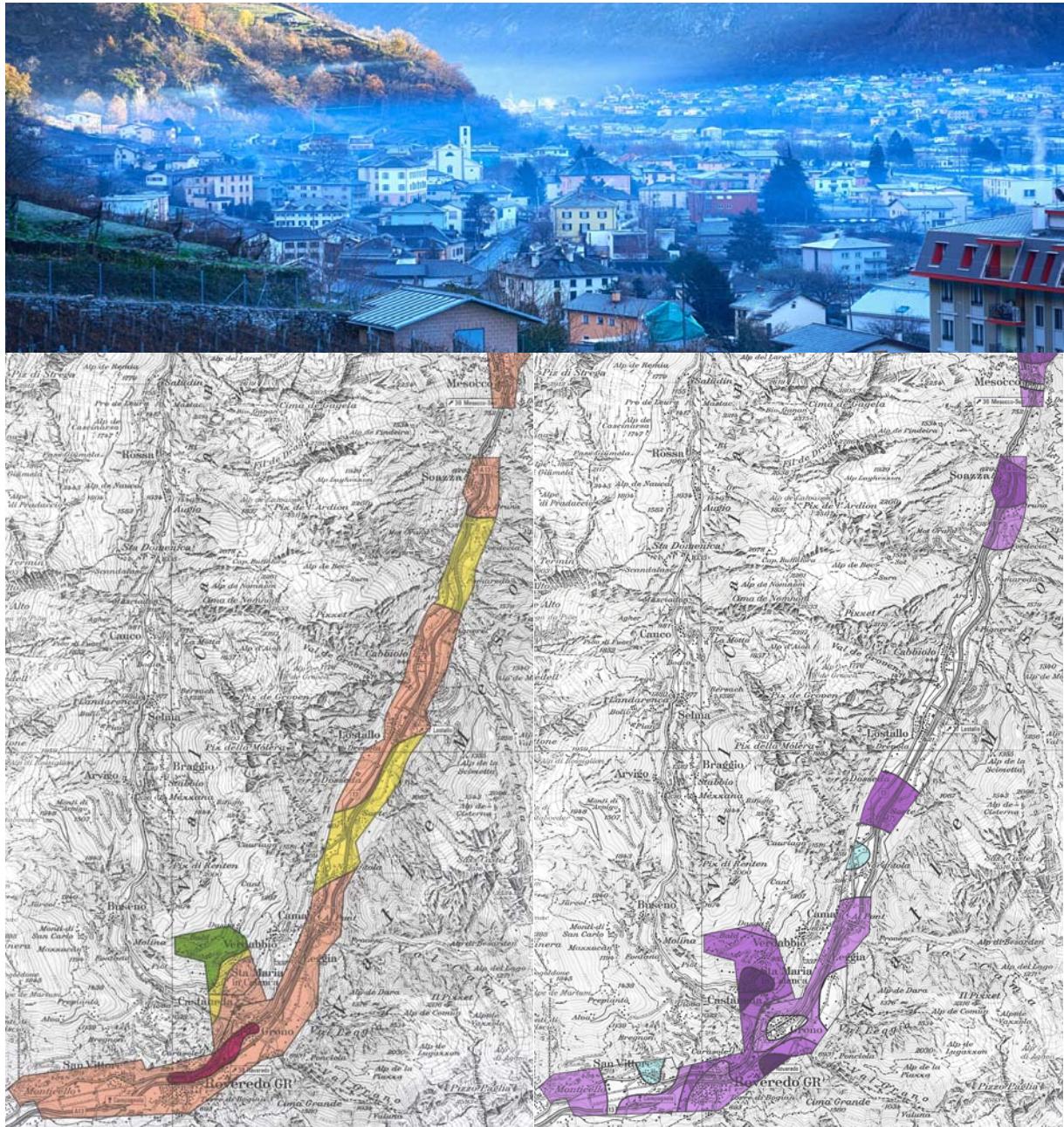


# Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten im Kanton Graubünden

## Zweite Erfolgskontrolle - Dritte Erhebung im Misox von 2012



### Kurzfassung

31. Januar 2014

## **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**

*Hanna Britt-Barth, Winterthur,  
Rita Brühlhart und Niko Tschacher, Bern  
Hans Zimmermann, MapInfo-Experte, Bern und Lipari*

# **Luftqualität im Misox anhand der dritten Flechtenkartierung von 2012 - 21 Jahre nach der Erstuntersuchung**

## **● Dritte Flechtenkartierung im Misox**

Gestützt auf die positiven Erfahrungen mit bereits zwei vorliegenden Flechtenuntersuchungen hat sich das Amt für Natur und Umwelt (ANU) des Kantons 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 25km<sup>2</sup> grossen Misox zwischen Mesocco und Monticello wurde vom Sommer 2012 mit Hilfe von Flechten an Laubbäumen durchgeführt. Die Untersuchung erfolgte mit derselben «Misoxer Flechtenindikationsmethode», welche seit mehr als zwei 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 Lüftgütekarten können direkt mit den beiden früheren Misoxer Untersuchungen und dank einer Spezialkarte erstmals auch mit denjenigen aus dem Bündner Rheintal verglichen werden. Zusätzlich veranschaulichen die beiden Differenzkarten die Veränderung der Luftgüte in beiden Beobachtungszeiträumen der letzten 21, beziehungsweise 13 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 erfasst. 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 Flechtenindikationsmethode 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 Luftreinhaltmaßnahmen genutzt. Dabei werden die Ergebnisse einer Wiederholungskartierung mit denjenigen der Ersterhebung verglichen.*

Weil die «Bündner Flechtenindikationsmethode» und die «Misoxer Methode», welche eine Adaptation ans Misox darstellt, 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 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 Luftschatdstoffen.

Die sechszonige Misoxer Luftgütekarte unterscheidet die in der Tabelle 1 gezeigten Gesamtbelastungszonen:

- magentafarbene Luftgütezone mit vereinzeltem Flechtenbewuchs und übermässiger Gesamtbelastung
- 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.

## ● Die aktuelle Luftqualität im Misox von 2012

Die aktuelle Luftgütekarte von 2012, welche mittels der Misoxer Flechtenindikationsmethode erstellt wurde, lässt deutliche Unterschiede in der Ausprägung der Flechtenvegetation, bzw. in der Luftqualität erkennen (Abb. 1). Sie stellt ein getreues Abbild der Schadwirkungen der gesamten Luftschatdstoffbelastung auf die immissions-empfindliche Flechtenvegetation dar.

In der aktuellen Luftgütekarte Misox von 2012 konnten, wie bereits bei der früheren Untersuchung vor 13 Jahren, nur noch vier von insgesamt sechs möglichen Luftgütezonen nachgewiesen werden. Diese Luftgütezonen treten im Untersuchungsgebiet mit unterschiedlicher Flächenausbreitung auf (Abb. 2, Tab. 1). Diese Tabelle zeigt auch den Vergleich mit den beiden bisherigen Flechtenuntersuchungen, der Ersterhebung von 1991 und der Ersten Erfolgskontrolle von 1999 (Abb. 2, 3).

**Tab. 1 Vergleich der aktuellen Luftgütekarte Misox von 2012 mit den früheren Erhebungen von 1999 und 1991.**

Flächenanteile der sechs Gesamtimmissions- und Flechtenwuchs- zonen der aktuellen Luftgütekarte Misox und Belastungsvergleiche im 13- und 21- jährigen Zeit- abstand.

- Abnahme
- + Zunahme der Luftgüte

Misox (6 Luftgütezonen)	Flechten- bewuchs	relative Flächen- anteile [%]					relative Flächen- veränderung [%]	
		Zonen- Farbe	1991	1999	2012	2012/'91	2012/'99	
			%	%	%	21 Jahre		
übermässige Gesamtbelastung	vereinzelt	magenta	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
sehr grosse Gesamtbelastung	sehr wenig	rot	12.7	10.3	30.1	147.7	198.9	
grosse Gesamtbelastung	wenig	orange	60.1	60.7	63.9	10.9	9.7	
mässige Gesamtbelastung	mittel	gelb	18.3	24.0	3.0	-82.8	-86.9	
geringe Gesamtbelastung	viel	grün	4.8	4.9	3.0	-35.2	-37.0	
sehr geringe Gesamtbelastung	sehr viel	blau	4.2	0.0	0.0	-100.0	-100.0	

Mit einem Flächenanteil von 63.9% dominiert aktuell die orange Luftgütezone mit grosser Gesamtbelastung, gefolgt von der roten Zone mit sehr grosser Gesamtbelastung mit 30.1% und der gelben und grünen Zone mit mässiger bis geringer Gesamtbelastung mit je 3%. Die Normalzone blau mit sehr geringer Gesamtbelastung, welche zum Zeitpunkt der Ersten Erfolgskontrolle von 1991 noch 4.2% Flächenanteil aufwies ist aktuell völlig verschwunden, allerdings musste dies schon von 13 Jahren konstatiert werden.

## ● **Die Luftgesamtbelastung im Misox in den verschiedenen Belastungszonen**

Die **magentaarbene Luftgütezone** mit **übermässiger Gesamtbelastung** (vereinzelter Flechtenbewuchs) konnte mit der aktuellen zweiten Erfolgskontrolle von 2012, wie auch mit den beiden früheren Untersuchungen von 1991 und 1999, im ganzen Misox nicht nachgewiesen werden.

Die **rote Luftgütezone** mit **sehr grosser Gesamtbelastung** (sehr wenig Flechtenbewuchs) hat sich zum Zeitpunkt der zweiten Erfolgskontrolle von 2012 deutlich vergrössert und erstreckt sich heute in einer breiten Belastungsschneise von Monticello über San Vittore und die höher gelegenen Dorfteile von Roveredo, Grono und Leggia bis nach Cama und Al Pont. Der Flächenanteil der roten Luftgütezone beträgt heute 30.1%. Im Vergleich zu beiden früheren Untersuchungen (Abb. 2, 3) hat sich diese zweitstärkste Luft-Gesamtbelastungszone besonders entlang der A13 und der Kantonsstrasse sehr deutlich vergrössert. Die früheren Belastungszentren von San Vittore, Roveredo und Grono sind aktuell zu einer durchgehenden und relativ mächtigen Belastungsschneise entlang der A13 und Kantonsstrasse angewachsen und umfassen heute die bevölkerungsstarken Wohngebiete zwischen Cama und Monticello. Auffallend ist auch, dass diese am stärksten belasteten Gebiete ausschliesslich im unteren Misox auftreten, welches auch zum Tessin hin expo niert ist. Gegenüber der Erstuntersuchung vor 21 Jahren kann in Lostallo heute eine Verbesserung um eine Luftgütezone (rot nach orange) nachgewiesen werden.

Die **orange Zone** mit **grosser Gesamtbelastung** (wenig Flechtenbewuchs) findet sich aktuell mit grosser Flächenausdehnung von 63.9% fast im gesamten nördlichen Misox entlang der Alpentransitautobahn A13 und der Kantonsstrasse zwischen dem westlichen Cama, dem Dorfzentrum von Leggia und Mesocco sowie in einem etwas erhöhten, südlich gelegenen Gebietsband zwischen Grono und Roveredo bis Campagnola. Auch in Castaneda und Santa Maria dominiert aktuell die orange Luftgütezone mit grosser Gesamtbelastung. Im Vergleich zu beiden früheren Untersuchungen (Abb. 3, 4) hat sich diese drittstärkste Luft-Gesamtbelastungszone im nördlichen Misox entlang der A13 und der Kantonsstrasse und besonders in der Hangzone von Roveredo, Grono, Castaneda und Santa Maria vergrössert.

Die **gelbe Zone** mit **mittlerer Gesamtbelastung** (mittlerer Flechtenbewuchs) hat sich vergleichsweise deutlich verringert und beschränkt sich aktuell mit einem Flächenanteil von nur noch 3% auf den oberen Dorfteil von Santa Maria und die östliche Hangzone von Pomareda und Fordecia.

Die **grüne Zone** mit **geringer Gesamtbelastung** (viel Flechtenbewuchs) beschränkt sich heute mit einem Flächenanteil von nur noch 3% vorwiegend auf die Monti von Santa Maria. Diese zählten noch bei der Erstuntersuchung von 1991 zur blauen Luftgütezone mit sehr geringer Gesamtbelastung. Bei der ersten Erfolgskontrolle von 1999 musste bereits eine Verschlechterung hin zur grünen Luftgütezone nachgewiesen werden.

Die **blaue Luftgütezone** mit **sehrgeringer Gesamtbelastung** (Normalzone mit normalem Flechtenbewuchs) konnte im oberen Dorfteil von Santa Maria und den Monti nur mit der Erstuntersuchung von 1991 nachgewiesen werden. Seither ist es mit der ersten und zweiten Erfolgskontrolle in diesem Gebiet zu einer Luftqualitätsverminderung gekommen. Im Gegensatz zum Bündner Rheintal kann diese beste blaue Luftgütekasse im Untersuchungsgebiet Misox nicht mehr nachgewiesen werden.

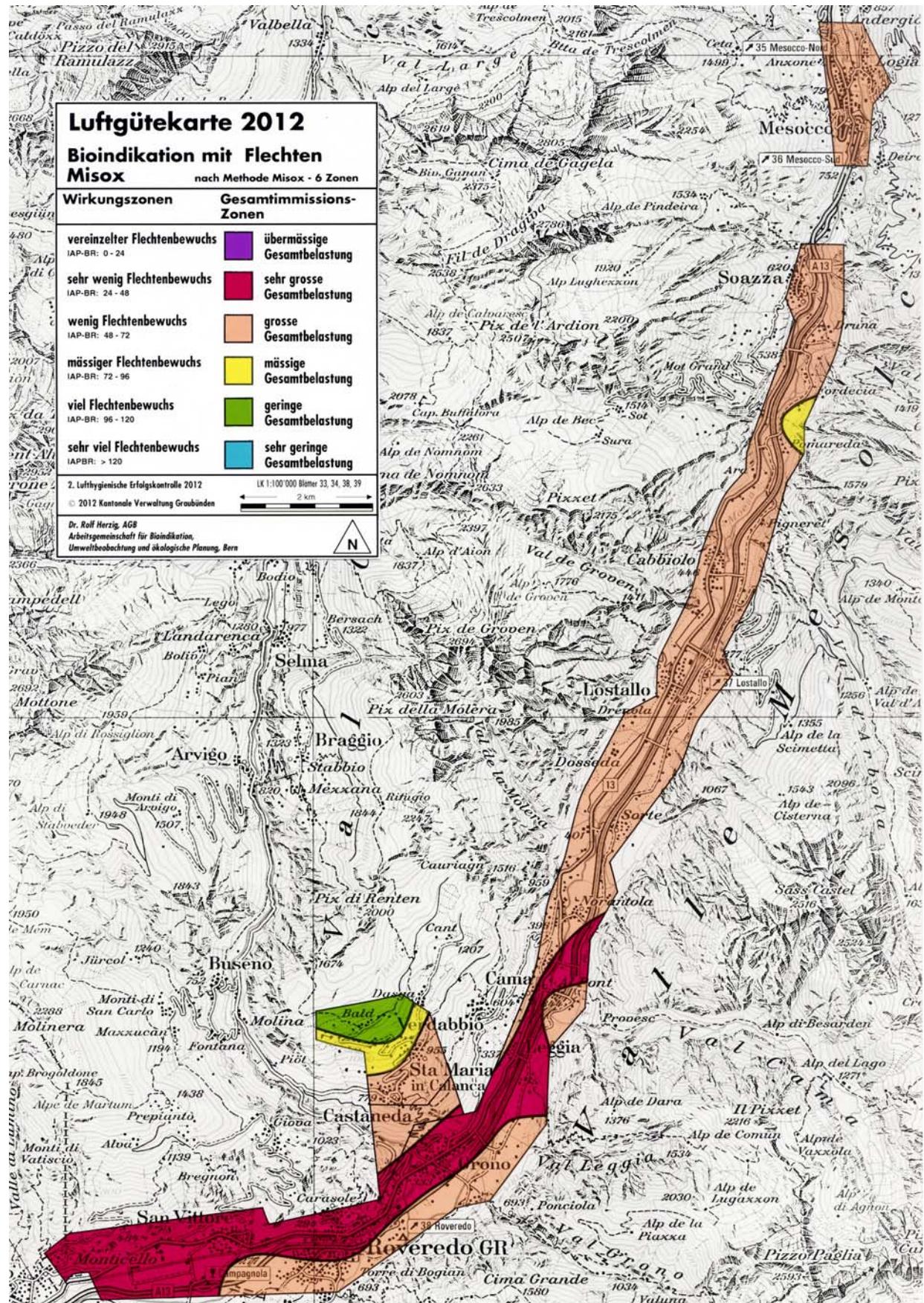
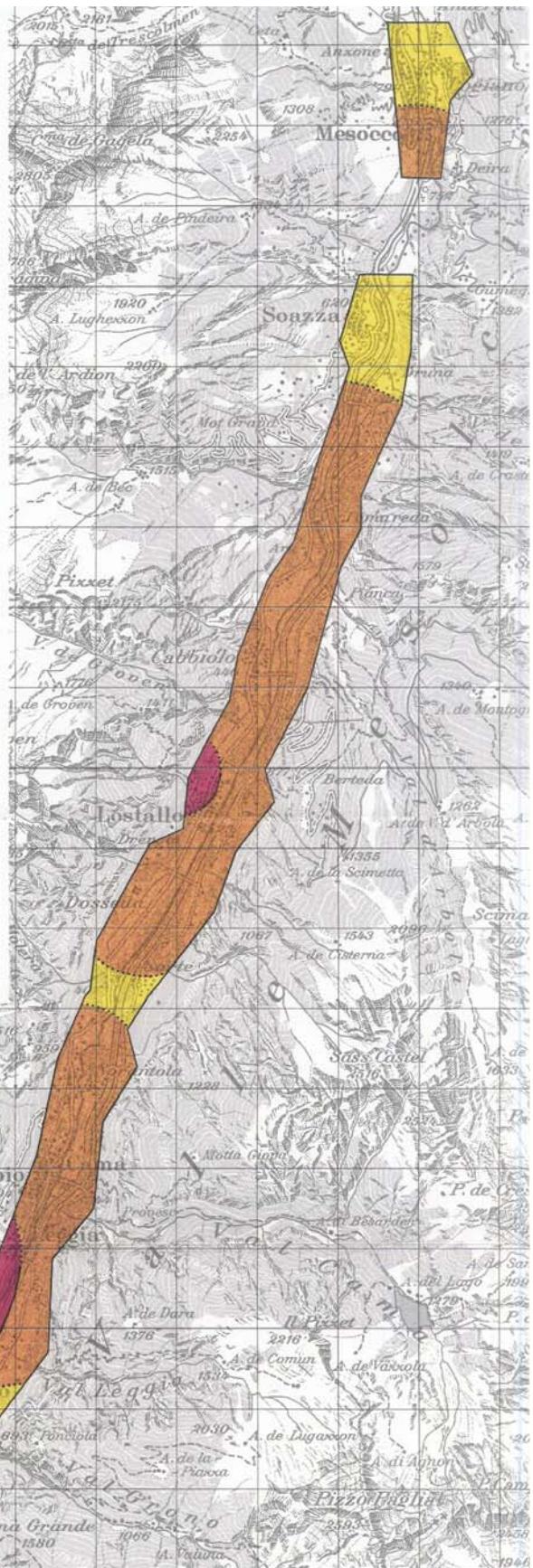
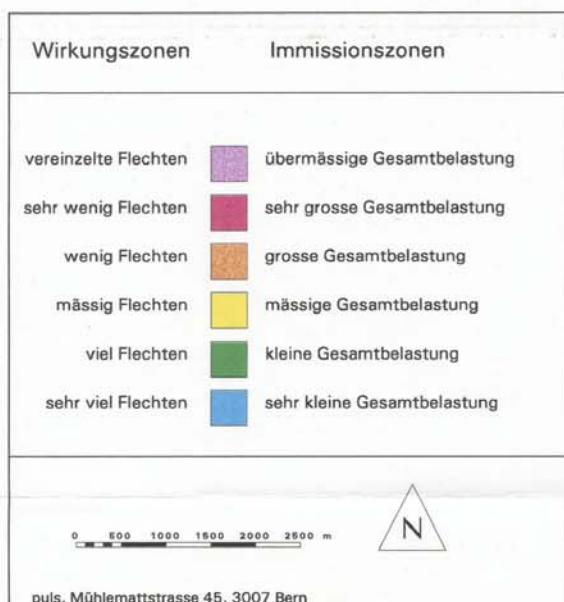


Abb. 1 Aktuelle Luftgütekarte des Misox von 2012 - Zweite Erfolgskontrolle nach 21 Jahren

Die rote Luftgütezone mit sehr grosser Gesamtbelastung bedeckt aktuell weite Teile des dicht besiedelten und verkehrsbelasteten Talbodens zwischen Monticello und Cama. Wie früher schon konnte die stärkste, purpurfarbene Luftgütezone mit übermässiger Luftgesamtbelastung im ganzen Misox nicht nachgewiesen werden. Im nördlichen Misox, ab Norantola und in etwas höher gelegenen Gebieten zwischen Grono, Roveredo, Castaneda und Santa Maria dominiert aktuell die orange Luftgütezone mit grosser Gesamtbelastung. Die gelbe Luftgütezone mit mässiger Gesamtbelastung findet sich nur noch in einem Gebietstreifen in Santa Maria und in der Hangzone von Pomareda. Die Monti von Santa Maria weisen eine grüne Luftgütezone mit geringer Gesamtbelastung auf. Die beste Luftgütezone blau mit sehr geringer Gesamtbelastung kann im ganzen Untersuchungsgebiet nicht mehr nachgewiesen werden.

# Luftgütekarte 1991

## Bioindikation mit Flechten im Misox

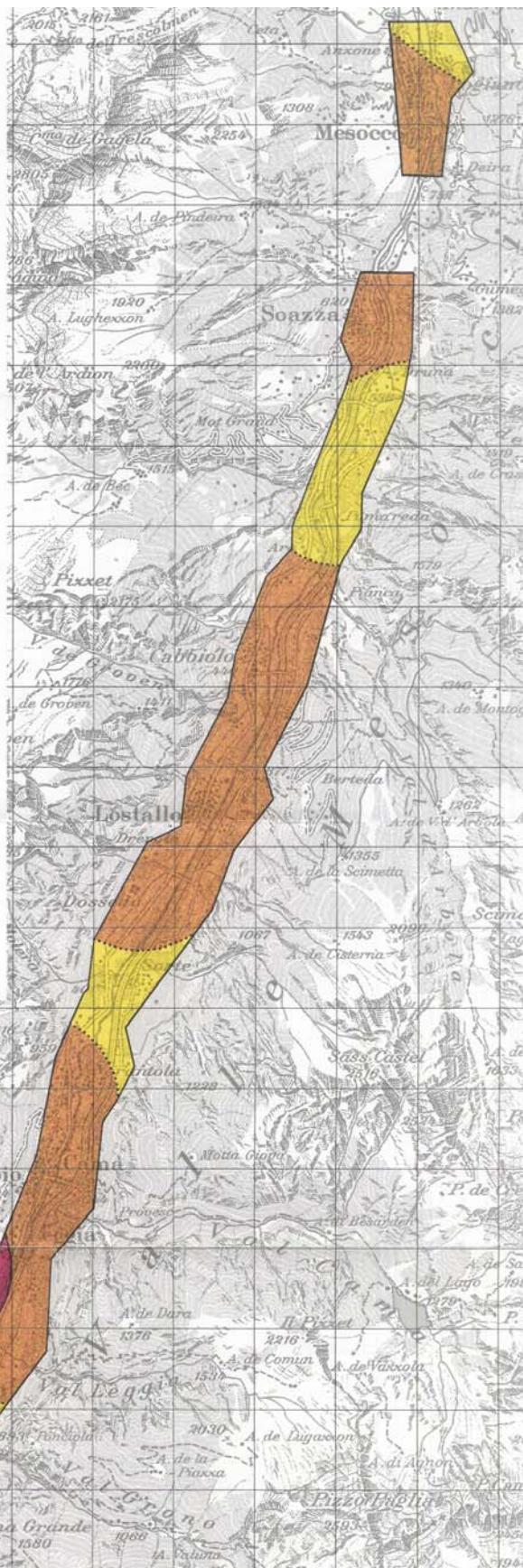
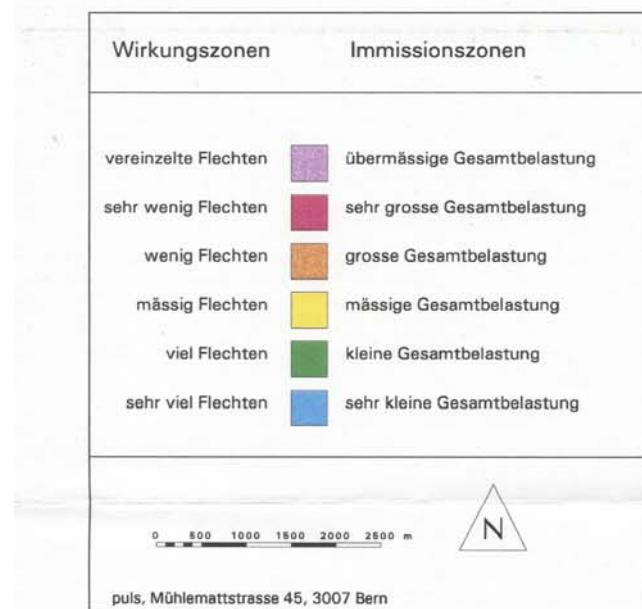


**Abb. 2 Erste Luftgütekarte des Misox vor 21 Jahren - Ausgangszustand von 1991**

Zum Zeitpunkt der Erstuntersuchung konnten noch fünf von sechs Luftgütekarten nachgewiesen werden. Die rote Luftgütekarte mit sehr grosser Gesamtbelastung bedeckte anlässlich der Erstuntersuchung von 1991 die nördlichen Gebiete von Grono, Rovedero und San Vittore entlang der stark befahrenen Kantonsstrasse. Die stärkste, purpurfarbene Luftgütekarte konnte im ganzen Misox nicht nachgewiesen werden. Vor 21 Jahren dominierte in weiten Teilen des Misox die orange Luftgütekarte mit grosser Gesamtbelastung. In den Hanglagen von San Giulio und Rovedero, bei Norantola und in den Dörfern Soazza und Mesocco zeigte sich die gelbe Luftgütekarte mit mässiger Gesamtbelastung. Castaneda und Santa Maria wiesen die grüne Luftgütekarte mit geringer Gesamtbelastung auf und in den Monti von Santa Maria konnte damals noch die beste, blaue Luftgütekarte mit sehr geringer Luftgesamtbelastung nachgewiesen werden.

# Luftgütekarte 1999

## Bioindikation mit Flechten im Misox



**Abb. 3 Zweite Luftgütekarte des Misox vor 13 Jahren - Erste Erfolgskontrolle von 1999**

Die rote Luftgütezone mit sehr grosser Gesamtbelastung bedeckte anlässlich der Zweituntersuchung von 1999 die nördlich gelegenen Gebiete des dicht besiedelten und verkehrsbelasteten Talbodens zwischen San Vittore und Cama. Wie früher schon konnte die stärkste, purpurfarbene Luftgütezone nicht nachgewiesen werden. In weiten Gebieten des Misox dominierte vor 13 Jahren die orange Luftgütezone mit grosser Gesamtbelastung, so in Hanglage von Roveredo, San Giulio Castaneda und Santa Maria, zwischen Norantola und Sorte, und Pomareda und Druna sowie im nördlichen Mesocco. Der obere Dorfteil und die Monti von Santa Maria wiesen damals eine grüne Luftgütezone mit geringer Gesamtbelastung auf.

## Veränderung der Luftqualität im Misox

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 Misox der letzten 21 Jahre

Eine **geringe Luftqualitätsverbesserung** (hell-cyan) ergibt sich mit der zweiten Erfolgskontrolle von 2012 nur noch in zwei kleinen Gebieten, nämlich im Dorf San Vittore und nordwestlich von Norantola. Die Flächenausdehnung beträgt allerdings nur **2.2%** (Tab. 2, Abb. 4). In diesen beiden Gebieten hat sich somit die Luftgüte in den letzten 21 Jahren geringfügig verbessert. Demgegenüber stehen im Misox aktuell **61.2%** der Gesamtuntersuchungsfläche, welche heute im Vergleich zur Erstuntersuchung eine **geringe bis sogar sehr starke Luftqualitätsverschlechterung** (magenta) aufweisen.

Differenzkarten Misox			Differenzielle	% Flächenanteile	
Veränderung der Luft-Gesamtbelastung (Delta)	Flechtenbewuchs	Differenz-Zonen	Zonenfarbe	Delta 2012-1991 %	Delta 2012-1999 %
sehr starke Verbesserung	sehr stark pos.	> 30	dunkel-cyan	0.00	0.00
starke Verbesserung	stark pos.	18 bis 30	cyan	0.00	0.00
geringe Verbesserung	gering pos.	6 bis 18	hell cyan	2.23	0.61
keine wesentliche Verbesserung	indifferent	± 6	weiss	36.54	30.16
geringe Verschlechterung	gering neg.	- 6 bis - 18	hell magenta	31.62	56.01
starke Verschlechterung	stark neg.	- 18 bis - 30	magenta	26.43	13.22
sehr starke Verschlechterung	sehr stark neg.	< - 30	dunkel-magenta	3.18	0.00

**Tab. 2 Zoneneinteilung der Gesamtluft-Veränderung mit relativen Flächenanteilen beider Differenzkarten im Misox der letzten 21, bzw. 13 Jahre.**

- Abnahme der Luftgüte
  - + Zunahme der Luftgüte
- Basis: Methode Misox mit 6 Luftgütezonen

Der Flächenanteil der Zone **geringe Verschlechterung** (hell-magenta) beträgt dabei 31.6% und jener der **starken Verschlechterung** (magenta) 26.4% und die Zone **sehr starke Verschlechterung** (dunkel-magenta) zeigt sich im Misox erstmals mit einer Flächenausdehnung von 3.2%. In beiden früheren Untersuchungen konnte diese Zone mit sehr starker Luftgüteverschlechterung im Misox noch nicht nachgewiesen werden.

Die erstmalig festgestellten Gebiete mit einer **sehr starken Verschlechterung** (magenta) befinden sich am nordöstlichen Dorfrand von Roveredo, im Gebiet des Tunnelbaus, wo derzeit schwere Baumaschinen im Einsatz sind, und unerwarteterweise im Dorf Castaneda.

Die Gebiete mit einer **sehr starken Verschlechterung** (dunkel-magenta) finden sich besonders in einem Gebietsstreifen zwischen Roveredo West und Ost bis hinauf nach Santa Maria.

Die Gebiete mit einer **geringen Verschlechterung** der Luftgüte (hell-magenta) finden sich in Monticello, einem Gebietsstreifen bei der A13-Raststätte Campagnola, in weiten Teilen von Roveredo, und im Gebiet Dasga der Monti von Santa Maria, dann auch zwischen Grono-Ost und Cama Al Pont, jedoch ohne den Dorfkern von Grono, welcher eine unveränderte Luftgüte aufweist. Schliesslich zählen auch die Gebiete südlich von Soazza und Mesocco, ohne die beiden Dorferne, zur Zone geringe Verschlechterung der Luftgüte.

In weiteren 36.5% der Untersuchungsgebiete hat sich die Luftqualität in den 21 Jahren des Vergleichs nicht wesentlich verändert (weiss).

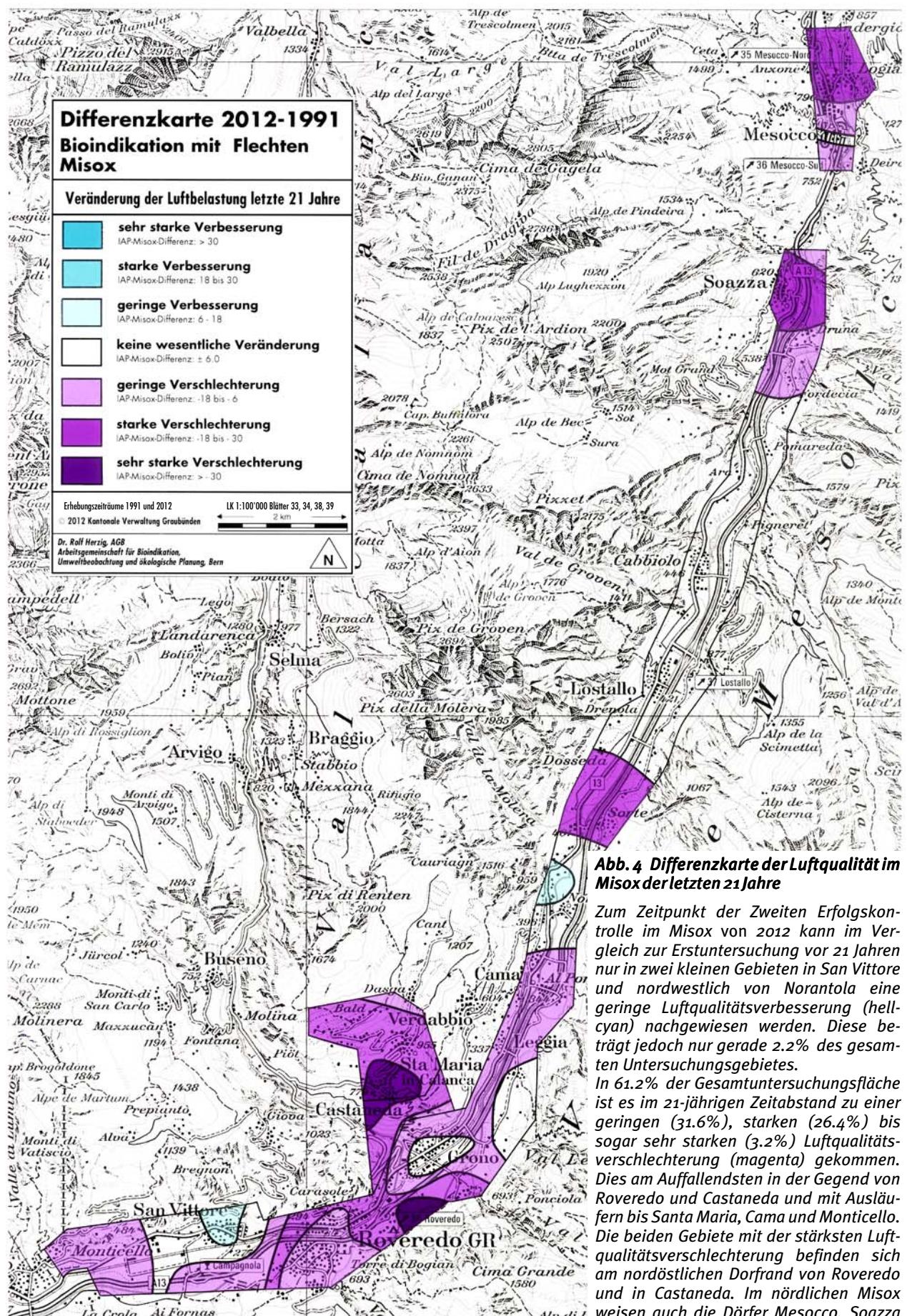
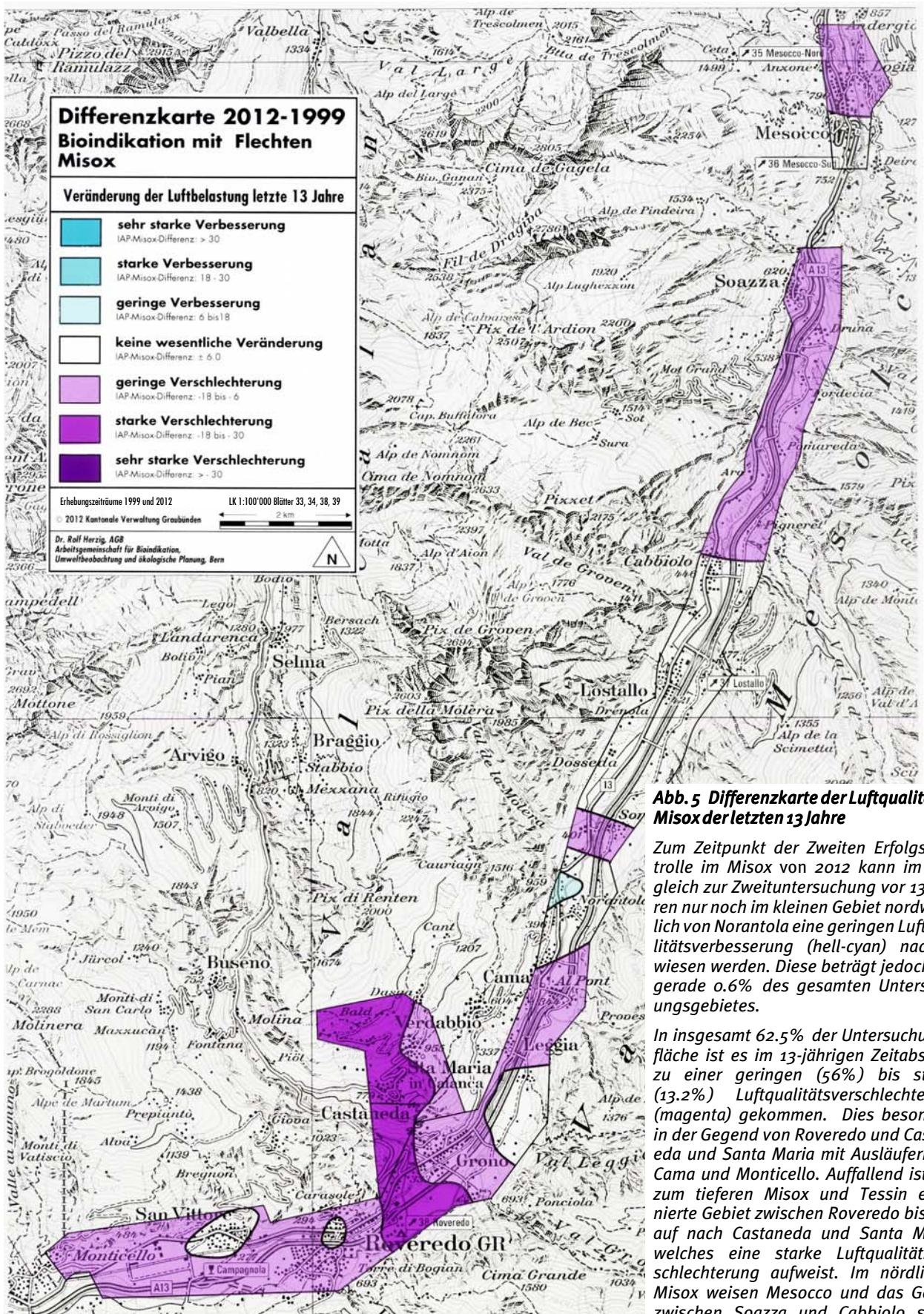


Abb. 4 Differenzkarte der Luftqualität im Misox der letzten 21 Jahre

Zum Zeitpunkt der Zweiten Erfolgskontrolle im Misox von 2012 kann im Vergleich zur Erstuntersuchung vor 21 Jahren nur in zwei kleinen Gebieten in San Vittore und nordwestlich von Norantola eine geringe Luftqualitätsverbesserung (hellcyan) nachgewiesen werden. Diese beträgt jedoch nur gerade 2.2% des gesamten Untersuchungsgebietes.

In 61.2% der Gesamtuntersuchungsfläche ist es im 21-jährigen Zeitabstand zu einer geringen (31.6%), starken (26.4%) bis sogar sehr starken (3.2%) Luftqualitätsverschlechterung (magenta) gekommen. Dies am Auffallendsten in der Gegend von Roveredo und Castaneda und mit Ausläufern bis Santa Maria, Cama und Monticello. Die beiden Gebiete mit der stärksten Luftqualitätsverschlechterung befinden sich am nördöstlichen Dorfrand von Roveredo und in Castaneda. Im nördlichen Misox weisen auch die Dörfer Mesocco, Soazza und Sorte eine geringe bis starke Luftqualitätsverschlechterung auf.

In 36.5% der Untersuchungsgebiete hat sich die Luftqualität nicht wesentlich verändert (weiss).



Zum Zeitpunkt der Zweiten Erfolgskontrolle im Misox von 2012 kann im Vergleich zur Zweituntersuchung vor 13 Jahren nur noch im kleinen Gebiet nordwestlich von Norantola eine geringen Luftqualitätsverbesserung (hell-cyan) nachgewiesen werden. Diese beträgt jedoch nur gerade 0.6% des gesamten Untersuchungsgebietes.

In insgesamt 62.5% der Untersuchungsfläche ist es im 13-jährigen Zeitabstand zu einer geringen (56%) bis starke (13.2%) Luftqualitätsverschlechterung (magenta) gekommen. Dies besonders in der Gegend von Roveredo und Castaneda und Santa Maria mit Ausläufern bis Cama und Monticello. Auffallend ist das zum tieferen Misox und Tessin expanierte Gebiet zwischen Roveredo bis hin auf nach Castaneda und Santa Maria, welches eine starke Luftqualitätsverschlechterung aufweist. Im nördlichen Misox weisen Mesocco und das Gebiet zwischen Soazza und Cabiolo sowie Sorte ebenfalls eine geringe Luftqualitätsverschlechterung auf.

In 30.2% des Untersuchungsgebietes (weiss) hat sich die Luftqualität nicht wesentlich verändert.

### **Differenzkarte zur Luftqualität im Misox der letzten 13 Jahre**

Im 13-jährigen Zeitabstand zur Zweituntersuchung von 1999 kann mit der zweiten Erfolgskontrolluntersuchung von 2012 sogar nur in einem einzigen Gebiet nordwestlich von Nor-antola eine geringe Luftqualitätsverbesserung (hell-cyan) nachgewiesen werden. Diese beträgt jedoch nur gerade 0.6% des gesamten Untersuchungsgebietes (Tab. 2, Abb.5).

Demgegenüber ist es in 62.5% der Gesamtuntersuchungsfläche im 13-jährigen Zeitabstand zu einer geringen (56%) bis starken (13.2%) Luftqualitätsverschlechterung (magenta) gekommen. Am Ausgeprägtesten zeigt sich diese sehr starke Verschlechterung der Luftqualität erneut im Gebietsstreifen zwischen Roveredo, Castaneda und Santa Maria. Diese beiden nach Westen und zum Tessin exponierten Höhengebiete, weisen somit auch in den letzten 13 Jahren auf eine vergleichsweise deutliche Verschlechterung der Luftgüte hin. Zu dieser Belastungszone zählt auch das Gebiet des A13-Umfahrungstunnels Roveredo, wo derzeit mit vermehrten, baubedingten Emissionen zu rechnen ist (vgl. Kap. 8.4.5 und 8.4.6).

In 30.2% des Untersuchungsgebietes (weiss) hat sich die Luftqualität nicht wesentlich verändert.

- *Beim Vergleich der aktuellen Differenzkarten im Misox und Bündner Rheintal zeigt sich, dass sich die Luftgüte besonders im Misox in den letzten 13 bis 21 Jahren deutlich verschlechtert hat. Im Bündner Rheintal zeigt sich dagegen ein wesentlich differenzierteres Bild. Dort hat sich die Luftgüte in den bevölkerungsreichen Gebieten von Chur und Landquart, wo besonders viele Luftreinhaltemassnahmen erfolgreich realisiert wurden, vergleichsweise um eine bis sogar zwei Differenzzonen verbessert. In den vom Verkehr und Industrie-/Gewerbezonen geprägten Rheintalgebieten, welche auch eine Verdopplung der Verkehrsmenge aufweisen, ist es allerdings auch zu einer deutlichen Verschlechterung der Luftqualität gekommen.*

### **Vergleich der aktuellen Luftgesamtbelastung im Misox und Bündner Rheintal von 2011/12**

Damit anhand der aktuellen Luftgütekarten im Bündner Rheintal und Misox küftig auch Direktvergleiche zum Stand und der Entwicklung der Luftgesamtbelastung angestellt werden können, wurden die Flechtendaten der dritten Misoxkartierung zusätzlich auch gemäss der Bündner Rheintal Methode ausgewertet und kartografisch dargestellt.

Im Gegensatz zur Bündner Rheintal Methode, welche auf fünf Luftgütezonen beruht, unterscheidet die Misoxer Flechtenkartiermethode sechs Luftgütezonen. In allen drei vorliegenden Misoxer Untersuchungen konnten jedoch nur fünf von sechs möglichen Zonen nachgewiesen werden (vgl. auch Kap. 3).

Weil der Unterschied der beiden Kartiermethoden in der Erfassung einer einzigen toxikologischen und ubiquitär auftretenden Flechtenart *Phaeophyscia orbicularis* (letztere wird in der Misoxer Methode mitgezählt, währenddem diese in der Bündner Rheintaler Methode nicht berücksichtigt wird) und einer unterschiedlichen Festlegung der Luftgütezonen beruht, drängte sich die Konstruktion einer zusätzlichen, aktuellen Luftgütekarte Misox mit nur 5 fünf Luftgütezonen auf.

Diese neuartige 5-zonige Misoxer Luftgütekarte ermöglicht nun den Direktvergleich zum Stand der aktuellen und der künftigen Entwicklung der Luftgesamtbelastung in beiden Untersuchungsregionen, wie aus Tabelle 4 und den Abbildungen 5 und 6 ersichtlich ist.

- **Aktuelle Luftgütekarte im Misox von 2012 mit 5 Luftgütezonen, direkt vergleichbar mit der Bündner Rheintalkarte von 2011**

**rote Zone mit grosser Gesamtbelastung (sehr wenig Flechtenbewuchs)**

Die fünf Belastungszonen umfassende aktuelle Luftgütekarte Misox 2012 von Abbildung 6, welche mittels der Zonierungsmethode des Bündner Rheintals erstellt wurde, zeigt im Vergleich zur entsprechenden sechs Zonen umfassenden Luftgütekarte (Tab. 3, Abb. 1) eine deutlich reduzierte Ausdehnung der roten Zone mit einer grossen Gesamtbelastung der Luft. Mit dieser Darstellungsmethode mit fünf Zonen beträgt die Ausdehnung der roten Belastungszone im Misox nur noch 3.2% gegenüber 30.1% mit der 6-Zonenkarte. Es betrifft das Gebiet zwischen der alten Eisenbahnbrücke von Roveredo bis Grono entlang der A13 und Kantonsstrasse.

Misox 2012 (5 Luftgütezonen, gemäss Zonierungsmethode Bündner Rheintal)					Bündner Rheintal	
aktuelle Luftgesamtbelastung (Gesamtimmision)	Flechten- bewuchs	Zonen-	2012	2012	2011	2011
		Farbe	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>
grosse Gesamtbelastung	sehr wenig	rot	3.2	0.8	0.0	0.0
relativ grosse Gesamtbelastung	wenig	orange	73.2	18.4	30.5	28.0
mittlere Gesamtbelastung	mittel	gelb	18.3	4.6	45.5	41.8
geringe Gesamtbelastung	viel	grün	5.3	1.3	22.6	20.7
sehr geringe Gesamtbelastung	normal	blau	0.0	0.0	1.5	1.4
Gesamtfläche			100	25.10	100	91.9

**Tab. 4 Direktvergleich der aktuellen Luftgütekarte Misox 2012, berechnet nach der Zonierungsmethode Bündner Rheintal mit fünf Belastungsklassen, mit der Luftgütekarte im Bündner Rheintal von 2011.**

**Orange Zone mit relativ starker Gesamtbelastung (wenig Flechtenbewuchs)**

Umgekehrt zur roten Zone, welche sich markant verkleinerte, steigt der Flächenanteil der orangen Zone in der 5-Zonendarstellung auf 73.2%, gegenüber 63.9% in der 6-Zonenkarte deutlich an.

**Gelbe Zone mit mittlerer Gesamtbelastung (mittlerer Flechtenbewuchs)**

Auch für die gelbe Belastungszone mit mittlerer Gesamtbelastung zeigt sich mit der 5-Zonenkarte ein differenziertes Bild, als mit der 6-Zonenkarte. Der Flächenanteil der gelben Luftgütezone beträgt bei der 5-Zonendarstellung 18.3%, verglichen mit nur 3% in der 6-Zonenkarte. Die Gebiete zwischen Norantola und Lostallo-Süd und von Pomareda und Fordecia, südlich von Soazza, sowie das nördliche Mesocco, weisen in der 5-Zonenkarte (Abb. 5) die gelbe Luftgütezone auf, während diese Gebiete in der 6-Zonenkarte zur orangen Luftgütezone zählen (Abb. 1).

**Grüne Zone mit geringer Gesamtbelastung (viel Flechtenbewuchs)**

Auch für die grüne Luftgütezone zeigt sich in der 5-Zonenkarte mit 5.3%, im Gebiet Santa Maria, einen leichten Flächenzuwachs, gegenüber der 6-Zonenkarte (3%).

**blaue Luftgütezone mit sehr geringer Gesamtbelastung - gänzlich verschwunden**

Diese beste, blaue Luftgütezone ist seit mindestens 13 Jahren im Gebiet von Santa Maria mit beiden Zonierungsmethoden nicht mehr nachweisbar.

- **Direktvergleich der Belastungszonen der beiden aktuellen Luftgütekarten im Misox und Bündner Rheintal**

Im Direktvergleich der beiden aktuellen 5-zonigen Luftgütekarten Misox und Bündner Rheintal von 2011-12 fällt das Folgende auf:

Die **rote Zone mit grosser Gesamtbelastung** findet sich aktuell im Misox zwischen Grono und Roveredo, im Belastungskorridor der A13 und Kantonsstrasse mit einem

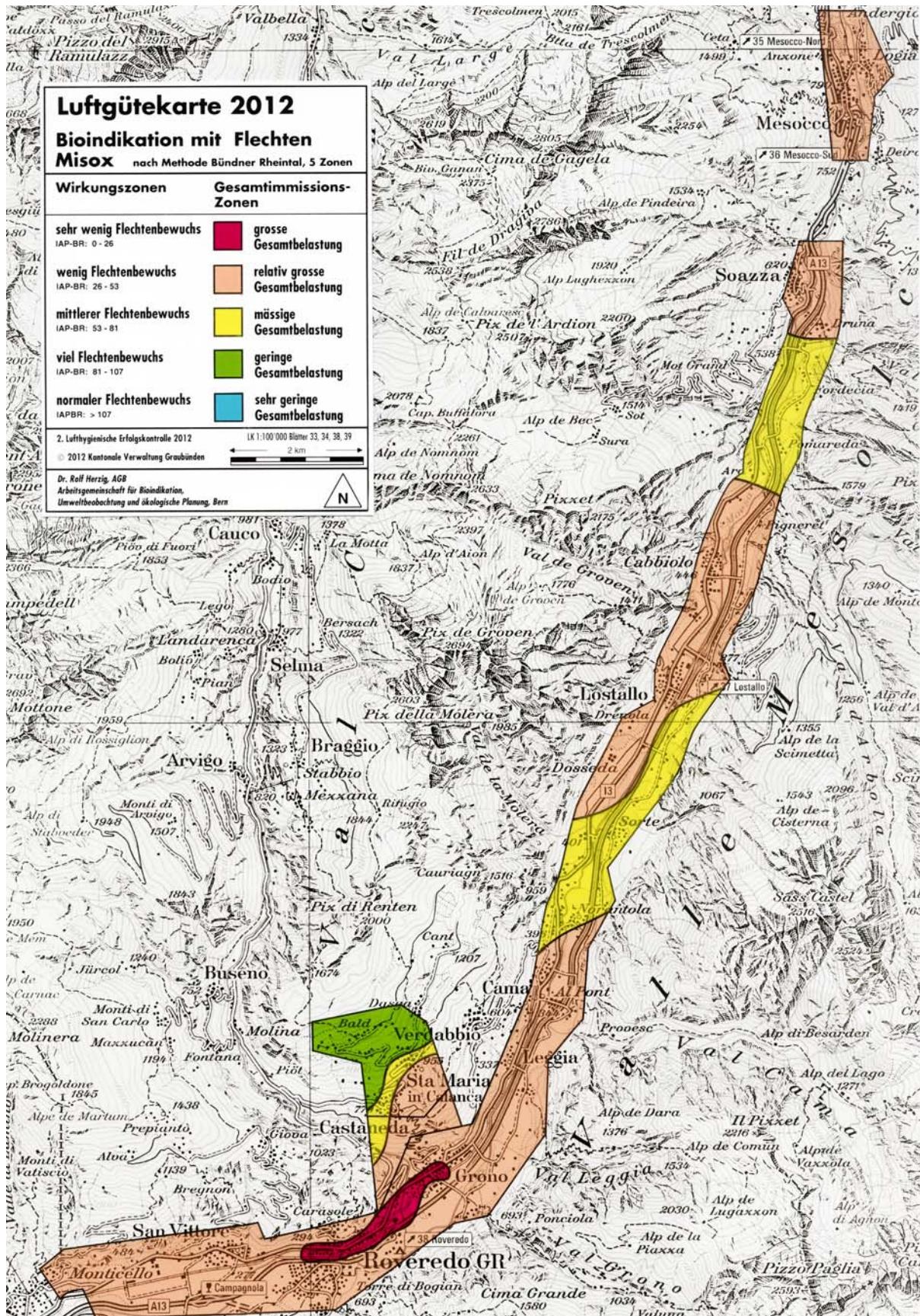
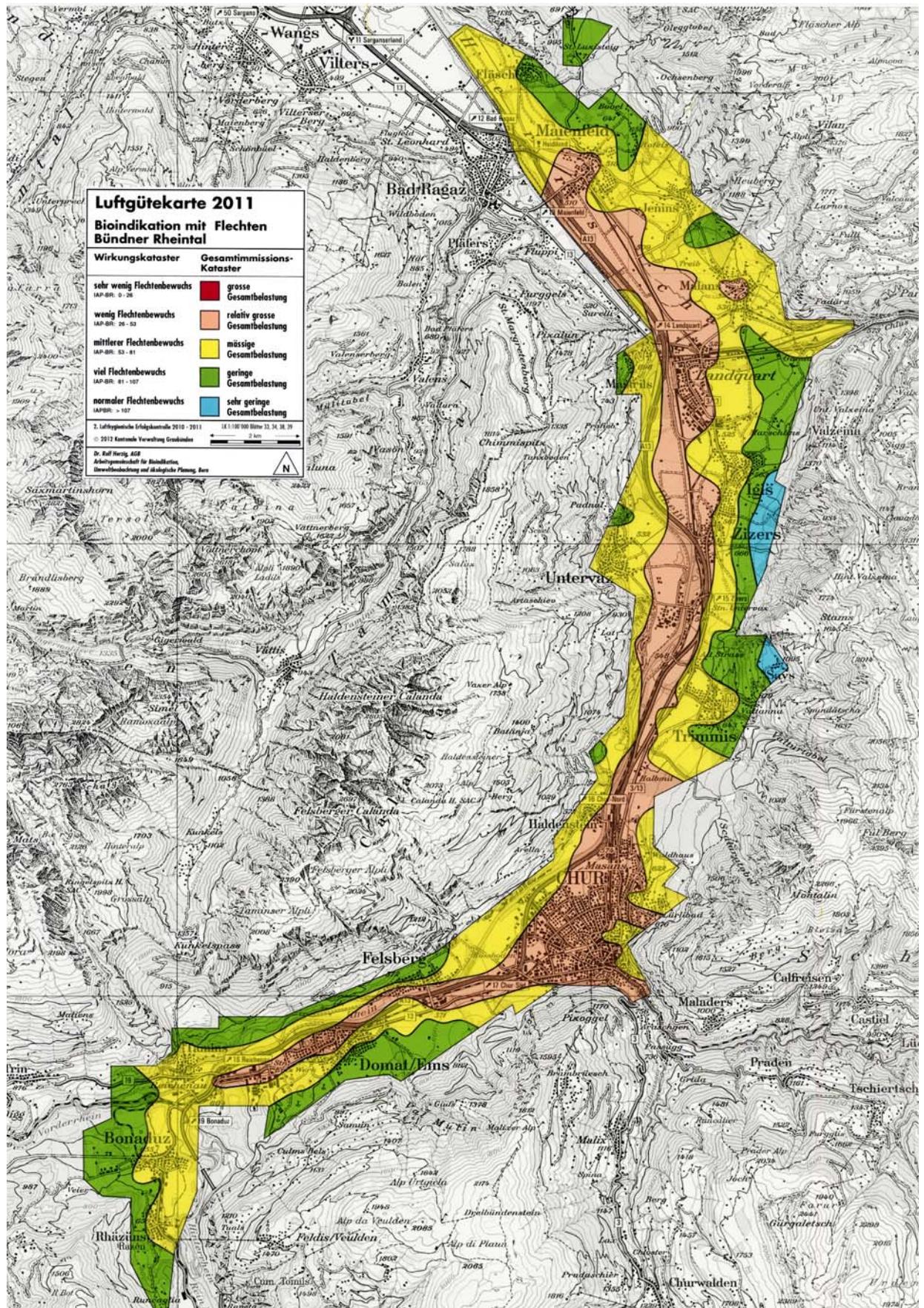


Abb. 6 Aktuelle Luftgütekarte des Misox von 2012 mit 5 Belastungszonen - Zweite Erfolgskontrolle nach 21 Jahren

Mit der nur 5 Belastungszonen umfassenden Luftgütekarte Misox von 2012, welche jetzt direkt mit der aktuellen Karte des Bündner Rheintals verglichen werden kann, ergibt sich ein differenzierteres Bild zur Luftgesamtbelastung, als mit der 6 Zonenkarte von Abb. 2. Die rote Luftgütezone mit sehr grosser Gesamtbelastung bedeckt ein deutlich kleineres Gebiet, das zwischen Grono und Roveredo im verkehrsbelasteten Gebiet der A13 und Kantonsstrasse liegt. Grosse Teile des dichter besiedelten und verkehrsbelasteten Talbodens weisen heute die orange Luftgütezone mit grosser Gesamtbelastung auf. Dies betrifft das Gebiet von Monticello bis Cama Al Pont ebenso wie die Dörfer von Lostallo, Cabbiolo, Soazza und Mesocco und sogar die unteren Dorfteile von Castaneda und Santa Maria. Die gelbe Luftgütezone mit mässiger Gesamtbelastung findet sich in Castaneda und Santa Maria und zwischen Norantola und Lostallo sowie zwischen Poma reda und Fordecia. Der oberste Dorfteil von Santa Maria und die Monti weisen eine grüne Luftgütezone mit geringer Gesamtbelastung auf. Die beste Luftgütezone blau konnte 2012 nicht mehr nachgewiesen werden.



**Abb. 7 Aktuelle Luftgütekarte des Bündner Rheintals von 2011 mit 5 Luftgütezonen - Zweite Erfolgskontrolle nach 25 Jahren**

Die orange Zone mit starker Gesamtbelastung bedeckt aktuell weite Teile des dicht besiedelten, verkehrsbelasteten Talbodens entlang der Transautobahn A13, im Stadtzentrum 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 orange Zone. In erhöhten Lagen von Maienfeld bis Bonaduz und Rhäzüns findet sich die grüne Zone mit geringer Gesamtbelastung. Im Gegensatz zur aktuellen Untersuchung im Misox kann die blaue Luftgütezone mit sehr guter Luftqualität in Bündner Rheintal im Gebiet Obersays und in der Hanglage von Igis und Zizers nach wie vor nachgewiesen werden.

Flächenanteil von 3.2%. Demgegenüber kann diese rote Zone im Bündner Rheintal nicht mehr nachgewiesen werden, währenddem früher zwei Zentrumsgebiete von Chur und Landquart (nur 1986) noch dieser Belastungszone angehörten.

Die **orange Zone** mit **relativ starker Gesamtbelastung** (*wenig Flechtenbewuchs*) zeigt im Misox mit einem Flächenanteil von 73.2% eine mehr als doppelt so grosse Ausbreitung als im Bündner Rheintal (30.5%).

Die **gelbe Zone** mit **mittlerer Gesamtbelastung** (*mittlerer Flechtenbewuchs*) zeigt im Misox mit einem Flächenanteil von 18.3% eine mehr als doppelt so kleine Ausbreitung als im Bündner Rheintal (45.5%). Im Misox beschränkt sich diese gelbe Zone auf die Gebiete von Monticello bis Cama Al Pont ebenso wie die Dörfer von Lostallo, Cabbio, Soazza und Mesocco und sogar die unteren Dorfteile von Castaneda und Santa Maria, währenddem im Bündner Rheintal ein viel grösseres Gebiet zwischen Fläsch und Maienfeld bis nach Rhäzüns zu dieser Zone zählen.

Auch die **grüne Zone** mit **geringer Gesamtbelastung** (*viel Flechtenbewuchs*) findet sich im Misox mit 5.3%, gegenüber 22.6% mit einer viermal kleineren Flächenausdehnung als im Bündner Rheintal.

Die **blaue Luftgütezone** mit **sehrgeringer Gesamtbelastung** (*Normalzone mit normalem Flechtenbewuchs*) ist seit mindestens 13 Jahren im Misox im oberen Santa Maria nicht mehr nachweisbar. Im Bündner Rheintal hingegen findet sich die beste blaue Luftgütezone mit einem aktuellen Flächenanteil von 1.5% 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.

## ● **Bevölkerungsexposition und Luftqualität im Misox**

Der Vergleich der aktuellen Luftgütekarte von 2012 mit der aktuellen Wohnbevölkerung von 2011 erlaubt erstmalige Aussagen zur Bevölkerungsexposition in verschiedenen Luft-Gesamtbelastungszonen im Misox (Abb. 8) und auch im Bündner Rheintal (siehe Bericht Bündner Rheintal - Zweite Erfolgskontrolle 2011). Diesen neuartigen Vergleich der Luftgütekarte mit der Bevölkerungsexposition wurde erstmals im Kanton Uri durchgeführt. Die Vergleiche erfolgen mit der aktuellen 5-zonigen Luftgütekarte, damit diese auch mit denjenigen aus dem Bündner Rheintal verglichen werden können.

### **Aktuelle Luftqualität und Bevölkerungsexposition im Misox von 2012**

Mit dieser GIS-gestützten Überlagerung der Luftgütekarte mit der Wohnbevölkerung im Misox von 2012 (Abb. 8) zeigt, dass in der flächemässig kleinen und am stärksten belasteten roten Zone, welche nur 3.2% der Gesamtfläche ausmacht, aktuell 13.5% der Misoxer Wohnbevölkerung wohnen müssen. Dabei handelt es sich um das rote Gebiet zwischen der alten Eisenbahnbrücke von Roveredo und Grono. Weitere 75.2% der Misoxer Bevölkerung leben in der orangen Zone mit relativ starker Gesamtbelastung der Luft, welche 73.2% der Fläche umfassen.

Insgesamt wohnt somit heute 87.7% der Misoxer Bevölkerung in den beiden am stärksten belasteten Luftgütezonen rot und orange, welche im ganzen Untersuchungsgebiet einen Flächenanteil von 76.5% ausmachen. Weitere 9.4% der aktuellen Wohnbevölkerung wohnen heute in der gelben Luftgütezone, welche immer noch eine erhebliche Luftgesamtbelastung aufweist und 18.3% der Gebietsfläche ausmacht und sich in Santa Maria, Norantola, Sorte und bei Pomareda und Fordechia vorfinden. Nur knappe 3% der Wohnbevölkerung lebt im Höhengebiet von Santa Maria in der grünen Flechtenzone mit geringer Gesamtbelastung, währenddem die beste, blaue Luftgütezone ja seit 1999 nicht mehr nachgewiesen werden kann.

## ***Luftqualitätsveränderungen und Bevölkerungsexposition und im Misox***

Im Kanton Graubünden konnte erstmals auch eine kartografische Überlagerung der Wohnbevölkerung mit den aktuellen Differenzkarten im Misox und Bündner Rheintal der zweiten lufthygienischen Erfolgskontrolle von 2011-12 realisiert werden (Abb.9).

### ***Luftqualitätsveränderungen und Bevölkerungsexposition der letzten 13 Jahre***

Mit der Überlagerung der aktuellen Misoxer Differenzkarte zur Luftgüteveränderung seit der Erstuntersuchung mit der Wohnbevölkerung zeigt sich, dass im Misox nur knappe 5% der aktuellen Wohnbevölkerung von einer geringen Luftqualitätsveränderung in den letzten 21-Jahren profitieren können (Abb.9).

Auch wenn diese Veränderungszonen der Luftgüte infolge leicht unterschiedlicher Klassengrenzen nicht vollständig vergleichbar sind, so ist doch der Bevölkerungsanteil der Verbesserungszonen von 29% im Bündner Rheintal deutlich grösser als jener von knappen 5% im Misox. Mit 17% und zwei nachgewiesenen Luftqualitätsverbesserungszonen im Bündner Rheintal ist auch der Flächenanteil deutlich grösser als jener im Misox mit 2.2%.

Weitere 22.8% der Misoxer Bevölkerung leben heute in den indifferenten, weissen Gebieten im Misox, ohne wesentliche Luftqualitätsveränderungen. Im Bündner Rheintal beträgt dieser Anteil 40%.

Gleichzeitig muss aber heute im Misox 72% der Bevölkerung in den Gebieten mit einer gering bis sogar sehr stark verschlechterten Luftgüte leben. Diese Gebiete weisen heute einen bedeutenden Flächenanteil von 61% auf.

Im Bündner Rheintal ist sowohl dieser Bevölkerungsanteil (31%), wie auch der Flächenanteil (46%) dieser Gebiete mit Luftqualitätsverschlechterung deutlich geringer. Zudem konnte die Zone mit sehr starker Luftqualitätsverschlechterung, welche aktuell im Misox 3.2% der Untersuchungsfläche ausmacht, im Bündner Rheintal gar nie nachgewiesen werden.

### ***Differenzierung der Luftgüteveränderungen mittels Acido- und Nitroindex***

Mit flechanartenspezifischen Feinauswertungen, wie dem Acidoindex zeigt sich im Vergleich zu den beiden früheren Untersuchungen, dass sich der insgesamt basisch geprägte Immissionstyp im Misox aktuell geringfügig zu neutraleren Immissionen verändert hat.

Der Nitroindex, welcher bioindikative Rückschlüsse auf die Gesamtstickstoffbelastung (Ntot-Score) ermöglicht, zeigt im Misox Vergleich der letzten 13-21 Jahre, eine zunehmende Belastung besonders von Gebieten mit einer hohen Belastung. Auffallend ist die hohe Bindung der Gebiete mit einer starken - sehr starken Nitroindex, resp. Gesamtstickstoff-Belastung, (orange, rot) mit der roten und orangen Luftgütezone mit grosser und rel. grosser Gesamtbelastung. Die 12 von insgesamt 14 Georäumen mit starker - sehr starker Gesamtstickstoffbelastung (rot, orange) finden nämlich auch in der roten und orangen Belastungsschneise entlang der A13 zwischen Monticello und Mesocco.

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

#### ***Weitgehendes Fehlen von Grossemittenten im Misox und Grossbaustelle im Raum Roveredo***

Im Gegensatz zum Bündner Rheintal fehlen im Misox Grossbetriebe weitgehend und es sind vor allem kleinere und mittlere Betriebe ansässig, welche meist auch emissionsmäßig von geringerer Bedeutung sind.

Dennoch zeigt sich augrund der zweiten Erfolgskontrolle der Flechtenuntersuchnungen im Misox eine deutlich ausgeprägtere Verschlechterung und kaum verbesserte Situationen der Luftqualität, als im Bündner Rheintal.

Von dieser Luftqualitätsverschlechterung besonders betroffen ist die Gegend von Roveredo und Castaneda mit Ausläufern bis Santa Maria, Cama und Monticello.

### ***Umfahrung A13 bei Roveredo***

Im Raum Roveredo sind seit 2009 zwei Gossbaustellen von lufthygienischer Bedeutung. In der Bauphase bis 2016 sind baubedingte Zusatzemissionen durch den Tunnelbau und den Bau der Anschlussstrassen zu verzeichnen (Abb. 38). Nach der Inbetriebnahme der Umfahrung wird es im Hauptort Roveredo zu einer bedeutenden Entlastung der Luft- und Transitverkehrsbelastung kommen.

### ***Entwicklung der Verkehrsbelastung***

Ganz im Gegensatz zu den erfreulichen Entlastungstrends für die meisten Luftschadstoffe sich hat die Verkehrsmenge (DTV, durchschnittlicher täglicher Verkehr) auf der A13 im Bündner Rheintal und dem Misox in den letzten 25 Jahren um bis zu einem Faktor 2 vergrössert.

Auf der A13 im Bündner Rheintal hat der DTV um einen Faktor 1.8 bis 2.15 zugenommen, was mit der festgestellten deutlichen Vergrösserung der orangen Luftgütezone mit relativ grosser Gesamtbelastung in derselben Zeitspanne gut übereinstimmt (Abb.?). Auch auf den kantonalen Hauptachsen der Vorderrhein-, Malixerstrasse und Prättigauerstrasse hat die Verkehrsmenge um einen Faktor 1.3-1.9 zugenommen hat. Damit zeigt sich auf der A13 eine besonders starke Verkehrszunahme.

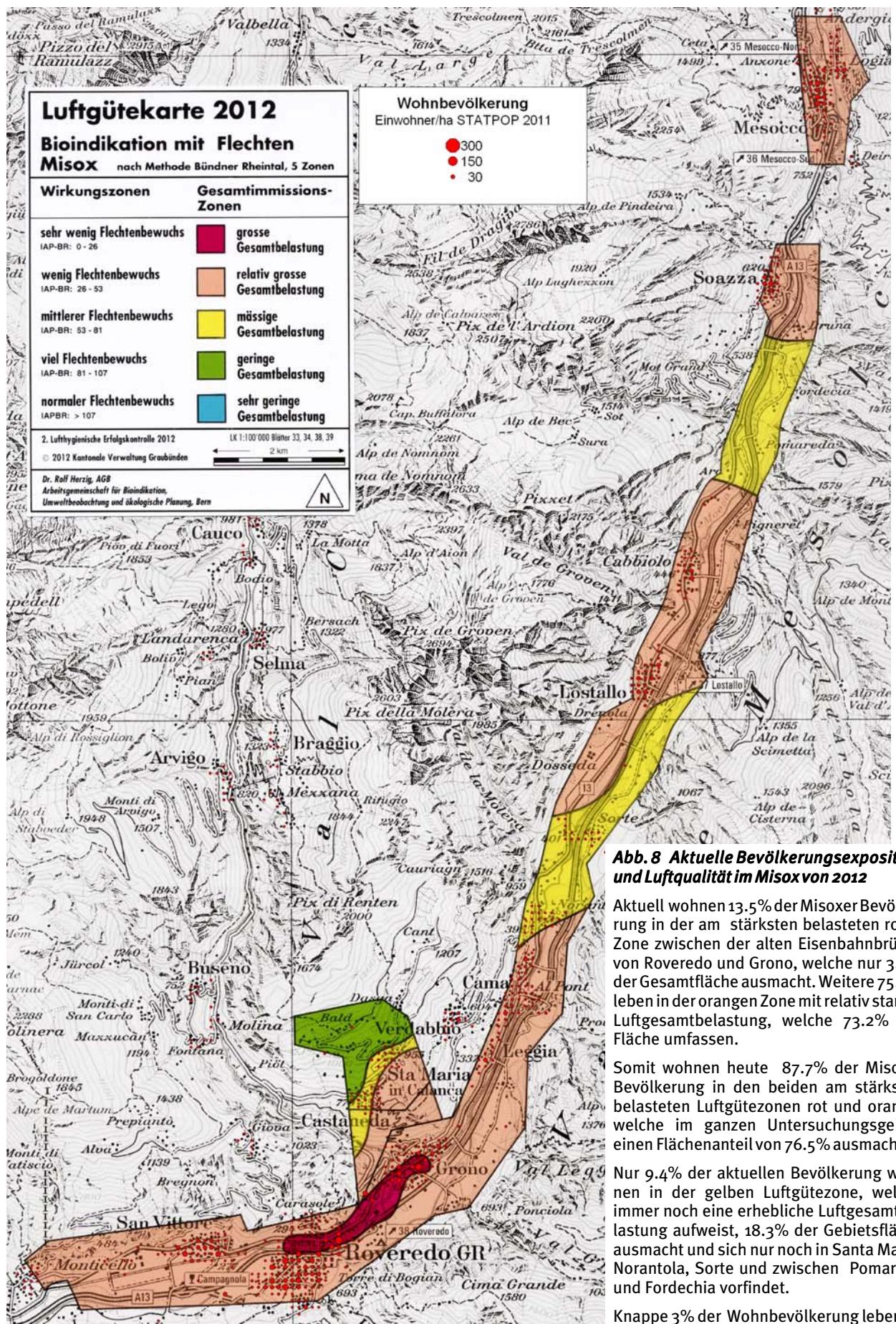
Im Misox, das in Roveredo erst seit 1999 über Messungen verfügt, hat das Gesamtverkehrs-aufkommen auf der A13 um 30% zugenommen. Befuhren 1999 durchschnittlich täglich 9'193 Fahrzeuge die A13 bei Roveredo, waren es 2010 bereits 11'822 Fahrzeuge. Ab 2016 wird die A13 jedoch Roveredo umfahren, die Bauarbeiten für diese Umfahrung begannen bereits 2009. Herzstück der Umfahrung ist der Tunnel San Fedele der östlich von Roveredo durch den Berg führt. Im Anschluss an die Inbetriebnahme der Umfahrung wird die bestehende A13 durch Roveredo abgebrochen und der Ortskern umgestaltet.

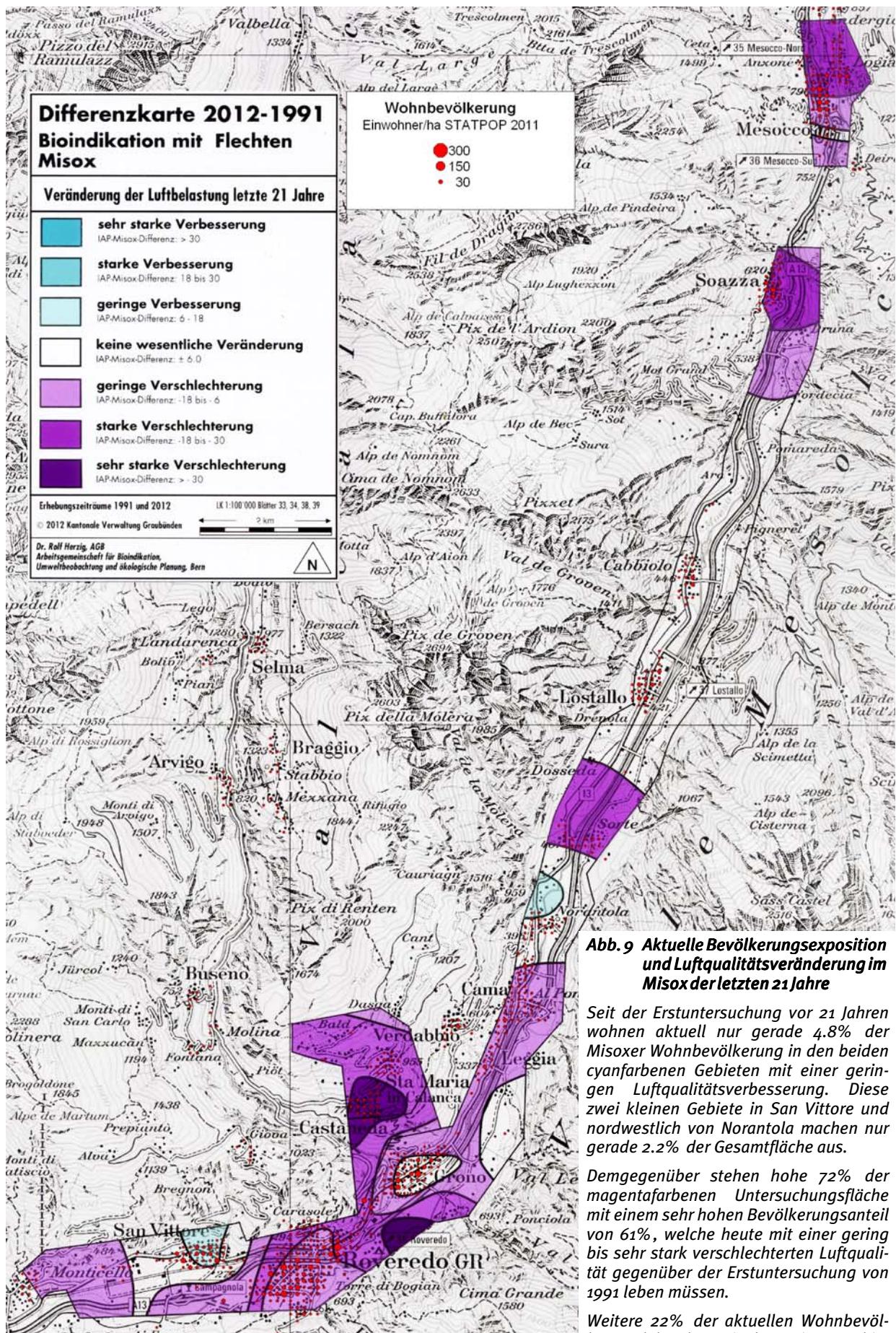
Neben den Emissionen der A13 belasten der lokale Verkehr, die Industrie und das Gewerbe, die Haushalte und vor allem im Winter viele alte Holzfeuerungen die Luft in Roveredo. Um die Luftbelastung in Roveredo nachhaltig zu senken, müssen weitere Massnahmen, besonders bei den Holzfeuerungen umgesetzt werden.

Zwar haben Katalysatoren, welche seit 1986 bei neuen Personenwagen obligatorisch sind, zu einer markanten Verminderung der Mfz-bedingten NOx- und VOC-Belastung der PW-Flotte geführt, gleichzeitig wurde jedoch in derselben Zeitspanne auch das 28t Limit für den Schwerverkehr auf eurokompatible 40t erhöht. Trotz Alpenschutzartikel von 1994, welcher die Verlagerung des alpenquerenden Schwerverkehrs auf die Schiene verlangt, hat sich seit dem Abschluss der bilateralen Verträge dieser stark und deutlich zu Ungunsten des Schienenverkehrs auf beiden Alpentransitstrecken A2 und A13 vergrössert. Obwohl der Schwerverkehr nur gerade 5-10% der Gesamtverkehrsmenge ausmacht, ist auch im Kanton Graubünden nachgewiesen worden, dass dieser bis zu 40% der NOx- und Rüssemisionen und zwischen Bonaduz und Bellinzona sogar die Hälfte der NOx- und ein Viertel der CO2-Emissionen allein verursacht.

### ***Stickoxid-Immissionen***

Die langjährigen NO2-Immissionskonzentrations-Messungen des ANU im Bündner Rheintal und Misox belegen den landesweiten Abnahmetrend in der NO2-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 2000 sogar wieder ein steigender Trend in der NO2-Belastung.





Im Misox, wo Messreihen mit NO<sub>2</sub>-Passivsammlermessungen erst seit 1994-96 und im A13-Profil von San Vittore seit 1999 existieren, zeigt sich für Mesocco Dorf, Pian San Giacomo und Lostallo eine ebenfalls 26-31% NO<sub>2</sub>-Reduktion seit 1996 (Abb. 13, 16). Im A13-Profil zeigt sich seit Beginn der Messungen von 1999 im 10m Nahbereich der A13 eine NO<sub>2</sub>-Zunahme von 11% und von 3 bis 0.4% zwischen 25 und 150m entfernt von der A13. Geringfügige Abnahmen der NO<sub>2</sub>-Belastung von 3% zeigen sich nur im Hintergrundsbereich der A13 in 460m Distanz. Im Mittel aller Misoxer Standorte ergibt sich seit 1995 eine 14% NO<sub>2</sub>-Reduktion (wie im Bündner Rheintal) und von 11% seit 2000.

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

Deskriptive Vergleiche der NO<sub>2</sub>-Belastung (Jahresmittel) mit den Gesamtbelastungs-Zonen erlauben die folgenden Aussagen:

In der heute im Bündner Rheintal nicht mehr nachweisbaren roten Zone mit grosser Luftgesamtbelastung betrug die retrospektiv ermittelte NO<sub>2</sub> Belastung im Mittel 37.5µg/m<sup>3</sup>.

In der orangen Zone im Bündner Rheintal beträgt der aktuelle Mittelwert aller NO<sub>2</sub>-Jahresmittel von 2011 23.1µg/m<sup>3</sup> bei grösserer Streuung. Im Misox ergibt sich ein Zonenmittelwert von 19.5µg/m<sup>3</sup>. Damit wird der Immissionsgrenzwert der LRV im Mittel nicht überschritten, an besonders verkehrsexponierten Standorten jedoch schon.

Für die mittlere gelbe Luftgütezone mit einer mässigen Luftgesamtbelastung ergibt sich heute im Bündner Rheintal ein Zonenmittelwert der NO<sub>2</sub>-Belastung von 17.7 µg/m<sup>3</sup> und im Misox von 16.5 µg/m<sup>3</sup>. Damit sind Grenzwertüberschreitungen in dieser Zone, mit Ausnahme dem unmittelbaren Nahbereich von besonders stark befahreren Strassen, nicht mehr zu erwarten.

Für die grüne und blaue Luftgütezone ergeben sich im Bündner Rheintal 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. Im Misox fehlen NO<sub>2</sub>-Messungen in diesen beiden Luftgütezonen. Aufgrund dieser Vergleichserfahrung können Grenzwertüberschreitungen von NO<sub>2</sub> in beiden Zonen ausgeschlossen werden.

### ***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 Weltklimarats (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 und vergleichenden Datenanalysen im Misox mit den zwei bisherigen Flechtenkartierungen konnte im 21-jährigen Zeitabstand zur Ersterhebung von 1991 nur gerade in 2% der Untersuchungsflächen eine geringe Luftgüteverbesserung nachgewiesen werden. Dieser Verbesserung stehen allerdings 61% der Misoxer Gesamtuntersuchungsfläche gegenüber mit einer geringen bis sogar sehr starken Luftqualitätsverschlechterung. In 37% der Untersuchungsfläche hat sich die Luftqualität nicht wesentlich verändert. Auch im 13-jährigen Zeitabstand zur zweiten Flechtenuntersuchung von 1999 zeigen nur noch 0.6% der Untersuchungsflächen eine geringe Luftqualitätsverbesserung und stehen 69% der Gesamtuntersuchungsfläche gegenüber mit einer geringen bis starken Luftqualitätsverschlechterung. Dies am Auffallendsten in der Gegend von Roveredo und Castaneda und mit Ausläufern bis Santa Maria, Cama und Monticello. Die beiden Gebiete mit der stärksten Luftqualitätsverschlechterung befinden sich am nordöstlichen Dorfrand von Roveredo und in Castaneda. Im nördlichen Misox weisen auch die Dörfer Mesocco, Soazza und Sorte eine geringe bis starke Luftqualitätsverschlechterung auf. In 30% der Untersuchungsgebiete hat sich die Luftqualität in den letzten 13 Jahren nicht wesentlich verändert.

Mit diesen Ergebnissen hat sich im Misox die Luftqualität in der 13-21-jährigen Vergleichsperiode sowohl gegenüber der Erst- und Zweituntersuchung, wie auch verglichen mit den Ergebnissen im Bündner Rheintal der letzten 15-25 Jahre deutlich verschlechtert. Während dem im Bündner Rheintal die rote Luftgütezone mit grosser Luftgesamtbelastung aktuell verschwunden ist und auch sonst Luftqualitätsverbesserungen besonders in den Siedlungsräumen von Chur und Landquart attestiert werden können, macht die rote Belastungszone im Misox, zwischen Roveredo und Grono, nach wie vor einen Flächenanteil von 3.2% aus.

Mit der Misoxer Luftgütekarte von 2012 wurde erstmalig aufgezeigt, dass aktuell 13.5% der Misoxer Wohnbevölkerung in der am stärksten belasteten roten Zone zwischen der alten Eisenbahnbrücke von Roveredo und Grono wohnen, welche aktuell 3.2% der Gesamtuntersuchungsfläche ausmacht.

Weitere 75.2% leben in der orangen Zone mit relativ starker Luftgesamtbelastung, welche 73.2% der Fläche umfassen. Somit wohnen heute 87.7% der Misoxer Bevölkerung in den beiden am stärksten belasteten Luftgütezonen rot und orange, welche im ganzen Untersuchungsgebiet einen Flächenanteil von 76.5% ausmachen.

Nur 9.4% der aktuellen Wohnbevölkerung wohnen in der gelben Luftgütezone, welche immer noch eine erhebliche Luftgesamtbelastung aufweist, 18.3% der Gebietsfläche ausmacht und sich nur noch in Santa Maria, Norantola, Sorte und zwischen Pomareda und Fordechia befindet. Knappe 3% der Wohnbevölkerung leben im Höhengebiet von Santa Maria in der grünen Flechtenzone mit geringer Luftgesamtbelastung, währenddem die beste, blaue Luftgütezone früherer Zeiten seit 1999 gar nicht mehr nachgewiesen werden kann.

Auch die erstmals erfolgten Direktvergleiche mit der aktuellen Bevölkerungsexposition der 5-zonigen Luftgütekarten Misox und Bündner Rheintal weisen auf die nach wie vor hohe Luftgesamtbelastung im Misox hin. Zum Schutz der Wohnbevölkerung sind weitere lufthygienische Entlastungsmassnahmen im Misox aber auch Bündner Rheintal in diesen beiden am stärksten belasteten Luftgütezonen rot und orange mit relativ hoher Wohnbevölkerung besonders empfehlenswert.

Während im Bündner Rheintal die zweite Erfolgskontrolle nach 25 Jahren ein durchaus differenziertes Bild zur Veränderung der Luftgesamtbelastung erbrachte, mit deutlichen Luftqualitätsverbesserungen in den beiden Zentrumsregionen Chur und Landquart, wo besonders wirksame Luftreinhaltemassnahmen realisiert wurden, und einer deutlichen Luftqualitätsverschlechterung entlang der Alpentransitachse A13, welche heutzutage eine doppelt so hohe Verkehrsmenge aufweist, so zeigt sich im Misox eine vergleichsweise deutliche Verschlechterung in der Luftqualität. Dies besonders im Talboden zwischen Roveredo und Monticello, aber auch im Höhenprofil von Roveredo-Canstagneda und Santa Maria.

Diese teilweise Diskrepanz zwischen den im Misox und Bündner Rheintal seit Jahren rückläufigen mittleren Belastungswerten von NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> und z.T. auch der Ozonspitzenwerte und der heute z.T. stagnierenden bis sogar leicht höheren Luftgesamtbelastung in gewissen Gebieten, erfasst mit dem Messsystem der Flechtenbioinikation, lässt sich aber sehr wohl erklären.

Erwiesenermassen erfassen die Baumflechten mit der standardisierten und mit Luftschadstoffen kalibrierten Bioindikationsmethode die Luftgesamtbelastung sehr präzise. Hingegen zeigt sich eine deutlich geringere Übereinstimmung mit Einzelschadstoffen wie z.B. mit NO<sub>2</sub>. Die mit dem Flechtenkationssystem gemessene Luftgesamtbelastung erfasst nicht nur die wirkungsbezogene Antwort auf eine Vielzahl phytotoxischer Luftschadstoffe, sondern auch deren komplexen, sich gegenseitig verstärkenden und abschwächenden (synergistischen/antagonistischen) Wechselwirkungen bei gleichzeitiger Einwirkung vieler Schadstoffe. Bei diesen Wechselwirkungen spielen insbesondere auch komplexe atmosphärenchemische Prozesse an den Inversions- und Nebelobergrenzen eine wichtige Rolle, wo es regelmäßig zu Akkumulationsprozessen von zahlreichen Luftschadstoffen kommt, welche eine besondere Schadwirkung auf die sensiblen Baumflechten und Wälder ausüben.

Zudem reagieren Organismen stets zeitlich verzögert auf Umweltveränderungen. Aus all diesen Gründen darf von der mittleren Immissionsreduktion der Einzelschadstoffe NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> und der Ozonspitzenbelastungen, wie dies in den letzten Jahren an vielen Messstationen im Misox, Bündner Rheintal und auch landesweit nachgewiesen wurde, nicht eine punktgenaue, univariate Abbildung in der Wirkungsanzeige der Luftgesamtbelastung mittels der Flechtenvegetation erwartet werden.

Bildlich gesprochen, unterscheiden sich die punktgenauen und teilweise zeitlich hoch aufgelösten Einzelschadstoffanalysen von den integralen wirkungs- und flächenbezogenen Luftgesamtbelastungsanalysen mit dem Flechtenbioindikationssystem etwa so, dass, die technischen Einzelstoffanalysen der Zahl, und die totalisierenden und integralen Flechtenanalysen dem Kopfteil einer Münze, entsprechen.

Damit ergänzen sich aber die beiden komplementären Messverfahren in sinnvoller Weise und erlauben gemeinsam eine umfassendere Beurteilung, auch der qualitativen Aspekte der Luftqualität.

Weil Baumflechten und unsere Lungen auffallende anatomische Ähnlichkeiten aufweisen - beide verfügen über eine aussergewöhnlich grosse Rezeptorfläche für Luftschatdstoffe von der Grösse eines Fussballfeldes und reagieren komplex auf Luftschatdstoffgemische - ergibt sich aus den Ergebnissen von Flechtenuntersuchungen auch eine gesundheitpolitische Relevanz, weshalb wir die Baumflechten auch schon als Frühwarnsystem der Luftverschmutzung für den Menschen bezeichnet haben.

Für die künftige Luftreinhaltepolitik von besonderer Bedeutung sind die verkehrsbelasteten Gebiete mit schlechter lufthygienischer Durchlüftung, wie einige Misoxer Ortszentren mit engen Strassenschluchten, welche in Roveredo sogar zur Ortstrennung durch das A13-Trassee führt. Diese stärkst belastete Zone zwischen Roveredo und Grono zählt sogar zur roten Luftgütezone mit grosser Luftgesamtbelastung, welche im Bündner Rheintal heute nicht mehr nachweisbar ist. Ab 2016 darf nach der Eröffnung des A13-Umfahrungstunnels San Fedele mit einer signifikanten Entlastung im Raum Roveredo gerechnet werden. Im Bündner Rheintal sind es die Orte 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 verschiedenen Massnahmen zusätzlich notwendig, zur nachhaltigen Reduktion der übermässigen Ozon, NOx und Feinstaubbelastung.

Besonders wirkungsrelevant sind auch die Massnahmen zur Minderung von kurzfristigen Spitzenbelastungen, während den Inversionslagen. Dafür sieht der kantonale 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 rot und orangefarbenen Zentrumsgebiete, welche heute noch eine starke bis 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.