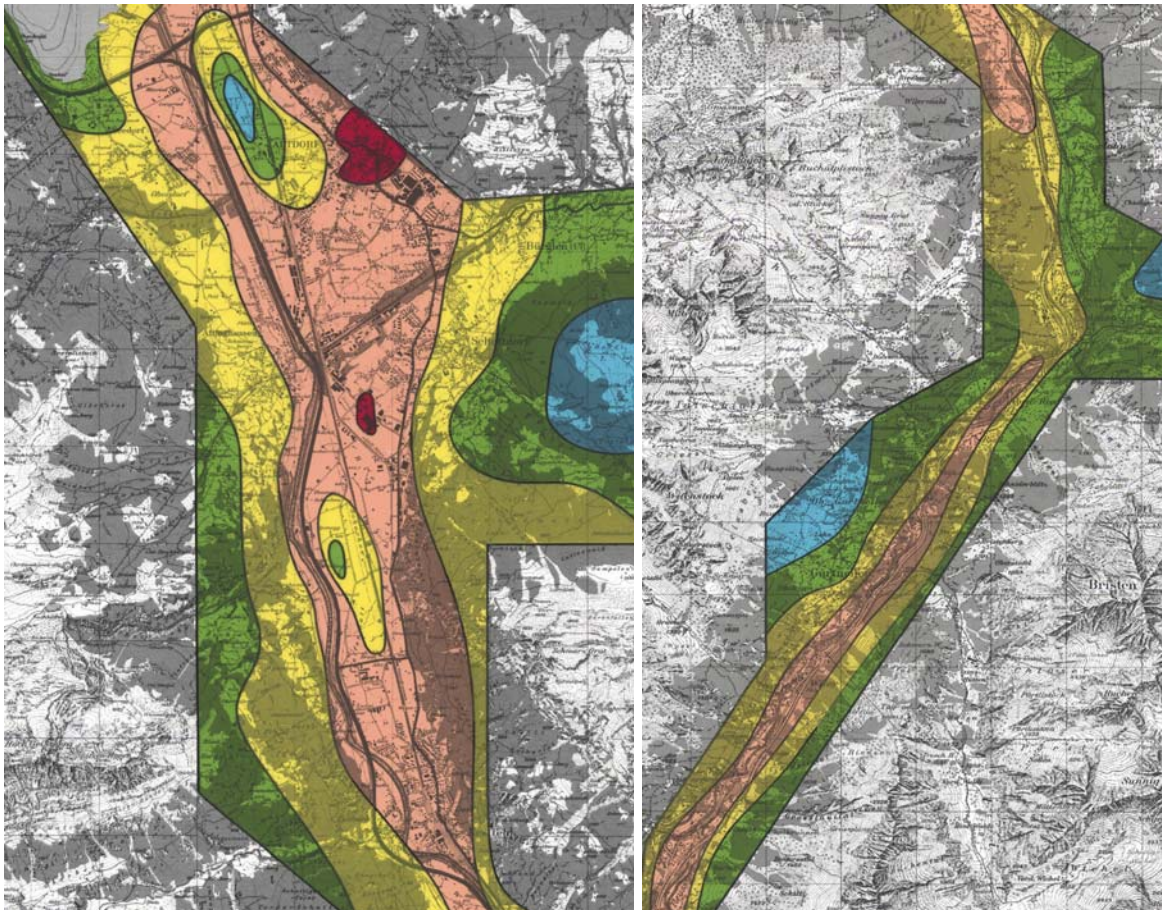


Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten im Kanton Uri

Gesamtes Unteres und Oberes Urner Reusstal - Ersterhebungen 2008-2010



Gesamtbericht
22. März 2011

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

Impressum

Projekt-Bearbeitung

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

Projektleitung

*Dr. Alexander Imhof
Amt für Umweltschutz, Abteilung Immissionsschutz
Klausenstrasse 4, 6460 Altdorf
Tel. 041 875 24 49*

Begleitung

*Dr. Alexander Imhof und Niklas Joos-Widmer,
Amt für Umweltschutz, Altdorf*

*Klaus Kammer, BAFU, Abteilung Oekonomie und Forschung, Sektion
Umweltbeobachtung, Bern*

mit freundlicher Mitwirkung von

*Niklas Joos-Widmer, Amt für Umweltschutz, Abt. Immissionsschutz,
Altdorf*

Peter Böhler und Mitarbeiter, inNET AG, Altdorf

*René Locher, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften,
Winterthur*

*Ass. Prof. Sally Liu und MitarbeiterInnen, Institut für Sozial- und
Präventivmedizin Uni Basel*

Dr. Jürg Thudium, Oekoscience AG, Chur

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	1
1. Ausgangslage	1
2. Auftrag und Zielsetzungen	3
3. Untersuchungsmethoden	5
3.1 Gesamtbelastung der Luft - Bioindikation mit Flechten.....	5
4. Vorgehen und weitere Grundlagen	11
4.1 Gesamtbelastung der Luft - Bioindikation mit Flechten.....	11
5. Hauptergebnisse zur Luftqualität im gesamten Urner Reusstal	13
5.1 Luftgütekarte im Urner Reusstal von 2008 - 2010 Kurzbeschreibung der Luftgesamtbelastung	13
5.2 Vertiefte Interpretation der Urner Luftgütekarte nach Belastungszonen	14
Luftgütekarte Unteres Urner Reusstal	16
Luftgütekarte Oberes Urner Reusstal	17
5.3 Vergleich der Luftgesamtbelastung im Urner Reusstal mit Luftgütekarten aus anderen Landesteilen	23
5.4 Vergleich der Luftgesamtbelastung des Urner Reusstals mit der NO ₂ -Belastung.....	28
5.4.1 Deskriptiver Vergleich der Luftgesamtbelastung im Unteren Urner Reusstal mit der NO ₂ -Belastung.....	28
5.4.2 Deskriptiver Vergleich der Luftgesamtbelastung im Oberen Urner Reusstal mit der NO ₂ -Belastung.....	29
5.4.3 Regressions-Statistischer Vergleich der Luftgesamtbelastung (IAP18) im Urner Reusstal mit der NO ₂ -Belastung.....	29
5.5 Vergleich der Luftgesamtbelastung im Urner Reusstal mit der Bevölkerungsexposition.....	33

	Seite
6. Immissionsökologische Ergebnisse ausgewählter Flechtenarten	37
6.1 Die Arthäufigkeit.....	37
6.2 Die Toxitoleranz als Mass der Schadstoffempfindlichkeit.....	39
6.3 Mittlere Frequenz der Artmächtigkeit.....	40
6.4 Flechtenartspezifisches Verhalten im pH-Anspruch und der Nitrotoleranz erlaubt Zusatzangaben zur Art der Immissionsbelastung.....	43
6.5 Acidoindex zur Indikation von Gebieten mit sauren bzw. basischen Immissionen.....	45
6.5.1 Verbreitungskarte des Acidoindex im Unteren Urner Reusstal.....	46
6.5.2 Verbreitungskarte des Acidoindex im Oberen Urner Reusstal.....	49
6.6 Nitroindex zur Indikation von Gebieten mit stickstoffhaltigen Immissionen.....	49
6.6.1 Verbreitungskarte des Nitroindex im Unteren Urner Reusstal.....	51
6.6.2 Verbreitungskarte des Nitroindex im Oberen Urner Reusstal.....	54
7. Schlussfolgerungen und Ausblick.....	55
8. Glossar	57
9. Literaturhinweise	59
Anhang	63
Anhang 1 Objekt-bezogene Daten IAP18 2008-2010.....	63
Anhang 2 Georaum-bezogene IAP18-Daten 2008-2010....	73
Anhang 3 Monitoring flankierende Massnahmen (MfM-U) Biologisches Luftqualitätsmonitoring mit Flechten entlang der A2 und A13.....	75

Zusammenfassung

Luftqualität im gesamten Urner Reusstal anhand der ersten Flechtenkartierung von 2008 - 2010

- **Erste Flechtenkartierung im gesamten Urner Reusstal**

Gestützt auf die positiven Erfahrungen vieler Kantone und Städte und ersten Ergebnissen einer verkehrsbezogenen Biomonitoringstudie des BAFU an der Alpentransitautobahn A2 in Erstfeld, hat sich im Frühjahr 2008 auch der Kanton Uri entschieden im verkehrsbelasteten Unteren Urner Reusstal die Luftqualität mit einer Flechtenkartierung ganzheitlich untersuchen zu lassen. Mit einem Zusatzauftrag konnte in den Jahren 2009-10 auch noch das Obere Reusstal zwischen Silenen und dem A2-Gotthard-Portal in Göschenen untersucht werden.

Die aktuelle Luftqualitätsuntersuchung im 73km² grossen Urner Reusstal zwischen Seedorf, Flüelen und Erstfeld und dem Gotthard-Portal in Göschenen wurde vom Sommer 2008 bis Herbst 2010 mit Hilfe von Flechten an Laubbäumen durchgeführt. Die Untersuchung erfolgte mit derselben «Kalibrierten Flechtenindikationsmethode», welche seit drei Jahrzehnten landesweit mit grossem Erfolg in der Luftreinhaltung eingesetzt wird.

Das Hauptergebnis dieser Flechtenkartierung bildet die erste Urner Luftgütekarte, welche die Luftqualität aufgrund der Beeinträchtigung der immissionsempfindlichen Baumflechten wirkungsbezogen, in Form von fünf standardisierten Luftgüte-zonen darstellt, welche direkt mit Untersuchungen in anderen Landesgegenden

Bioindikation mit Flechten

Die Bioindikation mit Flechten ist eine standardisierte Methode, welche die biologischen Auswirkungen der Luftbelastung erfasst. Der aufgrund der Flechtenartenvielfalt gemessene Luftgütewert IAP18 ist aufgrund der Eichung mit technisch gemessenen Luftschadstoffen ein zuverlässiger Indikator für die Gesamtbelastung der Luft und ermöglicht eine flächendeckende und räumlich präzise Charakterisierung der Luftqualität. Die Flechtenindikationsmethode unterscheidet fünf verschiedenfarbige Zonen der Gesamtbelastung der Luft, welche bezüglich der Flechtenwirkung als kritisch, stark, mittel, gering und sehr gering bezeichnet werden. In den kritisch und stark belasteten Zonen rot und orange werden die Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung von NO₂ und z.T. anderer Luftschadstoffe in der Regel meist deutlich überschritten.

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.

verglichen werden können. Weil die «Kalibrierte Flechtenindikationsmethode» bereits bei ihrer Entwicklung im Nationalen Forschungsprogramm 14 umfassend mit technischen Immissionsmessungen verglichen wurde und dabei eine hochgradige Übereinstimmung gezeigt hat (Kalibration), kann von den fünf Flechtenwirkungs-zonen direkt auf das Mass der Luftgesamtbelastung geschlossen werden.

Die Luftgütekarte unterscheidet die in Tabelle 1 gezeigten Gesamtbelastungszonen: Flechtenwüste rot mit kritischer Gesamtbelastung, Innere Kampfzone orange mit starker Gesamtbelastung, Äussere Kampfzone gelb mit mittlerer Gesamtbelastung, Übergangszone grün mit geringer Gesamtbelastung sowie Normalzone blau mit sehr geringer Gesamtbelastung. Diese Gesamtbelastungszonen erlauben auch grobe Vergleiche zur erwarteten Immissionsbelastung mit NO₂ und anderen Luftschadstoffen.

● Die Luftqualität im gesamten Urner Reusstal

Beide Luftgütekarten (Wirkungs- und Gesamtimmissionskataster) des Unteren und Oberen Urner Reusstals, welche mittels Kalibrierter Flechtenindikationsmethode erstellt wurden, lassen sehr deutliche Unterschiede in der Ausprägung der Flechtenvegetation, bzw. in der Luftqualität erkennen. Sie sind ein getreues Abbild der Schadwirkungen der gesamten Luftbelastung auf die immissions-empfindliche Flechtenvegetation (Abb. 1, 2).

		Kt. Uri gesamt		Bevölkerungsexposition	
Gesamtimmissionszone	Farbe	Flächenanteil		Einwohnerzahl	
		km ²	%	ha	%
Kritische Gesamtbelastung	rot	0.6	0.8	912	3.1
Starke Gesamtbelastung	orange	19.0	25.9	14625	49.6
Mittlere Gesamtbelastung	gelb	25.6	34.9	9009	30.5
Geringe Gesamtbelastung	grün	22.6	30.8	3665	12.4
Sehr geringe Gesamtbelastung	blau	5.6	7.7	1295	4.4
<i>Gesamtfläche, Einwohnerzahl</i>		<i>73.3</i>	<i>100</i>	<i>29506</i>	<i>100</i>

Tab. 1 Flächenanteile der fünf Gesamtimmissionszonen der Luftgütekarten im Unteren und Oberen Urner Reusstal von 2008-2010 und Vergleich mit der Wohnbevölkerung dieser Luftgütezonen.

Der Wirkungs- und Gesamtimmissionskataster unterscheidet fünf Belastungszonen, welche im vorliegenden Untersuchungsgebiet alle in unterschiedlich mächtiger Flächenausbreitung nachgewiesen wurden. Die unterschiedliche Flächenausdehnung der fünf Luft-Gesamtbelastungszonen im 73 km² grossen Untersuchungsgebiet des gesamten Urner Reusstals von 2008-10 und die Zuordnung der Wohnbevölkerung in diesen Luftgütezonen (Bevölkerungsexposition) findet sich in Tabelle 1.

Mit einem Flächenanteil von 34.9% dominiert die gelbe Luftgütezone mit mittlerer Gesamtbelastung, gefolgt von der grünen Zone mit geringer Gesamtbelastung mit 30.8% und der orangenen Zone mit starker Gesamtbelastung mit 25.9%. Im Untersuchungsgebiet macht die stärkst belastete rote Zone mit Kritisch starker Gesamtbelastung 0.8% aus, währenddem die beste Luftqualitätszone blau mit sehr geringer Gesamtbelastung 7.7% der Untersuchungsfläche umfasst. Diese findet sich nur in höher gelegenen Gebieten sowie in einer geschützten Gunstzone im Talboden.

● **Luftgesamtbelastung in den verschiedenen Belastungszonen**

Die rote Zone mit **kritischer Gesamtbelastung** (*Flechtenwüste*) beschränkt sich mit relativ geringer Flächenausdehnung auf das sehr stark verkehrsbelastete Kerngebiet von Altdorf, das auch wichtige Wohnquartiere und das Industriegebiet Schattdorf-Rossgiessen umfasst.

Die orange Zone mit **starker Gesamtbelastung** (*Innere Kampfzone*) findet sich mit grosser Flächenausdehnung fast im gesamten Talboden entlang der Alpen-transitautobahn A2 und der Gotthardstrasse zwischen dem Hafen und Industriegebiet Flüelen über Erstfeld bis zum Gotthard-Portal der A2 in Göschenen. Einzig zwischen dem nördlichen Dorfrand von Silenen und dem südlichen Amsteg wird diese Zone starker von der mittleren Gesamtbelastung unterbrochen.

Die gelbe Zone mit **mittlerer Gesamtbelastung** (*Äussere Kampfzone*) erstreckt sich von der Reussmündung entlang der westlichen und östlichen Reusstalgebiete und unteren Hangzonen mit den Gemeinden Seedorf, Attinghausen, Erstfeld-Taubbach und den tiefer gelegenen Ortsteilen von Schattdorf, Bürglen. Zu dieser Luftgütezone zählen auch Flüelen und Sisikon sowie die beiden inselförmigen Gunstzonen von Altdorf-Chornmatt-Giessenhof-Gründli und Erstfeld-Feldmatt, welche allerdings von der Transitautobahn deutlich begrenzt werden. Infolge sehr guter Durchlüftung vom Maderanertal her, zeigt sich diese Luftgütezone mittlerer Gesamtbelastung auch zwischen Silenen und Amsteg und dies sogar in Autobahnnähe. Im Urner Oberland umschliesst diese mittlere, gelbe Gesamtbelastungszone die orange Zone mit starker Luftgesamtbelastung.

Die grüne Zone mit **geringer Gesamtbelastung** (*Übergangszone*) beschränkt sich ausschliesslich auf die höher gelegenen Gemeindegebiete von Bürglen und Schattdorf sowie die oberen Hangzonen im Gebiet der Schattdorfer Berge, Attinghausen-Mettlen und dem Berggebiet von Bockli, Oberwiler und Horn. Die seenahen Gebiete und Hangzonen von Seedorf-Unterdorf bis Bolzbach sowie die zwei kleinen Gunstzonen Altdorf-Gartenmatt und Erstfeld-Witelingen/Spaegg zählen ebenfalls zu dieser Luftgütezone.

Im Urner Hinter- und Oberland zählen auch die höher gelegenen Gebiete von Silenen Buchholz, Tägerlohn und Amsteg mit Vorder und Hinterbristen im Maderanertal sowie die höher gelegenen Gebiete von Vorder und Hinterried bis nach Wasen zu dieser Luftgütezone. Auf der östlichen Talflanke sind es die ebenfalls höher gelegenen Gebiete zwischen Intschi, Gurtnellen und Göschenen.

Die beste blaue Luftgütezone mit **sehr geringer Gesamtbelastung** (*Normalzone*) findet sich im Urner Unterland nur in den Schattdorfer Bergen im Gebiet Haldi und dort beschränkt auf mittlere Höhenlagen zwischen 1000-1250m sowie als kleine, inselförmige Gunstzone im Naherholungsgebiet Altdorf-Gartenmatt. Diese eher unerwartete Gunstzone findet sich auch dort nur im A2-fernen und von der Seedorferstrasse und Giessenstrasse deutlich beschränkten, kleinen Gebiet mit einem bes. Mikroklima. Die beiden im Reusstalboden nachgewiesenen Gunstzonen in den Gebieten Altdorf-Chornmatt-Giessenhof-Gründli und Erstfeld-Feldmatt belegen aufgrund der aktuellen Luftgütekarte das durchaus noch vorhandene

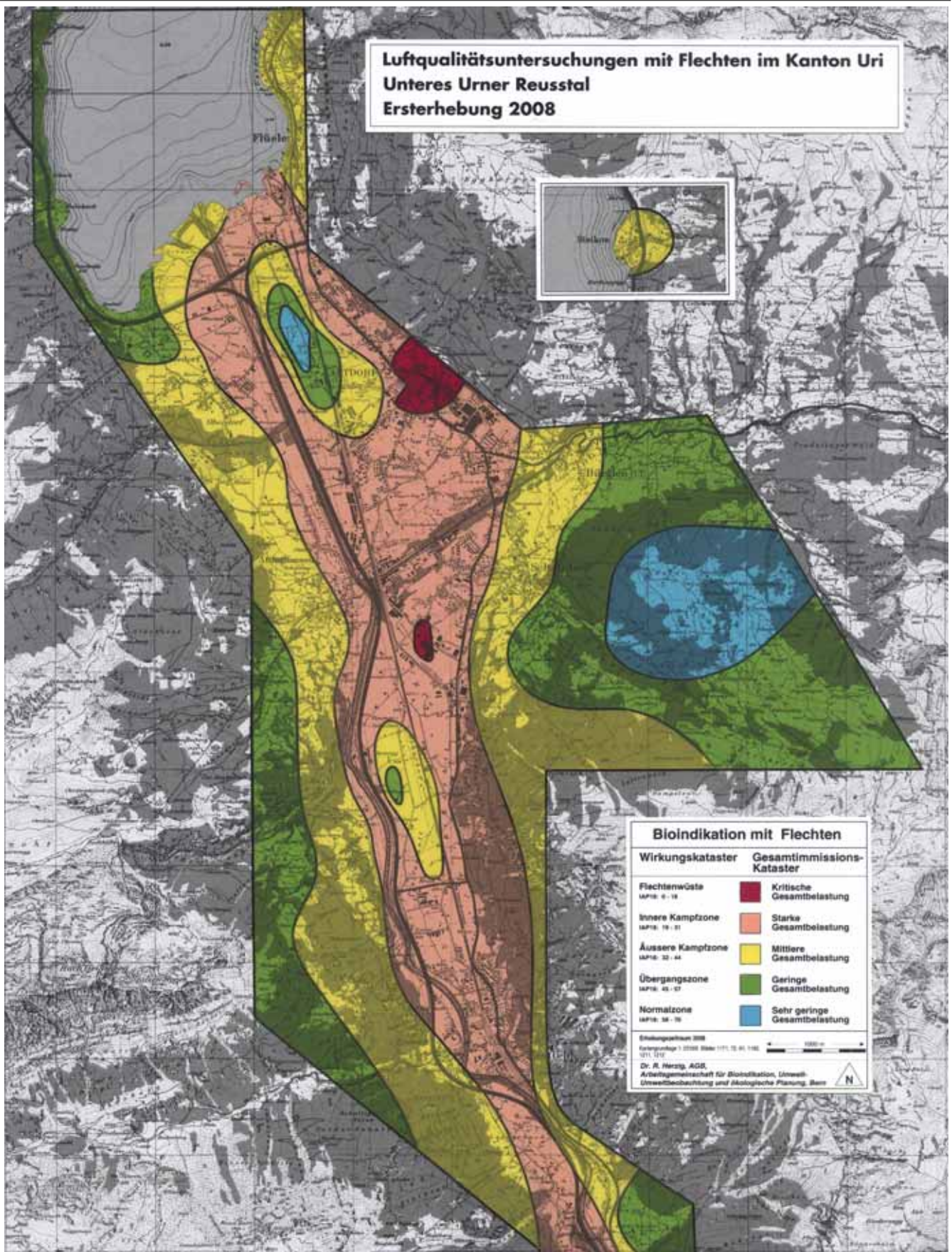


Abb. 1 Aktuelle Luftgütekarte des Unteren Urner Reusstal von 2008

Die orange Zone mit starker Gesamtbelastung bedeckt weite Teile des dicht besiedelten Talbodens entlang der Alpen-transitautobahn A2 und der alten Gotthardstrasse. Im stark verkehrsbelasteten Ortskern von Altdorf sowie im Industrie-
 gebiet Schattdorf-Rossgiessen zeigt sich sogar die rote Zone mit kritischer Gesamtbelastung. Die gelbe Zone mit mittlerer Gesamtbelastung umschliesst in den Randgebieten die orange Zone. In den erhöhten Lagen von Bürglen, Schattdorf, Silenen und Bockiberg findet sich die grüne Zone mit geringer Gesamtbelastung. Die blaue Zone mit sehr guter Luftqualität zeigt sich nur in den Schattdorfer Bergen und einer isolierten Gunstzone im Gebiet Altdorf Giessen.

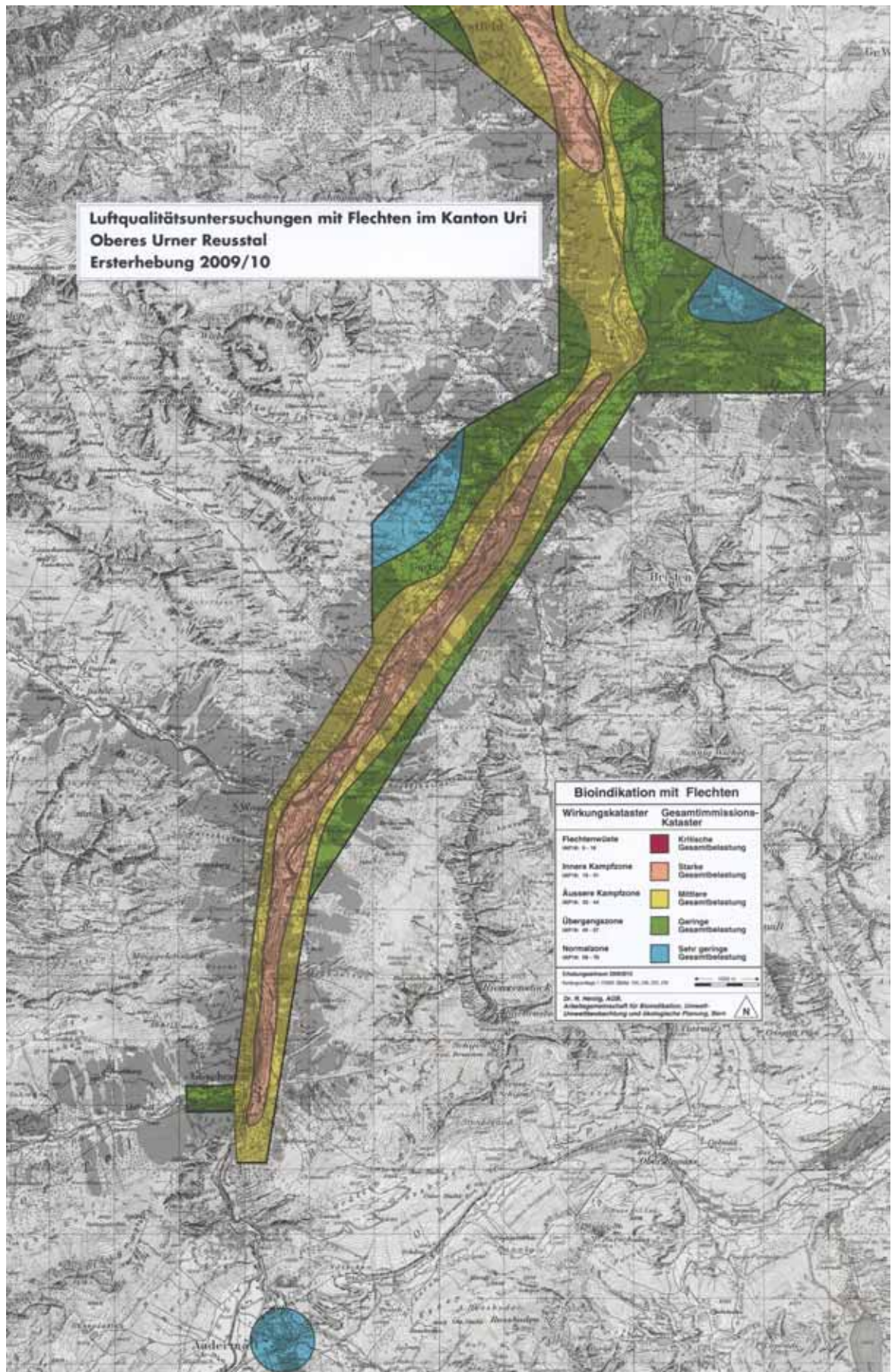


Abb. 2 Aktuelle Luftgütekarte des Oberen Urner Reusstal von 2009/10

Die orange Zone mit starker Gesambelastung der Luft erstreckt sich auch im Oberen Urner Reusstal entlang der Transitautobahn A2. Einzig im Gebiet Amsteg, das vom Maderanertal her gut durchlüftet wird, zeigt sich eine mittlere Gesamtbelastung entlang der A2. Eine sehr gute Luftqualität zeigt sich in Andermatt, Obergurtnellen und Frentschen- und Waldiberg im Maderanertal.

Potential für eine gute Luftqualität, welches allerdings durch die hohe Mfz-Verkehrsbelastung sowie weitere Immissionen aus den Quellen Industrie/Gewerbe und Haushalte in mess- und sichtbar Weise beeinträchtigt wird.

Im Urner Oberland findet sich diese beste blaue Luftgütezone in den Bristener Höhengebieten des Frentschen- und Waldibergs, in Obergurtnellen sowie im Dorf Andermatt auf einer Höhenstufe von 1000-1450m.

- **Vergleich der Luftgesamtbelastung der Urner Luftgütekarten mit der Bevölkerungsexposition, den Stickoxid-Emissionen und Immissionen sowie der Mfz-Verkehrsbelastung**

Bevölkerungsexposition

Vergleicht man die beiden Urner Luftgütekarten mit der Bevölkerungsexposition, d.h. dem Anteil Wohnbevölkerung, welche in den fünf verschiedenen Luftgüte-zonen leben, so ergeben sich die folgenden Ergebnisse:

In der orangen Luftgütezone mit starker Gesamtbelastung, welche mit einem Flächenanteil von 25.9% fast den ganzen Reusstalboden bedeckt, leben hohe 49.6% (14'625) der gesamten Urner Wohnbevölkerung. Obschon die stärkst belastete rote Zone mit kritisch starker Gesamtbelastung nur gerade 0.8% der Untersuchungsfläche umfasst, leben in dieser Belastungszone insgesamt 3.1% der Urner Bevölkerung, was 912 Personen entspricht.

In der dominanten gelben Luftgütezone mit mittlerer Gesamtbelastung, welche 34.9% der Untersuchungsfläche ausmacht, beträgt der Bevölkerungsanteil 30.5%, gefolgt von der grünen Zone mit geringer Gesamtbelastung mit einem Flächenanteil von 30.8% und einem Bevölkerungsanteil von 12.4%. In der besten Luftqualitätszone blau mit sehr geringer Gesamtbelastung welche 7.7% der Untersuchungsfläche umfasst, und sich fast ausschliesslich in höher gelegenen und optimal durchlüfteten Gunstzonen befinden, leben weitere 4.4% der Wohnbevölkerung. Insgesamt leben im Untersuchungsperimeter der beiden Luftgütekarten im Unteren und Oberen Reusstal 35'304 Personen, was 84% der gesamten Urner Wohnbevölkerung entspricht (Eidg. Volkszählung 2000, BFS).

Stickoxid-Emissionen und Immissionen

Eine weitere Interpretation der Urner Luftgütekarten und der NO₂- und Mfz-Verkehrsbelastung ergibt sich durch den Beizug der Erkenntnisse aus dem kantonalen Emissionskataster, welcher die Luftschadstoffemissionen von NO_x, flüchtigen Nichtmethan-Kohlenwasserstoffen, getrennt nach den wichtigsten Quellengruppen für das Bezugsjahr 2005 kantons- und gemeindeweise quantifiziert. Bei den NO_x-Emissionen trägt der Strassenverkehr mit über 80%, gefolgt vom 11% Offroad-Verkehr (Maschinen, Arbeitsgeräte und Transportmittel ausserhalb des Strassenverkehrs) den grössten Anteil bei. Von besonderer Bedeutung für diesen Vergleich sind die hohen strassenverkehrs-bedingten NO_x-Emissionen, von denen bekannt ist, dass 60% allein von den Nationalstrassen (A2 und Axenstrasse) verursacht werden. Dieser Anteil der Verkehrsemissionen liegt damit im Kanton Uri bedeutend höher als im schweizerischen Durchschnitt.

Aufgrund der langjährigen Vergleichserfahrung und gestützt auf statistische Vergleiche mit den tatsächlich im Urner Reusstal gemessenen Belastungswerten von NO_2 (Jahresmittel), welche im Vergleich zum IAP18 erneut zu einer hohen Übereinstimmung ($R^2=0.78$) geführt haben, können auch grobe Rückschlüsse auf die Stickoxidbelastung in den verschiedenen Luftgütezonen gezogen werden.

Mfz-Verkehrsbelastung

Wie aus vergleichenden Analysen, welche z.T. auch bereits im Bericht zum Unteren Urner Reusstal 2008 durchgeführt wurden, ist klar ersichtlich, dass der überaus intensive Motorfahrzeugverkehr im Talboden des ganzen Urner Reusstals die Belastung mit Emissionen und Immissionen von Stickoxiden in hohem Masse beeinflusst. Entlang der hochfrequentierten Transitautobahn A2 sowie der Altdorf durchquerenden Herrengasse und Gotthardstrasse finden sich die höchsten NO_2 -Belastungswerte im Bereich von $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ und mehr, welche den Immissionsgrenzwert der LRV deutlich überschreiten. Im strassennahen Reusstalboden von Flüelen bis Gurnellen-Wiler finden sich meist NO_2 -Belastungswerte (Jahresmittel) von $25\text{--}30\mu\text{g}/\text{m}^3$ und nur an strassen-fernen Messstandorten solche von $15\text{--}23\mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Abfall der NO_2 -Belastung erfolgt klar strassenabhängig, wie die beiden A2-Profile Feldmatt und Dimmerschachen aufzeigen, wo sich die NO_2 -Belastung in den ersten 200m von der A2 je halbiert.

Die NO_2 -Belastung ist im gesamten Urner Reusstal hochgradig proportional zu den Emissionsfrachten des Verkehrs und somit zum DTV und sehr stark abhängig vom Schwerverkehrsanteil, aber auch vom Grad der örtlichen Durchlüftung. Das Beispiel für eine unzureichende Durchlüftung ist das Altdorfer Ortszentrum mit dem hochfrequentierten Strassencanyon Herrengasse/Gotthardstrasse (DTV bis 13'400), gegenüber der A2, welche meist im unbebauten Gebiet mit einer sehr guten lufthygienischen Durchlüftung verläuft. Entsprechend der hohen Verkehrsbelastung und der unzureichenden Durchlüftung resultiert im Altdorfer Ortszentrum in der wirkungsbezogenen Analyse denn auch eine Flechtenwüste mit einer kritisch hohen Gesamtbelastung der Luft.

Auch im sehr engen V-Tal des Urner Oberlandes führt die ausserordentlich hohe Verkehrsbelastung mit Schwerverkehrsanteil, zusammen mit häufigen Staulagen, wesentlich zur prägnanten Ausprägung der orangen Zone mit starker Luftgesamtbelastung bei. Die Alpendörfer Wiler, Wassen und der A2-nahe Teil von Göschenen sind besonders davon betroffen. Auch im Oberen Reusstal zwischen Silenen und Wassen beträgt die mittlere tägliche Verkehrsbelastung des DTV auf der A2 rund 20'000 - 21'000 und zwischen Wassen und dem Gotthard-Portal sind es immer noch zwischen 12'500 - 19'500 Fahrzeuge/Tag. Der Schwerverkehrsanteil auf der A2 zwischen Erstfeld und dem Gotthardtunnel liegt bei hohen 13-16% (2003). Und die täglichen Spitzenwerte (Feiertage, Ferienzeiten) können durchaus bis zu 46'000 Fz/Tag betragen.

Vergleicht man die drei lufthygienischen Gunstzonen in Obergurnellen, Bristen, Frentschen- und Waldiberg und Andermatt mit der täglichen Verkehrsbelastung,

so fällt auf, dass diese Gunstzonen besserer Luftqualität je in sehr grosser Distanz von der A2 und weiteren Verbindungsstrassen liegen. In Obergurtnellen und Bristen Waldiberg sind die Zufahrtstrassen sogar mit einem allg. Fahrverbot belegt. Im Dorf Andermatt, welches ausserordentlich gut durchlüftet ist, beträgt der DTV auf den drei Hauptachsen nur 2244 - 3160 Fahrzeuge/Tag.

- Als Fazit kann aus dieser Gesamtanalyse festgehalten werden, dass im Gebiet des gesamten Urner Reusstals der hohe Anteil des Mfz-Verkehrs mit seinem ebenso hohen Anteil am stärksten belastenden diesel-betriebenen Schwerverkehr (NO_x , PM10, SO_2 , Schwermetalle, PAKs u.a. NMVOCs) den grössten Anteil an der anthropogen verursachten Luftbelastung beiträgt. Nebst der direkten Emission von Primärschadstoffen trägt der intensive Mfz-Verkehr mit seinen hohen NO_x und HC-Frachten auch indirekt wesentlich zur übermässigen Ozonbelastung (Sekundärschadstoff) im Sommerhalbjahr (März - Oktober) bei, welche ebenfalls nachweislich schädigend auf die empfindliche Flechtenvegetation einwirkt.

Die in den beiden Urner Luftgütekarten mittels einer wirkungsbezogenen Flechtenkartierung festgestellten hohen bis kritisch hohen Belastungszonen, können zu einem grossen Teil der intensiven Mfz-Belastung im Gebiet zugeschrieben werden. Dies wird auch durch die hohe statistische Korrelation der Luftgesamtbelastungswerte (IAP18) mit den entsprechenden Jahresmittelwerten von NO_2 der technischen Immissionsmessung an strassennahen und -fernen Messstandorten im Untersuchungsgebiet bestätigt.

- **Immissionsökologische Ergebnisse der Einzelartenauswertung**

Die Analyse des Verbreitungsmusters von ausgewählten, repräsentativen Flechtenarten liefert zusammen mit ihrer ökologischen Charakterisierung im Untersuchungsgebiet wertvolle Zusatzinformationen für die Interpretation der Luftgütekarte und erlaubt es, auch qualitative Angaben zur Art des Immissionstyps (Acido- und Nitroindex) zu machen. Insgesamt wurden im Unteren Urner Reusstal 39 verschiedene Flechtenarten, bzw. Artengruppen gefunden, welche für die Berechnung der Luftgütewerte des IAP18 verwendet werden. Die im Untersuchungsgebiet häufigste Artengruppe ist die sehr toxitolerante *Phaeophyscia orbicularis*-Gr., welche an 79% aller untersuchten Bäume mit einer ebenso hohen mittleren Frequenz von 8.4 gefunden wurde. Insgesamt finden sich im gesamten Urner Reusstal vier Flechtenarten an mehr als 55% aller Untersuchungsbäume und es sind 16 Flechtenarten, welche eine relative Häufigkeit von über 10% aufweisen, währenddem weitere 16 Arten relative Häufigkeiten zwischen 2-7% zeigen und 10 Arten nur ganz vereinzelt an höchstens 1% der Untersuchungsbäume gefunden wurden. In diesen beiden letzten Artengruppen finden sich auch die beiden gemäss der Roten Liste bedrohten Blatt-, bzw. Strauchflechtenarten *Parmelia acetabulum* und *Ramalina fraxinea*.

- **Verbreitungskarte des Acidoindex im Urner Reusstal**

Die mit wenigen Ausnahmen hohen bis sehr hohen negativen Acidoindexwerte weisen im ganzen Unteren Urner Reusstal auf einen sehr ausgeprägten basischen Immissionstyp mit einer grossen räumlichen Differenzierung hin.

Auffallend ist, dass sich alle hohen negativen Acidoindexwerte (blau) in der orangen und roten Luftgütezone mit starker und kritischer Gesamtbelastung finden. Die Maximalwerte finden sich im Gebiet der A2-Verzweigung und Industriegebietes Flüelen sowie Altdorf-Moosbad mit sehr hoher Verkehrs-, bzw. industrieller Belastung. Demgegenüber finden sich die geringsten negativen Acidoindexwerte ausschliesslich in den Höhegebieten der Schattdorfer Berge und im Gebiet Bocki-Horn mit geringer bis sehr geringer Luftgesamtbelastung. Die Georäume in den beiden lufthygienischen Gunstzonen Gartenmatt und Feldmatt weisen je vergleichsweise geringere negative Acidoindexwerte auf und bestätigen die dort festgestellte geringere Luftbelastung ebenfalls gut. Verglichen mit anderen Untersuchungen im Schweizer Mittelland wie in den Kantonen Appenzell und Zug und bezogen auf den Mittleren Acidoindex dieser Studien, fällt die hohe basische Ausprägung der Immissionen auf, was auch mit der basischen Geologie (kalkhaltige Helvetische Decken) im Unteren Reusstal zu erklären ist. Im Oberen Reusstal ändert sich die Geologie und es treten dort vermehrt kristalline und eher saure Formationen auf, was sich auch in einem weniger basischen Acidoindex widerspiegelt.

● **Verbreitungskarte des Nitroindex im Urner Reusstal**

Noch ausgeprägter als beim Acidoindex fällt die räumliche Differenzierung der Stickstoffbelastung beim Nitroindex am Beispiel des Unteren Reusstals (Abb. 3), aus. Hier finden sich die höchsten Belastungswerte des Nitroindex (Georäummittel) ausschliesslich in der orangen und roten Luftgütezone mit starker und kritischer Gesamtbelastung und die geringsten N-Belastungswerte ausschliesslich in den beiden Höhegebieten der Schattdorfer Berge und im Gebiet Bocki-Horn mit geringer und sehr geringer Luftgesamtbelastung. Die maximalen Nitroindexwerte (> 0.80) finden sich im Industriegebiet Schattdorf-Rossgiessen, dicht gefolgt von den höchst frequentierten Verkehrsstandorten: Altdorf-Moosbad und Altdorf Gross Ey, gefolgt vom Industriegebiet Flüelen, Schattdorf-Rinächt, A2-Kreuz Seedorf und Altdorf-Gotthardstrasse. Eine hohe Stickstoff-Übersorgung der Flechten zeigt sich auch im Oberen Urner Reusstal, besonders im Talboden entlang der Belastungsschneise der A2 mit starker Gesamtbelastung. Diese erreicht im Mittel etwa 75% der Belastung des Unteren Urner Reusstals. Die maximalen Nitroindexwerte (≥ 0.5) finden sich im A2-nahen Gebiet von Silenen Rüti-Oettibach und Wassen Pfaffensprung. Die geringsten Nitroindexwerte finden sich in den höher gelegenen und gering - sehr gering belasteten Gebieten von Obergurtnellen, Göschenen Biel und Andermatt.

Aus dieser immissionsökologischen Feinanalyse kann das Fazit gezogen werden, dass die hohen Nitroindexwerte im ganzen Talboden des Unteren Urner Reusstals auf eine hohe bis sehr hohe Versorgung mit Stickoxiden hinweisen, welche zum überwiegenden Teil mit der aussergewöhnlich hohen Mfz-Verkehrsbelastung auf der Transitautobahn A2, dem kantonalen Strassenetz und der Landwirtschaft im Talboden (Ammoniak) zu erklären ist. Diese hohe Übersorgung mit Stickstoff im Reusstalboden führt zu der in dieser Studie festgestellten Artenverschiebung und Verarmung und trägt wesentlich zur Schädigung der immissionsempfindlichen Flechtenvegetation bei.

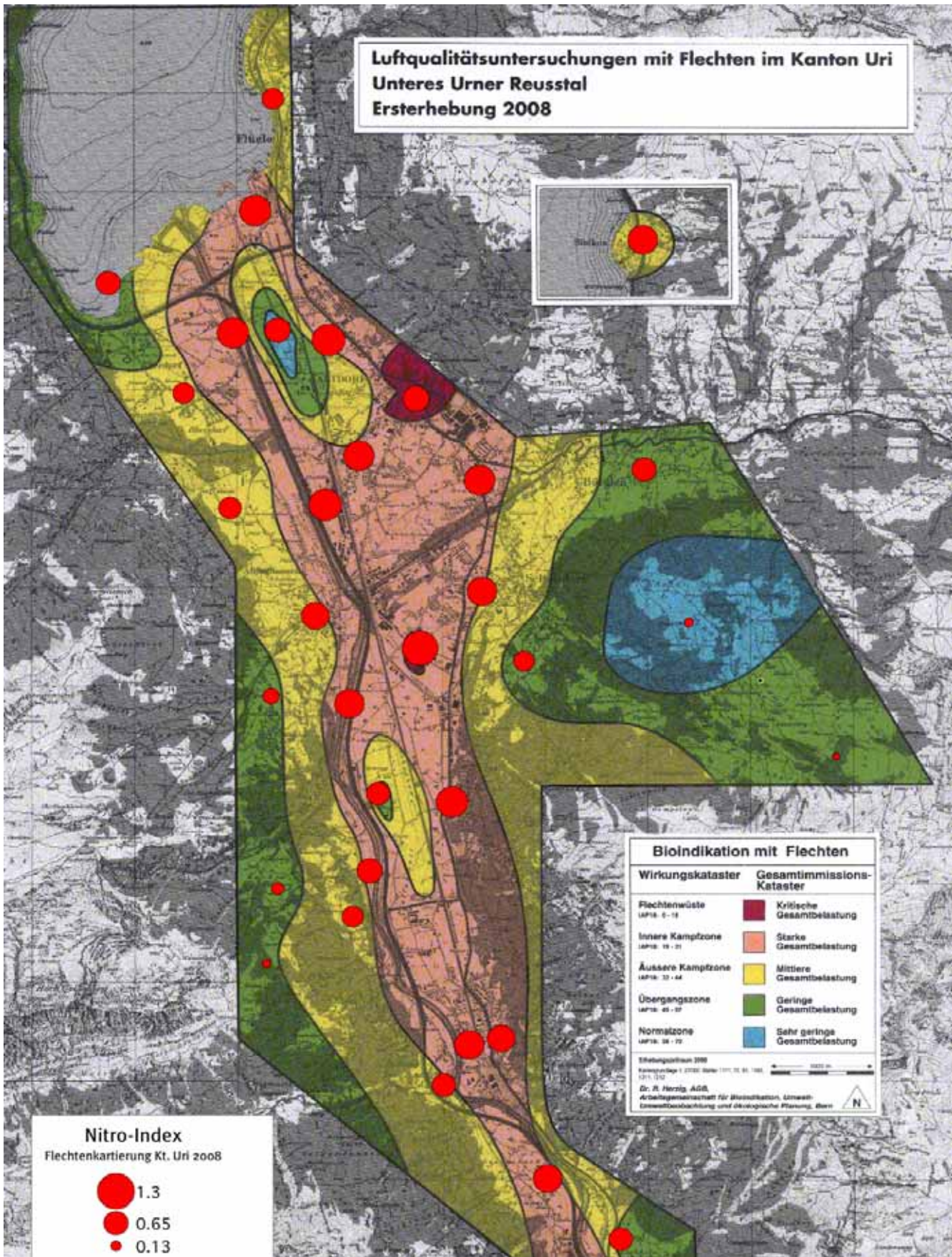


Abb. 3 Nitroindex überlagert mit aktueller Luftgütekarte des Unteren Urner Reusstals

Visualisiert die Stickstoff-Übersättigung der Flechten. Auffallend ist die fast ausschliessliche Bindung derjenigen Gebiete mit einer Stickstoff-Übersättigung mit den Luftgütezonen mit starker und kritischer Gesamtbelastung im stark belasteten Talboden, welche auch eine hohe Mfz-Verkehrs- und z.T. Industriebelastung aufweisen. Auch im Oberen Reusstal ergeben sich entlang der A2 hohe Nitroindexwerte. Gebiete mit einer geringen und sehr geringen Luftgesamtbelastung, wie die Schattdorfer Berge, das Gebiet Bocki-Horn, Bristen, Obergurtnellen, Göschenen Biel und Andermatt zeigen hingegen nur sehr geringe Nitroindexwerte.

- **Handlungsbedarf bleibt bestehen ...**

Die mittels der immissionsempfindlichen Baumflechten erstellten Luftgütekarten des Unteren und Oberen Urner Reusstals, weisen für 27% des Talbodens eine hohe bis kritisch hohe Luftgesamtbelastung aus. In diesen beiden stärkst belasteten roten und orangen Luftgütezone leben jedoch fast 53% der Urner Wohnbevölkerung. In der gelben Luftgütezone mit mittlerer Luftgesamtbelastung, welche 35% der Untersuchungsfläche ausmacht, leben weitere 30% der Urner Bevölkerung. Eine bessere Luftqualität findet sich fast ausschliesslich in höher gelegenen und von den Hauptverkehrsachsen abgewandten Gebieten im Reusstal. In diesen begünstigten grünen und blauen Luftgütezone leben 17% der Urner Bevölkerung. Die beiden in der Reusstalebene gefundenen lufthygienischen Gunstzone mit besserer Luftqualität liegen auch je in deutlicher Entfernung von der Transitautobahn A2 und Axenstrasse sowie dem kantonalen Strassenetz.

Alle durchgeführten Vergleiche der Luftgütekarte mit den technisch gemessenen NO_2 -Immissionen und berechneten Emissionen von NO_x zeigen eine hohe Übereinstimmung mit der hohen Mfz-Belastung auf der Alpentransitachse und dem kantonalen Strassenetz. Von besonderer Bedeutung sind die verkehrsbelasteten Gebiete mit schlechter lufthygienischer Durchlüftung, wie z.B. das Ortszentrum von Altdorf im engen Strassencanyon der Herrengasse und alten Gotthardstrasse. In diesem Gebiet würden verkehrsberuhigende Massnahmen und ein Schwerverkehrsverbot rasch zu einer deutlichen Belastungsminderung führen.

Schliesslich zeigen die Vergleiche der Bevölkerungsexposition mit den fünf Luftgütezone der aktuellen Flechtenkarten, dass hohe 52.7% der Urner Bevölkerung in den beiden kritisch stark und stark belasteten Luftgütezone rot und orange wohnen. Wenn die künftigen Luftreinhalte-massnahmen in diesen Gebieten mit besonderer Priorität erfolgen, ist dies von der grossen Zahl der betroffenen Einwohner her besonders zu begrüssen.

Mit einer weiterhin griffigen Luftreinhaltepolitik sollten deshalb vorab die dicht besiedelten Zentrumsgebiete, welche eine kritische und starke Luftgesamtbelastung aufweisen, zum Wohle der Bevölkerung weiter entlastet und möglichst ganz zum Verschwinden gebracht werden.

Mit einer Wiederholungskartierung in einigen Jahren kann dann der Erfolg dieser Luftreinhalte-massnahmen präzise überprüft werden...

1. Ausgangslage

1.1 Ausgangslage der «Flechtenkartierung im Unteren Urner Reusstal» von 2008

Der Kanton Uri interessierte sich schon seit einiger Zeit für eine Luftqualitätsuntersuchung mit Flechten. Nachdem 2003 im Rahmen des Bafu-Projektes Monitoring flankierende Massnahmen - Umwelt (MfM-U) entlang der A2 zwischen Basel und Chiasso auch im Kanton Uri bereits verkehrsbezogene Untersuchungen zur Luftgesamtbelastung sowie der Einzelstoffbelastung mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAKs) und Schwermetallen mit dem «Integrierten biologischen Messsystem mit Flechten» durchgeführt wurden (siehe Textkasten, Anhang 3), welche eine sehr deutliche Abhängigkeit zum Motorfahrzeugverkehr und insbesondere zum Schwerverkehr ergeben haben (Herzig 2007), sollen diese Untersuchungen sowohl im Rahmen des Monitoring flankierende Massnahmen (MfM-U) als auch für den Kanton Uri, in einer gut koordinierten Art und Weise, vertieft werden.

Gut koordiniertes Untersuchungskonzept von Aktivitäten des Kantons Uri und dem MfM-U des Bafu

In unserer ersten Besprechung von Ende Oktober 2007 hatte Herr Imhof den Wunsch nach einem Realisierungskonzept geäussert, welches es dem Kanton Uri in einer synergistischen Vorgehensweise mit den zusätzlich geplanten MfM-U-Aktivitäten des Bafu ermöglichen soll, die Luftqualität im gesamten Urner Reusstal detailliert zu untersuchen.

Dazu wurde eine detaillierte Projektofferte mit einem bewusst offen gehaltenen Realisierungskonzept zuhanden des Kantons Uri und des Bafu ausgearbeitet, welches auch den späteren Einbezug weiterer Reusstalgebiete im Urner Oberland ermöglichen soll.

Beim MfM-U des Bafu stehen derzeit gesundheitliche Aspekte (Atemwegserkrankungen bei Schulkindern) im Vordergrund, welche im Raum Erstfeld sehr detailliert, u.a. mit einem Personenmonitoring und im ganzen Kantonsgebiet mit Hilfe von Fragebögen der nationalen Gabriel-Studie untersucht werden.

Diese verkehrsbezogenen Atemwegesuntersuchungen des MfM-U erfolgen vom Institut für Sozial- und Präventivmedizin ISPM der Uni Basel (Ass.Prof. Sally Liu et al.) und werden mit technischen Immissionsmessungen (Stichprobenmessungen mittels Fixstation und Messwagen sowie NO₂-Passivsammlern) von InLuft sowie mit Ausbreitungsrechnungen von Infras ergänzt.

Weil diese kostspieligen technischen Immissionsmessungen nur an wenigen Standorten und nur für Einzelschadstoffe (NO₂, PM_{10/2.5}, Ozon, z.T. Russ, Partikelzahl, BTX und PAKs; nur an Fixstation A2) von Erstfeld ausgeführt werden können, sollen mit dem Luftqualitätsmonitoring mit Flechten der AGB zusätzlich die verkehrsrelevanten PAKs und Schwermetalle sowie die Luftgüte (Luftgesamtbelastung) untersucht werden. Diese umfassenden Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten sollen mit den Parametern der Atemwegsuntersuchungen räumlich und statistisch verglichen werden um deren Aussagekraft zu erhöhen.

Der Kanton Uri interessierte sich nebst dieser lokalen Detailuntersuchung von Atemwegserkrankungen bei Schulkindern im Raum Erstfeld aber auch für das grossflächige Ausmass der Luftbelastung im ganzen Reusstal zwischen Flüelen, Altdorf und Andermatt und insbesondere auch für die Abschätzung des Beitrags des Alpenstransitverkehrs an der Luftbelastung.

In unserer Projektevaluation von Ende Oktober 2007 haben wir daher sowohl über eine Transektuntersuchung von ausgewählten Standorten bezüglich der Schwermetalle und PAKs (Biomonitoring) als auch über eine grösserflächige Flechtenkartierung zur Luftgesamtbelastung (Bioindikation) gesprochen. Dabei ist klar geworden, dass der Alpenstransitverkehr eine grosse Bedeutung einnehmen wird.

Sowohl die Option von Horizontal- und Vertikaltransekten zur aktuellen Schwermetall-, PAK- und Gesamtluftbelastung als auch eine grösserflächige Gesamtbelastungsuntersuchung ermöglichen nicht nur ein feinaufgelöstes Bild zur aktuellen Luftbelastung im Urner Reusstal, sondern auch eine ausgezeichnete Grundlage für die grossflächige Langzeitüberwachung der Luftqualität und der Erfolgskontrolle der Luftreinhalte- und Verkehrsverlagerungspolitik im Kanton.

2. Auftrag und Zielsetzungen

Gestützt auf unsere Projektofferte vom 8. Mai 2008 hat das Amt für Umweltschutz des Kantons Uri mit zwei Teilaufträgen vom 15. Mai und 13. November 2008 die erstmalige Flechtenkartierung im zusammenhängenden Siedlungsgebiet der Unteren Reusstalgemeinden Altdorf, Flüelen, Bürglen, Seedorf, Schattdorf, Attinghausen und Erstfeld an der Transitautobahn A2 mit den zwei Höhentransekten in den Schattdorfer Bergen und im Gebiet Bocki-Wisliberg-Horn bei der AGB in Auftrag gegeben. Mit einem dritten Zusatzauftrag vom 18. November 2008 wurde auch noch die Untersuchung der Gemeinde Sisikon ermöglicht.

Das ganze Untersuchungskonzept der vorliegenden Studie wurde bewusst so offen gestaltet, dass weitere an der Transitautobahn gelegene Reusstalgebiete im Urner Oberland in den Folgejahren 2009 und 2011 untersucht und in die Urner Luftgütekarte und den vorliegenden Gesamtbericht integriert werden können. Mit zwei Zusatzaufträgen vom 26. Oktober 2009 und 14 Juni 2010 konnten die kartierbaren Gebiete im Urner Oberland im A2-belasteten Perimeter zwischen Silenen, Amsteg, Wassen und Göschenen sowie die Höhegebiete von Bristen-Waldiberg, Gurtnellen und Andermatt zusätzlich untersucht werden.

Die vorliegende, erstmalige «Flechtenkartierung im gesamten Urner Reusstal 2008-2010» verfolgt die folgenden Zielsetzungen und Fragestellungen:

- Flächendeckende Erstuntersuchung der Luftqualität im Perimeter des ganzen Unteren und Oberen Urner Reusstals und Erstellen der aktuellen Luftgütekarte, welche die Luftgesamtbelastung räumlich differenziert, in fünf Belastungszonen visualisiert.
- Räumlich differenzierte Interpretation der Luftgütekarte und Vergleich mit vorhandenen technischen Immissionsmessungen (on-line-Monitoring und NO₂-Passivsammler), den Verkehrserhebungen sowie den Erkenntnissen des kantonalen Emissionskatasters (bes. NO_x).
- Immissionsökologische Feinanalysen des Flechtenartengefüges am Beispiel des Acido- und Nitroindex, welche Rückschlüsse auf die Art der Luftbelastung (säure-, bzw. basenreiche Immissionen, bzw. stickstoffreicher Immissionstyp) ermöglichen (AGB 2002).

- Gesamtinterpretation der aktuellen Luftqualität und deren Ursachen. Diese sollen umfassend, unter Einbezug der klassischen Immissionsmessungen und von Verkehrs- und Emissionserhebungen sowie den Erkenntnissen der Flechtenkartierung, erfolgen.
- Die zu erwartenden räumlich differenzierten Ergebnisse dieser Erstuntersuchung der Luftgesamtbelastung mit Flechten im Unteren Urner Reusstal dienen ebenfalls zur besseren Begründung der Ergebnisse der Atemwegserkrankungen von Schulkindern des ISPM, welche derzeit im Rahmen des MfM-U und Bafu erarbeitet werden.
- Erstellen von zwei Horizontal- und Höhentransekten vom Talboden von der Transitautobahn A2 mit fixen Immissions-Messstandorten ins Siedlungsgebiet von Altdorf, bzw. Feldmatt in Erstfeld bis hinauf auf ca. 1500müM, zum Nachweis von möglichen Höhenverfrachtungen der Luftbelastungen aus dem Talgebiet, sowie zum Erkennen der Inversionsgrenzen. Diese Facharbeiten erfolgen zusammen mit den Ergebnissen der Einzelstoffanalysen der MfM-U-Biomonitoringstudie und werden im Ergebnisbericht zuhanden des Bafu dargestellt.

Die Luftqualitätsuntersuchungen erfolgen mit derselben «Kalibrierten Flechtenindikationsmethode» mittels Gesamtbelastungsindikator IAP18 des «Integrierten biologischen Messsystems mit Flechten» (Herzig 1990), welche im MfM-U am Standort Erstfeld sowie in zahlreichen kantonalen und städtischen Untersuchungen seit Jahren erfolgreich zum Einsatz kommt. Diese Luftqualitätsuntersuchungen mit Baumflechten ermöglichen eine grossflächige Ergänzung der punktuellen, klassischen Immissionsmessungen (on-line-Monitoring ausgewählter Noxen und Messstandorte sowie NO₂-Passivsammler), welche im Rahmen des interkantonalen Luftmessnetzes «In-Luft» durchgeführt werden.

Mit Auftrag vom 11.7.2008 hat das Bafu im Rahmen des MfM-U bei der AGB die begleitende Biomonitoringuntersuchung im Raum des A2-Transektes in der Feldmatt von Erstfeld sowie dem anschliessenden bis auf 1500 m hinauf reichenden Höhentransekt im Gebiet Bocki-Wisliberg-Horn in Auftrag gegeben.

In dieser begleitenden Biomonitoringuntersuchung werden anhand der beiden Blattflechtenarten *Parmelia sulcata* und *Xanthoria parietina* chemische Spurenanalysen von 36 verkehrsrelevanten Luftschadstoffen aus den Stoffklassen Schwermetalle, Gesamtstickstoff und -schwefel sowie von 20 verschiedenen polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen PAKs ausgeführt und mit den technisch gemessenen Immissionen, der Luftgütekarte, den Verkehrserhebungen sowie den Ergebnissen der Atemwegserkrankungen von Kleinkindern (ISPM) verglichen. Diese Ergebnisse werden in einem separaten Schlussbericht zuhanden des Bafu dargestellt.

3. Untersuchungsmethoden

3.1 Gesamtbelastung der Luft - Bioindikation mit Flechten

Flechten sind als «lebende Messgeräte» geeignet, die Wirkungen von Luftschadstoff-Gemischen auf Organismen aufzuzeigen. Flechten sind sehr sensible, aus Pilzen und Algen bestehende Symbioselebewesen, welche ihre Nährstoffe direkt aus der Atmosphäre (Luft, Regen, Nebel, Schnee) aufnehmen.

Im Gegensatz zu höheren Pflanzen besitzen Flechten kein spezielles Abwehrsystem gegen giftige oder schädliche Stoffe. Daher nehmen sie Nähr- und Schadstoffe aus der Luft gleichermassen auf. Die aufgenommenen Schadstoffe hinterlassen bei den Flechten sowohl sichtbare wie auch messbare Schäden. Im allgemeinen sind Flechten etwa zehnmal empfindlicher als höhere Pflanzen und gelten daher zu Recht als «Frühwarnsystem der Luftverschmutzung».

Dies macht sich die Bioindikationsmethode zunutzen: Die Flechten zeigen die Gesamtwirkung der über längere Zeit vorhandenen Luftverschmutzung an. Flechtenuntersuchungen ergänzen somit die punktuellen technischen Messungen von Einzelschadstoffen in sinnvoller Weise. Seit Jahrzehnten schon werden daher baumbewohnende Flechten als Bioindikatoren, d.h. als Zeigerlebewesen der Luftverschmutzung eingesetzt.

Die «**Kalibrierte Flechtenindikationsmethode**» ist geeignet zur Untersuchung der Auswirkung der Luftverschmutzung auf Lebewesen. Als Zeigerorganismen werden baumbewohnende Flechten verwendet. Die Kalibrierte Flechtenindikationsmethode wurde Mitte der Achtzigerjahre von Mitarbeitern der AGB im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP14 «Lufthaushalt und Luftverschmutzung in der Schweiz» für die speziellen Verhältnisse im Schweizer Mittelland entwickelt.

Diese Bioindikationsmethode resultiert aus einer breiten Evaluation verschiedener Flechtenzustands-Parameter und einer Eichung (Kalibration) dieser Parameter mit technischen Luftmessdaten anhand von drei unabhängigen, geländedifferenzierten Messnetzen: Region Biel-Seeland, NABEL und Mittelland (Herzig et al. 1985, 1988, 1990, 1991).

- **Als Mass für die Gesamtbelastung der Luft dient der «Gesamtbelastungsindikator IAP18» (Index of Atmospheric Purity).**

Die Kalibrierte Flechtenindikationsmethode basiert auf dem Gesamtbelastungs-Index IAP18. Ausgangspunkt dazu bildete der IAP-Wert (**I**ndex of **A**tmospheric **P**urity), der 1970 in Kanada von LeBlanc und DeSloover entwickelt wurde.

Im NFP14-Projekt in der Achzigerjahren wurde erstmals eine breit angelegte Evaluation und Kalibration von 20 verschiedenen Berechnungsvarianten des IAP-Index, welche fünf unterschiedliche Zustandsparameter (Deckungsgrad, Frequenz, Vitalität, Schädigungsgrad, Toxizität) der Flechtenvegetation in verschiedenen mathematischen Kombinationen enthielten, durchgeführt. Die Luftgüte-Berechnungsversion des IAP Nr.18 zeigte in multivariaten Analysen verglichen mit acht verschiedenen Luftschadstoffen der Stadt Biel und im NABEL-Messnetz (4 Luftschadstoffe) der Schweiz die grösste statistische Übereinstimmung mit technischen Immissionsdaten auf.

Dieser Gesamtbelastungsindikator IAP18 beinhaltet die Häufigkeit (Summe der Frequenzwerte) von 50 potentiellen Flechtenarten, welche mit dem standardisierten Aufnahmeverfahren der Kalibrierten Flechtenindikationsmethode im Stammbereich von ausgewählten Laubbaumarten erfasst werden und nach untenstehender Vorschrift zur Frequenzsumme aggregiert werden.

$$\text{IAP18} = \sum_{i=1}^n F_i$$

F_i : Frequenzwert der i-ten Flechtenart am Baum (Wert von null bis zehn)

n : Anzahl der im IAP18 berücksichtigten Flechtenarten eines Baumes

Der IAP18 ist somit ein biologischer Luftgütwert, welcher sich aus den Daten der Flechtenerhebungen mittels Frequenzzählmethode berechnet. Die Flechten messen über ihre Wirkungsanzeige integrativ die Belastung aller phytotoxischen Luftschadstoffe. Der IAP18 ist ein Mass der Gesamtmission, weshalb er auch als Gesamtbelastungsindikator IAP18 bezeichnet wird.

Für jeden untersuchten Trägerbaum wird der IAP18-Wert berechnet. Die Auswahl der zu untersuchenden, flächenrepräsentativen Bäume (Sommer- bzw. Winterlinde, Spitzahorn, Esche, Stiel- bzw. Traubeneiche und Berg-, bzw. Feldahorn), sowie die Bestimmung des Luftgütwertes IAP18, erfolgt nach standardisierten Kriterien, wie sie durch die Kalibrierte Flechtenindikationsmethode definiert sind (Herzig et al. 1985, 88, 90).

Abb. 1 Trägerbäume mit Frequenzgitter zur Messung des Luftgütewertes IAP18.

Links Baum im Stadtgebiet von Altdorf, ohne Flechtenbewuchs, wird als «Flechtenwüste» bezeichnet und repräsentiert eine kritische Luftgesamtbelastung.

Rechts Baum im Urner Berggebiet mit üppigem Flechtenbewuchs der Normalzone, welche eine sehr geringe Gesamtbelastung anzeigt.



Trägerbaum NR. 103 beim Gemeindehaus in der Altdorfer Innenstadt, ohne jeglichen Flechtenbewuchs; IAP18 = 0 . Das am Baum fixierte Frequenzgitter definiert die standardisierte Aufnahmefläche der Luftqualitätsmessung. Dieser Baum befindet sich in der «Flechtenwüste», was einer «kritischen Gesamtbelastung» der Luft entspricht.

Trägerbaum Nr. 84 mit üppigem Flechtenbewuchs auf dem Haldi in Schattdorfer Bergen mit höchstem IAP18-Luftgütewert im Gebiet von 89, bestehend aus 16 verschiedenen, auch immisionsempfindlichen, Flechtenarten. Dieser Baum befindet sich bezüglich der Flechtenwirkung in der «Normalzone», was einer «sehr geringen Gesamtbelastung» der Luft entspricht.

Die Luftgütewerte des Gesamtbelastungsindikators IAP18 lassen sich wie folgt charakterisieren (Abb. 1):

Je geringer die Luftschadstoffbelastung an einem Standort ist, desto mehr verschiedene Flechtenarten treten auf und desto häufiger sind diese, d.h. desto höher ist deren Frequenzwert. Dies führt zu hohen IAP18-Werten, was einer guten Luftqualität entspricht. Kahl dagegen sind die Baumstämme an Standorten sehr hoher Luftgesamtbelastung. Unter solchen Belastungsbedingungen vermögen empfindliche Flechtenarten nicht mehr zu überleben. Dies wiederum führt zu tiefen IAP18-Werten, was einer schlechten Luftqualität entspricht.

Die Kalibrierte Flechtenindikationsmethode unterscheidet in Form eines Wirkungskatasters fünf Zonen unterschiedlicher Flechtenschädigung. Gestützt auf die hohe multiple Korrelation mit technisch gemessenen Luftschadstoffen, kann jeder Zone des Wirkungskatasters eine Zone der lufthygienischen Gesamtbelastung zugeordnet werden.

● <u>Wirkungs-Kataster</u>	<u>Gesamtimmisions-Kataster</u>	<u>Zonenfarbe</u>
Flechtenwüste	→ Kritische Gesamtbelastung	rot
Innere Kampfzone	→ Starke Gesamtbelastung	orange
Äussere Kampfzone	→ Mittlere Gesamtbelastung	gelb
Übergangszone	→ Geringe Gesamtbelastung	grün
Normalzone	→ Sehr geringe Gesamtbelastung	blau

In der Beschreibung der Luftgütekarten werden die Namen der einzelnen Belastungszonen als stehende Begriffe verwendet. Die Namen der Flechtenzonen des Wirkungskatasters, welche nach heutigem Sprachverständnis etwas «militärisch» tönen, wurden von Botanikern Anfang des 19. Jahrhunderts definiert und beschrieben. Der Begriff Kampfzone bezeichnet treffend den Überlebenskampf, dem die sensiblen Flechten in luftbelasteten Gebieten ausgesetzt sind.

Die Kalibrierte Flechtenindikationsmethode eignet sich besonders für die grossräumige Erfassung von lufthygienischen Problemgebieten, welche Massnahmenpläne erfordern. Weiter ermöglicht sie einen raschen und detaillierten Überblick über das Gesamtimmisionsmuster eines Grossraumes im Sinne eines «Frühwarnsystems», welches schon reagiert, bevor für höhere Pflanzen, Tiere und Menschen irreversible Schäden entstehen.

Nebst der Langzeitüberwachung eines Grossraumes eignet sich die Methode besonders auch für die Erfolgskontrolle nach der Durchführung emissionsmindernder Massnahmen: Wiederholungen der Flechtendatenerhebungen ermöglichen den direkten Vergleich mit der Ausgangssituation. Sowohl Verschlechterungen wie Verbesserungen der lufthygienischen Gesamtbelastung können so räumlich differenziert angegeben und dadurch die immisionsseitige Wirksamkeit der getroffenen Sanierungsmassnahmen abgeschätzt werden.

In den vergangenen 20 Jahren wurden in mehreren Kantonen und Städten der Schweiz Luftqualitätsuntersuchungen mit der Kalibrierten Flechtenindikationsmethode durchgeführt, so auch in den Kantonen Bern, Luzern, Aargau, Solothurn, Appenzell A.Rh., Zürich, Schwyz, Zug sowie im Fürstentum Liechtenstein. In mehreren Fällen konnten auch bereits lufthygienische Erfolgskontrolluntersuchungen durchgeführt werden. Diese Untersuchungsergebnisse lassen sich dank Methodenstandardisierung und Kalibration direkt miteinander vergleichen.

- ***Flechtenindikationsmethode umfassend kalibriert mit technischen Immissionsdaten***

Die im NFP14 (1991), den Studien Liechtensteins (1992) und der POPs (BUWAL 2002) unabhängig durchgeführten multivariaten Kalibrationsverfahren (Varianz- und Regressionsanalysen) der Messparameter der Flechtenindikations- und der Biomonitoringmethode mit technischen Immissionsmessungen haben ergeben, dass der Feinstaub und die darin enthaltenen toxischen Inhaltsstoffe (Schwermetalle, organische Schadstoffe wie z.B. Polyaromate PAKs) zusammen mit Stickoxiden, Schwefeldioxid und Ozon in der Erklärung der Varianzanteile der Regressionsmodelle die entscheidende Rolle spielen. Mit dem Gesamtbelastungsindikator IAP18 wird die Luftqualität als lufthygienische Gesamtbelastung (Gesamtimmission) quantitativ ermittelt. Diese Luftgesamtbelastung umfasst die phytotoxischen Luftschadstoffe SO_2 , NO , NO_2 , Ozon, Staub und Schwermetalle sowie organische Luftschadstoffe (z.B.

PAKs, PCBs, Organochlorpestizide, Dioxine und Furane) in ihrer gesamtheitlichen Schadwirkung, wie sie für Pflanzen und auch für Menschen und Tiere wirksam sind (Herzig et al. 1985, 87, 88, 90, 93, 02, AGB 1992c, AGB 1994, AGB 1999). Dank der im NFP14 durchgeführten multivariaten Methodenkalibration mit technischen Luftschadstoffmessungen (Messnetz Biel: $R^2=0.98$; 8 Schadstoffe: SO_2 , NO_3 , Cl, Staub, Pb, Cd, Zn, Cu; sowie Messnetz NABEL Mittelland: $R^2=0.92$, 4 Schadstoffe: NO, NO_2 , SO_2 , O_3 ,) können mit der Kalibrierten Flechtenindikationsmethode statistisch gesicherte, quantitative Rückschlüsse auf die **Gesamtbelastung der Luft** (lufthygienische Gesamtbelastung) gezogen werden.

- **Zeitliche Repräsentanz der IAP18-Gesamtbelastungswerte**

Univariate und multivariate Regressionsanalysen, welche im NFP14-Projekt mit den IAP18-Gesamtbelastungswerten und den mit technischen Messgeräten gewonnenen Immissionswerten von SO_2 , NO, NO_2 , NO_x , Ozon, CO, Schwebestaub und Staubbiederschlag durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass mit Jahresmittelwerten und 3-Jahresmittelwerten die besten Übereinstimmungen bestehen. Generell geringer war die statistische Übereinstimmung des IAP18 mit den Kurzzeitwerten nach LRV von SO_2 , NO, NO_2 und Ozon (Herzig et al. 91, 93).

Diese statistisch gesicherten Ergebnisse erlauben den Schluss, dass mit dem **Gesamtbelastungsindikator IAP18** die **längerfristig wirksame Luftgesamtbelastung** erfasst wird, wie sie auch mit technischen Messgeräten in Form von Jahresmittelwerten gemessen wird. Die zeitliche Repräsentanz des IAP 18 entspricht somit mindestens einer ganzjährigen Belastung.

- **Vergleich der Gesamtimmissionszonen mit den Grenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung LRV**

Der Zusammenhang zu den Immissionsgrenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung (LRV 2000) des Bundes basiert auf einer 20-jährigen Vergleichserfahrung von über 40 erfassten technischen Messstandorten in allen Landesgegenden und zeigt sich wie folgt:

In der Zone «kritische Gesamtbelastung» mit der stärksten Beeinträchtigung der Flechtenvegetation (Flechtenwüste) muss nach bisherigen Vergleichserfahrungen angenommen werden, dass die Grenzwerte (Langzeit- und Kurzzeitgrenzwerte) der Schweizer Luftreinhalte-Verordnung LRV für Stickstoffdioxid (NO_2) und bis Mitte der Achtzigerjahre auch für Schwefeldioxid (SO_2) mit grösster Wahrscheinlichkeit überschritten werden. Auch in der Zone mit «starker Gesamtbelastung» sind noch Grenzwertüberschreitungen des Primärschadstoffes NO_2 zu erwarten.

Der Sekundärschadstoff Ozon kann in den Sommermonaten in allen fünf Gesamtbelastungszonen den Immissionsgrenzwert (Kurzzeitgrenzwert) der LRV überschreiten. Ozon zeigt als Sekundärschadstoff vielfach ein gegenläufiges Verhalten im Vergleich mit den Primärschadstoffen. In stadt- und agglomerationsnahen Gebieten finden sich Primärschadstoffe zumeist in niedrigeren Konzentrationen, währenddem Sekundärschadstoffe oft in erhöhten Konzentrationen gemessen werden. Dies führt insgesamt zu einer geringeren Gesamtbelastung als in den urbanen und industriellen Gebieten, in welchen sowohl viele verschiedene Primärschadstoffe als auch Sekundärschadstoffe zusammen und in erhöhten Konzentrationen auftreten.

Bildhaft lassen sich die Unterschiede der Gesamtimmissionssituation zwischen stark belasteten städtischen, bzw. industriell geprägten Gebieten und gering belasteten ländlichen Gebieten gut anhand einer Balkenwaage veranschaulichen.

Auf der Seite der städtisch, bzw. industriell geprägten Gebiete präsentiert sich eine Waagschale, welche mit zahlreichen gas- und partikelförmigen Primärschadstoffen in z.T. stark erhöhten Konzentrationen angefüllt ist. Aber auch Sekundärschadstoffe sind hier, zumindest zeitweise, in erhöhten Konzentrationen vorhanden.

Auf der Seite der meist geringer belasteten ländlichen Gebiete zeigt sich eine Waagschale, welche vor allem geprägt ist durch ihre Anteile an Sekundärschadstoffen, besonders von Ozon, welches hier sogar in höherer Konzentration vorliegt, als in typischen Stadt-, bzw. Industrieregionen. Zwar sind auch hier Primärschadstoffe vertreten, aber in vergleichsweise deutlich geringeren Konzentrationen.

Das Ergebnis dieser «Wägung der Gesamtimmissionsbelastung» mit dem System der Flechten fällt damit eindeutig zu Lasten der durch sehr viele und in erhöhter Konzentration vorliegenden Luftschadstoffen belasteten städtisch, bzw. industriell geprägten Gebiete aus.

Insgesamt führt diese Ansammlung von verschiedenen Schadstoffen in erhöhter Konzentration und deren kumulativen Effekte zu einer bedeutend höheren Gesamtbelastung, als wenn nur ein einzelner Schadstoff, wie z.B. Ozon übermässig auftritt. Aufgrund zahlreicher Labor- und Freilandbegasungs-Studien in Europa und den USA (z.B. Jürging 1975, Nash 1980, Ross & Nash 1983) ist jedoch auch die stark schädigende Wirkung von Ozon als Einzelschadstoff auf verschiedene Flechtenarten klar nachgewiesen. Die deutlichen Zunahme der Ozonbelastung in den letzten 50 Jahren wird von mehreren Autoren mit der klar festgestellten Flechtenartenverarmung in Verbindung gebracht. Nachgewiesen sind aber auch Kombinationswirkungen von Ozon mit Primärschadstoffen (Herzig, Urech, Liebendörfer 1985).

Da die Atmosphäre heute durch ein kompliziertes Gemisch verschiedener Einzelschadstoffe belastet ist, deren gesamtheitliche Auswirkungen auf Lebewesen beurteilt werden muss, ist es daher zweckmässig, für die Beurteilung auch wirkungsbezogene Systeme, wie es Flechten darstellen, einzusetzen.

4. Vorgehen und weitere Grundlagen

4.1 Gesamtbelastung der Luft - Bioindikation mit Flechten

Die im Unteren Urner Reusstal untersuchte Gesamtfläche erstreckt sich mit den nachträglich in Auftrag gegebenen Gebieten von Sisikon und dem ganzen Oberen Urner Reusstal mit den Erweiterungen in den Höhengebieten über insgesamt 73 km².

Die beiden aktuellen Luftgütekarten des Unteren und Oberen Urner Reusstals von 2008-10 basieren auf insgesamt 273 Gesamtbelastungserhebungen, welche von Juli 2008 bis Herbst 2010 an repräsentativen Bäumen gemäss der «Kalibrierten Flechtenindikationsmethode» erhoben wurden. Anhand der IAP18-Luftgütewerte dieser kartierten Untersuchungsbäume wurde die Luftgütekarte (Wirkungs- und Gesamtimmissions-Kataster) in Form einer Isolinien-Darstellung erstellt. Im Wirkungs- und Gesamtimmissions-Kataster werden Linien gleicher IAP18-Werte dargestellt. Diese Isolinien unterteilen die untersuchten Gebiete in fünf Zonen zunehmender Flechtenbeeinträchtigung, resp. Gesamtimmissionsbelastung.

Zur Konstruktion der Isolinien wurden IAP18-Mittelwerte innerhalb von sogenannten «Georäumen» berechnet. Die Flechtendaten der Urner Erstuntersuchung wurden insgesamt zu 54 homogenen Georäumen à 5 IAP18-Erhebungen zusammengefasst. Das Ziel dieser Georaumbildung ist es, geographisch einheitliche Unterräume mit einer möglichst homogenen Immissionsbelastung zu erhalten.

Für jeden Georaum wurde der IAP18-Mittelwert aus einer Stichprobe von möglichst fünf gebietsrepräsentativen Trägerbäumen berechnet und im entsprechenden Georaumschwerpunkt in die Landeskarte übertragen.

Zwischen diesen Georaumschwerpunkten werden mit dem Verfahren der linearen Interpolation die Kreuzungspunkte der fünf Isolinien berechnet und auf die Luftgüte-Rohkarte übertragen. Punkte gleicher Klassengrenzen werden anschliessend zu Polygonzügen verbunden. Diese geraden Verbindungslinien werden darauf in einem mehrstufigen Optimierungsprozess in gebogene Isolinien umgewandelt (Isolinie =

Zonengrenze: Verbindungslinien gleicher IAP-Werte).

Die Isolinien, welche die fünf Wirkungs- und Gesamtbelastungszonen trennen, sind theoretisch berechnete Grenzlinien. In Wirklichkeit verlaufen die Gradienten der Luftqualität kontinuierlich (allmählicher Übergang) und nicht sprunghaft, wie dies die Isolinien darstellen.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass zwischen der tatsächlichen Schadstoffbelastung in der freien Natur und deren Erfassung mit verschiedenen Erhebungsmethoden (technische Einzelschadstoffmessungen, wirkungsbezogene Gesamtimmisionsmessungen mit Flechten, Ausbreitungsrechnung von Einzelschadstoffen) methodisch bedingte Unterschiede bestehen, welche zwangsläufig zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

Im vorliegenden Gesamtbericht werden im Hauptkapitel 5 zuerst die aktuelle Luftgütekarte des Unteren Urner Reusstals von 2008, gefolgt von der Luftgütekarte des Oberen Reusstals von 2009-10, dargestellt.

Die Darstellung der Ergebnisse beider Teiluntersuchungen des Unteren und Oberen Reusstals erfolgt dabei in gemeinsamer Weise.

Danach erfolgen Belastungsvergleiche mit Luftgütekarten aus anderen Regionen der Schweiz, gefolgt von Vergleichen mit der NO_2 -, der Mfz-Verkehrsbelastung sowie mit der Urner Bevölkerungsexposition, letztere gemäss Erhebungen der Eidgenössischen Volkszählung von 2000 des BFS.

Im Kapitel 6 werden die wichtigsten Ergebnisse der Flechten-Einzelartenanalysen vorgestellt und mit der Luftgütekarte verglichen.

5. Hauptergebnisse zur Luftqualität im gesamten Urner Reusstal

5.1 Luftgütekarten im Urner Reusstal von 2008-2010 - Kurzbeschreibung der Luftgesamtbelastung

Zur raschen Orientierung erfolgt zuerst eine Kurzbeschreibung der beiden Urner Luftgütekarten, anschliessend eine vertiefte Beschreibung, gesondert nach den fünf Gesamtbelastungszonen der Luft. Die Luftgütekarten (Wirkungs- und Gesamtimmissionskataster) des Unteren und Oberen Urner Reusstals, welche mittels Kalibrierter Flechtenindikationsmethode erstellt wurden, lassen sehr deutliche Unterschiede in der Ausprägung der Flechtenvegetation, bzw. in der Luftqualität erkennen. Sie sind ein getreues Abbild der Schadwirkungen der gesamten Luftbelastung auf die immissionsempfindliche Flechtenvegetation (Abb. 2, 3). Der Wirkungs- und Gesamtimmissionskataster unterscheidet fünf Belastungszonen, welche im vorliegenden Untersuchungsgebiet alle in unterschiedlich mächtiger Flächenausbreitung nachgewiesen wurden.

- Die rote Zone mit **kritischer Gesamtbelastung** (*Flechtenwüste*) beschränkt sich mit relativ geringer Flächenausdehnung auf das sehr stark verkehrsbelastete Kern- und Wohngebiet von Altdorf sowie das Industriegebiet Schattdorf-Rossgiessen.
- Die orange Zone mit **starker Gesamtbelastung** (*Innere Kampfzone*) findet sich mit grosser Flächenausdehnung fast im gesamten Talboden entlang der Alpentransitautobahn A2 und der Gotthardstrasse zwischen dem Hafen und Industriegebiet Flüelen über Erstfeld bis zum Gotthard-Portal der A2 in Göschenen. Einzig zwischen dem nördlichen Dorfrand von Silenen und dem südlichen Amsteg wird diese Zone stärker von der mittleren Gesamtbelastung unterbrochen.
- Die gelbe Zone mit **mittlerer Gesamtbelastung** (*Äussere Kampfzone*) erstreckt sich von der Reussmündung entlang der westlichen und östlichen Reusstalgebiete und unteren Hangzonen mit den Gemeinden Seedorf, Attinghausen, Erstfeld-Taubbach und den tiefer gelegenen Ortsteilen von Schattdorf, Bürglen. Zu dieser Luftgütezone zählen auch Flüelen und Sisikon sowie die beiden inselförmigen Gunstzonen von Altdorf-Chornmatt-Giessenhof-Gründli und Erstfeld-Feldmatt, welche allerdings von der Transitautobahn deutlich begrenzt werden. Infolge sehr guter Durchlüftung vom Maderanertal her, zeigt sich diese Luftgütezone mittlerer Gesamtbelastung auch zwischen Silenen und Amsteg und dies sogar in Autobahnnähe. Im Urner Oberland umschliesst diese mittlere, gelbe Gesamtbelastungszone die orange Zone mit starker Luftgesamtbelastungszone.

Abb. 2 und 3 Luftgütekarten (Wirkungs- und Gesamtimmissionskataster) im Unteren und Oberen Urner Reusstal von 2008 sowie 2009/10

Erstellt mittels «Kalibrierter Flechtenindikationsmethode (IAP18)».

siehe Seiten 16 und 17.

- Die grüne Zone mit **geringer Gesamtbelastung** (*Übergangszone*) beschränkt sich ausschliesslich auf die höher gelegenen Gemeindegebiete von Bürglen und Schattdorf sowie die oberen Hangzonen im Gebiet der Schattdorfer Berge, Attinghausen-Mettlen und dem Berggebiet von Bocki, Oberwiler und Horn. Die seenahen Gebiete und Hangzonen von Seedorf-Unterdorf bis Bolzbach sowie die zwei kleinen Gunstzonen Altdorf-Gartenmatt und Erstfeld-Witelingen/Spanegg zählen ebenfalls zu dieser Luftgütezone.

Im Urner Hinter- und Oberland zählen die höher gelegenen Gebiete von Silenen Buchholz, Tägerlohn und Amsteg mit Vorder- und Hinterbristen im Maderanertal sowie die höher gelegenen Gebiete von Vorder und Hinterried bis nach Wassen. Auf der östlichen Talflanke sind es die ebenfalls höher gelegenen Gebiete zwischen Intschi und Gurtneilen und Göschenen.

- Die beste blaue Luftgütezone mit **sehr geringer Gesamtbelastung** (*Normalzone*) findet sich im Urner Unterland nur in den Schattdorfer Bergen im Gebiet Haldi und dort beschränkt auf mittlere Höhenlagen zwischen 1000-1250m sowie als kleine, inselförmige Gunstzone im Naherholungsgebiet Altdorf-Gartenmatt. Diese eher unerwartete Gunstzone findet sich auch dort nur im A2-fernen und von der Seedorferstrasse und Giessenstrasse deutlich beschränkten, kleinen Gebiet mit einem bes. Mikroklima. Im Urner Oberland findet sich diese beste blaue Luftgütezone in den Bristener Höhegebieten des Waldibergs und in Obergurtneilen sowie im Dorf Andermatt auf 1000-1450m.

Die beiden im Reusstalboden nachgewiesenen Gunstzonen in den Gebieten Altdorf-Chormatt-Giessenhof-Gründli und Erstfeld-Feldmatt belegen aufgrund der aktuellen Luftgütekarte das durchaus noch vorhandene Potential für eine gute Luftqualität, welches allerdings durch die hohe Mfz-Verkehrsbelastung sowie weitere Immissionen aus den Quellen Industrie/Gewerbe und Haushalte in mess- und sichtbar Weise beeinträchtigt wird.

5.2 Vertiefte Interpretation der Urner Luftgütekarten nach Belastungszonen

Die Tabelle 1 zeigt die unterschiedliche Flächenausdehnung der fünf Luft-Gesamtbelastungszonen im insgesamt 73 km² grossen Untersuchungsgebiet des Unteren Urner Reusstal von 2008 sowie des Oberen Reusstals von 2009/10.

Mit einem Flächenanteil von 34.9% dominiert die gelbe Luftgütezone mit mittlerer Gesamtbelastung, gefolgt von der grünen Zone mit geringer Gesamtbelastung mit 30.8% und der orangen Zone mit starker Gesamtbelastung mit 25.6%. Im Untersuchungsgebiet macht die stärkst belastete rote Zone mit kritisch starker Gesamtbelastung gerade noch 0.8% aus, währenddem die beste Luftqualitätszone blau mit sehr geringe Gesamtbelastung 7.7% der Untersuchungsfläche umfasst.

Unterland 2008		Kt. Uri gesamt		Unterland 2008		Oberland 2009/10	
Gesamtimmissionszone	Farbe	Flächenanteil		Flächenanteil		Flächenanteil	
		km ²	%	km ²	%	km ²	%
Kritische Gesamtbelastung	rot	0.6	0.8	0.6	1.3	0.0	0.0
Starke Gesamtbelastung	orange	19.0	25.9	14.6	31.4	4.4	16.3
Mittlere Gesamtbelastung	gelb	25.6	34.9	17.2	37.1	8.3	31.0
Geringe Gesamtbelastung	grün	22.6	30.8	11.3	24.3	11.3	42.0
Sehr geringe Gesamtbelastung	blau	5.6	7.7	2.7	5.9	2.9	10.8
Gesamtfläche		73.3	100	46.4	100	26.9	100

Tab. 1 Flächenanteile der fünf Gesamtimmissionszonen der Urner Luftgütekarte im ganzen Reusstal.

Mit Kursivdruck aufgeteilt nach den beiden Teiluntersuchungen: Unteres Reusstal von 2008 und Oberes Reusstal von 2009/10.

Mit einer vertieften, nach den fünf Luftgütezonen gesonderten Interpretation, wird nachfolgend erläutert, welche Gebiete, Ortschaften, bzw. Quartiere in den jeweiligen Belastungszonen liegen. Gleichzeitig werden an dieser Stelle auch Ergebnisse von eher unerwarteten Belastungs- sowie von Gunstzonen, zusammen mit weiteren Informationen zur Abhängigkeit der Luftgütezonen, von der technisch gemessenen Immissionsbelastung und weiteren Erkenntnissen zur Flechtenverbreitung dargestellt. Dazu dienen besonders die Luftgütekarten von Abb.2 und 3 und deren Überlagerung mit der NO₂-Belastung (Abb. 7,8) und dem DTV und Emissionskataster (Abb. 10,12) in den Folgekapiteln.

● **Rote Immissionszone - kritische Gesamtbelastung**

Die Zone **kritische Gesamtbelastung** (*Flechtenwüste*) ist durch eine sogenannte Flechtenwüste charakterisiert, d.h. es kommen aufgrund der sehr hohen Schadstoffbelastung keine oder nur ganz wenige, stark verkümmerte und ausschliesslich immissions-unempfindliche (toxitolerante) Flechtenarten an den Untersuchungsbäumen vor. Im Mittel können auch im Kanton Uri in dieser hohen Schadstoffbelastung noch gerade vier toxitolerante Flechtenarten überleben.

Die rote Luftgütezone mit kritischer Gesamtbelastung (Flechtenwüste) nimmt in der Luftgütekarte des gesamten Urner Reusstals 0.6 km² ein, was 0.8% der gesamten Untersuchungsfläche ausmacht. Der verkehrsbelastete Ortskern mit wichtigen Wohngebieten von Altdorf und Teile des Industriegebietes Schattdorf-Rossgiessen gehören zu dieser kritisch belasteten Luftgütezone.

Aufgrund der langjährigen Vergleichserfahrung an über 40 Immissions-Messstandorten in allen Landesteilen wird der Grenzwert für Stickstoffdioxid (NO₂) in dieser Zone mit Jahresmitteln zwischen 40 - 65 µg/m³ meist massiv überschritten. Zusätzlich wirken weitere Luftschadstoffe, wie SO₂, Schwebstaub/PM10, Staubbiederschlag und darin enthaltene Schwermetalle aber auch Photooxidantien wie Ozon und eine Vielzahl von organischen Schadstoffen schädigend auf die Flechten ein. Der Messstandort «Altdorf Von Roll Haus» weist in der Vergleichsperiode 2006/07 einen NO₂-Jahresmittelwert von 44.5µg/m³ auf, der gut zur bisherigen Vergleichserfahrung passt.

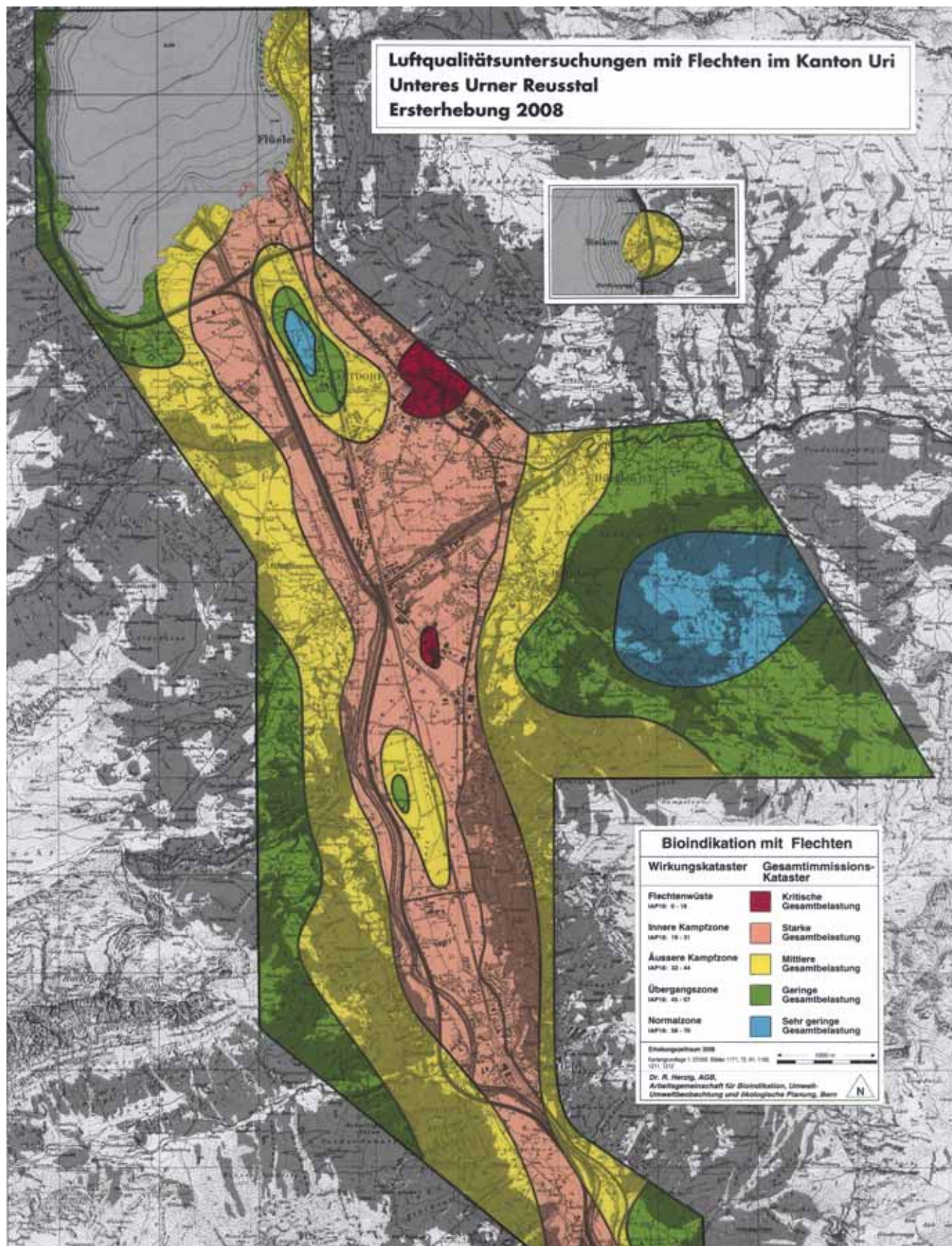


Abb. 2 Aktuelle Luftgütekarte des Unteren Urner Reusstal von 2008

Visualisiert den Zustand der Luftgesamtbelastung von 2008 mit den fünf Luftgüte-zonen. Die orange Zone mit starker Gesamtbelastung bedeckt weite Teile des dicht besiedelten Talbodens entlang der Alpentransitautobahn A2 und der alten Gotthardstrasse. Im stark verkehrsbelasteten Ortskern von Altdorf sowie im Industriegebiet Schattdorf-Rosgiesen zeigt sich sogar die rote Zone mit kritischer Gesamtbelastung. Die gelbe Zone mit mittlerer Gesamtbelastung umschliesst in den Randgebieten die orange Zone. In den erhöhten Lagen von Bürglen, Schattdorf, Silenen und Bockberg findet sich die grüne Zone mit geringer Gesamtbelastung. Die blaue Zone mit sehr guter Luftqualität zeigt sich nur in den Schattdorfer Bergen und einer isolierten Gunstzone im Gebiet Altdorf Giessen.

● **Orange Immissionszone - starke Gesamtbelastung**

In der Zone **starke Gesamtbelastung** (*Innere Kampfzone*) sind es im Mittel auch nur vier und maximal sieben unempfindliche Flechtenarten, die in dieser Zone in sehr stark geschädigter und verkümmelter Weise überhaupt überleben können, da die starke Luftbelastung keine voll ausgebildeten Wuchsformen zulässt. Insgesamt zeigt sich an den Baumstämmen ein eintöniges Bild mit wenigen schadstoff-unempfindlichen Arten. Weil die Flechten buchstäblich um ihr Überleben kämpfen müssen, wird diese Belastungszone auch als *Innere Kampfzone* bezeichnet.

Die Jahresmittelwerte für Stickstoffdioxid liegen aufgrund der langjährigen Vergleichserfahrung in dieser Zone meist zwischen dem Langzeit-Grenzwert der LRV und einer mässigen Überschreitung im Bereich von 30 - 40 µg/m³.

Die orange Luftgütezone mit starker Gesamtbelastung findet sich mit grosser Ausdehnung von 19 km², was 25.9% der gesamten Untersuchungsfläche ausmacht, fast im gesamten Talboden entlang der Apentransitautobahn A2 und der Gotthardstrasse zwischen dem Hafen und Industriegebiet Flüelen über Erstfeld bis zum Gotthard-Portal der A2 in Göschenen. Einzig zwischen dem nördlichen Dorfrand von Silenen und dem südlichen Amsteg wird diese Zone starker von der mittleren Gesamtbelastung unterbrochen.

Diese orange Zone mit starker Gesamtbelastung erstreckt sich vom Hafen und Industriegebiet Flüelen in der südöstlichen Begrenzung nach Altdorf (ohne dessen roten Kerngebiete) bis ins Quartier Hartolfingen. Danach weiter entlang der alten Gotthardstrasse nach Erstfeld und in südlicher Richtung von der A2 deutlich begrenzt bis ins Quartier Buchholz von Silenen. In südwestlicher Richtung verläuft diese Belastungszone von der Reussmündung der Flüeler Allmeini in Richtung der A2-nahen Quartiere Wijer-Müsried-Langried von Seedorf. Von dort entlang einem von der A2 in östlicher Richtung begrenzten 70-350m nahen Gebietsstreifen via Attinghausen nach Erstfeld.

Vom Dorf Erstfeld bis ins Gebiet Hinter Wiler und Rüti bedeckt diese starke Gesamtbelastungszone fast die gesamte östlich der A2 gelegene Talseite. Südlich von Amsteg setzt sich die orange Zone mit starker Gesamtbelastung in einer 250-600m breiten Schneise entlang der A2 fort bis zum Gotthard-Portal von Göschenen. Einzig im Gebiet zwischen Gurnellen Buechen und Chalberreisti zwischen Silenen und Amsteg, welches vom Maderanertal her besonders effizient durchlüftet wird, wird dieser Belastungskorridor durch die gelbe Luftgütezone mittlerer Gesamtbelastung unterbrochen.

In dieser auffallend grossen orangen Zone mit starker Gesamtbelastung, welche weite Teile des gesamten Reusstalbodens bis nach Göschenen hinauf bedeckt

und insgesamt einen Flächenanteil von 26% aufweist, gibt es auch die beiden lufthygienischen Gunstzonen in der Gartenmatt und Feldmatt, welche allerdings je in deutlicher Distanz von der A2 und alten Gotthardstrasse auf das durchaus noch vorhandene Potential an guter Luftqualität hinweisen. Bereits interpretiert wurde auch das kritisch stark belastete Kerngebiet von Altdorf und Teile des Industriegebietes Rossgrussen von Schattdorf.

Vergleiche mit der NO₂- und der Verkehrsbelastung

In dieser grossflächigen orangen Luftgütezone befinden sich zahlreiche Standorte der NO₂-Messung (Passivsammler, und z.T. Stichprobenmessungen mit Messwagen), insbesondere auch die beiden Profilmessungen Feldmatt und Dimmerschachen und den verdichteten Messungen in Erstfeld. Die NO₂-Jahresmittelwerte der Vergleichsperiode 2006/07 schwanken relativ stark und bewegen sich im Bereich zwischen 41 µg/m³ in unmittelbarer A4-Trasse Nähe und 18-27 µg/m³ in A2-ferneren Gebieten. In beiden A2-Messprofilen zeigt sich eine Halbierung der NO₂-Immissionsbelastung in den ersten 200m vom Autobahntrasse.

Im Vergleich zu unserer langjährigen Vergleichserfahrung in allen Landesteilen der Schweiz und dem Fürstentum Lichtenstein fällt auf, dass die im Reusstalboden gemessene NO₂-Belastung auch schon bei etwas tieferen Belastungswerten von 22-31, in Ausnahmefällen sogar von 15 und 19 µg/m³ bereits zu einer starken Gesamtbelastung führen können. Dies im Gegensatz zu unserer landesweiten Vergleichserfahrung, welche für diese Luftgütezone NO₂-Belastungswerte zwischen dem Langzeit-Grenzwert der LRV und einer mässigen Überschreitung im Bereich von 30 - 40 µg/m³ erwarten lässt.

Dies lässt sich als Hinweis darauf deuten, dass nebst der Stickoxidbelastung, welche als NO₂ gemessen wird, im Urnerland auch noch weitere Luftschadstoffe (besonders Ozon, Stäube, resp. PM₁₀, Schwermetalle, VOC, Polyaromate) und deren Kombinationswirkung schädigend auf die Flechten einwirken und so zu einer unterschiedlichen Beurteilung mit dem Luftgüteindikator IAP18 führen.

Zahlreiche dieser Schwermetalle und Polyaromate werden in der begleitenden MfM-U-Studie des BAFU an verkehrsnahen und fernen Standorten im Kanton Uri untersucht.

Bei diesen univariaten Belastungsvergleichen zwischen dem gesamtheitlich reagierenden Messsystem der Flechtenbioindikation und Einzelschadstoffen der Luftbelastung sollten immer auch die methodenbedingten Unterschiede zwischen der Immissionsmessung von NO₂- und der Luftgesamtbelastung mittels IAP18 (NO₂: Punktmessung, IAP18: flächenbezogenes, ganzheitliches Messverfahren) mitberücksichtigt werden, welche erklärter Weise zu Unterschieden führen können.

● **Gelbe Immissionszone - mittlere Gesamtbelastung**

Die gelbe Zone **mittlere Gesamtbelastung** (*Äussere Kampfzone*) ist durch eine mittelstarke Belastung mit Luftschadstoffen charakterisiert. Im Mittel sieben, maximal bis zehn und auch bereits schadstoffempfindlichere Flechtenarten, können in dieser Zone überleben, weisen aber meist noch deutliche Krankheitsmerkmale auf, welche auf das Einwirken von Luftschadstoffen hinweisen. Daher wird diese Belastungszone auch als *Äussere Kampfzone* bezeichnet.

Gemäss der langjährigen Vergleichserfahrung aus dem Mittelland liegt der Jahresmittelwert für Stickstoffdioxid in dieser Zone meist leicht unterhalb bis in den Grenzwertbereich hinein und nur in unmittelbarer Strassenähe leicht darüber, währenddem derjenige für Schwefeldioxid und anderen Primärschadstoffen problemlos eingehalten wird.

Die gelbe Luftgütezone mit mittlerer Gesamtbelastung zeigt sich im gesamten Urner Reusstal mit einem Flächenanteil von 34.9% (25.6 km²) als die prägnanteste der fünf Belastungszonen.

Diese gelbe Luftgütezone **mittlere Gesamtbelastung** (*Äussere Kampfzone*) erstreckt sich von der Reussmündung entlang der westlichen und östlichen Reusstalgebiete und unteren Hangzonen mit den Gemeinden Seedorf, Attinghausen, Erstfeld-Taubbach und den tiefer gelegenen Ortsteilen von Schattdorf und Bürglen. Zu dieser Luftgütezone zählen auch Flüelen und Sisikon sowie die beiden inselförmigen Gunstzonen von Altdorf-Chornmatt-Giessenhof-Gründli und Erstfeld-Feldmatt, welche allerdings von der Transitautobahn deutlich begrenzt werden.

Dank einer sehr effizienten Durchlüftung vom Maderanertal her, zeigt sich diese Luftgütezone mittlerer Gesamtbelastung auch im Oberen Reusstal zwischen Silenen und Amsteg und dies sogar in Autobahnnähe. Im Weiteren umschliesst diese mittlere, gelbe Gesamtbelastungszone auch im Oberen Reusstal die orangen A2-nahen Gebiete mit starker Luftgesamtbelastung.

Im Gebiet des gesamten Urner Reusstals befinden sich nur wenige Passivsammlerstandorte für NO₂ in dieser gelben Luftgütezone mit mittlerer Gesamtbelastung, die zu Vergleichszwecken herangezogen werden können. Diese befinden sich in Sisikon (2), Attinghausen-Eielen (1) sowie in den beiden lufthygienischen Gunstzonen Feldmatt (6) und Gartenmatt (3), wobei sich die Hälfte davon in Randzonen dieser Luftgüteklasse befinden. Zwei weitere Passivsammlerstandorte für NO₂ befinden sich im Dorf Amsteg. Die NO₂-Jahresmittelwerte der Vergleichsperiode 2006/07 bewegen sich im Bereich von 16-25µg/m³, was gut ins Bild unserer langjährigen Vergleichserfahrung in allen Landesteilen der Schweiz passt.

- **Grüne Immissionszone - geringe Gesamtbelastung**

In der Zone **geringe Gesamtbelastung** (*Übergangszone*) in der durchschnittlich 9, maximal bis 12 verschiedene, auch schadstoffempfindlichere Flechtenarten die Baumstämme bewachsen, werden auch immissionsempfindliche Flechtenarten häufiger gefunden (z.B. *Parmelia tiliacea*, *Parmelia subrudecta*, *Lecanora argentata*). Einige Flechtenarten weisen bereits grosswüchsige Exemplare auf und an den Baumstämmen zeigt sich ein recht vielfältiges Bild der Flechtenvegetation. Da Krankheitsmerkmale in dieser Zone schon deutlich seltener sind und meist nur im stärker mit Schadstoffen belasteten Winterhalbjahr auftreten, wird diese Luftgütezone auch als *Übergangszone* bezeichnet.

Die durchschnittliche Belastung mit Luftschadstoffen ist in dieser Zone bereits deutlich geringer. Die Grenzwerte für Stickstoffdioxid und anderer Primärschadstoffe werden im Allgemeinen gut eingehalten.

Die grüne Luftgütezone mit geringer Gesamtbelastung (Übergangszone) zeigt sich im gesamten Urner Reusstal mit einem Anteil von 30.8% des Untersuchungsgebietes (22.6 km²) besonders in den randlichen und stets etwas höher gelegenen Gebieten sowie inselförmig in den beiden Gunstzonen der Gartenmatt und Feldmatt.

Die grüne Luftgütezone mit **geringer Gesamtbelastung** (*Übergangszone*) beschränkt sich auf die höher gelegenen Gemeindegebiete von Bürglen und Schattdorf sowie die oberen Hangzonen im Gebiet der Schattdorfer Berge, Attinghausen-Mettlen und dem Berggebiet von Bocki, Oberwiler und Horn. Die seenahen Gebiete und Hangzonen von Seedorf-Unterdorf bis Bolzbach sowie die zwei kleinen, inselförmigen Gunstzonen Altdorf-Gartenmatte und Erstfeld-Witeilingen/Spanegg zählen ebenfalls zu dieser Luftgütezone.

Im Urner Hinter- und Oberland zählen auch die höher gelegenen Gebiete von Silenen Buchholz, Tägerlohn und Amsteg mit Vorder und Hinterbristen im Maderanertal sowie die höher gelegenen Gebiete von Vorder und Hinterried bis nach Wassen zu dieser Luftgütezone. Auf der östlichen Talflanke sind es die ebenfalls höher gelegenen Gebiete zwischen Intschi und Gurtnellen und Göschenen.

Im Untersuchungsgebiet des gesamten Urner Reusstals befindet sich nur die Fixmessstation Altdorf-Gartenmatte am Rande dieser grünen und gelben Luftgütezone mit geringer, bzw. mittlerer Gesamtbelastung. Der NO₂-Jahresmittelwert der Vergleichsperiode 2006/07 beträgt 26µg/m³ und fügt sich wegen seiner Grenzlage durchaus ins Bild unserer langjährigen Vergleichsfahrung in allen Landesteilen der Schweiz ein.

- **Blaue Immissionszone - sehr geringe Gesamtbelastung**

Die beste, blaue Luftgütezone mit **sehr geringer Gesamtbelastung** (*Normalzone*) in der durchschnittlich 11, maximal sogar bis 16 verschiedene, auch schadstoffempfindliche Flechtenarten die Baumstämme bewachsen, beschränkt sich im Untersuchungsperimeter auf die beiden deutlich begrenzten Teilgebiete in den Schattdorfer Bergen und die kleine, inselförmige Gunstzone im Naherholungsgebiet Altdorf-Gartenmatte.

Die blaue Luftgütezone mit sehr geringer Gesamtbelastung (Normalzone) zeigt sich mit einem Anteil von 7.7% des Untersuchungsgebietes (5.6 km²) in den Schattdorfer Bergen im Gebiet Haldi und dort beschränkt auf mittlere Höhenlagen zwischen 1000-1250m sowie als kleine, inselförmige Gunstzone im Naherholungsgebiet Altdorf-Gartenmatte. Im Urner Oberland findet sich diese beste Luftgütezone ebenfalls in den Bristener Höhegebieten des Frentschen- und Waldibergs, in Obergurnellen sowie im Dorf Andermatt auf 1000-1450m.

Die beiden im Reusstalboden nachgewiesenen Gunstzonen in den Gebieten Altdorf-Chornmatt-Giessenhof-Gründli und Erstfeld-Feldmatt, welche sich beide erst in deutlicher Distanz von der stark frequentierten A2-Linienquelle befinden, belegen aufgrund der aktuellen Luftgütekarte das durchaus noch vorhandene Potential für eine gute Luftqualität, welches allerdings durch die hohe Mfz-Verkehrsbelastung sowie weitere Immissionen aus den Quellen Industrie/Gewerbe und Haushalte sowie der Intensivlandwirtschaft in mess- und sichtbar Weise beeinträchtigt wird.

In dieser Zone für welche aufgrund unserer landesweiten Vergleichserfahrung geringe NO₂-Belastungswerte von ca. 10-15µg/m³ zu erwarten sind, konnte nun in Andermatt eine NO₂-Messstation gefunden werden (12-13µg/m³), welche die bisherige Vergleichserfahrung gut unterstützt. Für diese beste Luftgütezone darf erwartet werden, dass die Grenzwerte aller Primärschadstoffe gut eingehalten werden können.

Lokal und entlang von stark befahrenen Strassen wie der Seedorfer-, Allmend- und Giessen-Strasse in der Gartenmatte können jedoch auch etwas höhere NO₂-Belastungswerte vorliegen. Die unbebaute Freifläche und deren wenig belastete Umgebungsluft ermöglicht jedoch hier einen rasch wirksamen Verdünnungseffekt.

5.3 Vergleich der Luftgesamtbelastung im Urner Reusstal mit Luftgütekarten aus anderen Landesteilen

● **Luftqualität in der Aaretalregion Thun-Spiez**

Die Abbildung 4 zeigt die Luftgütekarte, welche vor der Inbetriebnahme der neuen Kehrlichtverbrennungsanlage Thun im 47km² grossen Perimeter im Jahre 2001 erstellt wurde (AGB 2003). Einzig das Innenstadtgebiet von Thun und der A6-Verkehrsknotenpunkt von Steffisburg zeigten eine starke Gesamtbelastung, welche "nur" 4% der untersuchten Gesamtfläche ausmacht, im Vergleich zu 33% im Unteren Reusstal. Eine Flechtenwüste mit kritischer Gesamtbelastung musste in Thun nicht nachgewiesen werden. Weite Gebiete des zentral gelegenen Siedlungsraumes von Thun, Steffisburg, Heimberg, Spiez, der Industriegebiete Uetendorf und Dürrenast sowie der östlichen Seegemeinden zeigen eine mittlere Gesamtbelastung (Flächenanteil 27%). Eine geringe Gesamtbelastung konnte für die südlichen Seegemeinden und die meist etwas höher gelegenen Gebiete zwischen Thun und Spiez nachgewiesen werden (58%). Gebiete mit einer sehr geringen Gesamtbelastung (11%) wurden besonders in höher gelegenen und gut durchlüfteten, peripheren Gebieten und im seenahen Spiez nachgewiesen.

Im Vergleich zur Luftgütekarte des Unteren Urner Reusstals (Abb. 2) fällt die vergleichsweise gute Luftqualität in der Thunersee-Region (Abb. 4) auf. Der Flächenanteil der beiden stärksten belasteten Luftgütezone kritische und starke Gesamtbelastung beträgt im Unteren Urner Reusstal hohe 33%, gegenüber "nur gerade" 4% in der Thunersee-Region. Bei beiden Untersuchungsregionen handelt es sich um relativ gut vergleichbare Alpentäler und Seeregionen, welche von einer Nationalstrasse durchquert werden und bedeutenden Binnenverkehr aufweisen und in den Zentren ähnlich hohe Belastungswerte von NO₂ und grossräumig auch von Ozon aufweisen.

● **Luftqualität in der Stadtregion Bern**

Die Abbildung 5 zeigt die Luftgütekarte der Stadtregion Bern, anlässlich der ersten lufthygienischen Erfolgskontrolle von 2004, 14 Jahre nach der Erstuntersuchung (AGB 2005). Das Untersuchungsgebiet der Stadt Bern, ohne Köniz und das Wangental beträgt 30km². Auch bei diesem **Vergleich der Luftgütekarten der Stadtregion Bern** mit derjenigen des Unteren Urner Reusstals **fällt erneut die vergleichsweise hohe Gesamtbelastung besonders im Unteren Urner Reusstal auf.** Auch in der Stadtregion Bern beträgt der Flächenanteil der beiden stärksten belasteten Luftgütezone kritische und starke Gesamtbelastung "nur" 6%, gegenüber den hohen 33% im Unteren Urner Reusstal. Die Stadtregion Bern wird von drei hochfrequentierten Autobahnachsen (A1,6,12) und viel städtischem Binnenverkehr sowie einer Kehrlichtverbrennungsanlage belastet und weist in den zentralen Quartieren NO₂-Belastungen von 32 - 51µg/m³ (2003) auf. Auffallend sind die relativ gering belasteten und vom Autobahnnetz tangierten Gebiete im westlich gelegenen Bern-Bümpliz und zwischen Bern-Wankdorf und Muri, wo streckenweise sehr hohe tägliche Verkehrsfrequenzen mit DTV-Werten von bis zu 97'000 Fz/T gemessen werden. Dies gründet allerdings auf einer sehr guten lufthygienischen Durchlüftung von drei effizienten Windsystemen der Region (AGB 2005).

Kt. Uri - Unteres Reusstal - Luftgütekarte 2008

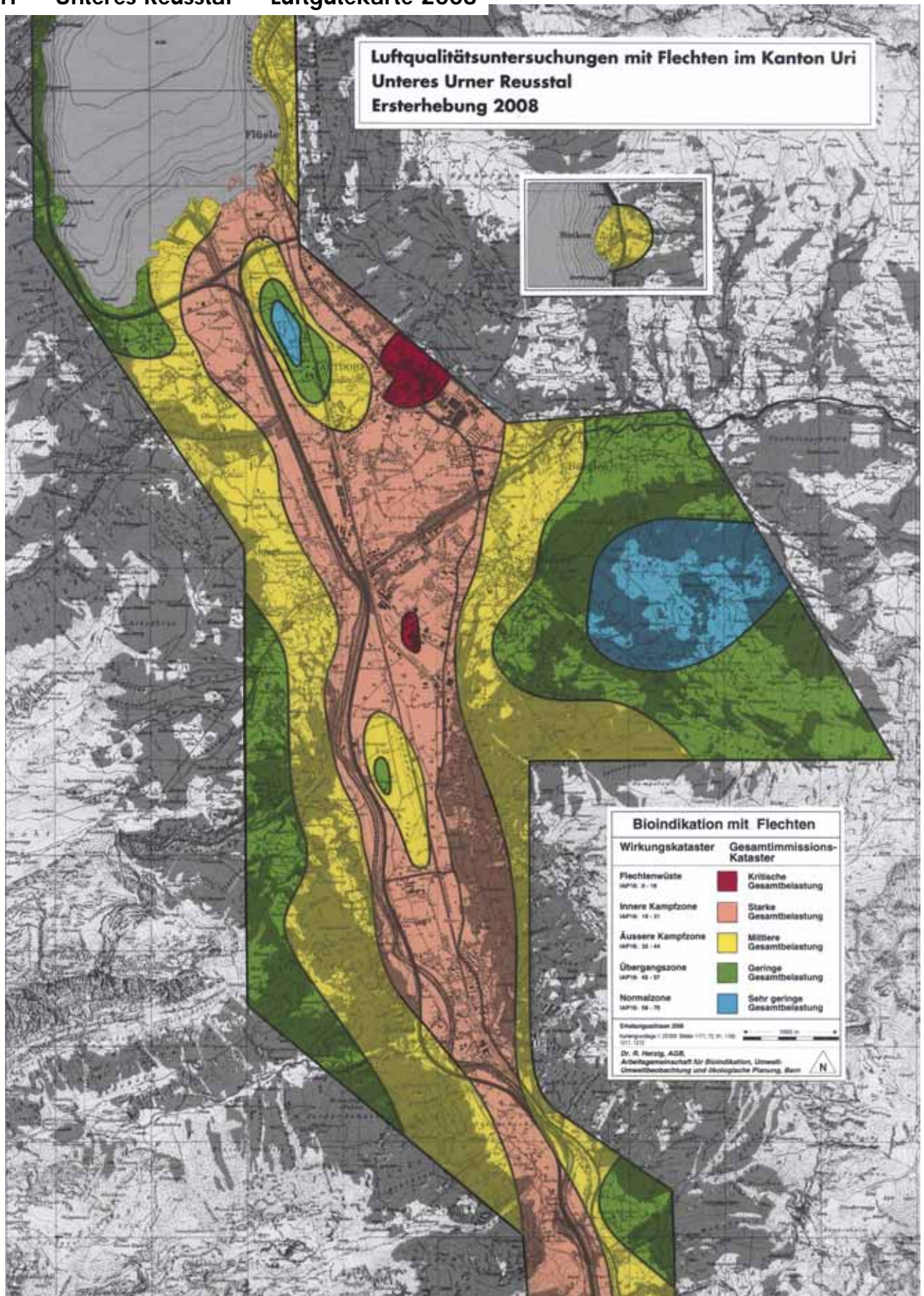


Abb. 2 Luftgütekarte des Unteren Urner Reusstal von 2008

Visualisiert den Zustand der Luftgesamtbelastung von 2008 mittels der Flechtenbioindikation. Masstabtreuer Vergleich

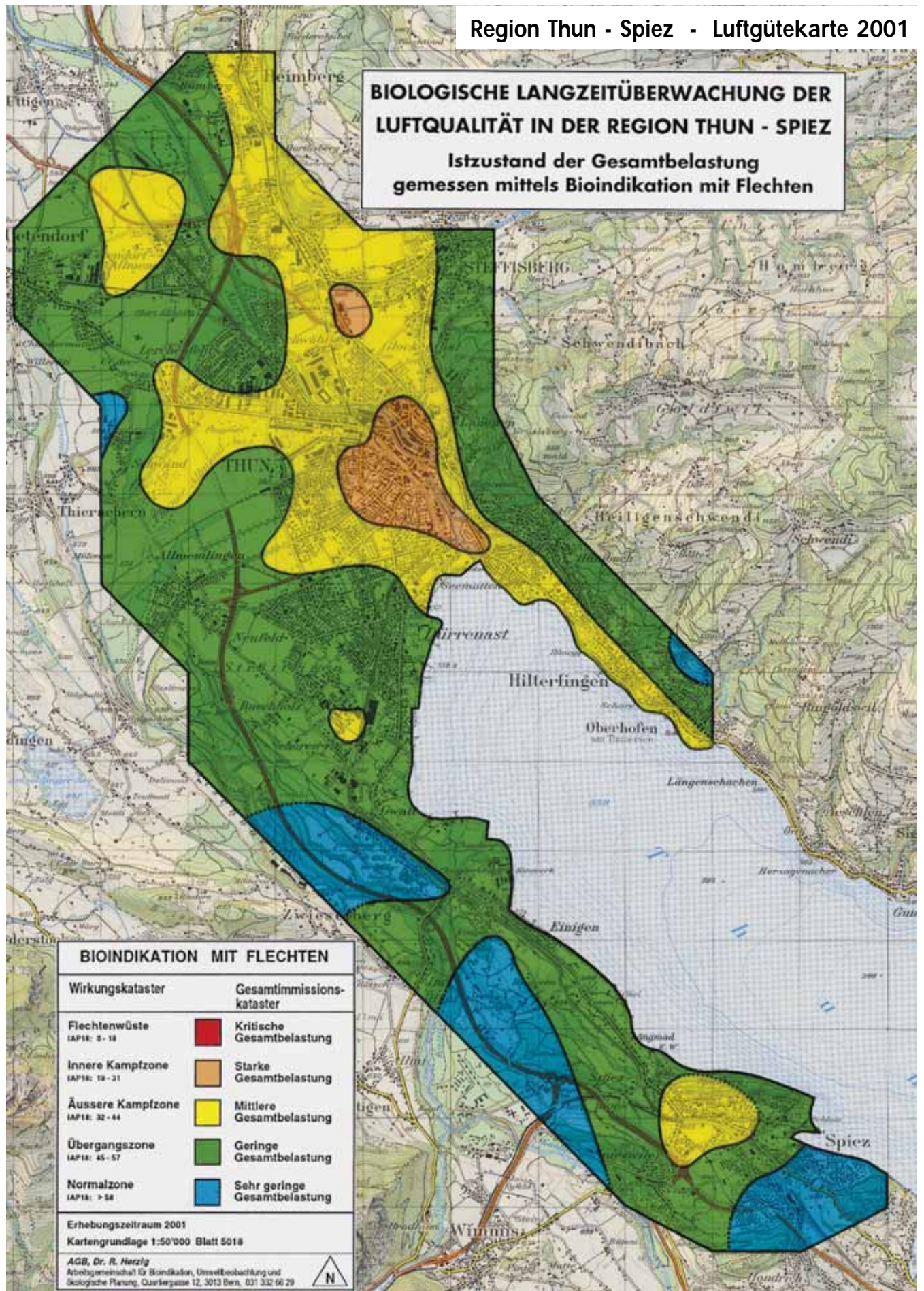


Abb. 4 Luftgütekarte der Region Thun-Spiez von 2001 vor der Inbetriebnahme der neuen Kehrlichtverbrennungsanlage Thun
Visualisiert den Zustand der Luftgesamtbelastung von 2001 mittels der Flechtenbioindikation.
Massstabtreuer Vergleich

● **Luftqualität im Kanton Zug**

Die Abbildung 6 zeigt die Luftgütekarte des Kantons Zug im 49km² grossen Perimeter, anlässlich der ersten lufthygienischen Erfolgskontrolle von 2003 (AFU Zug 2004).

Bei diesem **Vergleich** der **Luftgütekarten** des **Kantons Zug** mit derjenigen des **Unteren Urner Reusstals** zeigt sich ein vergleichbar **hoher Flächenanteil** der **starken Gesamtbelastungszone** von **34%**, wobei die Flechtenwüste mit kritischer Gesamtbelastung, welche in der Erstuntersuchung noch vorhanden war, bei der ersten Erfolgskontrolle im Kt. Zug nicht mehr nachgewiesen werden konnte. Auch die anderen Gesamtbelastungszonen mittel, gering und sehr gering zeigen im Kt. Zug ähnliche Flächenanteile wie im Unteren Urner Reusstal.

Abb. 2 Luftgütekarte des Unteren Urner Reusstals von 2008

Visualisiert den Zustand der Luftgesamtbelastung von 2008 mittels der Flechtenbioindikation, im massstabtreuen Vergleich.

Abb. 5 Luftgütekarte der Stadtregion Bern anlässlich der ersten lufthygienischen Erfolgskontrolle von 2004

Visualisiert den Zustand der Luftgesamtbelastung von 2004 mittels der Flechtenbioindikation, 14 Jahre nach der Ersterhebung. Massstabtreuer Vergleich

➔ gegenüberliegende Seite, oben

Abb. 6 Luftgütekarte des Kantons Zug anlässlich der ersten lufthygienischen Erfolgskontrolle von 2003

Visualisiert den Zustand der Luftgesamtbelastung von 2003 mittels der Flechtenbioindikation. Massstabtreuer Vergleich.

➔ gegenüberliegende Seite, unten

Kt. Uri - Unteres Reusstal - Luftgütekarte 2008

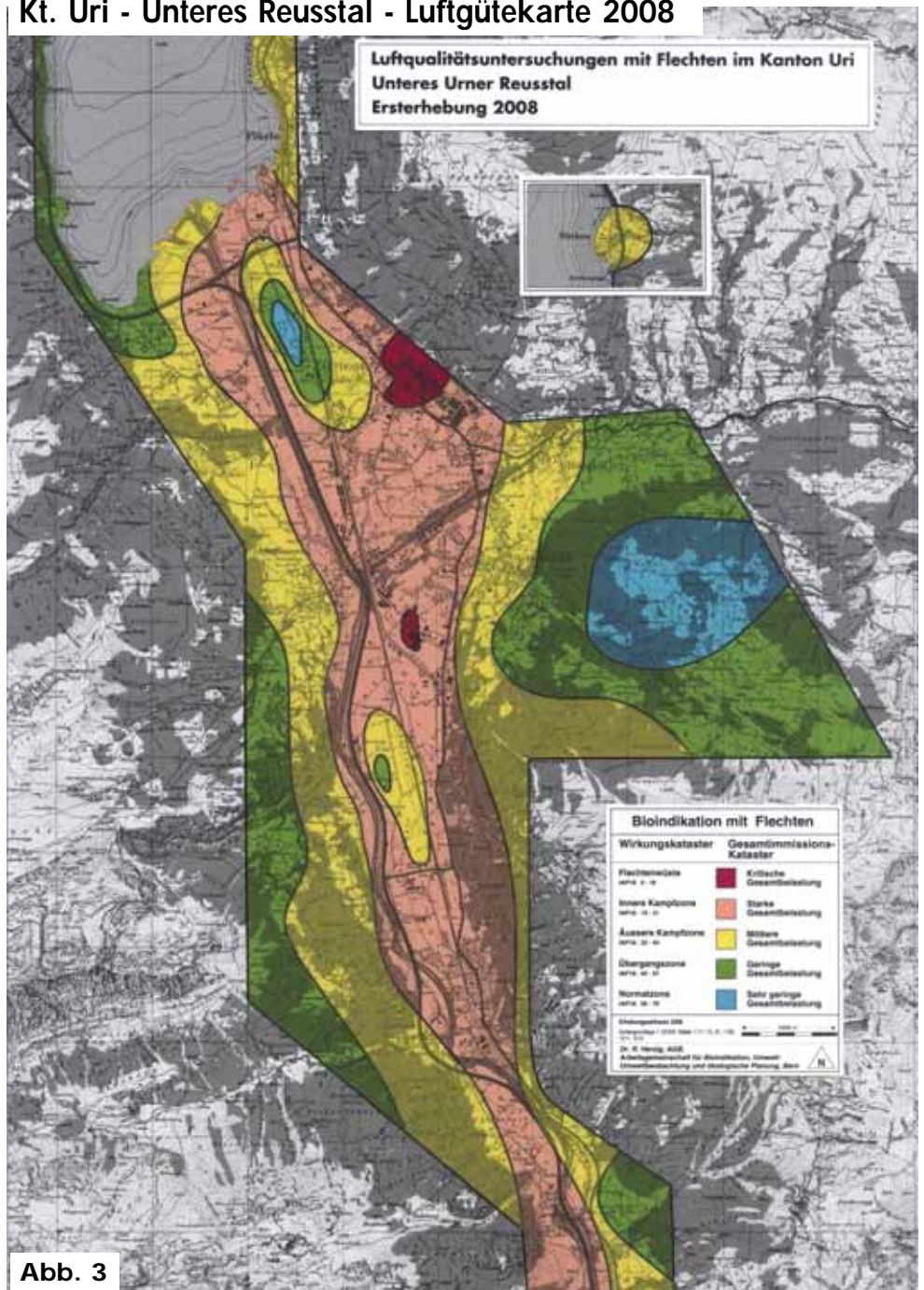


Abb. 3

Region Bern - Luftgütekarte nach 14 Jahren - Erste Erfolgskontrolle 2004

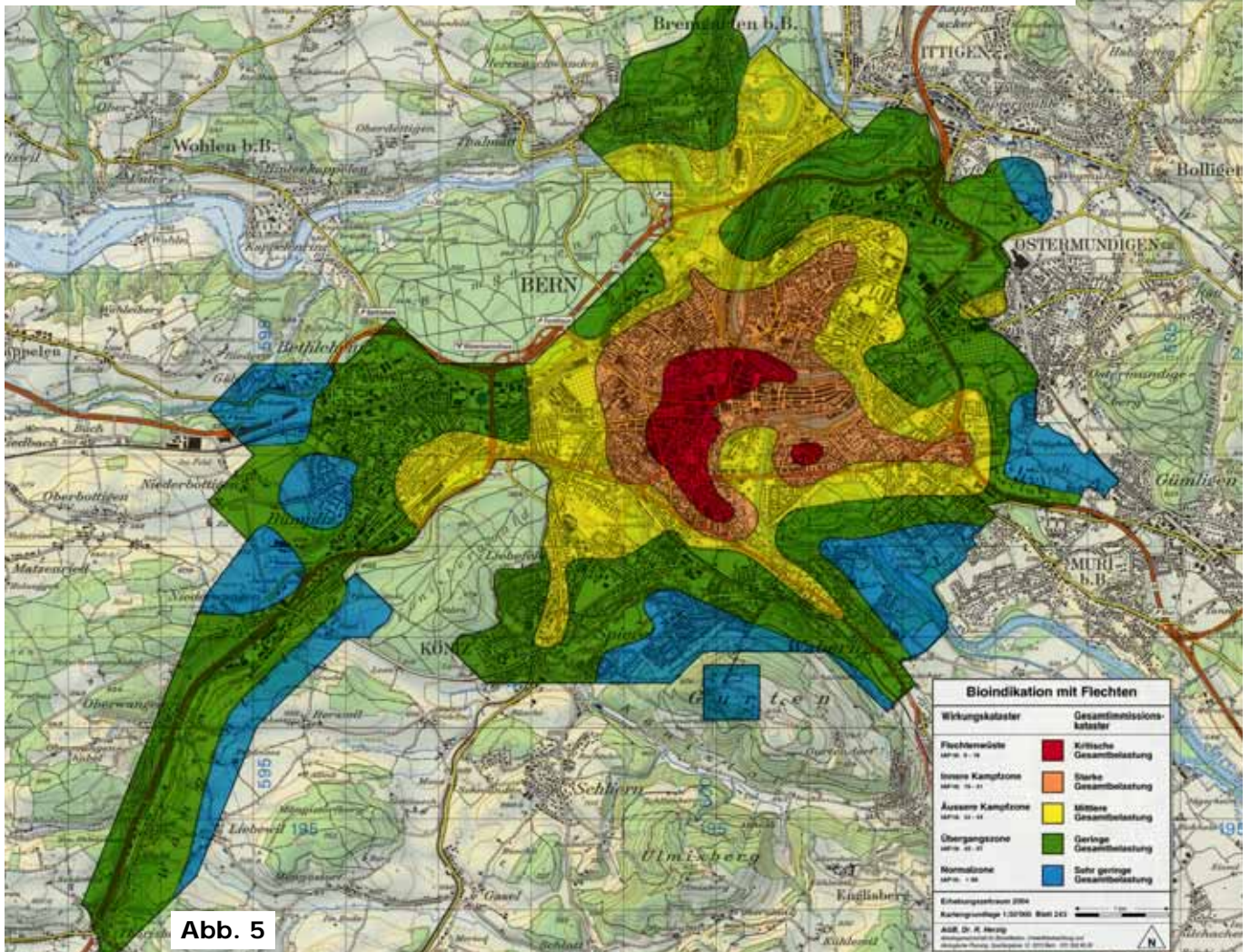


Abb. 5

Kanton Zug - Luftgütekarte nach 10 Jahren - 1. Erfolgskontrolle 2003

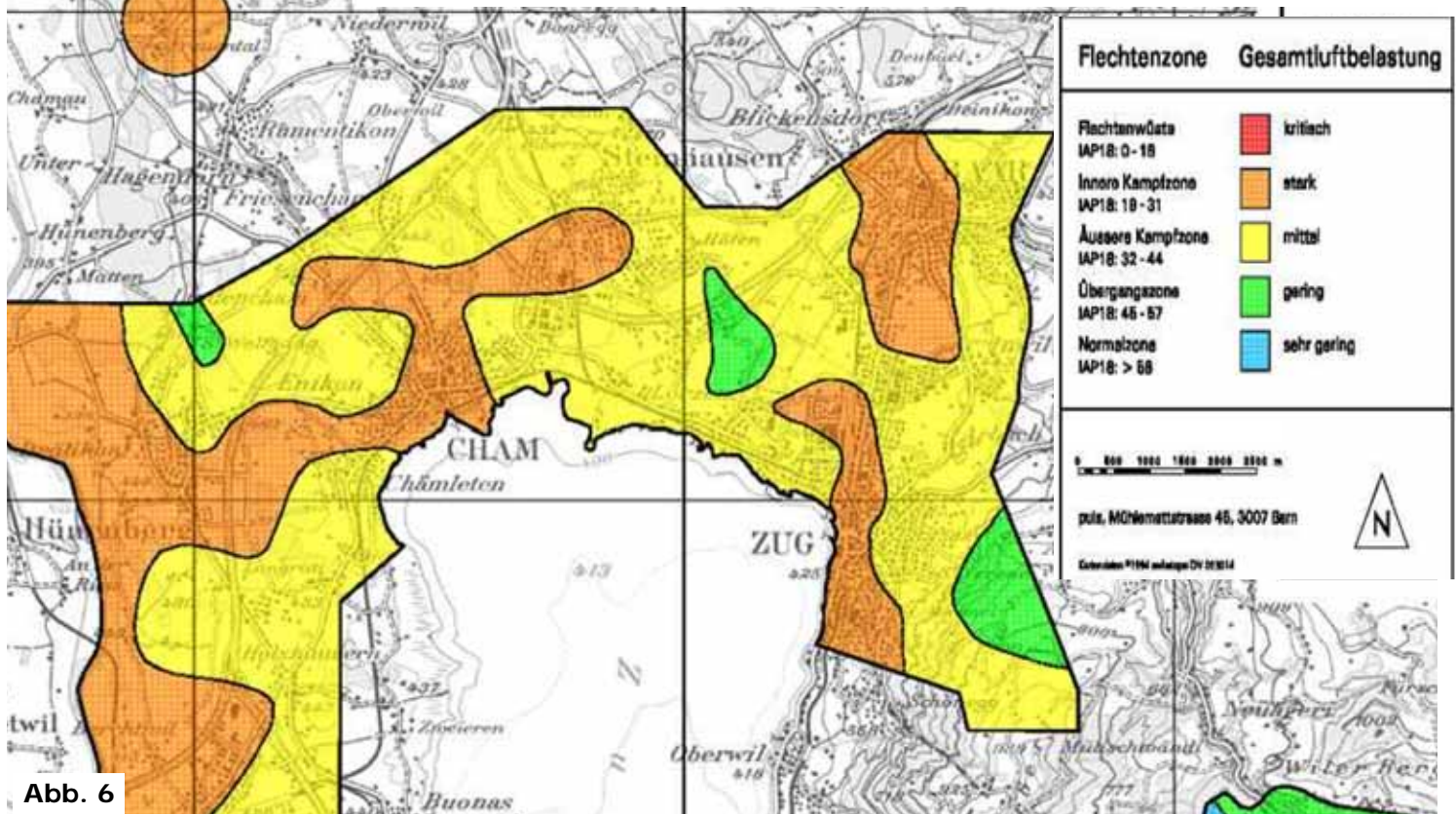


Abb. 6

5.4 Vergleich der Luftgesamtbelastung des Urner Reusstals mit der NO_2 -Belastung

5.4.1 Deskriptiver Vergleich der Luftgesamtbelastung im Unteren Urner Reusstal mit der NO_2 -Belastung

Wie in den vorangehenden Erläuterungen der Luftgütekarte bereits festgehalten, besteht im Untersuchungsgebiet ein umfassendes Messnetz von gegen 40 Messstellen zur NO_2 -Belastung (Passivsammler sowie Fixstation und Messwagen). Die Fixmessstation Altdorf-Gartenmatte und der Inluft-Messwagen, welcher im Dorf Erstfeld und im A2-Transsekt Feldmatt im Einsatz ist, liefern zusätzlich kontinuierliche Messdaten von NO , NO_2 , Ozon, PM_{10} und der Meteorologie.

Zum Vergleich der gemessenen NO_2 -Belastung mit den IAP18-Gesamtbelastungswerten der Luftgütekarte, welche auf den Flechtenkartierungen der Feldsommer 2008-10 und insgesamt auf 272 gebiets-repräsentativen IAP18-Aufnahmen in 54 verschiedenen Georäumen im ganzen Urner Reusstal beruhen, wurden, soweit möglich, die NO_2 -Jahresmittelwerte der Messjahre 2006 und 2007 verwendet.

Diese zweijährigen Jahresmittelwerte geben die NO_2 -Belastung zum Zeitpunkt der Flechtenkartierung wider, da ja alle Bioindikatoren stets mit einer gewissen Zeitverzögerung auf die Belastungssituation reagieren. Gleichzeitig ermöglichen diese Jahresmittel von 2006/07 auch den Vergleich mit zusätzlichen Messstandorten, welche heute nicht mehr betrieben werden.

Die Abbildung 7 zeigt die Luftgütekarte des Unteren Urner Reusstals, welche mit den Jahresmitteln der NO_2 -Belastung von 2006/07 überlagert ist. In Ausnahmefällen wurden auch Jahresmittel von 2008 verwendet. Zusätzlich zeigen die Abbildungen 7 und 8 auch noch die individuellen IAP18-Luftgütewerte (weisse Schrift), welche für die statistische Analyse in Kapitel 5.4.3 verwendet werden.

Wie in Kapitel 5.2 bereits erläutert, entspricht die Übereinstimmung zwischen den IAP18-Gesamtbelastungswerten der Luftgüte und den NO_2 -Jahresmittelwerten im gesamten Urner Reusstal recht gut unserer langjährigen Vergleichserfahrung an über 40 verschiedenen Immissions-Messstandorten in allen Landesteilen.

- **5.4.2 Deskriptiver Vergleich der Luftgesamtbelastung im Oberen Reusstal mit der NO₂-Belastung**

Im Oberen Urner Reusstal gibt es im Dorf Gurtnellen eine NO₂-Messstation, welche mit ihrem Jahresmittel von 29.6 µg/m³ gut ins bisherige Bild der orangen Zone mit starker Gesamtbelastung passt (Abb. 8).

Im Amsteg befinden sich zwei benachbarte NO₂-Stationen, welche mit 23-24 µg/m³ im oberen Bereich der gelben Zone mit mittlerer Gesamtbelastung liegen. Und im Dorf Andermatt konnte eine NO₂-Messstation gefunden werden, welche mit ihren 12-13 µg/m³ die bisherige Vergleichserfahrung der blauen Zone mit sehr geringer Gesamtbelastung sehr gut unterstützt.

Weil im Gebiet Golzeren-Luftseilbahn-Station in der unmittelbaren Umgebung der NO₂-Messstation keine vergleichbaren Luftgüterhebungen gemacht werden konnten, konnte diese Station im statistischen Vergleich nicht berücksichtigt werden.

- **5.4.3 Regressions-Statistischer Vergleich der Luftgesamtbelastung (IAP18) mit der NO₂-Belastung**

Nachdem die gute Übereinstimmung zwischen der Luftgesamtbelastung (IAP18) und den NO₂-Belastungswerten bereits mit der grafischen Analyse anhand der beiden überlagerten Luftgütekarten (Abb. 8, 9) aufgezeigt wurde, soll nun mit einer Korrelations- und Regressionsanalyse der Grad der Übereinstimmung zwischen beiden Messmethoden auch mit Daten im Kanton Uri verifiziert werden. Dazu werden die Jahresmittelwerte der gemessenen NO₂-Belastung von 2006/07 (Passivsammler, Fixstation, Messwagen) mit den IAP18-Gesamtbelastungswerten von genügend nahe an den Messstationen untersuchten Trägerbäumen miteinander korreliert (Abb. 9).

Unter Einbezug der Ergebnisse im Oberen Reusstal ergibt sich insgesamt ein Kollektiv von 19 vergleichbaren Messstandorten. Die linke Teilgrafik von Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse des Rohmodells mit allen 19 Standorten. Die Korrelation zwischen der Gesamtbelastung IAP18 und der NO₂-Belastung ist gut und das hochsignifikante Regressionsmodell erklärt insgesamt 65% der gemessenen NO₂-Belastung allein aus den gemessenen IAP18-Werten.

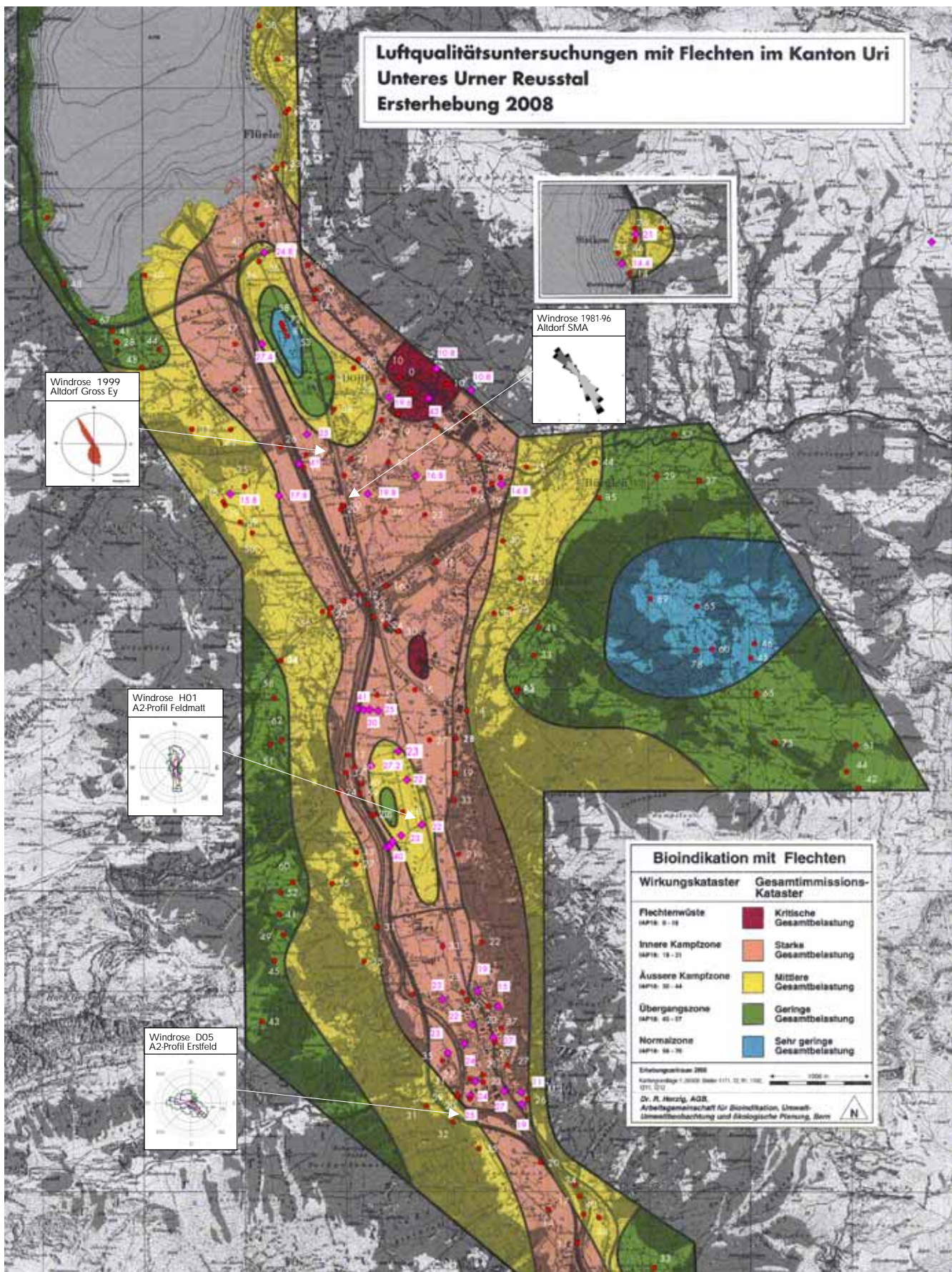


Abb. 7 Vergleich der Luftgütekarte des Unteren Urner Reusstal von 2008 mit den NO₂-Immisionen von 2006/07.

Visualisiert den Zustand der Luftgesamtbelastung von 2008 mittels der Flechtenbioindikation. Mit Purpurfarbe und weisser Signatur ist die NO₂-Belastung von 2006-2007 (Jahresmittel, µg/m³) dargestellt. Die Windrosen von Gross Ey, Alldorf-SMA und die beiden A2-Profilmessungen von Erstfeld (2007-09) zeigen das vorherrschende Windfeld im Reusstal, welches gut mit der Ausbreitung der Luftgütezonen übereinstimmt.

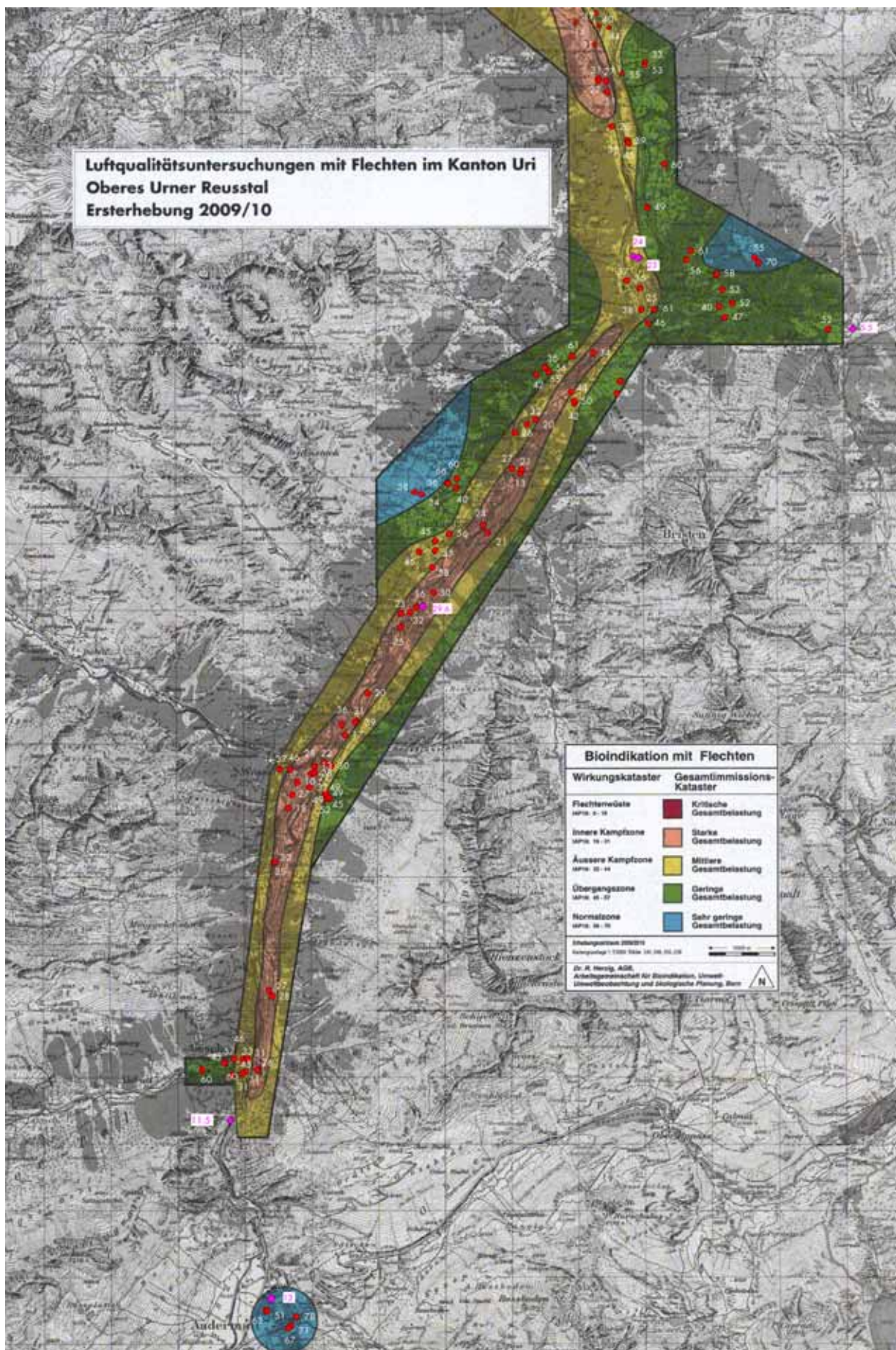


Abb. 8 Vergleich der Luftgütekarte des Oberen Urner Reusstal von 2009/10 mit den NO₂-Immissionen von 2005-08.

Visualisiert den Zustand der Luftgesamtbelastung von 2009/10 mittels der Flechtenbioindikation. Mit Purpurfarbe und weisser Signatur dargestellt ist die NO₂-Belastung von 2005-2008 (Jahresmittel, µg/m³).

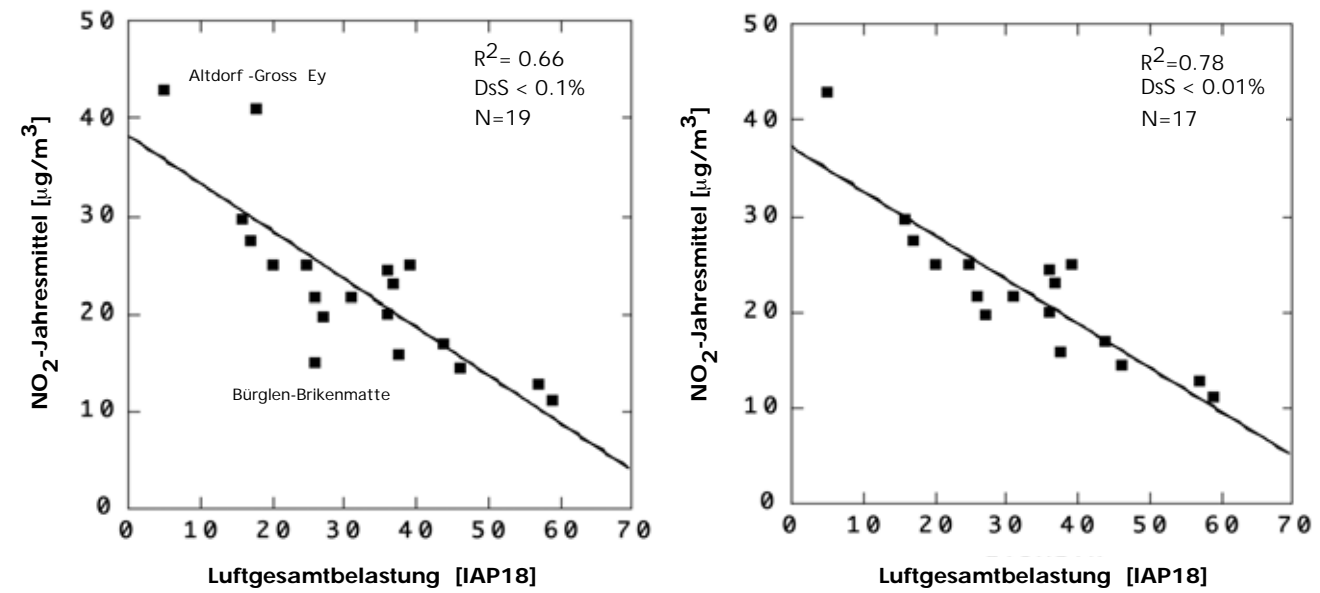


Abb. 9 Vergleich der Luftgesamtbelastung (IAP18) mit den NO_2 -Immissionen im gesamten Urner Reusstal.

Links: Rohmodell

mit allen 19 Messstandorten, incl. Ausreisser Messstationen Altdorf Gross Ey und Brikenmatte.

Bestimmtheitsmass der Regression $R^2=0.66$. Hochsignifikantes Modell ($DsS < 0.1\%$)

Rechts: Finales Modell mit 17 Messstandorten, ohne Messstationen Altdorf Gross Ey und Brikenmatte.

Bestimmtheitsmass der Regression $R^2=0.78$. Hochsignifikantes Modell ($DsS < 0.01\%$).

Das Rohmodell der Regressionsanalyse mit allen 19 Standorten weist auch auf zwei offensichtliche «Ausreisser» im Kollektiv der Messstandorte hin, nämlich Altdorf-Gross Ey (A2-nähe) und Bürglen-Brikenmatte (linke Grafik). An diesen beiden Standorten erfolgte die IAP18-Messung in allzu grosser Distanz von der NO_2 -Messstation. Am Standort Bürglen-Brikenmatte erfolgte die IAP-Messung deutlich näher an der Klausenstrasse und für Altdorf-Gross Ey in grösserer Distanz zur A2 als die entsprechende NO_2 -Messung.

Das finale Regressionsmodell nach der Elimination dieser beiden Ausreisser zeigt die einwandfreie Regressionsbeziehung der rechten Teilgrafik der Abbildung 9 mit einer hohen statistischen Übereinstimmung beider Messgrössen von 78%.

Die frühere Regressionsanalysen im Teilprojekt Unteres Reusstal von 2010 ergab mit 13 Messstandorten, nach Elimination der beiden «Ausreisser-Messstationen» Altdorf-Gross Ey und Bürglen-Brikenmatte eine 81%-ige Übereinstimmung zwischen beiden Messgrössen.

Dieser Urner Korrelationswert ist damit fast ebenso gut, wie unsere Ergebnisse aus der Methodenentwicklung im NFP14 im Schweizer Mittelland, wo wir in den Neunzigerjahren eine 83%-ige Übereinstimmung zwischen beiden Messgrössen gefunden haben.

5.5 Vergleich der Luftgesamtbelastung im Urner Reusstal mit der Bevölkerungsexposition

● Bevölkerungsexposition

Vergleicht man die beiden Urner Luftgütekarten mit der Bevölkerungsexposition, d.h. dem Anteil der Urner Wohnbevölkerung, welche in den fünf verschiedenen Luftgütezone lebt, so ergeben sich die folgenden Ergebnisse der Tabelle 2 und der Abbildungen 10 und 11:

		Kt. Uri gesamt		Bevölkerungsexposition	
Gesamtmissionszone	Farbe	Flächenanteil		Einwohnerzahl	
		km ²	%	ha	%
Kritische Gesamtbelastung	rot	0.6	0.8	912	3.1
Starke Gesamtbelastung	orange	19.0	25.9	14625	49.6
Mittlere Gesamtbelastung	gelb	25.6	34.9	9009	30.5
Geringe Gesamtbelastung	grün	22.6	30.8	3665	12.4
Sehr geringe Gesamtbelastung	blau	5.6	7.7	1295	4.4
<i>Gesamtfläche, Einwohnerzahl</i>		73.3	100	29506	100

Tab. 2 Vergleich der Flächenanteile der fünf Gesamtmissionszonen der Urner Luftgütekarten im Unteren und Oberen Reusstal mit der Bevölkerungsexposition

Teiluntersuchungen der Flechtenbioindikation: Unteres Reusstal 2008 und Oberes Reusstal von 2009/10.

Datengrundlage zur Berechnung der Bevölkerungsexposition: Eidgenössische Volkszählung 2000, BFS Punktdaten (100x100m Rasterweite)
Es werden die Wohnorte, nicht aber die Arbeitsplätze angegeben.

Realisation: Niklas Joos-Widmer, Amt für Umweltschutz, Altdorf.

In der orangenen Luftgütezone mit starker Gesamtbelastung, welche mit einem Flächenanteil von 25.9% grosse Teile des Reusstalbodens bedeckt, leben hohe 49.6% (14'625) der gesamten Urner Wohnbevölkerung. Obschon die stärkst belastete rote Zone mit kritisch starker Gesamtbelastung nur gerade 0.8% der Untersuchungsfläche ausmacht, leben in dieser Belastungszone insgesamt 3.1% der Urner Bevölkerung, was 912 Personen entspricht.

Insgesamt ergibt sich für die beiden kritisch stark und stark belasteten Luftgütezone rot und orange im Perimeter des gesamten Urner Reusstals ein Flächenanteil von 26.7%, bzw. 19.6km². In dieser Belastungszone leben insgesamt 15'337 Einwohner, was 52.7% der Urner Bevölkerung entspricht.

In der dominanten gelben Luftgütezone mit mittlerer Gesamtbelastung, welche 34.9% der Untersuchungsfläche bedeckt, beträgt der Bevölkerungsanteil 30.5%, gefolgt von der grünen Zone mit geringer Gesamtbelastung mit einem Flächenanteil von 30.8% und einem Bevölkerungsanteil von 12.4%.

In der besten Luftqualitätszone blau mit sehr geringer Gesamtbelastung welche 7.7% der Untersuchungsfläche umfasst, und sich fast ausschliesslich auf die höher gelegenen und optimal durchlüfteten Gunstzonen beschränkt, leben weitere 4.4% der Urner Wohnbevölkerung.

Insgesamt leben im Untersuchungsperimeter der beiden Luftgütekarten im Unteren und Oberen Reusstal 35'304 Personen, was 84% der gesamten Urner Wohnbevölkerung entspricht (Eidg. Volkszählung 2000, BFS).

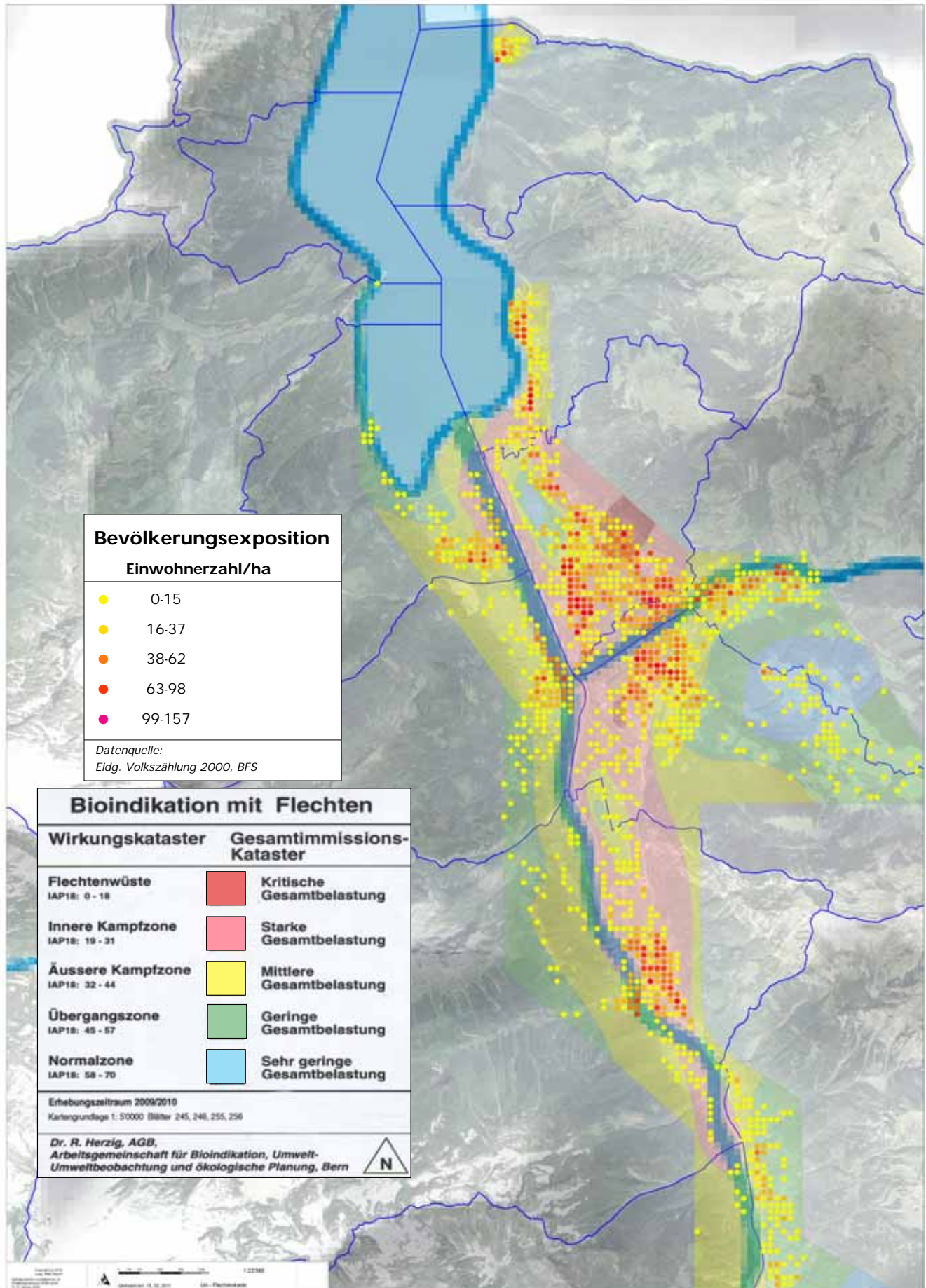


Abb. 10 Vergleich der Luftgütekarte des Unteren Urner Reusstal von 2008 mit der Bevölkerungsexposition, gemäss Eidg. Volkszählung 2000

In der roten und orangen Luftgütezone mit kritischer und starker Gesamtbelastung finden sich im ganzen Reusstal fast 53% der Urner Wohnbevölkerung.

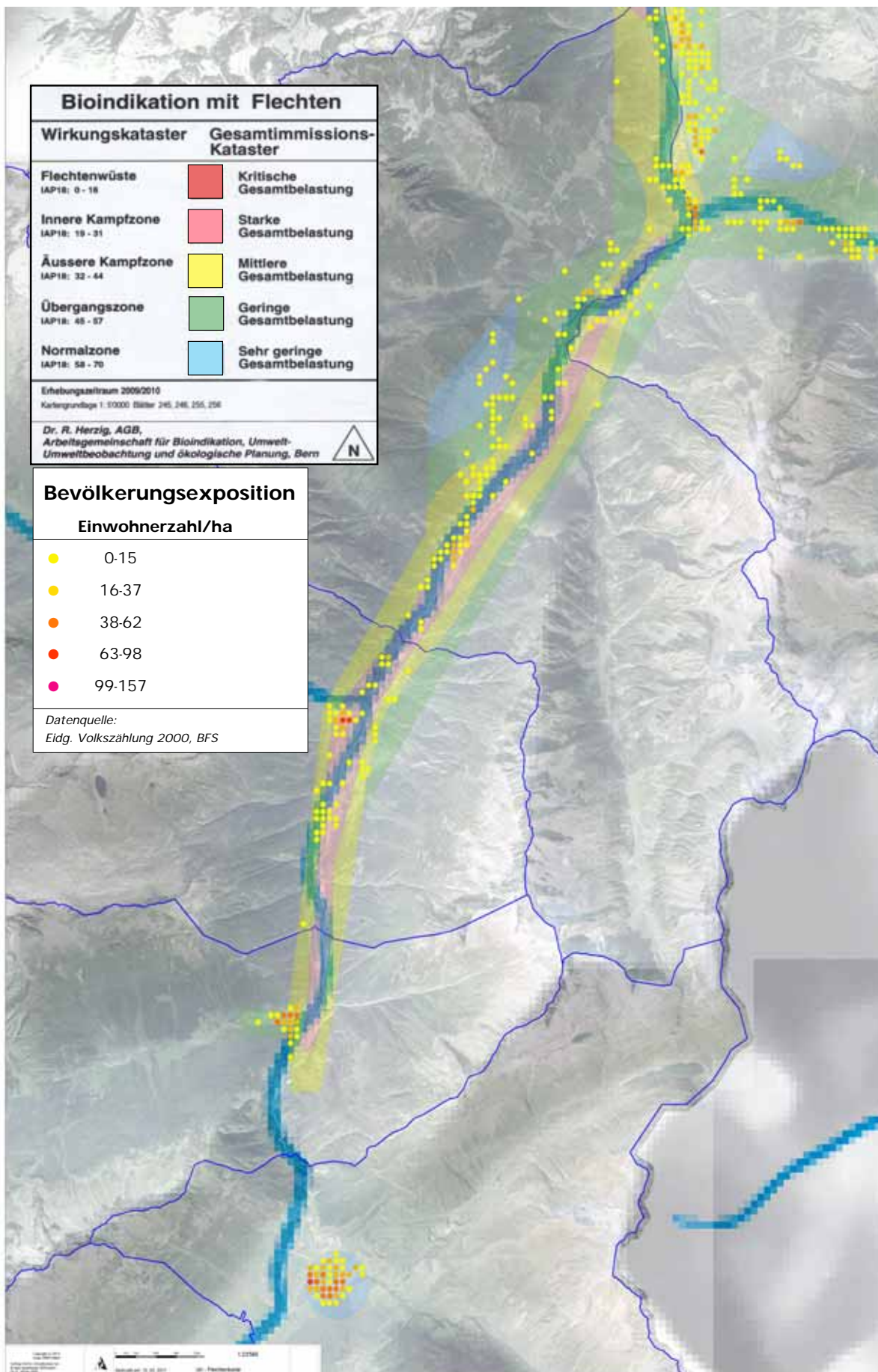


Abb. 11 Vergleich der Luftgütekarte des Oberen Urner Reusstal von 2009-10 mit der Bevölkerungsexposition, gemäss Eidg. Volkszählung 2000

In der gelben Luftgütezone mit mittlerer Gesamtbelastung finden sich im ganzen Reusstal 31% und in den beiden besten Luftgütezonen grün und blau sind es zusammen 16% der Urner Wohnbevölkerung.

Die Abbildungen 10 und 11 zeigen je die Überlagerung der beiden Urner Luftgütekarten mit der Urner Bevölkerungsexposition, ausgedrückt durch die Einwohnerdichte pro Hektarfläche, gemäss der Eidgenössischen Volkszählung 2000 des BFS, welche sich auf die Wohnbevölkerung abstützt.

Bei etwas vertiefter Betrachtung lassen sich daraus die folgenden Erkenntnisse ableiten:

- Beim Vergleich der Urner Bevölkerungsexposition mit den beiden Luftgütekarten des Unteren und Oberen Reusstals fällt als Erstes auf, dass die höchste Bevölkerungsdichte nicht etwa im Zentrum von Altdorf anzutreffen ist, sondern in den peripheren Quartieren mit Wohnblocks, wie im Gebiet der Grossmatt, Chornmatt und des Bahnhofs sowie in den Wohngebieten entlang der Gotthard- und Klausenstrasse, wo die Luftgütekarte eine starke Gesamtbelastung der Luft ausweist.
- Im kritisch stark belasteten Altdorfer Zentrum, das besonders viele Geschäfte, Restaurants u.a. Arbeitsstätten aufweist, resultiert dagegen meist eine geringere Bevölkerungsdichte, weil sich die Volkszählung 2000 auf den Wohnort und nicht auf den Arbeitsort der Einwohner bezieht.
- Weitere Gebiete mit erhöhten Bevölkerungsdichten finden sich auch in Schattdorf, Flüelen, Erstfeld und teilweise in Seedorf, Attinghausen, Sisikon und in Wassen. Währenddem die dichter besiedelten Wohngebiete von Erstfeld und Wassen sowie die südlich gelegenen von Flüelen zur orangen Zone mit starker Gesamtbelastung zu rechnen sind, zählen diejenigen von Schattdorf und die nördlichen von Flüelen sowie von Seedorf, Attinghausen und Sisikon bereits zur gelben Luftgütezone mit mittlerer Gesamtbelastung der Luft.
- In den Gebieten der grünen und blauen Luftgütezon mit geringer und sehr geringer Luftgesamtbelastung finden sich hingegen im gesamten Urner Reusstal meist nur geringe Bevölkerungsdichten. Eine Ausnahme bildet Andermatt, das im Ortskern und entlang der Alten Gotthardstrasse ebenfalls Wohnquartiere mit einer dichteren Besiedlung aufweist.
- Bei diesen Vergleichen der Bevölkerungsexposition mit den fünf Luftgütezon der aktuellen Flechtenkarten zeigt sich, dass insgesamt hohe 52.7% der Urner Bevölkerung in den beiden kritisch stark und stark belasteten Luftgütezon rot und orange wohnen. Wenn die künftigen Luftreinemassnahmen in diesen Gebieten mit besonderer Priorität erfolgen, ist dies von der grossen Zahl der betroffenen Einwohnern her besonders zu begrüssen.

6. Immissionsökologische Ergebnisse ausgewählter Flechtenarten

Ergebnisse der Einzelartenauswertung

Die Analyse des Verbreitungsmusters von ausgewählten, repräsentativen Flechtenarten liefert zusammen mit ihrer ökologischen Charakterisierung im Untersuchungsgebiet wertvolle Zusatzinformationen für die Interpretation der Luftgütekarte und erlaubt es auch qualitative Angaben zur Art des Immissionstyps (Acidoindex, Nitroindex) zu machen.

Flechtenarten weisen hohe artspezifische Ansprüche an ihre Umwelt auf und unterscheiden sich daher sehr stark im Auftreten und ihrer Häufigkeit an einem bestimmten Standort. Die wichtigsten Kenngrößen für die ökologische Charakterisierung von Einzelarten sind die relative Verbreitung im Gebiet, das räumliche Verbreitungsmuster (Frequenz, Artmächtigkeit), die artspezifischen Ansprüche bezüglich dem Säuregrad des Substrates (pH-Schwerpunkt), die Ansprüche bezüglich Nährstoffversorgung (Nitrotoleranz) sowie die Schadstoffempfindlichkeit (Toxitoleranz).

6.1 Die Arthäufigkeit

Die Tabelle 3 gibt Auskunft über die absolute und relative Arthäufigkeit und mittlere Frequenz aller 39 im ganzen Urner Untersuchungsgebiet gefundenen Flechtenarten, welche für die Berechnung der IAP18-Luftgütwerte verwendet werden. Zusätzlich enthält die Tabelle auch Angaben zum Gefährdungsgrad der verschiedenen Flechtenarten gemäss der Roten Liste von Scheidegger et al. 2002.

Die im Untersuchungsgebiet häufigste Artengruppe des IAP18 ist die sehr toxtolerante *Phaeophyscia orbicularis*-Gr., welche an 79% aller untersuchten Bäume mit einer ebenso hohen mittleren Frequenz von 8.4 gefunden wurde. Aber auch die Artengruppe der Wimpernflechte *Physcia ascendens*-Gr. weist eine hohe Arthäufigkeit auf, und sie wurde an 74% aller Trägerbäume mit einer ebenso hohen mittleren Frequenz von 7.7 gefunden. Die maximal mögliche Artfrequenz beträgt 10.

Insgesamt finden sich im Unteren und Oberen Urner Reusstal vier Flechtenarten an mehr als 55% aller Untersuchungsbäume und es sind 16 Flechtenarten, welche eine relative Häufigkeit von über 10% aufweisen, währendem weitere 16 Arten relative Häufigkeiten zwischen 2-7% zeigen und 10 Arten nur ganz vereinzelt an höchstens 1% der Untersuchungsbäume gefunden wurden. In diesen beiden letzten Artengruppen finden sich auch die beiden gemäss der Roten Liste bedrohten Blatt-, bzw. Strauchflechtenarten *Parmelia acetabulum* und *Ramalina fraxinea*.

Kt. Uri 2008 - 2010	Art-Häufigkeit		mittlere	Kategorie
Flechtenarten des IAP18	absolut	relativ	Frequenz	Rote Liste
<i>Phaeophyscia orbicularis</i> -Gr.	217	0.79	8.4	LC
<i>Physcia adscendens</i> -Gr.	201	0.74	7.7	LC
<i>Phlyctis argena</i> -Gr.	165	0.60	5.2	LC
<i>Lecanora argentata</i> -Gr.	149	0.55	5.3	VU
<i>Lecanora carpinea</i> -Gr.	121	0.44	4.5	div.
<i>Parmelia sulcata</i>	115	0.42	6.4	LC
<i>Parmelia glabratula</i> -Gr.	98	0.36	6.0	LC, VU
<i>Xanthoria parietina</i>	96	0.35	4.6	LC
<i>Parmelia tiliacea</i>	94	0.34	4.6	LC
<i>Xanthoria fallax</i> -Gr.	83	0.30	5.4	VU
<i>Parmelia subrudecta</i>	65	0.24	4.7	LC
<i>Parmelia quercina</i>	65	0.24	5.0	EN
<i>Physcia aipolia</i> -Gr.	57	0.21	5.1	LC, VU
<i>Physconia distorta</i>	54	0.20	3.4	LC
<i>Physconia grisea</i>	30	0.11	5.3	NT
<i>Pertusaria albescens</i>	27	0.10	2.9	LC
<i>Graphis scripta</i>	19	0.07	4.5	LC
<i>Parmelia exasperatula</i>	18	0.07	6.7	LC
<i>Parmelia glabra</i>	16	0.06	3.8	EN
<i>Evernia prunastri</i>	15	0.05	3.1	LC
<i>Leptogium saturnium</i>	14	0.05	4.4	EN
<i>Parmelia subargentifera</i>	14	0.05	4.8	LC
<i>Parmelia flaventior</i>	10	0.04	3.4	VU
<i>Parmelia caperata</i>	10	0.04	4.9	LC
<i>Parmelia saxatilis</i>	9	0.03	4.2	LC
<i>Pertusaria amara</i>	8	0.03	5.1	LC
<i>Hypogymnia physodes</i>	8	0.03	6.0	LC
<i>Normandina pulchella</i>	7	0.03	4.0	LC
<i>Physconia perisidiosa</i>	6	0.02	2.7	NT
<i>Lecanora impudens</i>	6	0.02	6.2	VU
<i>Xanthoria polycarpa</i>	5	0.02	3.6	LC
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	5	0.02	4.2	LC
<i>Parmelia contorta</i>	3	0.01	3.0	EN
<i>Ramalina farinacea</i>	3	0.01	2.7	VU
<i>Ramalina polinaria</i>	3	0.01	2.0	NT
<i>Usnea spec.</i>	3	0.01	1.5	EN-VU
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	3	0.01	4.0	LC
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	3	0.01	1.7	LC
<i>Cetrelia cetrarioides</i> -Gr.	2	0.01	1.7	VU
<i>Parmelia acetabulum</i>	2	0.01	3.5	NT
<i>Physconia enteroxantha</i>	2	0.01	5.0	VU
<i>Ramalina fraxinea</i>	1	0.004	1.0	EN

Tab. 3 Arthäufigkeit und mittlere Frequenz sowie Gefährungsgrad der Flechtenarten im gesamten Urner Reusstal

Ersterhebung mit Kalibrierter Flechtenindikationsmethode (IAP18) von 2008-10.

Gefährungsgrad gemäss Roter Liste der gefährdeten Flechten der Schweiz. Scheidegger et al. 2002.

Kategorien der Roten Liste

EN: endangered - stark gefährdet

VU: vulnerable - verletzlich

NT: near threatened - potentiell bedroht

LC: least concern - nicht gefährdet

6.2 Die Toxizität als Maß der Schadstoffempfindlichkeit

Die artspezifische Schadstoffempfindlichkeit der Flechtenarten wird mit dem Toxizitätsfaktor bestimmt. Dieser liegt der Beobachtung zugrunde, dass sich immissionsempfindliche Flechtenarten erst dann an einem Standort ansiedeln, wenn dort bereits schon andere, weniger empfindliche Arten leben. Die Gesamtartenzahl an einem bestimmten Standort ist somit auch ein Maß für die Schadstoffempfindlichkeit jeder einzelnen Art. Diese wird mit dem Toxizitätsfaktor Q , als mittlere Begleitartenzahl einer Flechtenart im ganzen Untersuchungsgebiet berechnet und in die fünf Empfindlichkeitsstufen von Tabelle 4 eingeteilt.

Die empfindlichsten Flechtenarten, welche nur an Standorten mit einer hohen Luftgüte, bzw. sehr geringen Luftgesamtbelastung gedeihen, weisen dabei die höchsten Begleitartenzahlen auf, währenddem die toxischeren Arten, welche auch an belasteten Standorten überleben, kön-

Kt. Uri 2008 - 2010	sehr empfindlich	empfindlich	ziemlich empfindlich	ziemlich toxischer	sehr toxischer
Flechtenarten des IAP18					
<i>Parmelia glabra</i>	●				
<i>Parmelia tiliacea</i>	●				
<i>Leptogium saturnium</i>	●				
<i>Evernia prunastri</i>		●			
<i>Physconia distorta</i>		●			
<i>Parmelia flaventior</i>		●			
<i>Parmelia quercina</i>		●			
<i>Physcia aipolia-Gr.</i>		●			
<i>Pertusaria amara</i>		●			
<i>Phaeophyscia orbicularis-Gr.</i>			●		
<i>Parmelia glabratula-Gr.</i>			●		
<i>Parmelia sulcata</i>			●		
<i>Pertusaria albescens</i>			●		
<i>Xanthoria fallax-Gr.</i>			●		
<i>Parmelia subargentifera</i>			●		
<i>Parmelia caperata</i>			●		
<i>Parmelia subrudecta</i>			●		
<i>Physcia adscendens-Gr.</i>				●	
<i>Lecanora argentata-Gr.</i>				●	
<i>Hypogymnia physodes</i>				●	
<i>Parmelia exasperatula</i>				●	
<i>Graphis scripta</i>				●	
<i>Phlyctis argena-Gr.</i>				●	
<i>Lecanora carpinea-Gr.</i>				●	
<i>Xanthoria parietina</i>				●	
<i>Physconia grisea</i>				●	
<i>Normandina pulchella</i>					●

Tab. 4 Toxizität der Urner Flechtenarten von 2008

Welche mit einer Häufigkeit von mehr als 2% an den Untersuchungsbäumen nachgewiesen wurden, geordnet nach ihrer Schadstoffempfindlichkeit der Toxizität.

nen dagegen die geringsten Q-Werte zeigen. Der Toxitolanzwert ist stark gebietsabhängig und sein Betrag hängt wesentlich vom Flechtenreichtum und von der Gesamtimmissionssituation eines Gebietes ab.

Zu den empfindlichsten Flechtenarten im Kanton Uri zählt auch die seltene und vom Aussterben bedrohte Blattflechtenart *Parmelia glabra*, welche nur in den lufthygienisch noch intakten Höhegebieten wie dem Haldi in den Schattdorfer Bergen mit sehr geringer Luftgesamtbelastung gefunden wurde.

6.3 Mittlere Frequenz der Artmächtigkeit

Abhängig von ihrer Toxitolanz zeigt auch jede Flechtenart ihr artspezifisches Verhalten in den Gesamtbelastungszonen. Es gibt einige unempfindliche, toxitolante Arten, welche in der Luftgütezone kritische Gesamtbelastung überhaupt noch überleben können, wenn auch in meist völlig verkümmerter Wuchsform. Diese Arten zeigen ihr Verbreitungsoptimum oft bereits in der starken Gesamtbelastungszone, währenddem diese in den Zonen mit geringer Luftgesamtbelastung nicht mehr gefunden werden.

Empfindlichere Arten zeigen hingegen gerade das umgekehrte Verhalten mit einem Verbreitungsoptimum in den beiden Luftgütezonen geringer und sehr geringer Gesamtbelastung.

Diese artspezifische Sensitivität gegenüber Luftschadstoffen lässt sich mit der mittleren Artfrequenz im Vergleich zum Luftgütwert IAP18 der Luftgesamtbelastung darstellen. Zur besseren Sichtbarkeit werden die fünf Luftgesamtbelastungszonen in je zwei Untergruppen unterteilt, wie aus den Abbildungen 12 bis 14 zu erkennen ist.

Die Abbildung 12 zeigt anhand der Mittleren Frequenz und den Luftgesamtbelastungszonen die Unterschiede in der Artverbreitung der beiden hochempfindlichen Blattflechtenarten *P. glabra* und *Ph. aipolia-Gr.* im Vergleich zu den empfindlichen *Parmelia tiliacea* und *P. sulcata* sowie zur wenig empfindlichen *Phaeophyscia orbicularis-Gr.* und relativ toxitolanten *Physcia adscendens-Gruppe* anhand der Mittleren Frequenz verglichen mit den Luftgesamtbelastungszonen des IAP18. Die mittelempfindliche Krustenflechte *Lecanora argentata-Gr.* zeigt die beste kurvilineare Beziehung zu den Gesamtimmissionszonen.

Die Artverbreitung von fünf mittel bis hochempfindlichen Flechtenarten veranschaulicht die Abbildung 13. Währenddem die mittelempfindlichen Arten *Lecanora argentata-Gr.* und *Parmelia sulcata* ein fast lineares Verhalten in den fünf Luftgütezonen zeigen, erscheinen die beiden hochempfindlichen Arten *Parmelia glabra* und *Physcia aipolia-Gr.* erst in den beiden besten Luftgütezonen geringe und sehr geringe Gesamtbelastung.

Abb. 12 Sieben Flechtenarten mit unterschiedlicher Immissionsempfindlichkeit

Das Verhalten der hochempfindlichen *P. glabra* und *Ph. aipolia*-Gr. im Vergleich zu den empfindlichen *Parmelia tiliacea* und *P. sulcata* im Vergleich zur wenig empfindlichen *Phaeophyscia orbicularis*-Gr. und rel. toxisch-toleranten *Physcia adscendens*-Gruppe anhand der Mittleren Frequenz verglichen mit den Luftgesamtbelastungszonen des IAP18.

Die mittel-empfindliche Krustenflechte *Lecanora argentata*-Gr. zeigt die beste lineare Beziehung zu den Gesamtimmisionszonen.

Datengrundlage: gesamtes Unteres und Oberes Urner Reusstal 2008-2010.

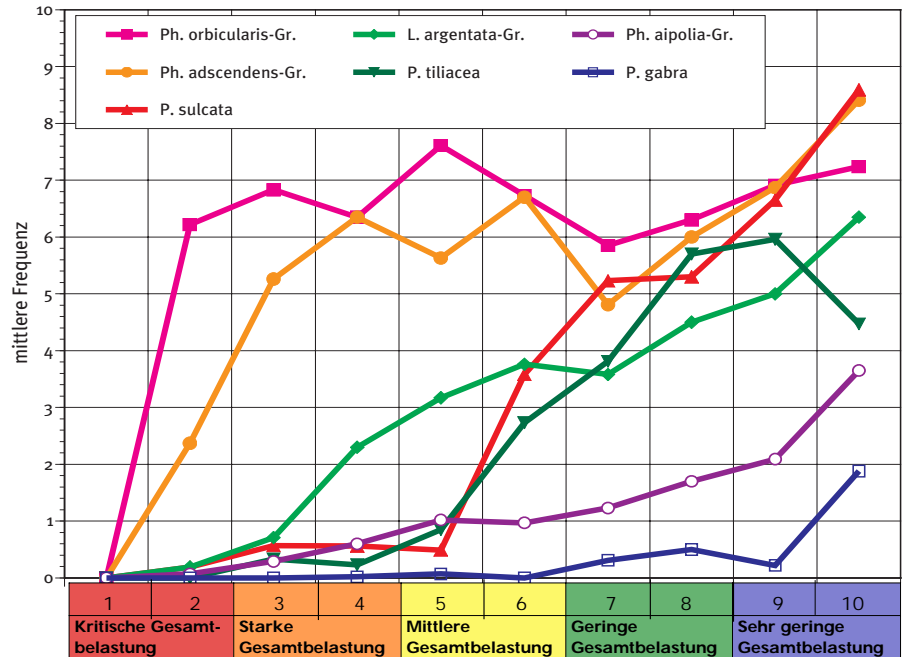
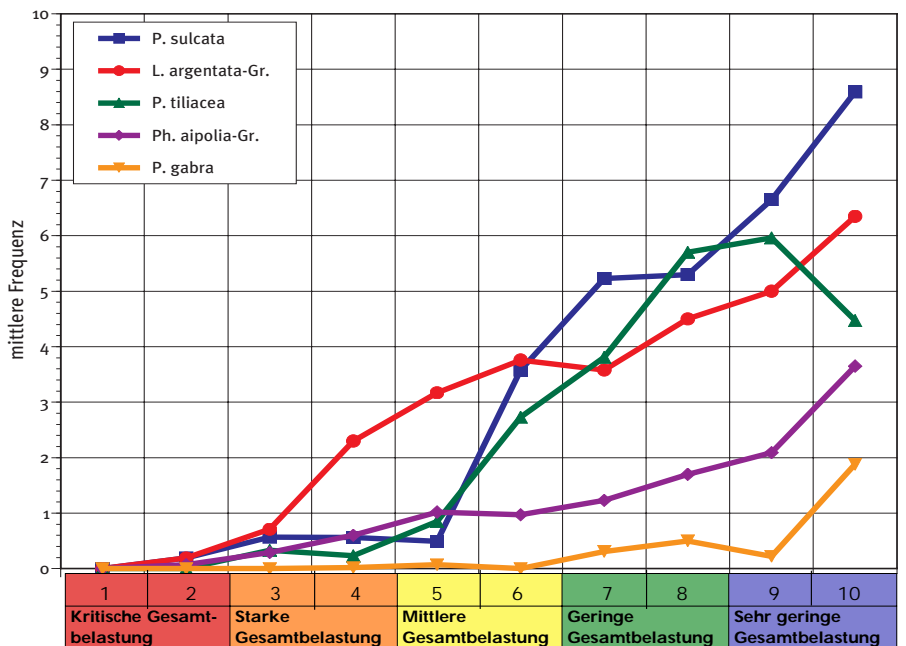


Abb. 13 Fünf mittel bis hochempfindliche Flechtanarten

Das Verhalten der mittel-empfindlichen *Lecanora argentata*-Gr. im Vergleich zur empfindlichen *Parmelia tiliacea* und *P. sulcata* sowie zur hochempfindlichen *Physcia aipolia*-Gr. und *Parmelia glabra* anhand der Mittleren Frequenz verglichen mit den Luftgesamtbelastungszonen des IAP18.

Datengrundlage: gesamtes Unteres und Oberes Urner Reusstal 2008-2010.



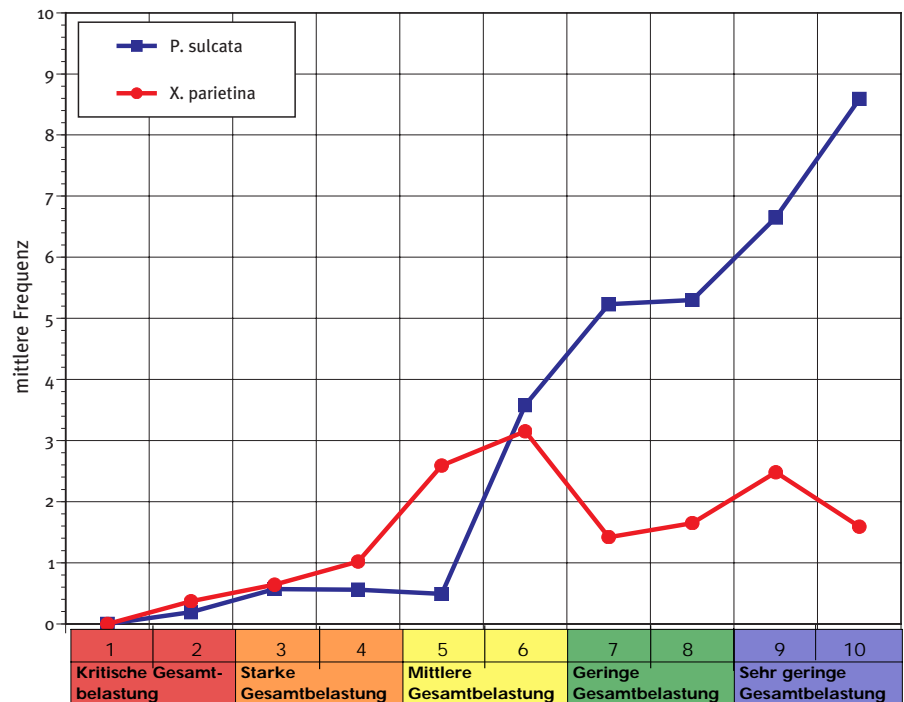
Die Verbreitung dieser einzigen im Untersuchungsgebiet gefundenen und vom Aussterben bedrohten Blattflechte *Parmelia glabra* beschränkt sich sogar auf den oberen Bereich der Luftgütezone mit sehr geringer Gesamtbelastung, wie sie in den Schattdorfer Bergen im Gebiet Haldi, in Göschenen Biel und in Obergurtnellen gefunden wurde.

Einen auffallenden Unterschied in ihrer Artverbreitung zeigen die beiden in der ergänzenden Transektuntersuchung fürs Bafu im Raum Erstfeld-Feldmatt und Bocki-Horn verwendeten Biomonitoring-Arten *Parmelia sulcata* und *Xanthoria parietina* von Abbildung 16.

Abb. 14 Immissionsökologisches Verhalten der beiden Biomonitoringarten für die Schwermetall- und PAK-Analysen

Das Verhalten der empfindlichen Runzelblatflechte *Parmelia sulcata* unterscheidet sich auffällig von der ziemlich toxisoleranten und nitrophilen Gelblatflechte *Xanthoria parietina*.

Datengrundlage: gesamtes Unteres und Oberes Urner Reusstal 2008-2010.



Währenddem die Runzelblatflechte *Parmelia sulcata* in allen fünf Luftgesamtbelastungszonen das bekannte kurvilineare Verhalten zeigt, weist die Gelblatflechte *Xanthoria parietina* dieses gewünschte Verhalten nur in der roten, orangen und gelben Luftgütezone mit kritischer, starker und mittlerer Gesamtbelastung auf. In den Luftgütezonen geringe und sehr geringe Gesamtbelastung verhält sich *Xanthoria parietina* zumindest gegenüber der mittleren Frequenz nicht mehr in linearer Weise.

Vorläufige Ergebnisse der Spurenanalysen von Schwermetallen und anderen tox. Elementen (Stickstoff, Schwefel) sowie von PAKs deuten darauf hin, dass sich *Xanthoria parietina* tatsächlich anders verhält als die bewährte Biomonitoringleitart *Parmelia sulcata*. Diese Ergebnisse der Biomonitoringstudie werden in einem separaten Schlussbericht zuhanden des Bafu eingehend dargestellt und mit den hier vorliegenden Bioindikations-Ergebnissen verglichen.

6.4 Flechtenartsspezifisches Verhalten im pH-Anspruch und der Nitrotoleranz erlaubt Zusatzangaben zur Art der Immissionsbelastung

Obschon sich Flechten fast ausschliesslich von Nährstoffen, welche aus der Umgebungsluft, den Niederschlägen und dem Stammabflusswasser (trockene und nasse Deposition) an sie herangetragen werden, ernähren, weisen die verschiedenen Flechtenarten doch sehr unterschiedliche Ansprüche an den Untergrund auf dem sie wachsen auf. Von grösster Bedeutung ist dabei der pH-Wert des Untergrundes und des Niederschlages, incl. dem Stammabflusswasser.

Ähnlich wie die ökologischen Zeigerwerte der Schweizer Flora von Ellenberg (1977) gibt es auch von Wirth (1980) eine entsprechende ökologische Flechtenarten-Charakterisierung. Bezüglich den artsspezifischen pH-Ansprüchen der Flechten an ihr Substrat werden neun Reaktionsstufen unterschieden:

- extrem acidophil pH < 3.3
- sehr acidophil (sehr säureliebend) pH 3.4 - 4.0
- ziemlich acidophil pH 4.1 - 4.8
- mässig acidophil pH 4.9 - 5.6
- subneutrophil pH 5.7 - 7.0
- neutrophil (pH-neutral) um pH 7.0
- mässig basiphil pH 7.1 - 8.5
- basiphil (basenliebend) über pH 7
- euryök einen weiten pH-Bereich tolerierend

Es gibt einige Flechtenarten welche Substrate mit sehr unterschiedlichem pH-Wert besiedeln können, währenddem andere doch einen engeren pH-Bereich bevorzugen. Es gibt sogar Arten mit einem sehr engen oder besonders weiten pH-Toleranzbereich. Diese artsspezifischen Lebensansprüche bezüglich der Acidität des Untergrundes auf dem Flechten wachsen, bilden die Grundlage für den Acidindex (Kapitel 6.5). Die Tabelle 6 enthält die diesbezüglichen Angaben.

Flechtenartsspezifisches Verhalten in der Nitrotoleranz

Wie bei den pH-Ansprüchen haben Flechten auch artsspezifische Ansprüche an ihre Nährstoffversorgung. Für Flechten, welche zu Recht als «Hungerkünstler» bezeichnet werden, ist die Stickstoffversorgung von besonderer Bedeutung. Man spricht in dieser Hinsicht vom Toleranzbereich für Stickstoff, weil die heutige Umgebungsluft und Niederschläge für empfindliche Flechtenarten bereits ein N-Überangebot zur Verfügung stellen. Volkmar Wirth (1980) hat auch eine fünfstufige Klassifikation bezüglich der artenspezifischen Nitrotoleranz begründet:

- a-nitrophil (N-meidende Flechtenarten)
- mässig nitrophil
- ziemlich nitrophil
- sehr nitrophil
- extrem nitrophil (extrem N-tolerante Flechtenarten)

Die Tabelle 5 enthält die diesbezüglichen Angaben. Darauf gründen auch die in Kapitel 6.6 gezeigten Ergebnisse zum Nitroindex.

Flechtenart	pH-Schwerpunkt						Nitrotoleranz					Vorkommen Kt. Uri	
	sehr acidophil	ziemlich acidophil	mässig acidophil	subneutrophil	neutrophil	mässig basiphil	basiphil	a-nitrophil	mässig nitrophil	ziemlich nitrophil	sehr nitrophil		extrem nitrophil
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	●	●	□					●	□				✓
<i>Lecanora conizaeoides-Gr.</i>	●	●						●	●	□			✓
<i>Parmelia saxatilis</i>	●	●						●	●				✓
<i>Cetrelia cetrarioides-Gr.</i>	●	●	●					●					✓
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	●	●	●					●					✓
<i>Usnea spec.</i>	●	●	●					●					✓
<i>Evernia prunastri</i>	●	●	●					●	●				✓
<i>Hypogymnia physodes</i>	●	●	●					●	●				✓
<i>Pertusaria amara</i>	●	●	●					●	●				✓
<i>Phlyctis argena-Gr.</i>	●	●	●					●	●				✓
<i>Xanthoria polycarpa</i>	●	●	●					●	●				✓
<i>Parmelia flaventior</i>	●	●	□						●	●			✓
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	□	●	●	□				●	●				✓
<i>Parmelia caperata</i>		●	●					●	□				✓
<i>Parmelia subrudecta</i>		●	●					●	●	□			✓
<i>Ramalina farinacea</i>		●	●	●				●	●				✓
<i>Pertusaria albescens</i>		●	●	□				●	●	□			✓
<i>Ramalina pollinaria</i>		●	●					□	●	●			✓
<i>Parmelia exasperatula</i>		●	●	●	□				□	●	□		✓
<i>Graphis scripta</i>		□	●	□				□					✓
<i>Candelariella xanthostigma-Gr.</i>		□	●	●				□	●	●			✓
<i>Parmelia sulcata</i>		□	●	●					●	●			✓
<i>Parmelia tiliacea-Gr.</i>		□	●	●					●	●			✓
<i>Parmelia acetabulum</i>		□	●	●	●				●	●			✓
<i>Lecanora carpinea-Gr.</i>			●					●	●	□			✓
<i>Lecanora argentata-Gr.</i>			●	□				●	●				✓
<i>Parmelia quercina</i>			●	●				●					✓
<i>Ramalina fraxinea</i>			●	●				●	●				✓
<i>Normandina pulchella</i>			●	●				●	●				✓
<i>Physconia perisidiosa</i>			●	●					●	●			✓
<i>Physconia enteroxantha</i>			●	●					●	●			✓
<i>Parmelia glabra</i>			●	●					●				✓
<i>Physcia aipolia-Gr.</i>			●	●					●	●			✓
<i>Physconia distorta</i>			●	●	●				●	●			✓
<i>Physcia adscendens-Gr.</i>			●	●	●	●			●	●	●		✓
<i>Xanthoria fallax-Gr.</i>			●	●						●	●		✓
<i>Phaeophyscia orbicularis-Gr.</i>			●	●	●	●	□			□	●	□	✓
<i>Leptogium saturnium</i>				●					●				✓
<i>Xanthoria parietina</i>				●	●	●			●	●			✓
<i>Physconia grisea</i>				●						●			✓
<i>Parmelia subargentifera</i>				●	●	●				●	□		✓
bevorzugter Bereich	●												
tolerierter Bereich	□												

Tab. 5 Flechtenarten-spezifische Ansprüche bezüglich pH-Schwerpunkt und Nitrotoleranz gegenüber N-haltigen Luftschadstoffen

Die Zusammenstellung zeigt, dass basiphile Arten meist auch eine hohe Nitrotoleranz aufweisen und säureliebende Arten die Nährstoffanreicherung mit Stickstoff meist meiden (a-nitrophil).

pH-Schwerpunkt und Nitrotoleranz nach Klassifikation von Wirth 1980, ergänzt.

6.5 **Acidoindex zur Indikation von Gebieten mit sauren bzw. basischen Immissionen**

Der Acidoindex liefert Aussagen bezüglich der Art der Immission. Qualitativ sind Differenzierungen zwischen Gebieten mit vorwiegend saurer bzw. basisch geprägten Immissionen möglich.

Saure und basische Immissionen

Der Acidoindex gründet auf folgender ökologischer Basis: Flechtenarten zeigen verschiedene Verbreitungsmuster. Dabei verhalten sich einige Arten in ihrer Verbreitung gegenläufig: *Hypogymnia physodes* und *Xanthoria parietina* beispielsweise treten selten gemeinsam auf. Diese beiden Arten unterscheiden sich in ihren ökologischen Ansprüchen: Während *Hypogymnia physodes* saure und nicht eutrophierte (d.h. nährstoffarme) Substrate bevorzugt, findet sich *Xanthoria parietina* eher auf basischer und eutrophierter (d.h. nährstoffreicher) Unterlage.

Die Immissionen beeinflussen den pH-Wert der Baumrinden, was sich wiederum auf die Flechtenvegetation auswirkt: Das Artenspektrum verschiebt sich in Richtung acidophiler Arten (saure Immissionen) oder basiphiler Arten (basische Immissionen). Wo also die Baumrinde durch saure Immissionen einen tieferen pH-Wert aufweist, siedeln sich bevorzugt acidophile Flechtenarten wie z.B. *Hypogymnia physodes* an, während die basiphilen Arten aus solchen Gebieten verdrängt werden. Zur Charakterisierung des Immissionstyps in einem Gebiet werden typische Säure- und Basenzeiger einander gegenüber gestellt.

Berechnung des Acidoindex

Für das Schweizer Mittelland wurde ein Standard-Acidoindex entwickelt, welcher vergleichbare Resultate liefert aus Gebieten, welche mit der Kalibrierten Flechtenindikationsmethode (IAP18) untersucht worden sind. Für jeden Georaum wird der Acidoindex berechnet. Benötigt werden die Frequenzwerte fünf acidophiler (säureliebende) und fünf basiphiler (basenliebende) Flechtenarten. Die verwendeten Arten bzw. Artengruppen sind in Tab. 6 zusammengestellt. Die fünf dargestellten Säurezeiger sind zugleich auch a-nitrophil bis mässig nitrophil, d.h. sie gedeihen in erster Linie auf nährstoffarmer (nicht eutrophierter) Unterlage. Die fünf Basenzeiger dagegen sind alle nitrophil, sie wachsen vor allem auf nährstoffreicher Unterlage. Die beiden Gruppen charakterisieren die Immission nicht nur in bezug auf den Säuregrad, sondern auch in Bezug auf das Nährstoffangebot. Für die Gruppe der acidophilen wie der basiphilen Arten werden die Frequenzwerte aufsummiert, wobei die beiden Artengruppen *Parmelia glabratula* und *Physcia adscendens* nur halb gezählt werden. 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 erhaltene Wert wird durch den IAP18-Wert des entsprechenden Georaumes dividiert (Normierung).

Tab. 6 Die für den Acidoindex verwendeten Flechtenarten und ihre ökologische Charakterisierung

acidophil: säure-bevorzugend
 basiphil: basen-bevorzugend
 nitrophil: stickstoff-bevorzugend
 a-nitrophil: stickstoff-meidend

Flechtenart	Ökologische Charakterisierung	
	pH-Schwerpunkt	Nitrotoleranz
<i>Evernia prunastri</i>	ziemlich acidophil	a-nitrophil
<i>Hypogymnia physodes</i>	ziemlich acidophil	a-nitrophil
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	ziemlich acidophil	a-nitrophil
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	mässig acidophil	a-nitrophil
<i>Parmelia glabratula-Gr.</i>	mässig acidophil	mässig nitrophil
<i>Parmelia subargentifera</i>	neutrophil - basiphil	ziemlich nitrophil
<i>Phaeophyscia orbicularis-Gr.</i>	neutrophil - basiphil	sehr nitrophil
<i>Physconia distorta</i>	neutrophil	mässig-zieml. nitrophil
<i>Xanthoria parietina</i>	neutrophil - basiphil	mässig nitrophil
<i>Physcia adscendens-Gruppe</i>	neutrophil - basiphil	ziemlich nitrophil

Das hat zur Folge, dass auch an Orten mit niedrigem IAP-Wert der Acidoindex, wenn berechtigt, hohe Werte annehmen kann. Finden sich in einem Georaum eher saure Immissionen, so weisen die acidophilen Arten höhere Frequenzwerte auf als die basiphilen Arten und der Acidoindex wird positiv. Bei eher basischen Immissionen sind die Frequenzwerte der basiphilen Arten höher und der Acidoindex wird dadurch negativ.

6.5.1 Verbreitungskarte des Acidoindex im Unteren Urner Reusstal

Die mit wenigen Ausnahmen hohen bis sehr hohen negativen Acidoindexwerte weisen im ganzen Unteren Urner Reusstal auf einen sehr ausgeprägten basischen Immissionstyp mit einer grossen räumlichen Differenzierung hin (Abb. 15). Auffallend ist, dass sich alle hohen negativen Acidoindexwerte (blau) in der orangen und roten Luftgütezone mit starker und kritischer Gesamtbelastung finden. Die Maximalwerte zeigen sich im Gebiet der A2-Verzweigung und Industriegebietes Flüelen sowie Altdorf-Moosbad mit sehr hoher Verkehrs-, bzw. industrieller Belastung. Demgegenüber finden sich die geringsten negativen Acidoindexwerte ausschliesslich in den Höhegebieten der Schattdorfer Berge und im Gebiet Bocki-Horn mit geringer bis sehr geringer Luftgesamtbelastung. Die Georäume in den beiden lufthygienischen Gunstzonen Gartenmatt und Feldmatt weisen je vergleichsweise geringere negative Acidoindexwerte auf und bestätigen die dort festgestellte geringere Luftbelastung ebenfalls gut.

Demgegenüber finden sich die geringsten negativen Nitroindexwerte ausschliesslich in den Höhegebieten der Schattdorfer Berge und im Gebiet Oberwiler-Horn mit Sehr geringer und geringer Luftgesamtbelastung. Der Minimalwert wurde in den Schattdorfer Bergen am mittleren Standort auf ca. 1250 Höhenmetern festgestellt.

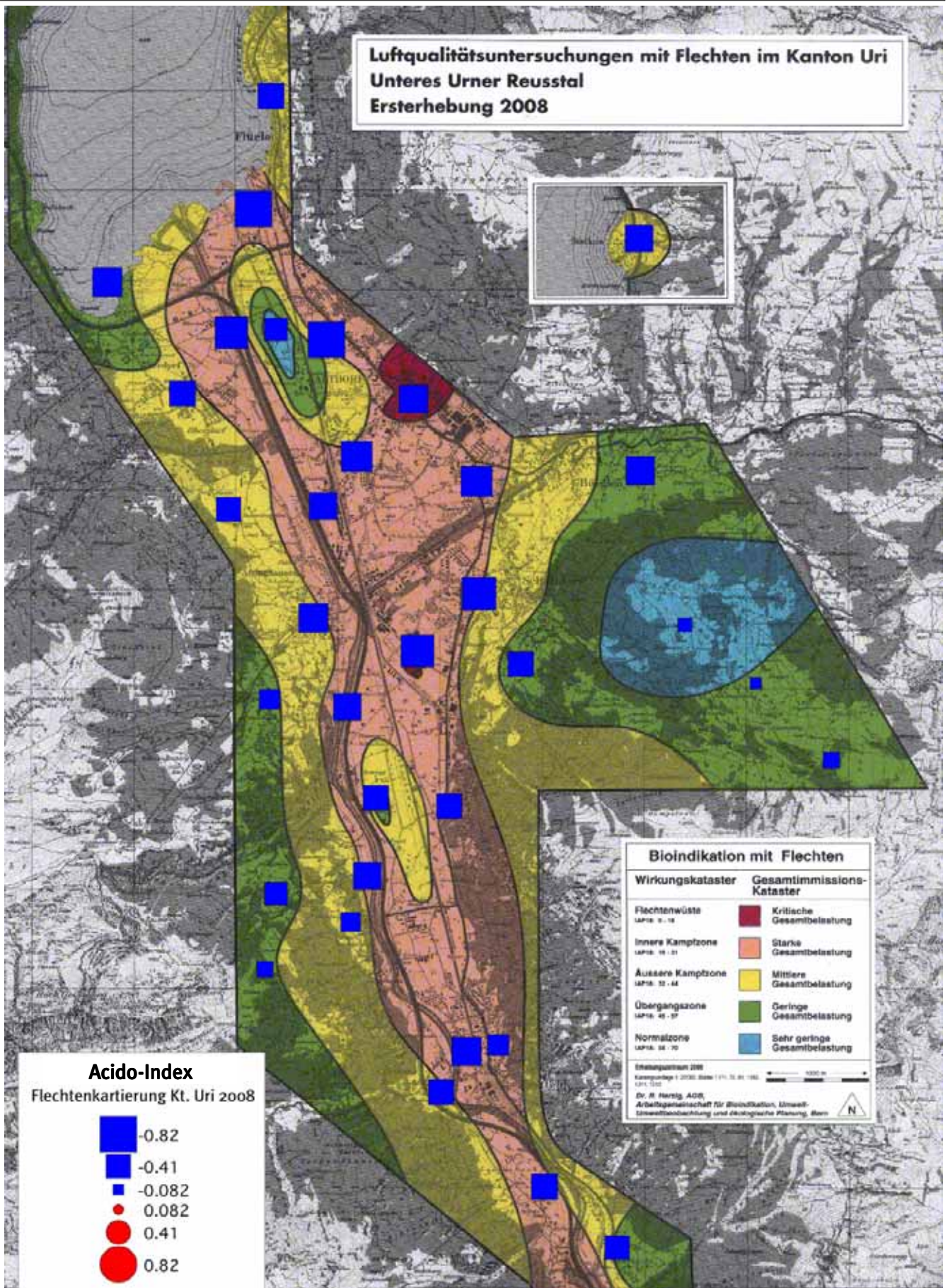


Abb. 15 Acidoindex überlagert mit aktueller Luftgütekarte des Unteren Urner Reusstals

Visualisiert den vorherrschenden basischen Immissionstyp, dargestellt mit blauer Quadratsignatur. Gebiete mit stark basischen Immissionen finden sich hauptsächlich im stärkst belasteten Talboden mit starker und kritischer Gesamtbelastung. Gebiete mit einer geringen und sehr geringen Gesamtbelastung, wie die Schaitdorfer Berge und Bocki-Horn zeigen hingegen nur sehr geringe basische Acidoindexwerte auf. Gebiete mit sauren Immissionen (rote Kreissignatur) konnten im ganzen Unteren Urner Reusstal nicht nachgewiesen werden.

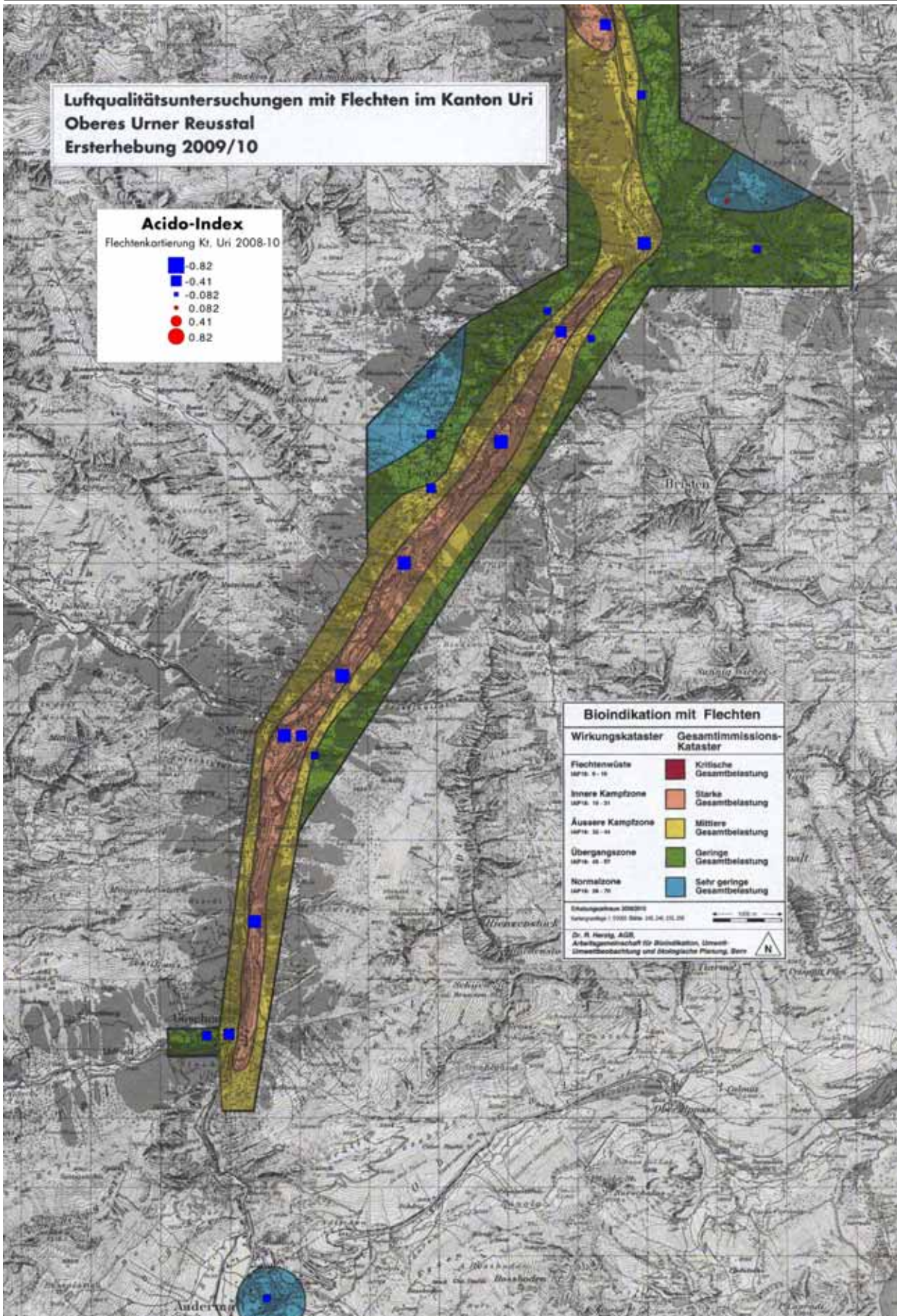


Abb. 16 Acidoindex überlagert mit aktueller Luftgütekarte des Oberen Urner Reusstals

Auch im Oberen Urner Reusstal zeigen sich mit einer Ausnahme Gebiete mit stark basischen Immissionen. Allerdings ist die Belastungsstärke nur etwa 75% derjenigen im Unteren Reusstal. Im A2-nahen Talboden mit starker Gesamtbelastung finden sich erneut die höchsten Acido-Werte. Gebiete mit einer geringen und sehr geringen Luftgesamtbelastung, wie in Obergurtellen, Göschenen-Biel und in Andermatt zeigen hingegen nur sehr geringe basische Acidoindexwerte auf. In Bristen zeigt sich das einzige Gebiete im Urner Reusstal mit sauren Immissionen (rote Kreissignatur).

6.5.2 Verbreitungskarte des Acidoindex im Oberen Urner Reusstal

Auch im Oberen Urner Reusstal finden sich, mit einer Ausnahme, Gebiete mit basischen Immissionen wie Abb 16 zeigt. Allerdings ist die Belastungsstärke nur etwa 75% derjenigen im Unteren Reusstal. Im A2-nahen Talboden mit starker Gesamtbelastung finden sich erneut die höchsten Acido-Werte. Gebiete mit einer geringen und sehr geringen Luftgesamtbelastung, wie in Obergurtnellen, Göschenen-Biel und in Andermatt zeigen hingegen nur sehr geringe basische Acidoindexwerte auf. In Bristen zeigt sich das einzige Gebiet im Urner Reusstal mit sauren Immissionen (rote Kreissignatur).

Acidoindex im gesamten Urner Reusstal im Vergleich

Verglichen mit anderen Untersuchungen im Schweizer Mittelland wie im Kt. Appenzell und Zug und bezogen auf den Mittleren Acidoindex dieser Studien, fällt im Unteren Urner Reusstal die hohe basische Ausprägung der Immissionen auf:

Kt. Uri gesamtes Urner Reusstal 2008-2010	- 0.43 ±0.22
Kt. Uri Oberes Urner Reusstal 2009-2010	- 0.36 ±0.22
Kt. Uri Unteres Urner Reusstal 2008	- 0.46 ±0.22
Kt. Appenzell Erfolgskontrolle 2000	- 0.28 ±0.12
Kt. Zug Erfolgskontrolle 2003	- 0.30 ±0.10

Währenddem das Untere Urner Reusstal bis Erstfeld vom geologischen Aufbau her vorwiegend Helvetische Decken mit basischen Gesteinen aufweist, überwiegen im Oberen Reusstal doch zunehmend metamorphe, silikathaltige und eher saure Urgesteine. Dass in diesen Gebieten trotzdem ein basischer Acidoindex resultiert, lässt auf den Eintrag von basisch wirkende Emissionen schliessen. Der Mittelwertunterschied zwischen dem Unteren und Oberen Urner Reusstal weist aber insgesamt auf den Unterschied in der geologischen Untergrundprägung hin.

6.6 Nitroindex zur Indikation von Gebieten mit stickstoffhaltigen Immissionen

Die verfeinerte Auswertung der Flechtendaten erlaubt nebst dem Acidoindex noch weitere Aussagen zum Immissionstyp eines ganzen Untersuchungsgebietes.

Gewisse Flechtenarten zeigen nämlich auch die Eutrophierung, besonders durch Ammoniak und andere stickstoffhaltige Einträge sehr differenziert an. Das Artenspektrum verschiebt sich dabei in Richtung nitrophiler Arten und geht zudem mittel- und langfristig einher mit einer Artenverarmung. Die andauernde Eutrophierung führt zuerst zu einem verstärkten Flechtenwachstum, welches jedoch längerfristig zu einer Destabilisierung und sogar zum Aussterben der empfindlichen Flechtenarten führt.

Die Stickstoffdepositionen in der Schweiz sind das Ergebnis eines sehr komplizierten Gemisches verschiedenster N-haltiger Immissionen. Im Referenzjahr 1995 bestanden ca. 40% aus oxidierten N-Depositionen (NO_3 , NO_2 , HNO_3), welche vorwiegend aus Verbrennungsprozessen stammten. Dem gegenüber standen ca. 60% reduzierte N-Verbindungen (NH_3 , NH_4) gegenüber, welche hauptsächlich aus landwirtschaftlichen Quellen stammten (FAL 1966).

Damit haben die intensive Landwirtschaft mit ihrem hohen Jauche- und Mineraldüngereinsatz nebst dem Motorfahrzeugverkehr und den Feuerungen den bedeutendsten Anteil an der Eutrophierung der Oekosysteme mit stickstoffhaltigen Verbindungen.

In unmittelbarer Nähe von Ammoniakquellen wirkt der N-Überschuss basisch. Die Deposition von Ammonium erfolgt weiträumig und ist in niederschlagsreichen Gebieten am höchsten. Ammoniakemissionen können sowohl zur Versauerung wie auch zur Eutrophierung beitragen. Die oxidierten sauren N-Depositionen sind in niederschlagsreichen Gebieten und auch in städtischen Regionen am höchsten. Letzteres weist auch auf die zweite wichtige Schadstoffquelle des Motorfahrzeugverkehrs hin.

Berechnung des Nitroindex

Der Nitroindex gründet auf der in den Tabellen 5 und 7 dargestellten ökologischen Basis: Flechtenarten zeigen verschiedene Verbreitungsmuster. Dabei verhalten sich einige Arten bezüglich ihrem standörtli-

Flechtenart	Nitrotoleranz
<i>Xanthoria parietina</i>	mässig - ziemlich nitrophil
<i>Xanthoria fallax</i> -Gruppe	ziemlich - sehr nitrophil
<i>Physconia grisea</i>	mässig nitrophil
<i>Physcia adscendens</i> -Gruppe	ziemlich nitrophil
<i>Phaeophyscia orbicularis</i> -Gruppe	sehr nitrophil
<i>Candelariella xanthostigma</i> -Gr & <i>C. concolor</i>	mässig - ziemlich nitrophil
<i>Hypogymnia physodes</i>	a-nitrophil
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	a-nitrophil
<i>Evernia prunastri</i>	a-nitrophil - mässig nitrophil
<i>Parmelia saxatilis</i>	a-nitrophil - mässig nitrophil
<i>Pertusaria albescens</i>	a-nitrophil - mässig nitrophil
<i>Lecanora argentata</i> - und <i>carpineae</i> Gruppe	a-nitrophil - mässig nitrophil

Tab. 7 Die für den Nitroindex verwendeten Flechtenarten

nitrophil: N-bevorzugend
a-nitrophil: N-meidend

chen Stickstoffangebot sehr gegenläufig: Es gibt nitrophile, d.h. stickstoff-bevorzugende Flechtenarten, wie *Xanthoria parietina*, *Physconia grisea* und die Artengruppen *Candelariella xanthostigma*-Gr. (incl.

Candelaria concolor), *Phaeophyscia orbicularis*-Gr. und die *Physcia adscendens*-Gr., welche einer a-nitrophilen Artengruppe, bestehend aus *Hypogymnia physodes*, *Pseudevernia furfuracea*, *Evernia prunastri*, *Parmelia saxatilis*, *Pertusaria albescens* und der Artengruppen *Lecanora carpinea* und *Lecanora argentata*-Gr. gegenüberstehen.

Das Auftreten der beiden Flechtenartengruppen wird somit gemäss Tab. 8 gegeneinander abgewogen. Der Nitroindex berechnet sich aus der Frequenzsumme der je sechs nitrophilen und a-nitrophilen Gruppen von Flechtenarten. Wie beim Acidoindex wird auch der Nitroindex mit den Georäummitteln der Luftgüte IAP18 normiert. Das hat zur Folge, dass auch an Orten mit niedrigem IAP-Wert der Nitroindex, wenn berechtigt, hohe Werte annehmen kann.

6.6.1 Verbreitungskarte des Nitroindex im Unteren Urner Reusstal

Noch ausgeprägter als beim Acidoindex fällt die räumliche Differenzierung der Stickstoffbelastung beim Nitroindex aus (Abb. 17). Hier finden sich die höchsten Belastungswerte des Nitroindex (Georäummittel) ausschliesslich in der orangenen und roten Luftgütezone mit starker und kritischer Gesamtbelastung und die geringsten N-Belastungswerte ausschliesslich in den beiden Höhegebieten der Schattdorfer Berge und im Gebiet Bocki-Horn mit geringer und sehr geringer Luftgesamtbelastung. Die maximalen Nitroindexwerte (> 0.80) finden sich im Industriegebiet Schattdorf-Rossgiessen, dicht gefolgt von den höchst frequentierten Verkehrsstandorten: Altdorf-Moosbad und Altdorf Gross Ey > Industriegebiet Flüelen und Schattdorf-Rinächt > A2-Kreuz Seedorf > Altdorf-Gotthardstrasse > Altdorf-Grossmatt > Sisikon-Dorf > Erstfeld-Rüti > Erstfeld-Pfaffenmatt > Erstfeld-Dorf Osthang und Erstfeld-Ey. Zwei weitere verkehrsbelastete Gebiete weisen hohe Nitroindexwerte (0.7-0.8) auf. Es sind dies Attinghausen-Unterdorf > Altdorf-Ortszentrum. Erstfeld-Ripshausen folgt als nächst belastete, weil dieser Georaum bereits etwas von der A2 entfernt ist, mit etwas geringeren Nitroindexwerten.

Die Georäume in den beiden lufthygienischen Gunstzonen Gartenmatt und Feldmatt weisen vergleichsweise geringere negative Nitroindexwerte auf und bestätigen die dort festgestellte geringere Luftbelastung ebenfalls gut. Demgegenüber finden sich die geringsten negativen Nitroindexwerte ausschliesslich in den Höhegebieten der Schattdorfer Berge und im Gebiet Oberwiler-Horn mit sehr geringer und geringer Luftgesamtbelastung. Der Minimalwert wurde in den Schattdorfer Bergen am mittleren Standort auf ca. 1250 Höhenmetern festgestellt.

Die Georäume in den beiden lufthygienischen Gunstzonen Gartenmatt und Feldmatt weisen mit einem Nitroindex von 0.7 erneut auch eine vergleichsweise etwas geringere Stickstoffbelastung, welche die grössere Distanz zur Linienquelle der A2 widerspiegelt, und die in diesen Gebieten festgestellte geringere Luftbelastung ebenfalls gut bestätigen.

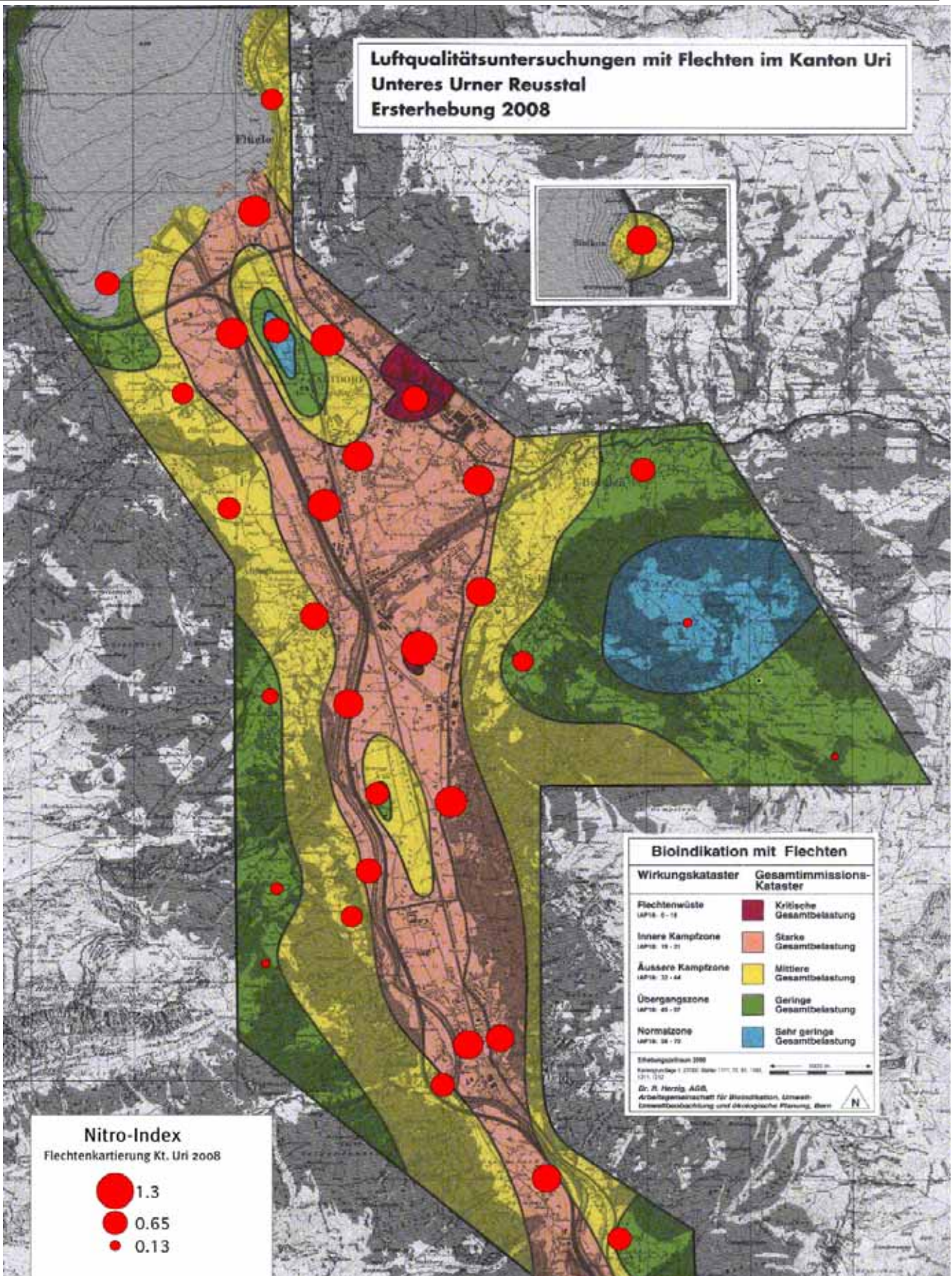


Abb. 17 Nitroindex überlagert mit aktueller Luftgütekarte des Unteren Urner Reusstals

Visualisiert die Stickstoff-Übersättigung der Flechten. Auffallend ist die fast ausschliessliche Bindung derjenigen Gebiete mit einer Stickstoff-Übersättigung mit den Luftgütezonen mit starker und kritischer Gesamtbelastung im stark belasteten Talboden, welche auch eine hohe Mfz-Verkehrs- und z.T. Industriebelastung aufweisen. Gebiete mit einer geringen und sehr geringen Luftgesamtbelastung, wie die Schattdorfer Berge und das Gebiet Bockli-Horn zeigen hingegen nur sehr geringe Nitroindexwerte.

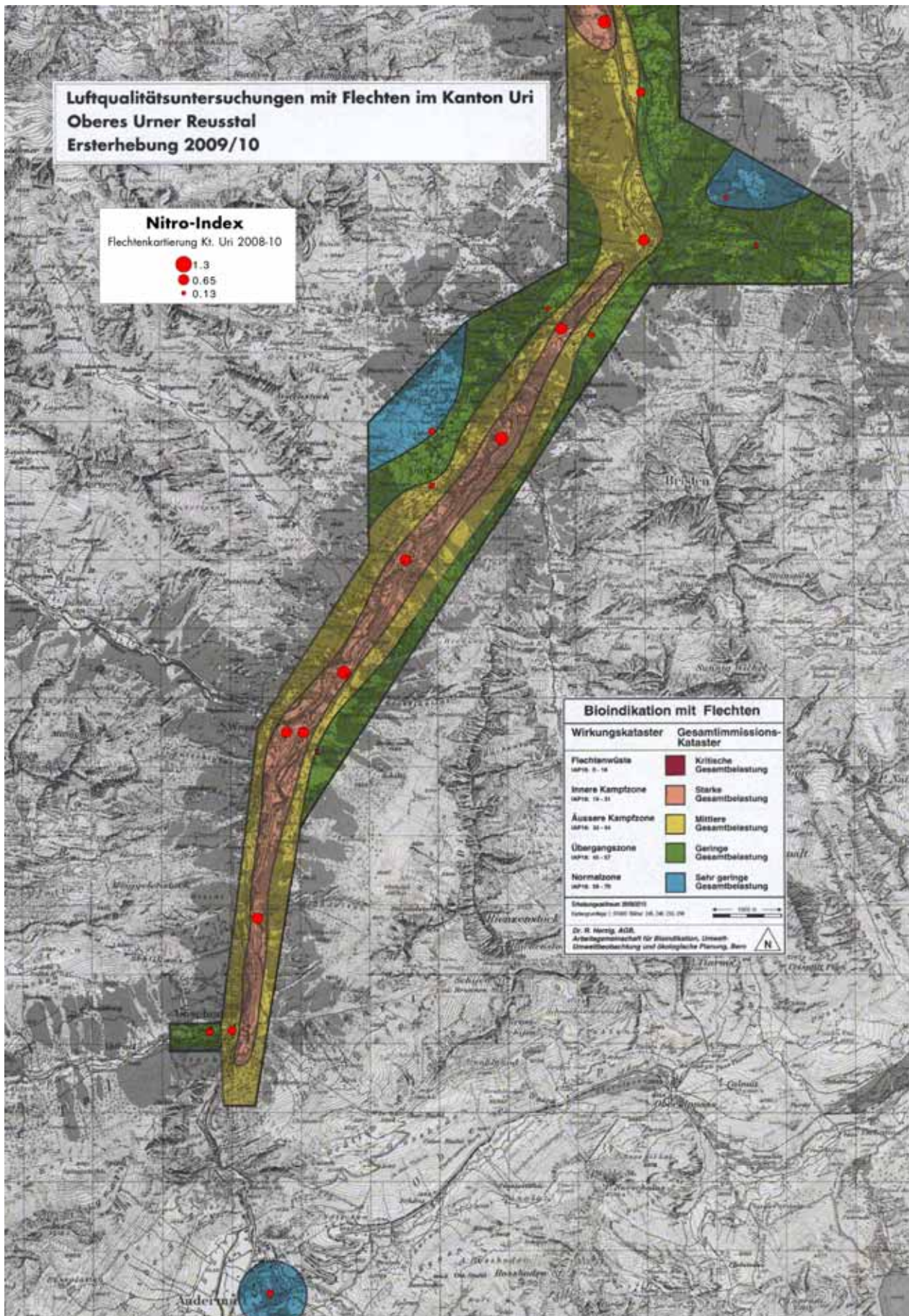


Abb. 18 Nitroindex überlagert mit aktueller Luftgütekarte des Oberen Urner Reusstals

Eine hohe Stickstoff-Übersversorgung der Flechten zeigt sich auch im Oberen Urner Reusstal, besonders im Talboden entlang der Belastungsschneise der A2 mit starker Gesamtbelastung. Diese erreicht im Mittel etwa 75% der Belastung des Unteren Urner Reusstals. Gebiete mit einer geringen und sehr geringen Luftgesamtbelastung abseits der stärksten Mfz-Belastung, wie in den Höhegebieten von Bristen, Obergurtnellen, Göschenen Biel und in Andermatt zeigen hingegen nur sehr geringe Nitroindexwerte.

6.6.2 Verbreitungskarte des Nitroindex im Oberen Urner Reusstal

Eine hohe Stickstoff-Übersorgung der Flechten zeigt sich auch im Oberen Urner Reusstal, besonders im Talboden entlang der Belastungsschneise der A2 mit starker Gesamtbelastung, wie die Abb. 18 visualisiert. Diese erreicht im Mittel etwa 75% der Belastung des Unteren Urner Reusstals. Gebiete mit einer geringen und sehr geringen Luftgesamtbelastung abseits der stärksten Mfz-Belastung, wie in den Höhengebieten von Bristen, Obergurtnellen, Göschenen Biel und in Andermatt zeigen hingegen nur sehr geringe Nitroindexwerte. Die maximalen Nitroindexwerte (≥ 0.5) zeigen sich im A2-nahen Gebiet von Silenen Rüti-Oettibach und Wassen Pfaffensprung. Mit mittleren Nitroindexwerten (0.2-0.3) folgen Gebiete zwischen Amsteg - Intschi und Wassen. Die geringsten Nitroindexwerte finden sich in den höher gelegenen und gering - sehr gering belasteten Gebieten von Obergurtnellen, Göschenen Biel und Andermatt.

Nitroindex im gesamten Urner Reusstal im Vergleich

Bezogen auf die Mittelwerte, ergeben sich für die bisherigen Urner Studien die untenstehenden Werte. Beim Vergleich der räumliche Verbreitung der Nitroindexwerte wie auch der Mittleren Nitroindexwerte dieser Studien, fallen besonders die A2-nahen Tallagen des Unteren Urner Reusstals mit einer sehr hohen Versorgung mit Stickoxyden auf. Auch im Oberen Urner Reusstal weisen diese Mfz-nahen Tallagen immer noch eine Belastungsstärke von etwa 75% des Unteren Reusstals auf.

Kt. Uri gesamtes Urner Reusstal 2008-2010	+0.60 \pm 0.28
Kt. Uri Oberes Urner Reusstal 2009-2010	+0.44 \pm 0.24
Kt. Uri Unteres Urner Reusstal 2008	+0.60 \pm 0.31

Aus der immissionsökologischen Analyse kann das Fazit gezogen werden, dass die hohen Nitroindexwerte im ganzen Talboden des gesamten Urner Reusstals auf eine hohe bis sehr hohe Versorgung mit Stickoxiden hinweisen, welche zum überwiegenden Teil mit der aussergewöhnlich hohen Mfz-Verkehrsbelastung auf der Transitautobahn A2, dem kantonalen Strassenetz und der Intensivlandwirtschaft im Talboden (Ammoniak) zuzuschreiben sind.

Diese hohe Übersorgung mit Stickstoff im Reusstalboden führt zu der in dieser Studie festgestellten Artenverschiebung und Verarmung und trägt wesentlich zur Schädigung der immissionsempfindlichen Flechtenvegetation bei.

Bei einer späteren lufthygienischen Erfolgskontrolle (Wiederholung der Flechtenuntersuchung) in einigen Jahren können die beiden immissionsökologischen Zustandsparameter Acido- und Nitroindex, im Vergleich zur hier vorliegenden Studie, wertvolle Grundlagen zum Ausmass der zeitlichen Luftqualitätsveränderung und den Erfolg der verkehrslenkenden Massnahmen liefern.

7. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Flechtenkartierung mittels der «Kalibrierten Flechtenindikationsmethode», welche im Gebiet des Unteren Urner Reusstals 2008 sowie des Oberen Reusstals 2009-10 erstmals flächendeckend durchgeführt wurde, erfasst die Gesamtbelastung der Luft wirkungsbezogen und ermöglicht eine regelmässige Überwachung und Erfolgskontrolle von lufthygienischen Massnahmen.

Die beiden Urner Luftgütekarten der Gesamtluftbelastung im Gebiet des Unteren und Oberen Urner Reusstals, welche aufgrund der Flechtenkartierung erarbeitet wurden, zeigen auf, dass weite Teile des Urner Reusstalbodens entlang der Alpentransitautobahn A2 und alten Gotthardstrasse eine orange Luftgütezone mit starker Luftgesamtbelastung aufweisen. Bezogen auf die gesamte 73 km² grosse Untersuchungsfläche sind das hohe 26%.

Im besonders verkehrsbelasteten Ortszentrum von Altdorf, aber auch im Gebiet des Industriezentrums Schattdorf-Rossgiessen musste sogar die rote Flechtenwüste mit einer kritisch hohen Luftgesamtbelastung konstatiert werden, dies allerdings mit einem nur geringen Flächenanteil von knapp 1%. Mit einem Flächenanteil von 35% dominiert die gelbe Luftgütezone mit mittlerer Gesamtbelastung, währenddem die grüne Zone mit geringer Gesamtbelastung 31% ausmacht. Die Anteil der besten Luftqualitätszone blau mit sehr geringer Gesamtbelastung beträgt 7.7% der Untersuchungsfläche.

Aufwändige Vergleiche der aktuellen Urner Luftgütekarte mit vorhandenen Immissionsmessungen von NO₂ und Emissionserhebungen NO_x u.a. sowie auch mit sehr detaillierten Verkehrserhebungen des mittleren täglichen Verkehrs (DTV) auf den Hauptverkehrsachsen führen zum zwingenden Schluss, dass das intensive Verkehrsaufkommen verbunden mit dem hohen Schwerverkehrsanteil auf der Alpentransitachse mit ihren Stickoxid-Emissionen die Luftqualität im Unteren Urner Reusstal massgeblich prägen.

Auch aus den immissionsökologischen Analysen kann das Fazit gezogen werden, dass die hohen Nitroindexwerte im ganzen Urner Reusstalboden auf eine hohe bis sehr hohe Versorgung mit Stickoxiden hinweisen, welche zum überwiegenden Teil mit der aussergewöhnlich hohen Mfz-Verkehrsbelastung auf der Transitautobahn A2, dem kantonalen Strassenetz und der intensiven Landwirtschaft im Talboden (Ammoniak) zuzuschreiben ist. Diese hohe Überversorgung mit Stickstoff im Reusstalboden führt auch zu der in dieser Studie festgestellten Artenverschiebung und Verarmung und trägt wesentlich zur Schädigung der immissionsempfindlichen Flechtenvegetation bei.

- Als Fazit kann aus dieser Gesamtanalyse festgehalten werden, dass im Gebiet des Unteren und Oberen Urner Reusstals der aussergewöhnlich hohe Anteil des Mfz-Verkehrs mit seinem ebenso hohen Anteil am stärksten belastenden diesel-betriebenen Schwerverkehr (NO_x , PM_{10} , SO_2 , Schwermetalle, PAKs und indirekt mit Ozon) den weitaus grössten Anteil an der anthropogen verursachten Luftbelastung beiträgt.

Die in der vorliegenden Luftgütekarte mittels einer wirkungsbezogenen Flechtenkartierung festgestellten weiten Gebiete mit einer hohen bis kritisch hohen Luftgesamtbelastung, können zu einem grossen Mass der intensiven Mfz-Belastung im Gebiet zugeschrieben werden. Dies wird auch belegt durch die hohe statistische Korrelation ($R^2=0.78$) der Luftgesamtbelastungswerte (IAP18) mit den entsprechenden Jahresmittelwerten von NO_2 der technischen Immissionsmessung an strassennahen und -fernen Messstandorten im Untersuchungsgebiet.

Zum selben Ergebnis führen auch die immissionsökologischen Analysen mit den Nitroindexwerten, welche im ganzen Talboden des Unteren Urner Reusstals auf eine hohe bis sehr hohe Versorgung mit Stickoxiden hinweisen, welche zum überwiegenden Teil mit der aussergewöhnlich hohen Mfz-Verkehrsbelastung auf der Transitautobahn A2, dem kantonalen Strassenetz und der Landwirtschaft im Talboden (Ammoniak) zu erklären ist.

Schliesslich zeigen auch die Analysen der Bevölkerungsexposition in den fünf Luftgütezonen der aktuellen Flechtenkarten, dass hohe 52.7% der Urner Bevölkerung in den beiden kritisch stark und stark belasteten Luftgütezonen rot und orange wohnen.

Wenn die künftigen Luftreinhaltemassnahmen in diesen Gebieten mit besonderer Priorität erfolgen, ist dies von der grossen Zahl der betroffenen Einwohnern her besonders zu begrüssen.
- Mit der vorliegenden Flechtenkartierung und Luftgütekarte sind alle notwendigen Voraussetzungen für die spätere lufthygienische Erfolgskontrolle geschaffen. Mit einer Wiederholungskartierung in 5 bis 10 Jahren kann eine Wirkungsanalyse über die bis dann getroffenen zusätzlichen Luftreinhalte- und Sanierungsmassnahmen gemacht werden.

Die vorliegenden Erkenntnisse können aber jetzt schon für die Information der Behörden und der Öffentlichkeit über die bisherige Luftreinhaltepolitik und die Notwendigkeit weiterer Massnahmen verwendet werden. Das Hauptgewicht kann dabei auf die Wirkungsanzeige zur heutigen Belastung gelegt werden, wie dies die Luftgütekarte vortrefflich illustriert.

8. Glossar

Bioindikation	Als Bioindikatoren gelten Lebewesen (und Lebensgemeinschaften), welche bei Schadstoffbelastungen messbare Veränderungen zeigen oder diese Schadstoffe messbar aufkonzentrieren (akkumulieren).
Emission	Ausstoss von Schadstoffen an der Quelle.
Fingerprints (der Belastung)	Typisches Muster der Belastungsintensität der gemessenen Einzelstoffe, welches z.T. standort-, bzw. quellenspezifische Rückschlüsse erlaubt.
Georaum	Geographisch einheitlicher Raum; Raumeinheit der Mittelwertbildung für die Konstruktion der Luftgütekarte der «Kalibrierten Flechtenindikationsmethode».
Gesamtmissionsbelastung	Belastung der Luft mit vielen toxischen Einzelschadstoffen und deren kombinierter Wirkung, erhoben mit dem Gesamtbelastungsindikator IAP18.
Gesamtmissionskataster mit Flechten	Darstellungsform für Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten, deren Erhebungsmethoden mit technischen Luftschadstoffmessungen geeicht sind. Statistisch gesicherte Rückschlüsse auf die Luftqualität werden wirkungsbezogen, aufgrund der Beeinträchtigung (Frequenz: IAP18, Arthäufigkeit) gezogen. Der Gesamtmissionskataster unterscheidet fünf Zonen abnehmender Flechtenbeeinträchtigung: Kritische Gesamtbelastung, Starke Gesamtbelastung, Mittlere Gesamtbelastung, Geringe Gesamtbelastung, Sehr geringe Gesamtbelastung, welche als Zonen unterschiedlicher Gesamtbelastung der Luft gelten dürfen. Der Gesamtmissionskataster setzt die Eichung der Erfassungsmethode voraus.
Immission	Luftverunreinigungen am Orte ihres Einwirkens auf Mensch, Tiere, Pflanzen, Böden und Sachgüter.
Inversion	Temperaturumkehr in bodennahen Luftschichten, verhindert vertikalen Luftaustausch und führt zur Ansammlung von Schadstoffen.
Isolinie	Verbindungsline (Kurve) gleicher Werte (IAP18-Werte).
IAP18	Gesamtbelastungsindikator, der die integrale Belastung mit einer Vielzahl von Luftschadstoffen erfasst; vgl. Kalibrierte Flechtenindikationsmethode.
Kalibrierte Flechtenindikationsmethode	Mit technischen Luftschadstoffen geeichtes Erhebungsverfahren der Gesamtbelastung der Luft, bzw. der Luftqualität (Wirkungs- und Gesamtmissionskataster) auf der Basis der Verbreitung von Baumflechten. Entwickelt im Nationalen Forschungsprogramm 14: Lufthaushalt und Luftverschmutzung in der Schweiz.
NABEL	Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe.

NO, NO₂, NO_x	Stickoxide, vorwiegend Primärschadstoffe, Hauptemittenten sind Verkehr und Feuerungen.
SO₂	Schwefeldioxid, Hauptemittent Heizungen.
O₃	Ozon, Sekundärschadstoff, gebildet aus Vorläufersubstanzen Stickoxide (NO _x) und Kohlenwasserstoffen (VOC).
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe.
PAN	Peroxyacetylnitrat, Bestandteil des photochemischen Smogs.
Parameter	Einflussgrösse.
Passivsammler	Einfaches Messverfahren mit Absorptionsröhrchen für SO ₂ , NO ₂ , O ₃ mit begrenzter zeitlicher Auflösung (1 Tag bis einige Wochen).
PCB	Polychlorierte Biphenyle.
PCDD/PCDF	Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und Dibenzo-p-Furane
Photo-Oxidantien	Schadstoffe mit Reizwirkung, entstehen durch chemische Umwandlung von Abgasen unter Einwirkung von Sonnenlicht, z. B. O ₃ und PAN (Peroxyacetylnitrat).
PM10	Feindisperse lungengängige Schwebstoffe mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 µm.
Polygonzüge	Verbindungsline gleicher IAP18-Werte.
Primärschadstoff	Schadstoff, der an der Quelle entweicht.
Schwebestaub	Feine Staubpartikel, können durch Einatmen bis in die Lunge gelangen (siehe auch PM10).
Sekundärschadstoff	Schadstoff, der durch Umwandlung von Primärschadstoffen in der Atmosphäre gebildet wird.
Smog	= smoke + fog = «Rauchnebel».
Smog, photochemischer	Ansammlung von Schadstoffen unter einer Inversionsschicht, welche v.a. aus Motorfahrzeugabgasen unter Einwirkung von Sonnenstrahlung entstehen; typisch im Sommer.
Staubniederschlag	Staubniederschlag, sind gröbere Partikel.
Summationsmessverfahren	Messverfahren mit begrenzter zeitlicher Auflösung (1 Tag bis einige Wochen; z.B. Liesegang-Methode für SO ₂ , Bergerhoff für Staubniederschlag und Schwermetalle, Passivsammler).
Topografie	Geländeform.
Tracer	Indikator.
Transmission	Ausbreitung, Verdünnung und Umwandlung von Schadstoffen.
VOC	Flüchtige organische Verbindungen.
Wirkungskataster mit Flechten	Darstellungsform für Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten, meist in Form einer Karte. Rückschlüsse auf die Luftqualität werden wirkungsbezogen, also aufgrund der Beeinträchtigung (Frequenz: IAP18, Arthäufigkeit), gezogen. Der Wirkungskataster unterscheidet fünf Zonen abnehmender Flechtenbeeinträchtigung: Flechtenwüste, Innere Kampfzone, Äussere Kampfzone, Übergangzone, Normalzone. Der Wirkungskataster setzt keine Eichung der Erfassungsmethode voraus.

9. Literaturhinweise

AGB 2009: Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten im Kanton Uri - Unteres Urner Reusstal - Ersterhebung 2008. Entwurfsfassung Schlussbericht 18. September 2009 zuhanden des AfU Kt. Uri

AGB 2007: Projekt Monitoring flankierende Massnahmen-Umwelt (MfM-U) - Biologisches Luftqualitätsmonitoring mit Flechten entlang der A2 und A13. Schlussbericht 2007. AGB im Auftrag BAFU Abt. Ökonomie und Forschung Bern

ABG, 2005: Erfolgskontrolle zur Luftreinhaltung in der Stadt Bern 2004 - Wiederholung der Untersuchungen mit Flechten nach 14 Jahren. Schlussbericht, ergänzt mit Biomonitoring, zuhanden des Berner Stadtrates.

ABG, 2005: Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten in Köniz. Ersterhebung 2004. Schlussbericht März 2005. AGB im Auftrag der Gemeinde Köniz.

ABG, 2005: Erfolgskontrolle zur Luftreinhaltung in der Stadt Bern 2004. Wiederholung der Untersuchungen mit Flechten nach 14 Jahren. Teilbericht Wangental. Jan. 2005. Karl Kaufmann Recycling AG in Thörishaus.

ABG, 2004: Erfolgskontrolle zur Luftreinhaltung in der Stadt Bern 2004 - Wiederholung der Untersuchungen mit Flechten nach 14 Jahren. Kurzbericht-bericht Oktober 2004, zuhanden der Pressekonferenz vom 4. November 2004.

AGB 2003: Biologisches Luftqualitätsmonitoring für die Region Thun - Spiez 2001- 2002: Istzustand der aktuellen Luftbelastung und Grundlage für die Erfolgskontrolle der Luftreinhaltungsmassnahmen (Bioindikation und Biomonitoring): Auftraggeber: Gemeinschaftswerk der AVAG KVA AG, der Stadt Thun, der Gemeinden Steffisburg, Spiez, Heimberg, Uetendorf und dem KIGA Bern. (Istzustand bei Bau der KVA-Thun), April 2003.

AGB 2002: Persistente organische Luftschadstoffe (POPs) in der Schweiz - Biomonitoring mit Flechten 2002. Umweltmaterialien Nr. 146. Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL.

AGB 2002: Erste Erfolgskontrolluntersuchung zur Luftreinhaltung im Kanton Appenzell A.Rh. 2000. Wiederholung der Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten nach 10 Jahren. AGB 2002: im Auftrag des: Amt für Umweltschutz Kanton Appenzell A.Rh., Mai 2002.

AGB 2001: Regionale Entsorgungsanlage Niedergösgen (RENI). Erste Erfolgskontrolle zur Luftreinhaltung im Zeitraum 1994 - 2000 mittels Biomonitoring mit Flechten. Kurzbericht September 2001. AGB 2001: im Auftrag: Regionale Entsorgungsanlage Niedergösgen und AfU, Abteilung Luftreinhaltung, Kanton Solothurn.

AGB 2000: Zweite Erfolgskontrolle zur Luftreinhaltung in der Stadt Biel 1998/99. Wiederholung der Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten nach 15 Jahren. AGB 2000: im Auftrag der Sicherheits-, Energie und Verkehrsdirektion (SEVD) der Stadt Biel - Stadtchemikeramt.

AGB, 1999: Zweite Erfolgskontrolluntersuchung zur Luftreinhaltung in der Stadt Biel 1998/99. Wiederholung der Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten nach 15 Jahren. Auftraggeber: Sicherheits-, Energie- und Verkehrsdirektion (SEVD) der Stadt Biel - Stadtchemikeramt.

AGB, 1994: Luftuntersuchung Zürich-Nord 1993. Langzeitüberwachung der Luftbelastung mittels Bioindikation und Biomonitoring im Gebiet der Kehrriechverbrennungsanlage KVA-Hagenholz - Interpretationshilfe für Bodenanalysen und Instrument der lufthygienischen Erfolgskontrolle. Auftraggeber: Abfuhrwesen Zürich AWZ - Gesundheits- und Wirtschaftsamt der Stadt Zürich.

AGB, 1993: PAH-Analysen in Flechtenproben und Vergleich mit entsprechenden Immissionsmessungen an vier Standorten der Schweiz. Als Grundlage für den OECD-Workshop on Hazardous Air Pollutants 1993, London. Im Auftrag des BUWAL.

AGB, 1992a: Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten in der Stadt Bern - Luftgesamtbelastung - Kalibrierte Flechtenindikationsmethode. Schlussbericht Februar 1991. AGB, Arbeitsgemeinschaft für Bioindikation im Auftrag des Amtes für Umweltschutz und Lebensmittelkontrolle der Stadt Bern, 174 S.

AGB, 1992b: Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten im Kanton Appenzell A.Rh.. Teilbericht 2: Einzelstoffbelastung von Flechten - Passives Biomonitoring, Juni 1992. AGB im Auftrag der Abteilung Luftreinhaltung des Amtes für Umweltschutz, Herisau, 226 S.

AGB, 1992c: Biomonitoring der Einzelstoffbelastung in der Stadt Bern. Schlussbericht Juli 1992. AGB, Arbeitsgemeinschaft für Bioindikation im Auftrag des Amtes für Umweltschutz und Lebensmittelkontrolle der Stadt Bern.

AGB, 1992d: Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten im Fürstentum Liechtenstein. Bioindikation der Gesamtbelastung und Biomonitoring der Einzelstoffbelastung. Schlussbericht Dezember 1991. AGB, Arbeitsgemeinschaft für Bioindikation im Auftrag des Landesforstamtes und Amtes für Volkswirtschaft, Vaduz, 340 S.

BACCINI, P., BELEVI, H., LICHTENSTEIGER, TH., 1992: Die Deponie in einer ökologisch orientierten Volkswirtschaft. GAIA 1/92, 34-49.

Cislaghi, C., Nimis, P.L. 1997: Lichens, air pollution and lung cancer. NATURE, Vol 387, 29. May 1997. pp. 463-464.

Bessere Luftqualität in der Stadt Bern. Flechtenvielfalt als Mass zur Bstimmung der Gesamtbelastung der Luft, 2004. Ausstellungsposter und Publikumsflyer zu den Hautergebnissen der ersten Erfolgskontrollstudie zur Veränderung der Luftqualität in der Stadt Sern. AGB im Auftrag der Stadt Bern.

BRUNNER, P. H., ZOBRIST, J., 1983: Die Müllverbrennung als Quelle von Metallen in der Umwelt. In: Fachzeitschrift Müll und Abfall, 9/83.

Dr Bärner Gschtank macht o d'Flächte chrank... Informationsbroschüre der Stadt Bern über die Hauptforderungen des Massnahmenplanes Luftreinhaltung. 1992 verteilt an alle 6000 Berner Schüler. AGB und Trees AG im Auftrag Amt für Umweltschutz und Lebensmittelkontrolle der Stadt Bern.

Die Schwermetallbelastung des Bodens in der Umgebung von Kehrichtverbrennungsanlagen im Kanton St. Gallen, 1991: Baudepartement des Kt. St. Gallen, Amt für Umweltschutz.

Die Bodenbelastung in der Umgebung von Kehrichtverbrennungsanlagen im Kanton Zürich, 1992: Ingenieurbüro Niederer + Pozzi im Auftrag der Baudirektion des Kantons Zürich, Amt für Gewässerschutz und Wasserbau, Fachstelle Bodenschutz.

DIETL, C., et al., 1997: Association of antimony with traffic-occurrence in airborne dust, deposition and accumulation in standardized grass cultures. The science of the total environment. Volume 205, Pages 235-244.

DIETL, C., et al., 1996: Monitoring of airborne metals in grass and depositions. Volume 33, Pages 2101-2111.

Emissionskataster für Luftschadstoffe im Kanton Uri Stand 2005. METEOTEST im Auftrag AfU Kt. Schwyz.

Emissionskataster Uri (EmUR). Erweiterungen und Updates, Stand 2007 (Technischer Bericht) METEOTEST im Auftrag AfU Kt. Schwyz.

Erfolge liegen in der Luft. Flechtenanalyse in der Stadt Bern zeigt: Verkehrsmassnahmen steigern die Luftqualität. Der Bund 5. 11.05. Berichterstattung zur Pressekonferenz vom 4.11.05.

Flechten und Luftqualität im Kt. Zug: Wirkungskontrolle 2003. Amt für Umweltschutz, Kanton Zug. puls & Peter.

FALBE, J., REGITZ, M., 1996-99: Römpp-Lexikon Chemie. 10. völlig überarbeitete Auflage. Thieme Verlag, Stuttgart.

HAPKE, J.-H., 1990: Toxikologie der Spurenelemente. In: Spurenelemente und Ernährung. Wissenschaftl. Schriftenreihe der Ernährungsgesellschaften - Deutschland, Österreich, Schweiz. Kirchgessner, W., (Hrsg). Wissenschaftl. Verlagsgesellschaft Stuttgart, 207 S.

Herzig, R. 2005: MfM-U: Monitoring flankierende Massnahmen - Umwelt Teilprojekt - Luftqualitätsmonitoring mit Flechten entlang der A2 und A13 - Zwischenbericht Juni 2005

HERZIG, R., BIERI, C., 2002: Persistente organische Luftschadstoffe (POP) in der Schweiz. Umwelt-Materialien Nr. 146, Buwal Schriftenreihe, Bern.

HERZIG, R., REHNERT, A., KUMPULAINEN, J., SCHRAMMEL, P., MUNTAU, H. LINSINGER, T & QUEVAUVILLER, P. 2002: Certification of a new cabbage reference material for the quality control of trace element determinations with some considerations on moisture. TRAC - Trends in Analytical Chemistry, Vol. 21 No.11 p. 746-761.

HERZIG, R., 1993: Multi-Residue Analysis with Passive Biomonitoring: A New Approach for Volatile Multi-Element Contents, Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons with Lichens in Switzerland and the Principality of Liechtenstein. In: Plants as Biomonitors for Heavy Metal Pollution in the Terrestrial Environment . Ed. Markert, B., VCH-Verlagsgesellschaft Weinheim.

HERZIG, R., URECH, M., 1991: Flechten als Bioindikatoren: Integriertes biologisches Messsystem der Luftverschmutzung für das Schweizer Mittelland. J. Cramer, Bibliotheca Lichenologica Band 43 und Dissertation, Systematisch-Geobotanisches Institut Universität Bern; 283 S.

HERZIG, R., HAUSER, E., 1991: Immissionsbelastung der Stadt Biel, pp. 107 - 149. In: Biel - Klima und Luftverschmutzung einer Schweizer Stadt. H. Wanner (Ed.). Paul Haupt Verlag, Bern.

HERZIG, R., 1990: Entwicklung des Integrierten biologischen Messsystems der Luftverschmutzung mit Flechten in der Schweiz, seine Anwendung und erste Vergleiche mit Bodenanalysen. VDI-Kolloquium: Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Böden, 15 -17. Mai 1990, Lindau. VDI-Berichte 837; 937-956.

HERZIG, R. et al., 1990: Lichens as Biological Indicators of Air Pollution in Switzerland: Passive Biomonitoring as a Part of an Integrated Measuring System for Monitoring Air Pollution. in: Element Concentration Cadasters in Ecosystems, ed. Lieth. H, Markert, B., VCH-Verlagsgesellschaft Weinheim; 317-332.

HERZIG, R., et al. 1989: Passive Biomonitoring with lichens as a part of integrated biological measuring system for monitoring air pollution in Switzerland. Int. J. Environ. Anal. Chem. Vol. 33, pp. 43-57.

HERZIG, R., URECH, M., LIEBENDÖRFER, L., 1987: Flechten als biologische Indikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz: Methoden-Evaluation und Eichung mit wichtigen Luftschadstoffen. VDI-Berichte 609.

HERZIG, R., URECH, M., LIEBENDÖRFER, L., 1985: Flechten als biologische Indikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz: NFP14 - Methodenentwicklung in der Region Biel-Seeland. Systematisch-Geobotanisches Institut der Universität Bern.

In-LUFT- Die Luftqualität in der Zentralschweiz und im Kanton Aargau, Jahresbericht 2008. www.in-luft.ch.

JÄCKLE, H., EMPA - Abteilung Betriebsstoffe 1991: persönliche Mitteilung zu Spurenelementgehalte in Betriebsstoffen und Schmiermitteln.

Infras 2006: NO₂-Konzentrationen im Urner Reusstal - Rückblick 1999-2005. Amt für Umweltschutz Kanton Uri und Bundesamt für Umwelt.

Luftbelastung 1989/1990/1991: Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). BUWAL 1990, 91, 92.

Luftreinhalte-Verordnung (LRV). Änderung vom 16. Dez. 1985; Stand 28.3.2000. EDI. LRV 814.318.142.1.

LUBETRAX-Luftbelastung entlang der alpentransitachse N2 in Kanton Uri. Juli 1996-April 1997. Oekoscience, Jürg Thudium et al. im Auftrag Amt für Umweltschutz, Kanton Uri,

MOTOR VEHICLES AND CLEANER AIR, 1983: Health risks Resulting from Exposure to Motor Vehicle Exhaust. Governmental Report (SOU 1983:27,28).

OZOLINS, G., 1989: Health and Air Pollution - European Air Quality Guidelines. In: Umwelttechnik 3/1990, S. 16-21.

Verkehrserhebungen 2002/2003 Stadt Bern: Direktion für Planung, Verkehr und Tiefbau. Tiefbauamt Stadt Bern.

Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung, StoV), 1991, EDI.

VOC-Immissionsmessungen in den Kantonen Zürich, Schaffhausen und Luzern 1993-98: Umweltmaterialien Nr. 118. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

WHO-Europe 2003: Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution. Joint WHO/Convention Task Force on health aspects of Air Pollution, 252pp., Copenhagen (DK).

WHO-Road Transport: Emission Inventory Guidebook August 2002. WHO Geneva

Bundesamt für Strassen, ASTRA. Automatische Strassenverkehrszählung 2003. Fahrzeugklassen (LCV). Mit längenklassierten DTV und DWV-Daten 2003. Sigmoplan. Bern, Mai 2004.

Entwicklung der schweizerischen Gesetzgebung im Bereich der Abgasemissionen von motorisierten Strassenfahrzeugen, der periodischen Nachkontrolle von Motorfahrzeugen und der Treibstoffqualität. BUWAL, November 2002.

Güterverkehr durch die Schweizer Alpen 2004. Bundesamt für Raumentwicklung, ARE, 3.2005.

Partikelfilter für schwere Nutzfahrzeuge, 2000: Umweltmaterialien Nr. 130 Luft. BUWAL.

Umweltmonitoring Flankierende Massnahmen. Luft- und Lärmmodellierungen. Interner Schlussbericht Infrac. Dez. 2004. Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft, Bern

Umweltmonitoring Flankierende Massnahmen 06/07 Luft- und Lärmmodellierungen 2005. Schlussbericht Infrac. Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft, Bern

Luftreinhalte-Verordnung (LRV). Änderung vom 16. Dez. 1995, Stand 28.2.2000 EDI. LRV 814.318.142.1

Locher, R., Bürgin R. 2009: Detailanalysen der Messungen in Erstfeld - Mitte 2007 - Anfang 2009. Preliminary Draft. Winterthur 5. 7. 2009 zhaw- Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften. Inst. für Datenanalyse und Prozessdesign.

Anhang 1 Objekt-bezogene Erhebungsdaten, IAP18 2008-2010

Für sämtliche 169 im Rahmen der ersten Ersterhebung zur Luftreinhaltung im Unteren Urner Reusstal untersuchten Trägerbäume sind im Anhang folgende Angaben enthalten:

ObNr.	Objektnummer = Nummer des Trägerbaumes 2008-2010
K1:	horizontale Koordinate, Landeskarte der Schweiz
K2:	vertikale Koordinate, Landeskarte der Schweiz
Geo:	Nummer des Georaumes, welchem der Trägerbaum angehört
IAP18:	IAP18-Luftgütwert des Trägerbaumes im Jahre 2008-10 der Erstuntersuchung

Für die Flechtenartenspalten gelten:

1-10:	Frequenzwert der Flechtenart
. (Punkt):	Flechtenart nicht vorhanden in der Aufnahmefläche

Zum Gesambelastungsindikator IAP18 zählende Flechtenarten

1:	Bryoria fuscescens
2:	Evernia prunastri
3:	Pseudevernia furfuracea
4:	Ramalina farinacea
5:	Ramalina fastigiata
6:	Ramalina fraxinea
7:	Usena spec.
8:	Anaptichia ciliaris
9:	Cetrelia cetrarioides-Gruppe
10:	Cladonia sp.
11:	Hypogymnia bitteriana
12:	Hypogymnia physodes
13:	Hypogymnia tubulosa
14:	Parmelia acetabulum
15:	Parmelia caperata
16:	Parmelia contorta
17:	Parmelia exasperata

-
- 18: Parmelia exasperatula
 - 19: Parmelia flaventior
 - 20: Parmelia glabra
 - 21: Parmelia glabratula-Gruppe
 - 22: Parmelia saxatilis
 - 23: Parmelia subargentifera
 - 24: Parmelia subrudecta
 - 25: Parmelia sulcata
 - 26: Parmelia tiliacea-Gruppe
 - 27: Parmeliopsis hyperopta
 - 28: Physcia aipolia-Gruppe
 - 29: Physcia adscendens-Gruppe
 - 30: Phaeophyscia orbicularis-Gruppe
 - 31: Physconia perisidiosa
 - 31: Physconia enteroxanta
 - 32: Physconia grisea
 - 33: Physconia distorta
 - 34: Xanthoria fallax-Gruppe
 - 35: Xanthoria parietina
 - 36: Xanthoria polycarpa
 - 37: Graphis scripta
 - 38: Lecanora carpinea-Gruppe
 - 39: Lecanora argentata-Gruppe
 - 40: Pertusaria albescens
 - 41: Pertusaria amara
 - 42: Phlyctis argena-Gruppe
 - 43: Ramalina pollinaria
 - 44: Parmelia quercina
 - 45: Normandina pulchella
 - 46: Parmeliopsis ambigua
 - 47: Parmelia revoluta
 - 48: Physcia caesia
 - 51: Leptogium saturnium
-

***Nicht zum Gesambelastungsindikator IAP18
zählende Flechtenarten***

- 52: Candelariella xanthostigma-Gruppe
- 49: Lecanora conizaeoides-Gruppe

Anhang 2 Georaum-bezogene IAP18-Daten 2008-2010

In Anhang 2 sind Angaben zu den insgesamt 54 Georäumen der Erstuntersuchung von 2008 sowie 2009-10 enthalten:

- Geo: Nummer des Georaumes
 K1: horizontale Koordinate, Landeskarte der Schweiz (Georaum-Schwerpunkt = Mittelwert aller Koordinaten der betroffenen Trägerbäume)
 K2: vertikale Koordinate, Landeskarte der Schweiz
 IAP18_{GR}: IAP18 - Georäumittelwert (arithmetisches Mittel) der Trägerbäume, welche dem entsprechenden Georaum angehören
 verwendet für akute Luftgütekarte von 2008 Unteres Reusstal sowie Oberes Urner Reusstal von 2009-10

rel. Nitro-Index: beider Teilstudien im Unerner Reusstal 2008, 2009-10

rel. Acido-Index: beider Teilstudien im Unerner Reusstal 2008, 2009-10

Unteres Urner Reusstal 2008					
Georaum	K1	K2	IAP 18_{GR}	rel. Nitro-Index	rel. Acido-Index
1	693717	184406	45.0	0.58	-0.39
2	693008	185025	21.8	0.82	-0.45
3	692246	186395	22.8	0.89	-0.57
4	692558	186458	28.4	0.81	-0.32
5	691996	185979	37.6	0.58	-0.43
6	691280	188171	29.3	0.70	-0.51
7	691365	188960	48.8	0.61	-0.43
8	691086	189879	23.4	0.88	-0.49
9	692084	188876	23.8	1.00	-0.43
10	691774	190447	17.2	1.25	-0.65
11	690853	191913	21.0	1.03	-0.49
12	689959	193670	26.6	0.99	-0.65
13	688745	194181	48.5	0.64	-0.55
14	692355	192164	26.0	0.95	-0.60
15	691181	192415	31.2	0.94	-0.59
16	691737	192998	15.6	0.74	-0.46
17	693957	192273	50.4	0.62	-0.52
18	692378	191024	30.4	0.87	-0.72
19	692787	190312	50.8	0.47	-0.42
20	690348	196062	39.8	0.51	-0.46
21	690176	194923	25.4	1.00	-0.82
22	691929	192919	39.4	0.90	-0.49
23	694391	190709	73.0	0.11	-0.16
24	695084	190119	57.3	0.01	-0.10
25	695823	189339	55.0	0.08	-0.19
26	690394	193699	66.0	0.71	-0.36

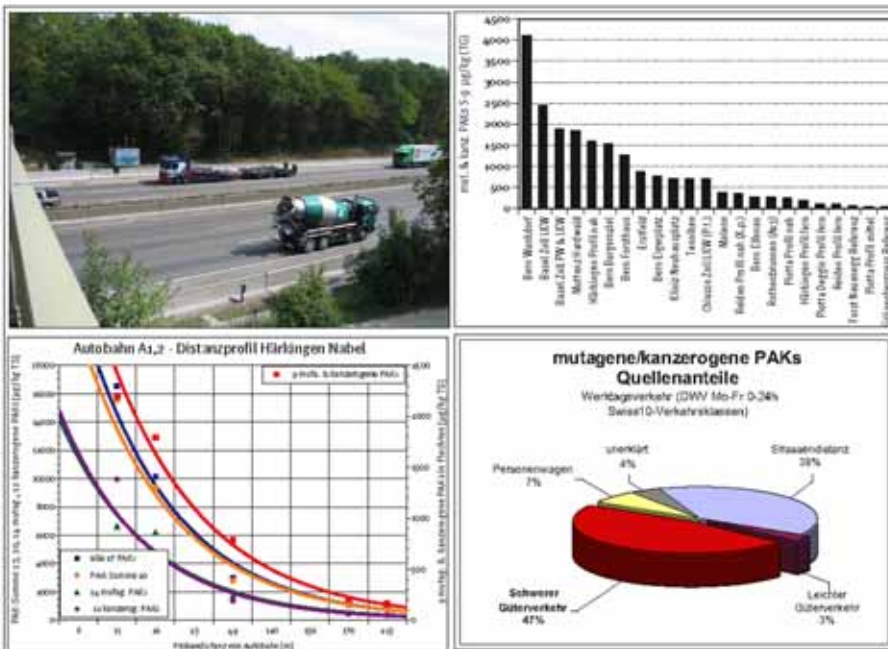
Georaum	K1	K2	IAP 18 _{GR}	rel. Nitro-Index	rel. Acido-Index
28	689479	193052	43.6	0.50	-0.46
29	689926	191879	37.8	0.54	-0.39
30	690758	190779	33.8	0.77	-0.55
31	690324	189955	47.8	0.30	-0.29
32	691113	187707	33.7	0.52	-0.28
33	690384	187987	51.0	0.18	-0.34
34	690276	187222	45.7	0.09	-0.19
Oberes Urner Reusstal 2009-10					
Georaum	K1	K2	IAP 18 _{GR}	rel. Nitro-Index	rel. Acido-Index
35	693423	183790	24.4	0.85	-0.42
36	693945	182776	46.2	0.45	-0.29
37	693986	180634	43.6	0.66	-0.53
38	692794	179351	27.4	0.70	-0.42
39	693230	179251	49.4	0.17	-0.17
40	692600	179651	50.0	0.16	-0.19
41	691932	177758	21.2	0.88	-0.61
42	690544	176004	25.2	0.66	-0.56
43	690927	177083	48.7	0.19	-0.33
44	690925	177868	58.8	0.26	-0.27
45	689655	174373	28.6	0.84	-0.63
46	689067	173504	23.8	0.67	-0.41
47	688822	173506	28.2	0.61	-0.55
48	689261	173218	48.8	0.07	-0.21
4951	688403	170816	29.2	0.63	-0.50
52	688034	169190	34.2	0.38	-0.42
53	687712	169169	53.2	0.31	-0.32
54	695177	181251	60.0	-0.14	0.07
55	695612	180555	48.8	0.10	-0.22
56	688583	165381	66.0	0.27	-0.20

Anhang 3 Bafu-Projekt Monitoring flankierende Massnahmen Umwelt (MfM-U)

Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Oekonomie und Forschung,
Sektion Umweltbeobachtung

Monitoring flankierende Massnahmen Umwelt (MfM-U)

Biologisches Luftqualitätsmonitoring mit Flechten entlang der A2 und A13 und Zuweisung relevanter Luftschadstoffe zum Schwerverkehr



Kurzfassung

Januar 2007

AGB - Dr. Rolf Herzig
Arbeitsgemeinschaft für Bioindikation,
Umweltbeobachtung und ökologische Planung
3013 Bern

Textkasten 1

Monitoring flankierende Massnahmen Umwelt (MfM-U) 2003-2007

Hauptergebnisse des Luftqualitätsmonitorings mit Flechten entlang der A2 und A13 und Zuweisung relevanter Luftschadstoffe zum Schwerverkehr

- Anhand von Flechtenanalysen mit dem «Integrierten biologischen Messsystem mit Flechten» entlang der Autobahnen A2 und A13 sowie an stark befahrenen innerstädtischen Verkehrsknoten am Beispiel der Stadt Bern wurde eine teilweise hohe Konzentrationen von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAKs) und Schwermetallen festgestellt.
- Das Distanzprofil an der NABEL-Messstation Härkingen deutet darauf hin, dass die durch den Verkehr emittierten PAKs und Schwermetalle entlang intensiv befahrener Verkehrsachsen hauptsächlich innerhalb eines 50-100m breiten Streifens deponiert werden. Unter den Substanzen finden sich diverse Schwermetalle und durch die Verbrennung in Diesel-Motoren entstandene mutagene und kanzerogene PAKs.
- Literatur-Recherchen zeigen, dass neben den Treibstoffen und Motoren-Emissionen auch Bremsbeläge und Additive in Motorenölen und Autoreifen wichtige Schadstoff-Quellen des Mfz-Verkehrs darstellen. So sind beispielsweise Bremsbeläge nach wie vor eine relevante Quelle für Antimon, Blei, Chrom, Eisen, Kupfer, Molybdän, Zink und Zinn. Mit statistischen Methoden wurden schliesslich die aussagekräftigsten Schwermetall- und PAK-Tracer bestimmt, die für die schweren Güterfahrzeuge typisch sind.
- Mit dem standardisierten Verfahren der Flechtenbioindikation können zusätzlich Aussagen zur Luft-Gesamtbelastung gemacht werden. Andererseits erlaubt die komplementäre Methode des Biomonitorings dank chemischen Inhaltsanalysen von Flechtenproben den Nachweis einer Vielzahl von freigesetzten toxischen organischen und anorganischen Einzelschadstoffen durch den Motorfahrzeugverkehr.
- Die im Rahmen von MfM-U durchgeführte Studie zeigt erwartungsgemäss eine «kritische» Gesamtbelastung der Luft bei den LKW-Checkpoints bei Basel-Weil und Chiasso-Progeda an der A2. In Reiden (Mittelland), Piotta (Leventina) und Moleno (Riviera) ist die Luft-Gesamtbelastung als «mittel» einzustufen. Währenddem der im Kanton Uri untersuchte Standort im Gebiet der Autobahnraststätte nur eine «geringe» Luft-Gesamtbelastung aufweist, zeigen sich bei den meisten verkehrsbedingten PAKs und Schwermetallen deutlich erhöhte Belastungswerte.
- Bei den Untersuchungen zur Schwermetallbelastung zeigt sich beispielsweise für Platin, welches heute ausschliesslich in Dieselmotoren, früher auch in Benzin-Kats, verwendet wird eine deutliche Distanzabhängigkeit zur Strassennähe. Auch das kostengünstigere Palladium, welches heute für Benzin-Kats verwendet wird, zeigt diese starke Abhängigkeit zur Strassennähe. Auffallend hohe Belastungsgradienten finden sich auch für mehrere mutagene und/oder kanzerogene polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), welche zusammen mit Russpartikeln hauptsächlich von Dieselfahrzeugen ohne Partikelfiltern emittiert werden. Die entnommenen Proben zeigen eine starke Belastungsabnahme der untersuchten Einzelschadstoffe in den ersten 200m zur Autobahn. Für mehrere PAKs reduziert sich dabei die Belastung in diesen fahrbahnächsten 200m um bis zu einem Faktor 10.
- Mehrere der gemessenen Einzelschadstoffe können mittels vergleichenden multivariaten statistischen Analysen der Biomonitoringdaten mit den Verkehrsdaten der Schweizerischen Strassenverkehrszählung und dem Vergleich mit Emissions- und Immissionsmessungen an Motoren der Kategorie der dieselpbetriebenen Fahrzeugen zugeordnet werden. Mit varianzanalytischen Verfahren konnten aus dem grossen Kollektiv von 44 untersuchten PAKs, Schwermetallen und Gesamtschwefel, 25 geeignete Mfz-Verkehrstracer bestimmt werden, wobei 15 dieser Tracer besonders geeignet sind zum Nachweis der Umweltwirkungen des dieselpbetriebenen schweren Güterverkehrs. Es handelt sich dabei besonders um die folgenden PAK-Substanzen: Perylen, Chrysen, 9 mutagene/kanzerogene PAKs, Benzo(b,k)fluoranthren, Benz(a)anthracen, Indeno(1,2,3cd)pyren, Benzo(c)phenanthren, Pyren sowie Benzo(b)fluoren und die Schwermetalle Blei, Molybdän, Zink, Chrom, Nickel und Gesamtschwefel.

AGB im Auftrag des Bafu, 2003-2007.