die Bioindikation mit Flechten ist eine standardisierte Methode, welche die biologischen Auswirkungen der Luftbelastung erfassst. Der aufgrund der Flechtenartenvielfalt gemessene Luftgütewert IAP-BR ist aufgrund der Eichung mit technisch gemessenen Luftschadstoffen ein zuverlässiger, wirkungsbezogener Indikator für die Gesamtbelastung der Luft. Er ermöglicht eine flächendeckende und räumlich präzise Charakterisierung der gesamtheitlichen Luftqualität. Rückschlüsse auf die Einzelstoffbelastung erfordern hingegen den Vergleich mit den technischen Messungen oder den Einsatz des Passiven Biomonitorings (Spurenanalysen in Flechtenproben). Die Bündner Flechtenindikations-methode unterscheidet fünf verschiedenfarbige Zonen der Gesamtbelastung der Luft, welche bezüglich der Flechtenwirkung als stark, relativ stark, mittel, gering und sehr gering bezeichnet werden.*

*Flechten reagieren auf kleinste Beeinträchtigungen der Luftqualität mit sicht- und messbaren Veränderungen. Mit zunehmender Luftbelastung verschwinden Flechten von den Baumstämmen, kehren jedoch bei Verringerung der Schadstoffbelastung ebenso rasch wieder zurück. Diese Eigenschaft wird für die Erfolgskontrolle von Luftreinhaltemassnahmen genutzt. Dabei werden die Ergebnisse einer Wiederholungskartierung mit denjenigen der Ersterhebung verglichen.*

Weil die «Bündner Flechtenindikationsmethode» bereits bei ihrer Entwicklung im Rahmen der Fallstudie Bündner Rheintal des ORL (Peter et al. 1990) mit technischen Immissionsmessungen verglichen wurde und sich dabei eine hohe statistische Übereinstimmung gezeigt hat (Kalibration), kann von den fünf Flechtenwirkungszonen direkt auf das Mass der Luft-Gesamtbelastung geschlossen werden. Diese Gesamtbelastungszonen erlauben auch grobe Vergleiche zur Immissionsbelastung mit NO<sub>2</sub> und anderen Luftschatstoffen.

Die Luftgütekarte unterscheidet die in der Tabelle 1 gezeigten Gesamtbelastungszonen:

- rote Zone mit sehr wenig Flechtenbewuchs mit grosser Gesamtbelastung,
- orange Zone mit wenig Flechtenbewuchs mit relativ starker Gesamtbelastung,
- gelbe Zone mit mittlerem Flechtenbewuchs mit mittlerer Gesamtbelastung,
- grüne Zone mit viel Flechtenbewuchs mit geringer Gesamtbelastung sowie
- blaue Normalzone mit sehr geringer Gesamtbelastung.

Bündner Rheintal			% Flächenanteile			% Differenz		
			Flechten- bewuchs	Zonen- farbe	1986	1996	2011	2011 zu 1986
Luft-Gesamtbelastung (Gesamtimmision)								
grosse Gesamtbelastung	sehr wenig	rot	2.1	1.3	0.0	-2.1	-1.3	
relativ grosse Gesamtbelastung	wenig	orange	24.2	20.5	30.5	6.3	10.0	
mittlere Gesamtbelastung	mittel	gelb	39.0	53.1	45.5	6.4	-7.6	
geringe Gesamtbelastung	viel	grün	30.2	24.6	22.6	-7.7	-2.0	
sehr geringe Gesamtbelastung	normal	blau	4.4	0.5	1.5	-2.9	1.0	

### ● Die aktuelle Luftqualität im Bündner Rheintal von 2011

**Tab.1 Vergleich der aktuellen Luftgütekarte von 2011 mit den früheren Erhebungen von 1996 und 1986.**

Flächenanteile der fünf Gesamtimmisions- und Flechtenwuchszenen der aktuellen Luftgütekarte Bündner Rheintal und Belastungsvergleiche im 15- und 25-jährigen Zeitabstand.

- Abnahme
- + Zunahme der Luftgüte

Die aktuelle Luftgütekarte des Bündner Rheintals von 2011, welche mittels der Bündner Flechtenindikationsmethode erstellt wurde, lässt sehr deutliche Unterschiede in der Ausprägung der Flechtenvegetation, bzw. in der Luftqualität erkennen. Sie stellt ein getreues Abbild der Schadwirkungen der gesamten Luftbelastung auf die immissions-empfindliche Flechtenvegetation (Abb. 1) dar.

Die aktuelle Luftgütekarte des Bündner Rheintals von 2011 unterscheidet vier der insgesamt fünf Belastungszonen mit unterschiedlicher Luftgüte. Die rote Flechtenwirkungszone mit sehr wenig Flechtenbewuchs, welche in den beiden früheren Untersuchungen von 1986 und 1995 noch nachgewiesen wurde, konnte mit der dritten Flechtenkartierung nicht mehr festgestellt werden.

Die prozentuale Flächenausdehnung der fünf Luftgesamtbelastungs-Zonen im 93 km<sup>2</sup> grossen Untersuchungsgebiet des Bündner Rheintals von 2011 findet sich ebenfalls in Tabelle 1. Diese Tabelle zeigt auch den Vergleich mit den beiden bisherigen Flechtenuntersuchungen, der Ersterhebung von 1986 und der Ersten Erfolgskontrolle von 1996.

Mit einem Flächenanteil von 45.5% dominiert aktuell die gelbe Luftgütezone mit mittlerer Gesamtbelastung, gefolgt von der orangen Zone mit relativ starker Gesamtbelastung mit 30.5% und der grünen Zone mit geringer Gesamtbelastung mit 22.5%.

Die Normalzone blau mit sehr geringer Gesamtbelastung, welche zum Zeitpunkt der Ersten Erfolgskontrolle von 1996 verschwunden war, kann neuerdings wieder mit einem Flächenanteil von 1.5% nachgewiesen werden. Umgekehrt ist die am stärksten belastete rote Zone mit

sehr wenig Flechtenbewuchs und mit grosser Luftgesamtbelastung, heute vollkommen aus dem Stadtbild von Chur verschwunden.

Dies sind beides deutliche Zeichen einer verbesserten Luftqualität im Bündner Rheintal. Allerdings muss hier auch darauf hingewiesen werden, dass sich im 25-jährigen Zeitabstand der Anteil der zweitstärkst belasteten orangen Zone von 24 auf 30% vergrössert hat. Diese orange Flechtenwirkungszone mit relativ grosser Luftgesamtbelastung findet sich heute in einem relativ breiten und flächendeckenden Gebietsstreifen entlang der Transautobahn A13 von Maienfeld bis Domat/Ems und beinhaltet auch die zentralen Stadtgebiete von Chur. Auch die gelbe Zone mit mittlerer Luftgesamtbelastung hat sich im 25-jährigen Zeitraum um 6% vergrössert, während sich die grüne Zone mit geringer Luftgesamtbelastung um fast 8 verkleinert hat.

*Im 25-jährigen Beobachtungszeitraum hat somit die Luftgüte im Bündner Rheintal, nebst der festgestellten teilweisen Verbesserung in den beiden am stärksten und geringsten belasteten Luftgütezonen rot und blau, doch insgesamt eine Nivellierung der Luftqualität in Richtung der relativ starken und mittleren Luftgesamtbelastung erfahren. Diese beiden Luftgütezonen orange und gelb umfassen aktuell 76% der Gesamtuntersuchungsfläche, verglichen mit 63% bei der Ersterhebung vor 25 Jahren.*

### ● ***Die aktuelle Luftgesamtbelastung in den verschiedenen Belastungszonen***

Die **rote Zone** mit **grosser Gesamtbelastung** (sehr wenig Flechtenbewuchs) kann mit der aktuellen zweiten Erfolgskontrolle von 2011 nicht mehr nachgewiesen werden, währenddem in beiden früheren Untersuchungen zwei Zentrumsgebiete von Chur und Landquart (nur 1986) noch dieser Belastungszone angehörten.

Die **orange Zone** mit **relativ starker Gesamtbelastung** (wenig Flechtenbewuchs) findet sich aktuell mit grosser Flächenausdehnung von 30.5% fast im gesamten Talboden entlang der A13 und der Kantonsstrasse zwischen der Maienfeld und Domat/Ems. Im Vergleich zu beiden früheren Untersuchungen (Karten 2, 3) hat sich diese zweitstärkste Luft-Gesamtbelastungszone besonders entlang der A13 sehr deutlich vergrössert.

Die früheren, eher inselförmigen, Belastungszentren von Maienfeld, Landquart, Trimmis, Felsberg, Domat/Ems-Dorf und EMS-CHEMIE sind aktuell zu einer durchgehenden und relativ mächtigen Belastungsschneise entlang der A13 angewachsen.

Im Gebiet der Stadt Chur lässt sich hingegen in den zentrumsnahen östlichen Hanglagen (z.B. Spital, St. Luzi) und auch in den westlichen Stadtquartieren (z.B. Rheinfels) eine deutliche Verkleinerung dieser orangen Belastungszone zugunsten der gelben Zone ausmachen.

Die **gelbe Zone** mit **mittlerer Gesamtbelastung** (mittlerer Flechtenbewuchs) erstreckt sich mit einem Flächenanteil von 45.5% vom nördlichen Perimeterrand von Fläsch und Maienfeld bis nach Rhäzüns und umschliesst sowohl die orange Belastungszone als auch die gering belastete grüne Luftgesamtbelastungszone, welche vorwiegend in den Hanglagen gefunden wurde. Im nördlichen Untersuchungsgebiet zählen heute die Höhengebiete zwischen Maienfeld-Rofels und dem Dorfrand von Malans zur gelben Zone, welche in der Erstuntersuchung noch zur grünen und sogar zur blauen Luftgütezone gezählt werden konnte.

Die **grüne Zone** mit **geringer Gesamtbelastung** (viel Flechtenbewuchs) beschränkt sich heute mit einem Flächenanteil von 22.5% vorwiegend auf die höher gelegenen Gemeindegebiete von Fläsch, Maienfeld und St. Luziensteig, Jenins, den Gebietsstreifen zwischen

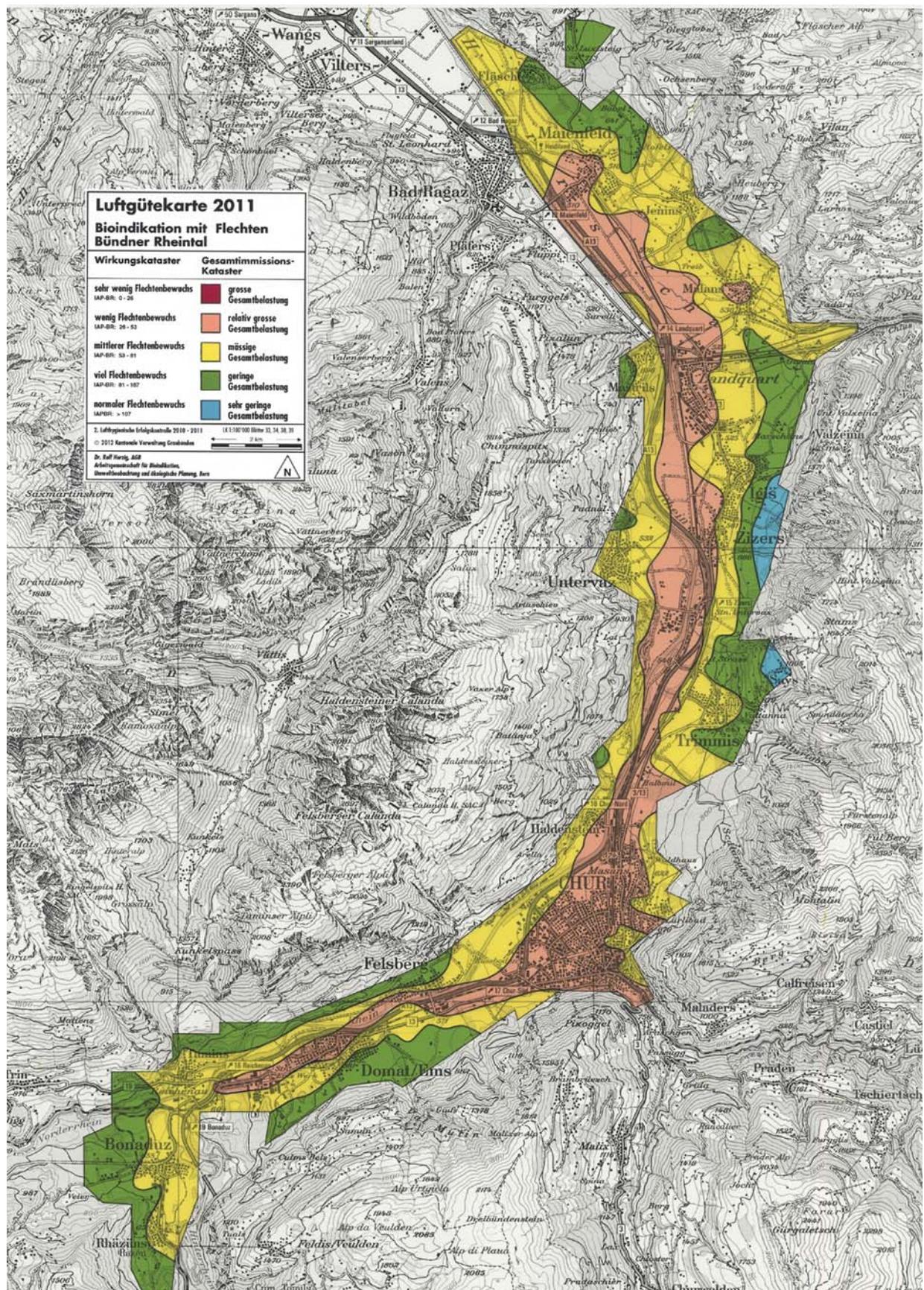


Abb. 1 Aktuelle Luftgütekarte des Bündner Rheintals - Zweite Erfolgskontrolle von 2011

Die orangefarbene Zone mit starker Gesamtbelastung bedeckt aktuell weite Teile des dicht besiedelten, verkehrsbelasteten Talbodens entlang der A13, im Stadtkern von Chur und den Industriegebieten von Trimmis, Landquart und Domat/Ems. Die frühere rote Zone in Chur und Landquart ist völlig verschwunden. Die gelbe Zone mit mittlerer Gesamtbelastung umschliesst in den Randgebieten die orangefarbene Zone. In erhöhten Lagen von Maienfeld bis Bonaduz und Rhäzüns findet sich die grüne Zone mit geringer Gesamtbelastung. Die blaue Zone mit sehr guter Luftqualität zeigt sich nur im Gebiet Obersays und in den Hanglagen oberhalb Igis und Zizers.

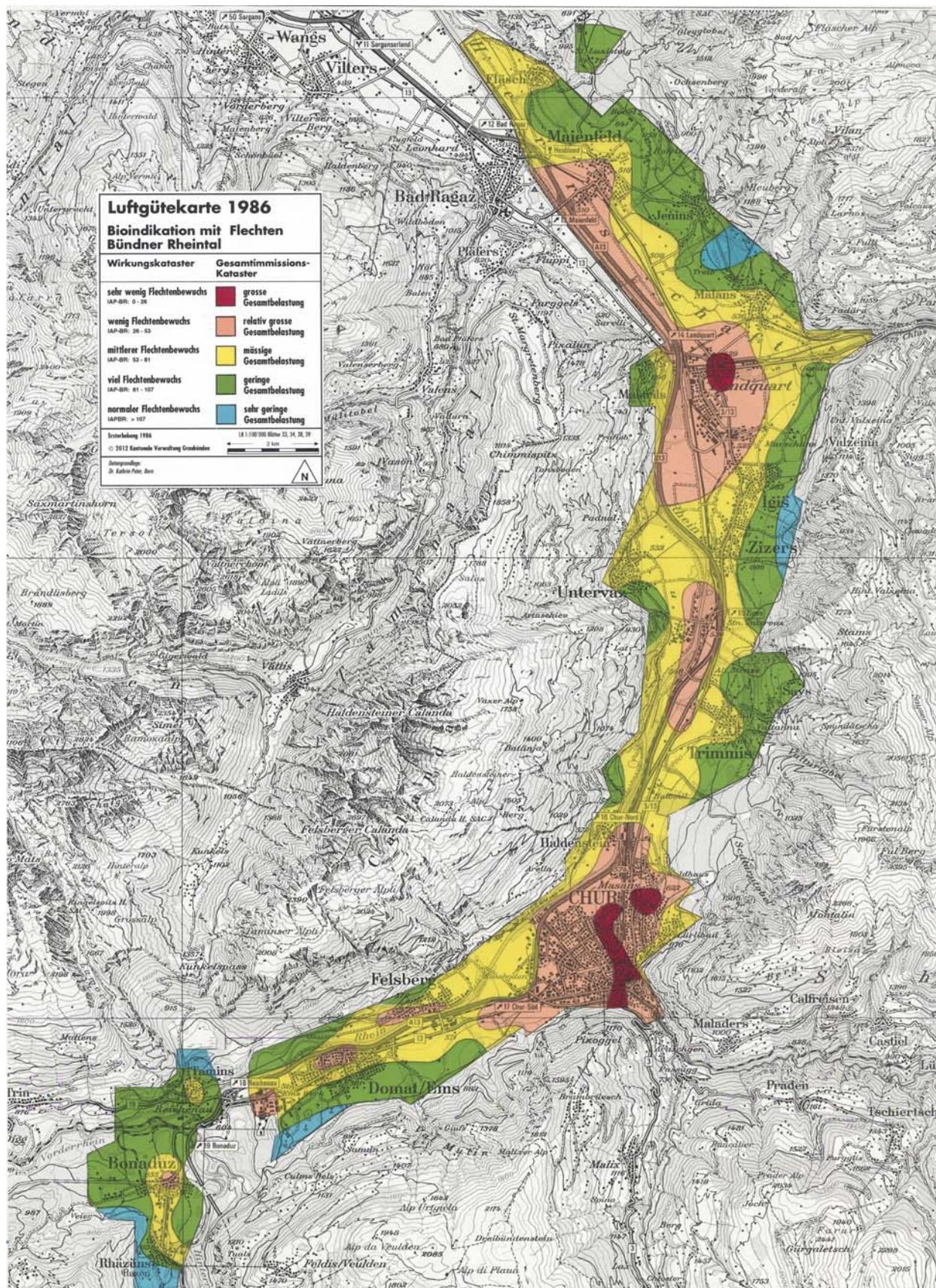
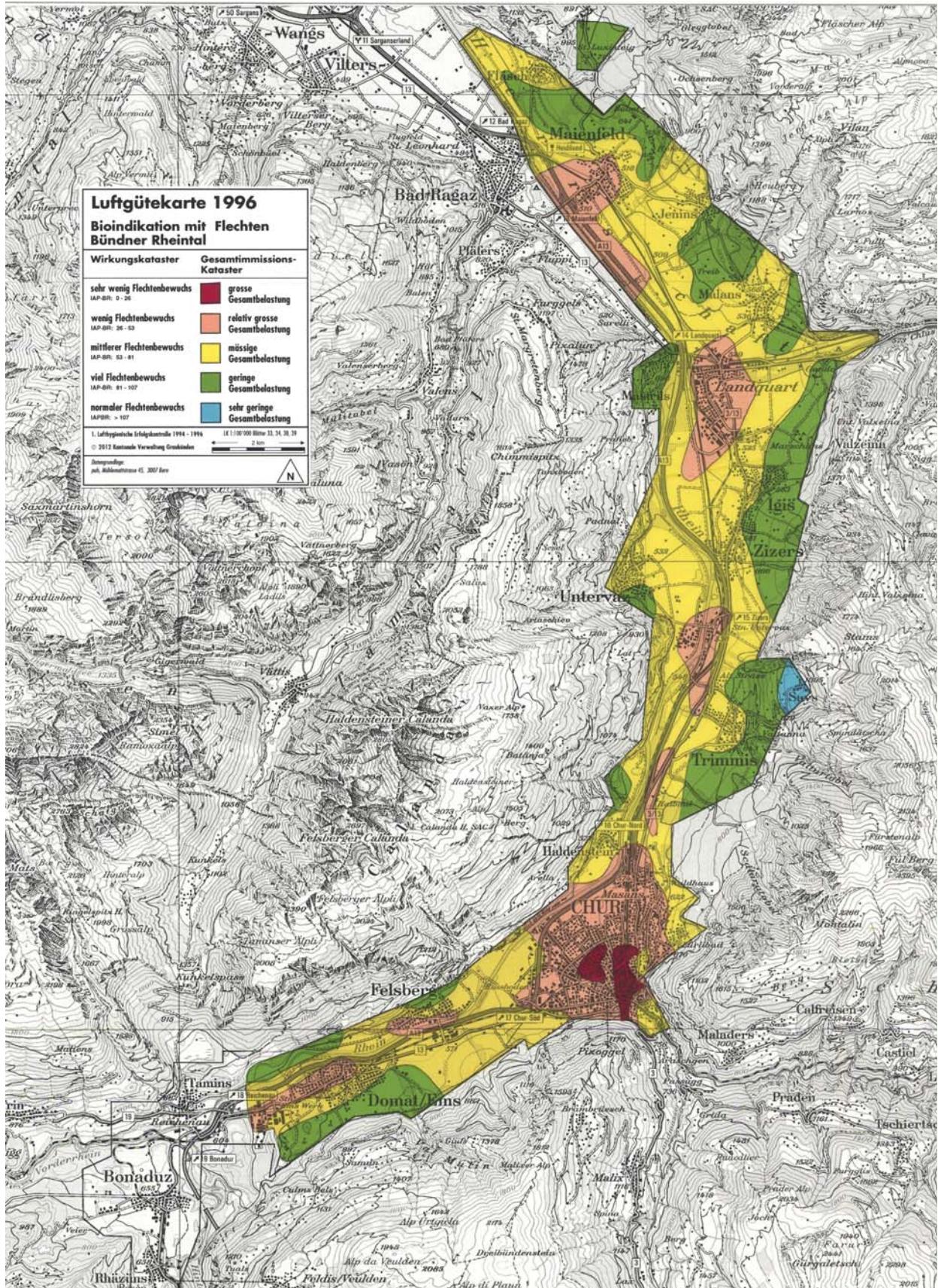


Abb. 2 Erste Luftgütekarte des Bündner Rheintals vor 25 Jahren - Ausgangszustand von 1986

Die am stärksten belastete rote Zone fand sich in zwei zentralen Quartieren von Chur und Landquart. Die orange Zone mit starker Gesamtbelastung fand sich inselförmig im dicht besiedelten, verkehrsbelasteten Talboden entlang der A13, im Stadtzentrum und Peripherie von Chur und den Industriegebieten von Trimmis, Landquart und Domat/Ems und im Ortskern von Bonaduz. Die gelbe Zone mit mittlerer Gesamtbelastung umschloss in den Randgebieten die orange Zone. In erhöhten Lagen von Maienfeld bis Bonaduz zeigte sich die gering belastete grüne Zone. Die blaue Zone mit sehr guter Luftqualität zeigte sich im Gebiet Rhäzüns-Runcaglia und in Hanglage von Tamins, Domat/Ems, Zizers und Malans.



**Abb. 3 Luftgütekarte des Bündner Rheintals vor 15 Jahren - Erste Erfolgskontrolle von 1996**

Die am stärksten belastete rote Zone fand sich nur noch in zwei zentralen Quartieren von Chur. Die orange Zone mit starker Gesamtbelastung fand sich inselförmig im dicht besiedelten, verkehrsbelasteten Talboden entlang der A13, im Stadtzentrum und der Peripherie von Chur und den Industriegebieten von Chur, Trimmis, Landquart und Domat/Ems. Die gelbe Zone mit mittlerer Gesamtbelastung umschloss in den Randgebieten die orange Zone. In erhöhten Lagen von Maienfeld, Mastrils, Zizers, Trimmis bis Domat/Ems und Felsberg zeigte sich die gering belastete grüne Zone. Die blaue Zone mit sehr guter Luftqualität zeigte sich vor 15 Jahren nur noch am Dorfrand von Obersays.

Landquart Ganda, Marschlins, Igis-Zizers, Trimmis bis Says-Valtanna, die Südhänge von Domat/Ems, die Nordhänge von Felsberg bis Tamins sowie die westlich gelegenen Gebiete von Bonaduz und Rhäzüns bis Runcaglia. Auch die Höhengebiete von Mastrils und zwei Randlagen zwischen Untervaz und Haldenstein gehören zu dieser grünen Luftgütezone.

Die **beste blaue Luftgütezone mit sehr geringer Gesamtbelastung** (*Normalzone mit normalem Flechtenbewuchs*) findet sich mit einem aktuellen Flächenanteil von 1.5% im Bündner Rheintal wieder am oberen Dorfrand von Igis und Zizers, wie bereits zum Zeitpunkt der Erstuntersuchung von 1986 sowie am oberen Dorfrand von Obersays, wie zum Zeitpunkt der ersten Erfolgskontrolle von 1996. Die ehemalige blaue Luftgütezone am obersten Dorfrand von Malans hat sich in den letzten 25 Jahren zur Zone grün mit geringer Gesamtbelastung verschlechtert.

Dieselbe Verschlechterung ist mit den früheren blauen Gunstzonen am südlichen Dorfrand von Domat/Ems, in Hanglage über Tamins und im südwestlich gelegenen Gebiet von Rhäzüns bis Runcaglia geschehen, welches heute zur grünen Zone mit geringer Luftgesamtbelastung gezählt werden muss.

Im Bündner Rheintal findet sich heute diese beste blaue Luftgütezone mit sehr geringer Luftgesamtbelastung nur noch in den Höhengebieten von Obersays, Igis und Zizers.

## ● ***Luftqualität im Bündner Rheintal der letzten 25, bzw. 15 Jahre***

Die differenzielle Luftgütekarte (Differenzkarte) zeigt die räumliche Verbreitung der Luftqualitätsveränderungen zwischen der Erstuntersuchung und einer Nachfolgeuntersuchung (Erfolgskontrolle in Form von je zwei standardisierten Zonen einer Luftqualitätsverbesserung, beziehungsweise einer Verschlechterung sowie einer indifferenten Zone, ohne wesentliche Luftqualitätsveränderung auf (Tab.2)).

### ***Differenzkarte zur Luftqualität im Bündner Rheintal der letzten 25 Jahre***

Zum Zeitpunkt der zweiten Erfolgskontrolle im Bündner Rheintal von 2011 kann mit der Differenzkarte im Vergleich zur Erstuntersuchung vor 25 Jahren in 17% der Untersuchungsflächen eine geringe bis starke Luftqualitätsverbesserung (cyan) nachgewiesen werden (Abb. 4).

Eine deutliche Verbesserung der Luftqualität zeigt das grosse Gebiet im Einflussbereich der lufthygienisch sanierten Grossziegelei, der Papierfabrik und der Gastrocknungsanlage in Landquart und zwei grosse Stadtgebiete von Chur.

Dieser Verbesserung steht 46% der Gesamtuntersuchungsfläche gegenüber mit einer geringen bis starken Luftqualitätsverschlechterung (magenta). In den letzten 25 Jahren hat die Siedlungsfläche im Bündner Rheintal deutlich zugenommen. In Maienfeld entstand bei der Autobahn Ausfahrt A13 eine Industriezone. In Landquart wurde die Umfahrung der Prättigauerstrasse in Betrieb genommen, die Ziegelei und die Papierfabrik wurden lufthygienisch saniert. Die Industriezone bei Untervaz/Trimmis ist gewachsen. Kleinere Ortschaften wie Igis, Zizers, Trimmis und Domat/Ems haben sich ausgebreitet. In der Stadt Chur hat die verbaute Wohnfläche zugenommen und die Industriezone hat sich vergrössert.

Auf dem Gemeindegebiet Domat/Ems bei der Abzweigung nach Felsberg hat sich eine Industriezone entwickelt. In Umgebung des Werkplatzes der EMS-CHEMIE AG haben sich weitere Industriezweige angesiedelt. Das Verkehrsaufkommen auf der A13 und den Kantonstrassen hat sich nahezu verdoppelt. In 37% der Untersuchungsgebiete hat sich die Luftqualität nicht wesentlich verändert.

Bündner Rheintal - Differenzkarte				prozentuale Flächenanteile
Veränderung der Luft-Gesamtbelastung Delta der Gesamtimmission	Flechten- bewuchs	Differenzielle	Delta 2011-1986	Delta 2011-1996
		Zonenfarbe	%	%
starke Verbesserung	stark pos.	dunkel-cyan	0.7	0.1
geringe Verbesserung	gering pos.	cyan	16.4	9.7
keine wesentliche Verbesserung	indifferent	weiss	36.7	50.2
gering Verschlechterung	gering -	magenta	34.3	38.4
starke Verschlechterung	stark -	dunkel-magenta	12.0	1.7

### ● **Differenzkarte zur Luftqualität im Bündner Rheintal der letzten 15 Jahre**

Zum Zeitpunkt der Zweiten Erfolgskontrolle von 2011 kann im Bündner Rheintal im Vergleich zur ersten, vor vor 15 Jahren erfolgten Erfolgskontrolle von 1996, in 10% der Untersuchungsflächen eine geringe bis starke Luftqualitätsverbesserung (cyan) nachgewiesen werden (Abb. 5).

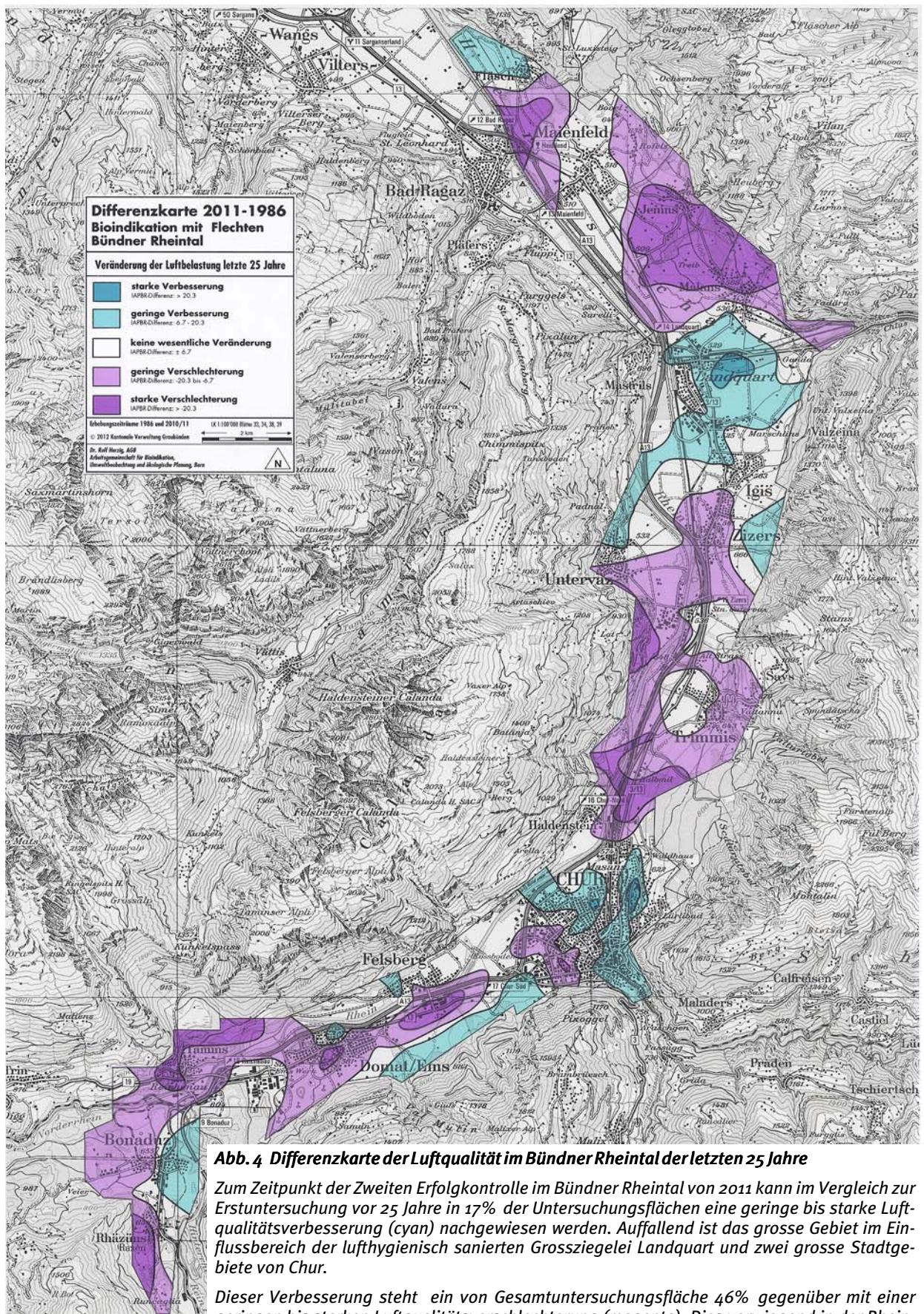
Erneut fallen das Gebiet im Einflussbereich der lufthygienisch sanierten Grossziegelei und Papierfabrik in Landquart, drei grosse Stadtgebiete von Chur sowie der Dorfkern von Domat/Ems und zwei Randgebiete von Felsberg und Domat/Ems und je eines in Zizers und Fläsch, besonders auf. Dieser Verbesserung steht jedoch eine Gesamtuntersuchungsfläche von 40% gegenüber mit einer geringen bis starken Luftqualitätsverschlechterung (magenta). Dies erneut in der Rheintalmulde entlang der Alpentransitachse A13 und entlang der Kantonstrassen, im Grossraum und Industriegebiet von Trimmis, Untervaz, Zizers und Haldenstein, aber auch den Dörfern und Rebgebieten von Jenins und Malans und teilweise auch im Rebgebiet von Maienfeld und Fläsch. Zwei Zonen mit einer starken Luftqualitätsverschlechterung befinden sich im Industriegebiet von Maienfeld und bei Felsberg. In 50% der Untersuchungsgebiete hat sich die Luftqualität in den letzten 15 Jahren nicht wesentlich verändert und kann als indifferent (weiss) bezeichnet werden.

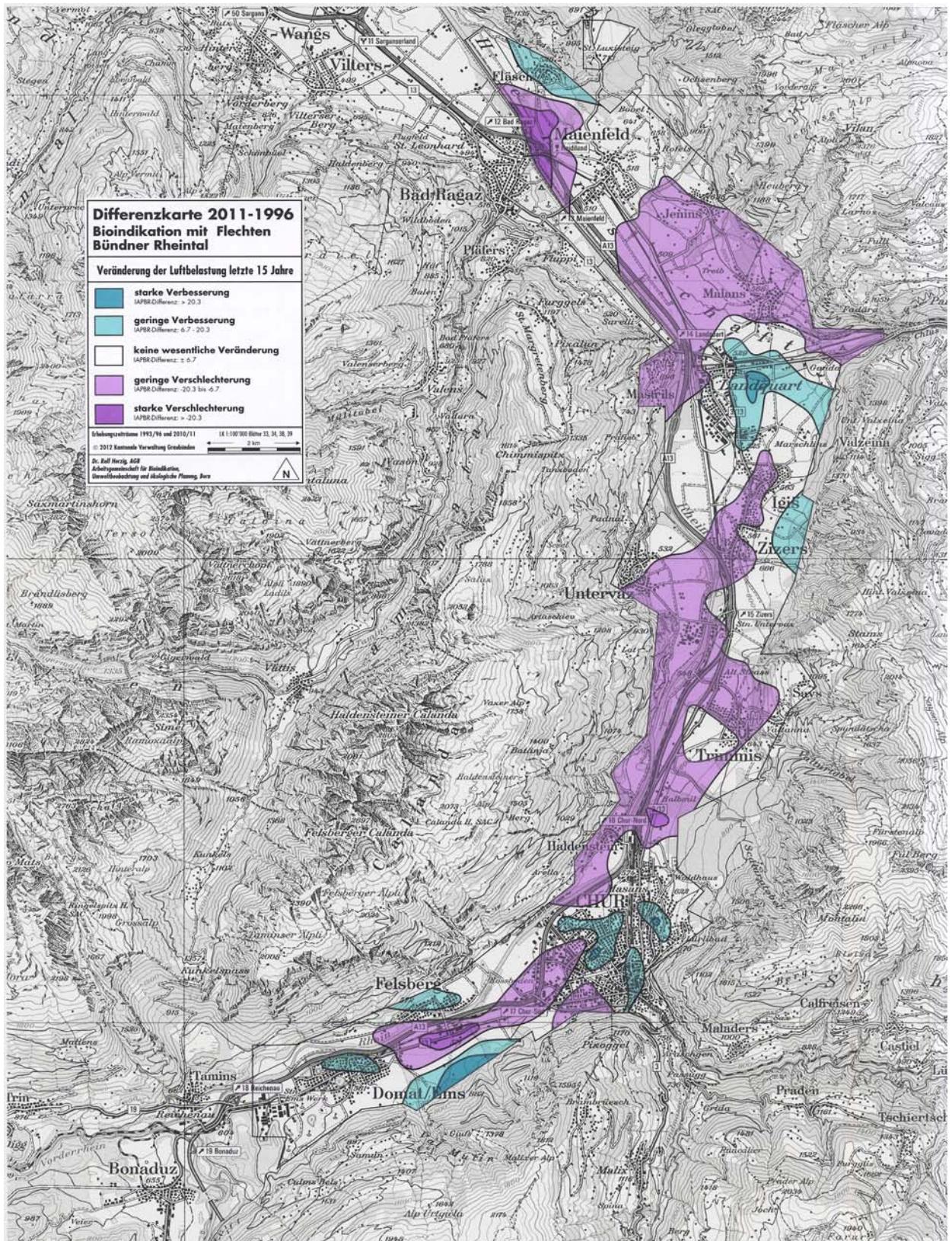
Dass sogar die Rebgebiete von Jenins, Malans und z.T. von Maienfeld, Fläsch und Trimmis ebenfalls von Luftqualitätsverschlechterungen betroffen sind, erstaunt bei der ersten Betrachtung. Wenn man sich jedoch der aussergewöhnlichen Lebensform der Flechten bewusst wird, dann ist sogar zu erwarten, dass die Fungizide, welche im Rebbau in signifikanten Mengen gegen die Pilzerkrankung Mehltau eingesetzt werden, auch auf die extrem empfindlichen Symbioseorganismen Flechten, welche aus Algenzellen und Pilzenhyphen aufgebaut sind, schädigend wirken können. Es muss angenommen werden, dass heute im Rebbau vermehrt hochwirksame Fungizide eingesetzt werden.

### ● **Vergleich der Luftgesamtbelastung der Luftgütekarten mit der Belastung aus den Quellen Verkehr, Industrie/Gewerbe, Dienstleistungen und Haushalte sowie mit den Stickoxid-Immissionen**

#### **Verkehrsbelastung**

Eine Auswertungen zur zeitlichen Veränderung der Verkehrsmenge im Bündner Rheintal in den letzten 25 Jahren haben ergeben, dass sich diese auf der A13 um einen Faktor 1.8 bis sogar 2.15 vergrössert hat, was mit der festgestellten deutlichen Vergrösserung der orangen Luftgütezone mit relativ grosser Gesamtbelastung gut übereinstimmt. Auf den kantonalen Hauptverkehrsstrassen war die Verkehrszunahme in der gleichen Zeitspanne mit einen Faktor 1.3 bis 1.9 etwas geringer als auf den Alpentransitachse A13.





**Abb. 5 Differenzkarte der Luftqualität im Bündner Rheintal der letzten 15 Jahre**

Zum Zeitpunkt der Zweiten Erfolgskontrolle von 2011 kann im Bündner Rheintal im Vergleich zur Ersten Erfolgskontrolle von 1996 in 10% der Untersuchungsflächen eine geringe bis starke Luftqualitätsverbesserung (cyan) nachgewiesen werden. Erneut fällt das Gebiet im Einflussbereich der lufthygienisch sanierten Grossziegelei und Papierfabrik Landquart und drei grosse Stadtgebiete von Chur sowie dem Dorfkern von Domat/Ems und in Radgebieten von Felsberg und Domat/Ems besonders auf.

Dieser Verbesserung steht jedoch eine Gesamtuntersuchungsfläche von 40% gegenüber mit einer geringen bis starken Luftqualitätsverschlechterung (magenta). Dies besonders in der Rheintalmulde entlang der A13 und entlang den Kantonsstrassen, im Grossraum und Industriegebiet Trimmis und den Rebgebieten von Jenins, Malans und z.T. Maienfeld. Zwei Zonen mit einer starken Luftqualitätsverschlechterung befinden sich in den Industriegebieten von Maienfeld und Felsberg. In 50% der Untersuchungsgebiete hat sich die Luftqualität in den letzten 15 Jahren nicht wesentlich verändert (weiss).

## ***Reduzierte Emissionsfrachten aus Industrie/Gewerbe, Dienstleistungen sowie Haushaltungen***

Die anhand der Luftgütekarten visualisierten deutlichen Luftqualitätsverbesserungen im Bündner Rheintal sind der sichtbare Ausdruck von sehr bedeutenden Reduktionen der Emissionsfrachten von Grossfeuerungen und Prozessanlagen der wichtigsten Industrie-, Gewerbe und Dienstleistungsbetriebe sowie von unzähligen Hausfeuerungen in den letzten 25 Jahren. So konnte im Gebiet Landquart - Zizers- Trimmis mit den realisierten grossen technischen lufthygienischen Sanierungen, nebst anderen Massnahmen, wie Verkehrsberuhigung, Gastrocknungsanlage etc., anhand der beiden Differenzkarten im 25- und 15-jährigen Zeitabstand die bedeutendsten Luftqualitätsverbesserungen nachgewiesen werden. Diese reichen im Gebiet Landquart sogar zu einer Verbesserung um zwei Luftgüte-Differenzzonen. Dasselbe positive Bild zeigt sich nach einem Mix von realisierten Sanierungsmassnahmen auch in Chur in den südlichen Quartieren Arlibon, Lürlibad, Katz, Halde und St. Hilarien sowie den nördlich gelegenen Quartieren Rheinmühle, Unter Au und Titt bis zur Ringstrasse.

### **● *Stickoxid-Immissionen***

Die langjährigen NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentrations-Messungen des ANU im Bündner Rheintal und Misox belegen den landesweiten Abnahmetrend in der NO<sub>2</sub>-Belastung. Am deutlichsten sichtbar ist dieser Trend für die A13-Messstation Rothenbrunnen, in geringerem Ausmass auch für die A13-Stationen Maienfeld, Roveredo sowie den Stationen Zizers und Chur Rhätische Bahn. Für die A13-Station Chur-Industrie hingegen zeigt sich seit 1989 sogar wieder ein steigender Trend in der NO<sub>2</sub>-Belastung.

### ***Vergleich der Luftgütezonen mit der aktuellen NO<sub>2</sub>-Belastung***

Deskriptive Vergleiche der NO<sub>2</sub>-Belastung (Jahersmittel) mit den Gesamtluftbelastungs-Zonen erlauben die folgenden Aussagen. In der heute im Bündner Rheintal nicht mehr nachweisbaren roten Zone mit grosser Luftgesamtbelastung betrug früher die NO<sub>2</sub>-Belastung im Mittel 37,5 µg/m<sup>3</sup> (Streuung 33-43), womit in dieser Luftgütezone der NO<sub>2</sub>-Immissionsgrenzwert der LRV mit Sicherheit überschritten wurden.

In der orangen Zone beträgt der aktuelle Mittelwert aller NO<sub>2</sub>-Jahresmittel von 2011 23,1 µg/m<sup>3</sup> bei etwas grösserer Streuung (14-27,5). Damit wird der Immissionsgrenzwert der LRV im Mittel nicht überschritten, an besonders verkehrsexponierten Messstandorten jedoch schon.

Für die gelbe Luftgütezone mit einer mässigen Luftgesamtbelastung ergibt sich ein mittlerer Zonenwert der NO<sub>2</sub>-Belastung von 17,7 µg/m<sup>3</sup> (Streuung 14-27,5). Damit sind Grenzwertüberschreitungen in dieser Zone, mit Ausnahme des unmittelbaren Nahbereichs von stark befahrenen Strassen nicht mehr zu erwarten.

Für die grüne und blaue Luftgütezone ergeben sich noch tiefere mittlere Belastungswerte von NO<sub>2</sub>, welche für die grüne Zone bei 14,5 und für die beste blaue Zone bei 10,6 µg/m<sup>3</sup> liegen. Aufrund dieser Vergleichserfahrung können Grenzwertüberschreitungen von NO<sub>2</sub> in beiden Zonen ausgeschlossen werden. Zonenwert der NO<sub>2</sub>-Belastung von 17,7 µg/m<sup>3</sup> (Streuung 14-27,5). Damit sind Grenzwertüberschreitungen in dieser Zone, mit Ausnahme des unmittelbaren Nahbereichs von stark befahreren Strassen nicht mehr zu erwarten.

Für die grüne und blaue Luftgütezone ergeben sich noch tiefere mittlere Belastungswerte von NO<sub>2</sub>, welche für die grüne Zone bei 14,5 und für die beste blaue Zone bei 10,6 µg/m<sup>3</sup> liegen. Aufrund dieser Vergleichserfahrung können Grenzwertüberschreitungen von NO<sub>2</sub> in beiden Zonen ausgeschlossen werden.

## ● ***Bevölkerungsexposition und Luftqualität im Bündner Rheintal***

Der Vergleich der aktuellen Luftgütekarte von 2011 sowie der Differenzkarte zur Veränderung der Luftqualität in den letzten 25 Jahren mit der aktuellen Wohnbevölkerung erlaubt erstmalige Aussagen zur Bevölkerungsexposition in den verschiedenen Luft-Gesamtbelastungszonen im Bündner Rheintal und auch im Misox.

Mit der aktuellen Luftgütekarte von 2011 kann aufgezeigt werden, dass trotz dem Verschwinden der am stärksten belasteten roten Zone, aktuell 30% der Wohnbevölkerung in der vergleichsweise stark ausgeweiteten orangen Zone mit relativ starker Gesamtbelastung der Luft leben müssen (Abb. 6).

Andererseits zeigt sich mit Hilfe der Differenzkarte auch, dass heute fast 30% der Bündner Rheintaler Bevölkerung, besonders im Grossraum Chur und Landquart, von einer gering bis sogar stark verbesserten Luftqualität profitieren können, dies im Vergleich zur Erstuntersuchung vor 25 Jahren (Abb. 7).

## ● ***Differenzierung der Luftgüteveränderungen mittels Acid- und Nitroindex***

Mit flechanartenspezifischen Feinauswertungen, wie dem Acidointdex konnten im Vergleich zu den beiden früheren Untersuchungen nachgewiesen werden, dass sich der Immissionstyp im Bündner Rheintal zu insgesamt basischeren Immissionen verändert hat. Dies ist mit der starken Belastungsreduktion von Säurebildnern, wie SO<sub>2</sub>, HCl. u.a. zu erklären, welche heutzutage dank erfolgreich realisierten Sanierungsmassnahmen auf sehr tiefen Niveau liegen.

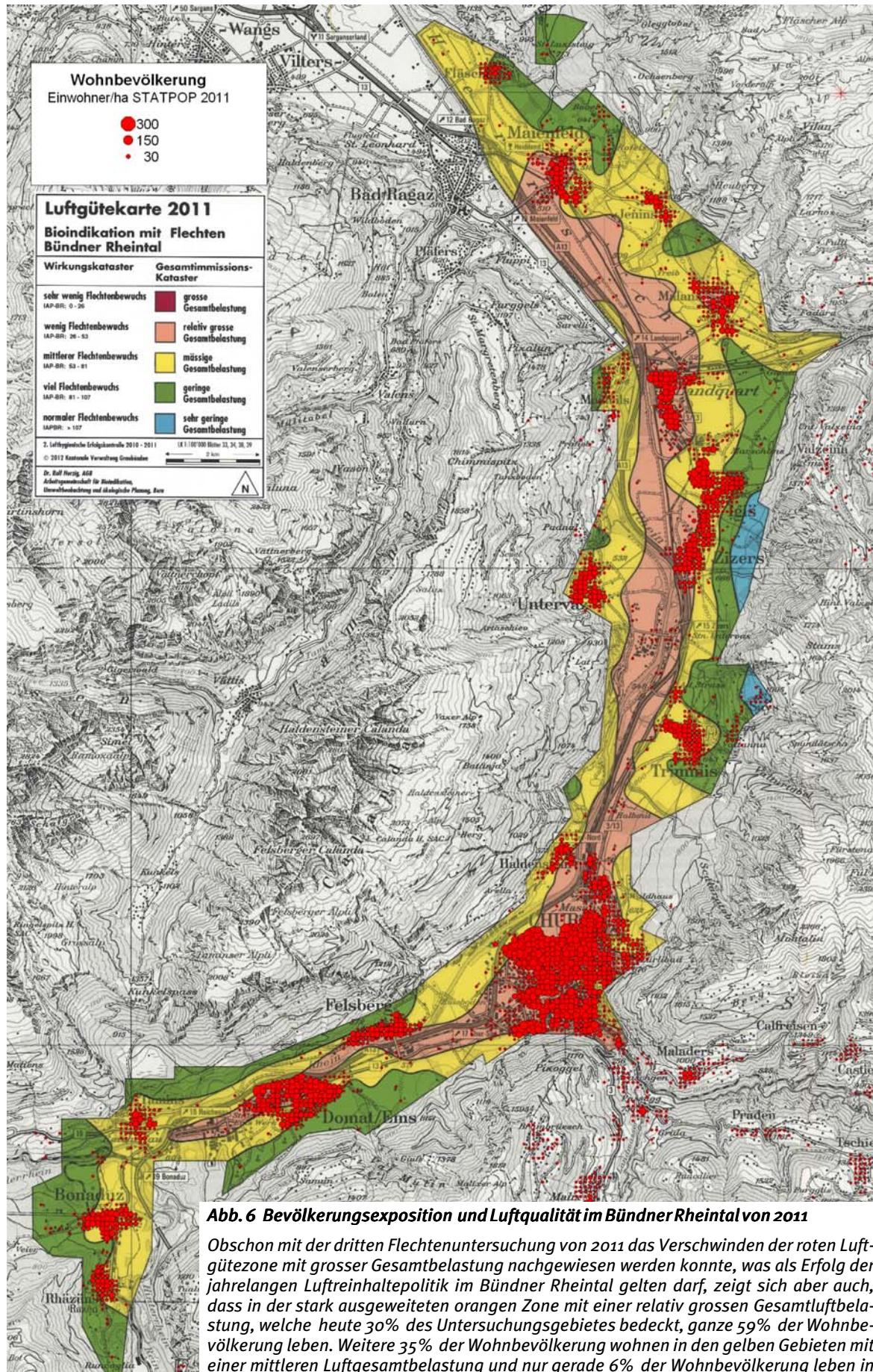
Der Nitroindex, welcher bioindikative Rückschlüsse auf die Gesamtstickstoffbelastung ermöglicht, zeigt im Vergleich der letzten 15 Jahre, eine zunehmende Belastung besonders von Gebieten mit einer hohen Belastung. Diese befinden sich in den dicht besiedelten und verkehrsbelasteten, tiefergelegenen Gebieten sowie in den Industrie- und Gewerbegebieten des Rheintals.

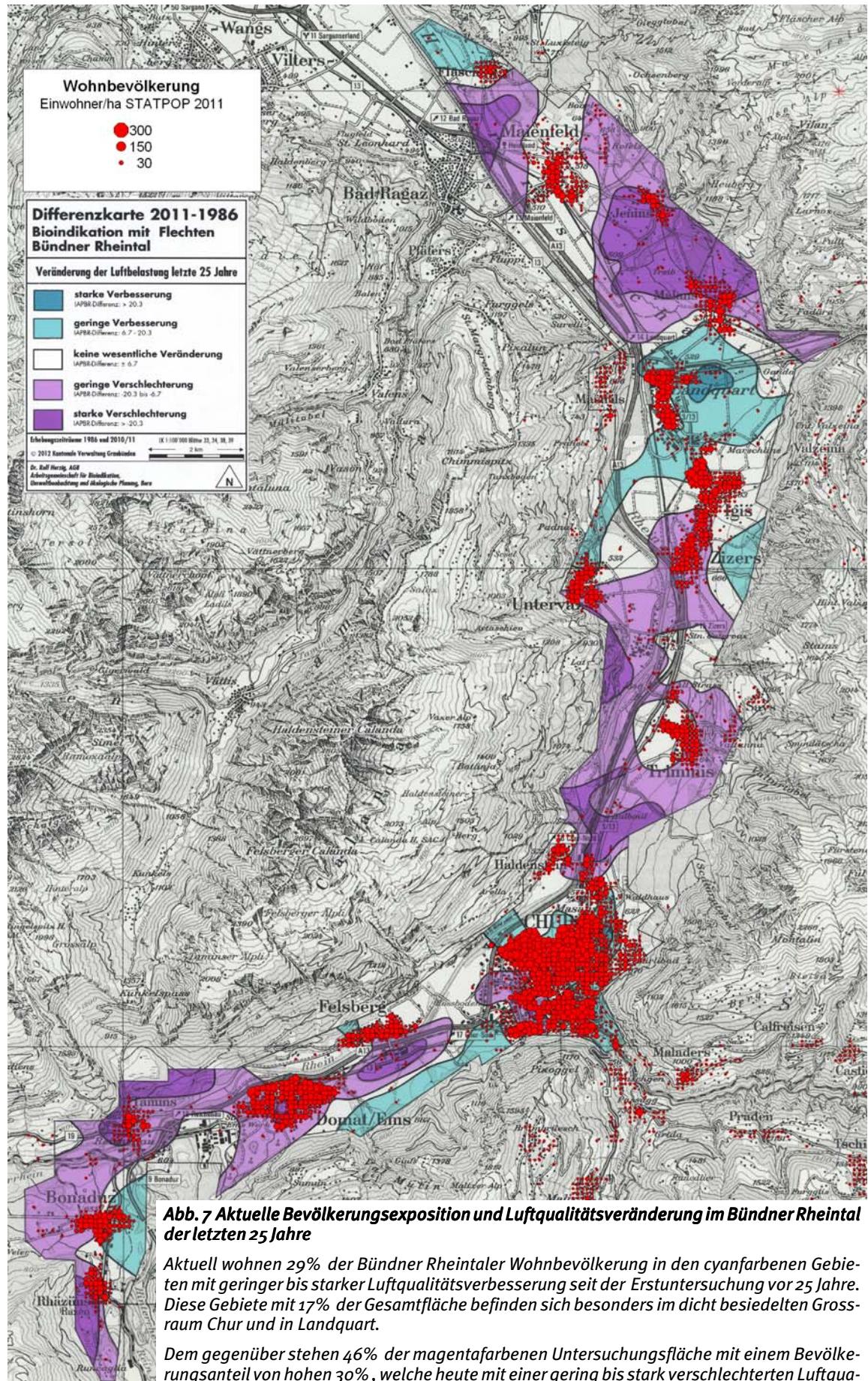
## ● ***Hauptursachen der Flechtenvegetations- und Luftqualitätsveränderungen sowie Bedeutung der globalen Klimaveränderung***

Nach einer sorgfältigen Datenanalyse beider Langzeitdatensätze des Bündner Rheintals und Misox über 20 - 25 Jahre hinweg kann ich den in der Fachliteratur für spezielle Flechtenarten postulierte Temperaturreffekt der globalen Klimaerwärmung auf die aktuelle Flechtenartenverbreitung bisher nicht erkennen.

Nach meiner Einschätzung können die tatsächlich eingetretenen Veränderungen in der Häufigkeit der verschiedenen Flechtenarten und der daraus abgeleiteten Veränderungen in der Luftgüte, bzw. Luftgesamtbelastung mit den zwischenzeitlich eingetretenen bedeutenden Immissionsänderungen ausreichend gut erklärt werden.

Allerdings darf von den zeitlichen Konzentrationsänderungen von Einzelschadstoffen, wie der NO<sub>2</sub>-Belastung, die am besten dokumentiert ist, nicht eine punktgenaue Abbildung der Flechtenreaktion in den Luftgütekarten erwartet werden. Zum einen ist dabei zu beachten, dass Bioindikatoren als Organismen stets mit einer gewissen Verzögerungszeit, im Falle der Flechten mit etwa einem Jahr Verzug auf Umweltveränderungen, wie Immissionsänderungen reagieren. Zum andern erfolgt diese Wirkungsantwort nur in den seltensten Fällen in linearer Weise, sondern in der Regel komplex und unter Berücksichtigung von synergistischen und antagonistischen Prozessen.





Die auch im Bündnerland nachgewiesene Flechtenartenverschiebung, welche sehr uneinheitlich ausfällt und einen leichten Trend zeigt, weg von den säureliebenden acidophilen Arten früherer Zeiten hin zu mehr neutro- und basiphilen Arten von heute, kann mit den bedeutenden Immissionsänderungen und auch qualitativen Veränderungen in der Schadstoffzusammensetzung der letzten 25 Jahre, wie das weitgehende Verschwinden des sauren Regens von damals, gut erklärt werden. Letzteres zeigt sich in der markanten Reduktion von früheren Säurebildnern, wie z. B. der SO<sub>2</sub>- und HCl-Belastung.

Sollten allerdings die Prognosen zur Klimaentwicklung, wie sie MeteoSchweiz bis zum Ende des 21. Jahrhunderts für die ungebremste Klimaerwärmung, ohne Beschränkung der Treibhausgase vorlegt, in Chur und anderswo, tatsächlich zu einer Zunahme der mittleren Jahres temperatur von bis zu 4°C bis 2085 führen, dann müsste durchaus mit einer klimabedingten Reaktion der Flechtenvegetation gerechnet werden.

Das Szenario RCP3PD, das von MeteoSchweiz u.a. untersuchte realistische Zukunftsszenario des Weltklimaraats (IPCC), welches eine 50% Reduktion der Treibhausgasemissionen vorsieht, führt uns jedoch in eine bessere Zukunft, in der wir Menschen, Tiere, Pflanzen, Ökosysteme, ohne allzugrosse Beeinträchtigung überleben können und uns auch die Flechten weiterhin als sichere Indikatoren der gesamtheitlichen Luftqualitätsentwicklung dienen werden.

### **Handlungsbedarf bleibt bestehen...**

Die mittels der immissionsempfindlichen Baumflechten nun schon zum dritten Mal erstellten Luftgütekarten des Bündner Rheintals weisen für die aktuelle Zweite Erfolgskontrolle von 2011, 25 Jahre nach der Erstuntersuchung, für 30,5% des Untersuchungsgebietes eine relativ starke Luftgesamtbelastung (orange) aus. Die stärkst belastete rote Zone mit starker Luftgesamtbelastung konnte hingegen nicht mehr nachgewiesen werden. Die gelbe Luftgütezone mit mittlerer Luftgesamtbelastung macht heute bereits 45,5% der Untersuchungsfläche aus. Eine bessere Luftqualität findet sich im Bündner Rheintal fast ausschliesslich in höher gelegenen und von den Hauptverkehrsachsen abgewandten Gebieten, welche aktuell 26% der Untersuchungsfläche ausmachen.

Mit der Luftgütekarte von 2011 wurde auch erstmalig aufgezeigt, dass trotz dem Verschwinden der am stärksten belasteten roten Zone aktuell 59% der Wohnbevölkerung in der stark ausgeweiteten orangen Zone mit relativ starker Gesamtbelastung der Luft leben müssen. Andererseits zeigt sich mit Hilfe der Differenzkarte auch, dass heute fast 30% der Bündner Rheintaler Bevölkerung, besonders im Grossraum Chur und Landquart, von einer gering bis sogar stark verbesserten Luftqualität profitieren können, allerdings wohnen im Vergleich zur Erstuntersuchung vor 25 Jahren auch 30% der Bevölkerung in Gebieten mit einer Verschlechterung der Luftgüte und bei weiteren 40% hat sich die Luftgüte nicht verändert.

Von besonderer Bedeutung sind die dabei die verkehrsbelasteten Gebiete mit schlechter lufthygienischer Durchlüftung, wie die Ortszentren mit engen Strassenschluchten von Chur, Maienfeld, Landquart, Zizers, Trimmis und Domat/Ems, welche gemäss der aktuellen Luftgütekarte zur orangen Zone mit relativ starker Luftgesamtbelastung zählen. In diesen Gebieten können Massnahmen im Bereich Verkehr und Feuerungen rasch zu einer deutlichen Belastungsminderung führen. Solche verkehrsbezogene Luftreinhaltemassnahmen sind im Massnahmenplan den auch entsprechend enthalten.

Nebst wenigen besonders effizienten Einzelmaßnahmen, wie die weitere Beschränkung der Emissionsfrachten bei Grossbetrieben und der Holzfeuerungskontrolle, incl. Partikelabscheider, sind eine Vielzahl von verschiedener Maßnahmen zusätzlich notwendig, zur nachhaltigen Reduktion der übermässigen Ozon, NOx und Feinstaubbelastung.

Von besonderer Bedeutung sind auch die Maßnahmen zur Minderung von kurzfristigen Spitzenbelastungen, wie während den Inversionslagen. Dafür sieht der Maßnahmenplan Sofortmaßnahmen vor wie z.B. die Ozon- und Feinstaub-Sofortmaßnahmen, mit welchen Belastungsspitzen von NOx, Dieselruss, Feinstaub und im Sommer indirekt auch von Ozon, wirksam reduziert werden sollen.

Mit einer weiterhin griffigen Luftreinhaltepolitik sollten deshalb vorab die dicht besiedelten orangefarbenen Zentrumsgebiete, welche heute noch eine relativ starke Luftgesamtbelastung aufweisen, zum Wohle der Bevölkerung weiter entlastet und möglichst bis zu nächsten Flechtenuntersuchung ganz zum Verschwinden gebracht werden.

Mit einer dritten Erfolgskontrolluntersuchung in zehn Jahren könnte dann der Erfolg dieser zusätzlichen Luftreinhaltemaßnahmen erneut präzise überprüft werden.