

AMT FÜR UMWELTSCHUTZ  
FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN

# Flechten in Liechtenstein

## Resultate der biologischen Luftqualitäts- untersuchungen mit Flechten

Informationsbroschüre zur Dritterhebung 2009

Mai 2011



# Inhalt

- 03 Vorwort
- 04 Flechten – Lebensgemeinschaften aus Pilz und Alge
- 06 Flechten – lebende Messgeräte der Luftqualität
- 08 Methode
- 10 Luftreinhaltung in Liechtenstein
- 12 Luftgüte 1989
- 13 Veränderung 1989 - 1999
- 14 Luftgüte 1999
- 15 Veränderung 1999 - 2009
- 16 Luftgüte 2009
- 18 Flechten – Acidoindex 2009
- 20 Flechten – Von Vielfalt zu Einfalt?
- 22 Schlussfolgerungen
- 23 Ausblick

## Impressum

Inhalt: Amt für Umweltschutz Liechtenstein; > evaluationen, Bern

Projektbearbeitung: > evaluationen zusammen mit puls, Bern

unter Mitarbeit von Michael Dietrich

Redaktion: Monika Joss, Bern

Gestaltung: Rita Joss, Bern

Bildnachweis: Rita Joss, Bern; > evaluationen, Bern

Landeskarten: Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA110225)

# Vorwort

Saubere Luft ist eines der elementarsten Grundbedürfnisse unseres Lebens. Dem Schutz und Erhalt dieser kostbaren Ressource kommt daher eine ganz besondere Bedeutung zu. Mit verschiedenen Massnahmen konnte seit Mitte der 80er Jahre die Qualität der Luft deutlich verbessert werden. Dies zeigen uns die Messstationen, an welchen verschiedene Luftschadstoffe überwacht werden. Trotz dieser Fortschritte werden an verschiedenen Standorten nach wie vor die Grenzwerte für Ozon, Feinstaub und Stickoxide überschritten. Es bedarf somit weiterer Anstrengungen von uns allen, um den Ausstoss von Schadstoffen weiter zu reduzieren.

Neben technischen Messgeräten stehen uns auch lebende Messgeräte, wie etwa Flechten, für die Beurteilung der Luftqualität zur Verfügung. Flechten reagieren äusserst sensibel auf Umweltveränderungen, insbesondere auf die Veränderung der Zusammensetzung der Luft. Regelmässige Untersuchungen über das Vorkommen und die Artzusammensetzung von Flechten in einer Region liefern daher wertvolle Erkenntnisse über die Auswirkungen von unterschiedlichen Luftschadstoffen bei ihrem gemeinsamen Auftreten und Zusammenwirken. Dies ermöglicht den Umweltzustand bzw. die Luftqualität in einem Gesamtbild beurteilen und verstehen zu können.

Nach 1989 und 1999 wurden im Jahre 2009 die Flechten im Fürstentum Liechtenstein zum dritten Mal untersucht. Die Ergebnisse zeigen in Bezug auf die Verbreitung, Vielfalt sowie den Zustand der Flechten gegenüber 1999 eine teils deutliche Verschlechterung, während die technischen Messungen in Liechtenstein in den vergangenen zehn Jahren einen leichten Rückgang bzw. eine Stagnation der Luftschadstoffe ergeben. Bezüglich der Beurteilung der Luftgüte zeigt sich aus Sicht der Flechten ein zweigeteiltes Bild: so hat sich die Luftgüte in den besiedelten Kernzonen leicht verbessert, bedauerlicherweise haben sich jedoch Gebiete mit einer bisher hohen Luftgüte verschlechtert. Es hat sich gemäss den Untersuchungen eine Nivellierung der Belastungssituation über die gesamte Landesfläche auf hohem Niveau eingestellt.

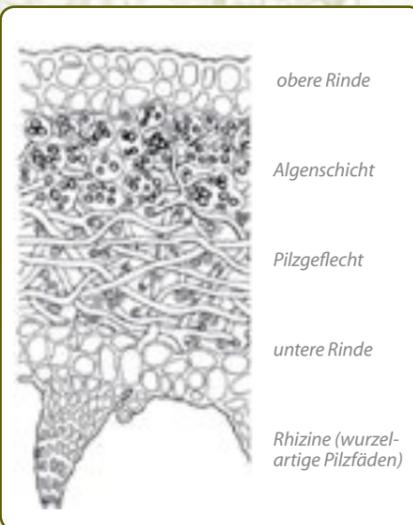
Diese Beobachtungen wurden auch in anderen Regionen der Schweiz gemacht. Es scheint, dass sich trotz einigen Erfolgen bei der Reduktion des Schadstoffausstosses die Gesamtbedingungen für Flechten teils deutlich verschlechtert haben. Aktuell werden die Zusammenhänge zwischen Schadstoffausstoss und Flechtenvorkommen im Zusammenspiel mit weiteren Umweltfaktoren wie Klimaveränderungen und Veränderungen im Wasserhaushalt untersucht. Es gilt, diese Gesamtzusammenhänge besser zu verstehen und die lufthygienischen Untersuchungen mit Flechten in geeigneter Form auch in Zukunft weiterzuführen. Neben technischen Messungen zeigen uns nur solche biologischen Untersuchungen, wie es um die Gesamtbelastung für lebende Organismen steht und welche Massnahmen daraus abzuleiten sind.



Dr. Renate Müsner  
Regierungsrätin

# Flechten – Lebensgemeinschaften aus Pilz und Alge

Aufbau einer Blattflechte



Was uns wie ein einziger Organismus erscheint, besteht in Wirklichkeit aus zwei Lebewesen, welche eine Symbiose eingegangen sind: Pilz und Alge. Sie haben sich zu einer Lebensgemeinschaft zusammengeschlossen, welche zu beider Nutzen und Stärkung führt. Als Flechte erbringen Pilz und Alge gemeinsam Leistungen, welche sie alleine nicht erbringen könnten.

Der Pilz bildet fast immer den eigentlichen Vegetationskörper der Flechte, das Lager. Die Pilzfäden bilden ein Geflecht, das Stabilität bringt. Darin eingeschlossen sind die Algen, welche für den Energiehaushalt zuständig sind. Die Algen bauen mit Hilfe von Sonnenlicht und Wasser die notwendigen Zuckerarten auf, die der Pilz verbraucht. Der Pilz liefert im Gegenzug der Alge Mineralstoffe. Auf diese Weise erreicht die Flechte eine hohe Lebensdauer in nährstoffarmen und kargen Lebensräumen.

Flechten leben fast überall: Am Boden, an Felsen und Steinen, an Bäumen und Ästen, auf Zäunen und Mauern. Sie teilen sich ihren Wohnraum oft mit Moosen und das unkundige Auge verwechselt die beiden auch gerne, weil sie sich ähneln. Entgegen dem Namen beispielsweise ist Isländisch Moos eine Flechte. Doch Flechten sind anders als Moose. Moose gelten als eigenständige Pflanzen, Flechten bilden demgegenüber eine Organismengruppe, die den Pilzen zugerechnet wird.

*Pseudevernia furfuracea* ist eine Strauchflechte, welche auf Bäumen wächst



*Xanthoria parietina* - die Gelbbecherflechte ist eine häufige Blattflechte



Farben und Formen der Flechten sind vielfältig. Man unterscheidet zwischen verschiedenen Wuchsformen:

Krustenflechten bilden körnige, firnisartige oder schorfartige Überzüge auf Pflanzenresten, Moosen, Rinde und Erde.

Blattflechten sind flächig und liegen mehr oder weniger locker auf dem Substrat auf. Blattflechten sind sehr vielfältig und besiedeln verschiedene Lebensräume.

Strauch- und Bartflechten sind strauchförmig und wachsen rasig auf Erde oder Fels oder hängen als grau-grünliche Bärte von Bäumen, Totholz oder Felsen.

Gallertflechten haben Blaualgen als Partner. Sie quellen bei Befuchtung gallertartig auf und sind meist dunkel oliv bis schwärzlich gefärbt.

Bartflechten sind noch in feuchten Bergwäldern weitab von Verkehr und Heizungen zu finden



Auf dem schattigen Waldboden gedeihen nur wenige Flechten. Der Konkurrenzdruck der höheren Pflanzen vertreibt sie auf die Bäume und an Felsen. Flechten sind Pionierpflanzen und besiedeln spezifische ökologische Nischen.

Während Algen fast ausschliesslich an nasse und Pilze vorwiegend an feuchte Standorte gebunden sind, können Algen und Pilze als Flechten in heisse und trockene Gegenden vordringen. Weltweit treten Flechten umso mehr in Erscheinung, je unwirtlicher das Klima ist und je extremer die Temperaturen sind.



Extreme Temperaturunterschiede - Flechten bezwingen selbst solche Standorte

Krustenflechten sind wie ans Substrat angeklebt



Die Regenbogenflechte ist eine Krustenflechte, ihr Rand gleicht einem Regenbogen

In der Schweiz und Liechtenstein sind rund 2000 Flechtenarten bekannt. Die bevorzugte Temperatur liegt bei einheimischen Flechten bedeutend tiefer als bei Wiesenpflanzen, nämlich bei etwa 10°C. Auch bei Temperaturen unter 0° können Flechten noch Photosynthese betreiben. Spezielle Flechtensäuren wirken wie Frostschutzmittel.

In der Wüste genügt der Flechte Morgentau zum Leben. Die meiste Zeit verbringen sie in einer Art Trockenstarre. Im rauen Hochgebirge trotzen die Flechten auf kargen Böden und kahlen Felsen der Witterung. Selbst in der eisigen Antarktis, wo nur gerade zwei Pflanzenarten existieren, ist die Vielfalt an Flechten noch hoch.

Die Flechte hat ihre Biologie über eine lange Zeit an die natürlichen Bedingungen ihrer Umgebung angepasst. So sind nachweislich einzelne Exemplare der im Gebirge vorkommenden Landkartenflechte über 9000 Jahre alt.

Viele Flechten entwickeln sich extrem langsam. Der Lebenszyklus von der erfolgreichen Besiedlung bis zur Produktion von Ausbreitungseinheiten kann bei der Lungenflechte beispielsweise bis 30 Jahre dauern.



Bild: Bernd Haynold

Die Lungenflechte ist eine der empfindlichen Blattflechten und nur noch selten

# Flechten – lebende Messgeräte der Luftqualität

Flechten reagieren extrem empfindlich auf Umweltveränderungen. Sie zeigen als Bioindikatoren Luftbelastungen an.

Flechten besitzen keine Wurzeln, sondern nehmen die Nährstoffe direkt aus der Luft auf, gelöst im Regen und in der Feuchtigkeit. Mit den Nährstoffen werden auch Schadstoffe aus der Luft aufgenommen.

Das ausbalancierte Gleichgewicht der Symbiose ermöglicht den Flechten das Vordringen in Lebensräume, die sie als Einzellebewesen nicht besiedeln können. Das Gleichgewicht der Flechte ist genau auf die vorherrschenden ökologischen Bedingungen am Standort eingestellt. Die entscheidende Voraussetzung für die Existenz von Flechten an einem Ort ist die Kontinuität des Lebensraumes über eine längere Zeit. Zu viele Schadstoffe oder eine zu rasche Veränderung der Umweltbedingungen bringen den fein aufeinander abgestimmten Mechanismus des Stoffwechsels in der Symbiose von Pilz und Algen zum Stottern oder gar zum Erliegen.

Als Folge der industriellen Revolution im 19. Jahrhundert traten aus den Hochöfen hohe Schwefeldioxidkonzentrationen in der Luft auf und führten zu einer dramatischen Verarmung der Flechtenvegetation in weiten Teilen der Welt. Besonders stark waren die Flechten in urban-industriellen Ballungszentren wie etwa Südengland und dem Rhein-Ruhr-Gebiet betroffen. Es breiteten sich regelrechte Flechtenwüsten aus. Bereits gegen Ende des 19. Jahrhunderts hat man den Zusammenhang zwischen Luftverunreinigungen und Flechtenrückgang erkannt. Den Flechten wurde vorerst eine spezifische Empfindlichkeit gegenüber Schwefeldioxid zugesprochen. Ab 1930 erfolgten erste grosse Flechtenuntersuchungen in skandinavischen Städten sowie in Zürich. In englischen Ballungsgebieten konnte man nach dem Inkrafttreten der Gesetze über die Luftreinhaltung nach der grossen Smog-Katastrophe von 1953 beobachten, dass sich Flechten wieder ansiedelten.

Um 1970 wurde in Kanada erstmals eine quantitative Flechtenmethode entwickelt, um die Belastungssituation der Luft zu bewerten.

Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms 14 „Lufthaushalt und Luftverschmutzung in der Schweiz“ wurde am Systematisch-Geobotanischen Institut der Universität Bern eine Flechtenindikationsmethode zur Anzeige der Gesamtbelastung der Luft entwickelt. Mit einer multivariaten Kalibration wurde der statistische Beweis erbracht, dass Flechten nicht spezifisch auf Einzelschadstoffe reagieren, sondern die Wirkungsanzeige des Zusammenspiels aller in der Luft vorhandenen Schadstoffe darstellen (Urech 1991). Der Zusammenhang zwischen Luftbelastung und Flechtenvorkommen beträgt über 92% und ist hoch gesichert. Ein Ergebnis von Flechtenuntersuchungen bilden Luftgütekarten, welche räumlich differenziert die Belastungsmuster in einem Gebiet flächendeckend zeigen. Technische Geräte hingegen messen Einzelschadstoffe an einzelnen Orten.

In Liechtenstein und zahlreichen Kantonen und Städten der Schweiz werden seither Flechtenuntersuchungen mit der kalibrierten Flechtenmethode durchgeführt. Ein Zweck kann dabei sein, die Belastungssituation erstmalig flächendeckend aufzuzeigen, ein anderer Zweck, die Erfolgskontrolle von lufthygienischen Massnahmen mit einer Wiederholungsuntersuchung zu ermöglichen. In Liechtenstein wurden drei Flechtenerhebungen im Abstand von jeweils 10 Jahren durchgeführt: 1989, 1999 und 2009.

# Methode

Bei der Messung der Luftbelastung mit der Flechtenmethode werden die Flechten an den Baumstämmen gezählt. Die Flechtenfachleute zählen Anzahl Flechtenarten und Häufigkeit ihres Auftretens. Die Summe aller Flechtenarten und ihre Auftretenshäufigkeiten ergeben den Luftgütewert. Hohe Luftgütewerte bedeuten, dass viele Flechten vorhanden sind und die Luft sauber ist. Niedrige Luftgütewerte ergeben sich da, wo nur noch wenige Flechten zu zählen sind. Dies bedeutet schlechte Luftqualität.

Die Flechtenmethode kam im Rahmen der Fallstudie „Ökologische Planung – Bündner Rheintal“ der Eidgenössischen Technischen Hochschule ETH Zürich 1985 zur Anwendung. Im Zuge dieser Untersuchung wurde sie methodisch validiert und an die Rheintaler Verhältnisse angepasst (Thöni et al. 1990). Kurz darauf wurden 1989 in Liechtenstein erstmals die Flechten mit der standardisierten Methode erfasst.

Bei der Erhebung werden die Flechten am Stamm von freistehenden Laubbäumen gezählt. Gesucht werden freistehende Laubbäume, deren Stamm nicht beschattet ist. Die Bäume sollen senkrecht gewachsen sein, eine ungestörte Rinde aufweisen und einen Stammumfang zwischen 100 und 280 cm haben.

Einheimische Laubbäume wie Linden, Walnuss und Eschen werden bevorzugt ausgewählt. Bäume in bewaldeten Gebieten und den Bergen werden nicht untersucht. Die Bäume, an welchen Flechten gezählt werden, heissen Trägerbäume. In Liechtenstein wurden bei den Flechtenerhebungen jeweils rund 450 Bäume, welche regelmässig über die unbewaldeten Gebiete verteilt sind, untersucht.

Die Flechten werden innerhalb einer standardisierten Aufnahme-fläche gezählt. Diese ist durch ein Frequenzgitter in zehn gleich grosse Flächen geteilt. Das Frequenzgitter umfasst stets den halben Stammumfang und wird immer in Richtung des grössten Flechtenbewuchses am Baum befestigt.

An jedem Trägerbaum wird der Luftgütewert (Index of Atmospheric Purity Bündner Rheintal oder IAPBR) ermittelt. Der IAPBR ist die Summe der Frequenzen der in der Aufnahme-fläche vorkommenden Arten. Die Frequenz einer Flechte kann die Zahl 0 bis 10 annehmen, abhängig von der Anzahl Flächen des Frequenzgitters, in welchen sie vorkommt.

Tiefe Luftgütewerte bedeuten, dass wenig Flechtenarten mit kleinen Frequenzen am Baum vorkommen. Ein tiefer IAPBR-Wert kann auch entstehen, wenn eine oder zwei Arten mit hohen Frequenzen gezählt werden. Die Luft ist bei tiefen Luftgütewerten stark belastet. Hohe Luftgütewerte ergeben sich an Bäumen mit zahlreichen Flechtenarten und hohen Frequenzen. Diese Bäume stehen in unbelasteten Gebieten.

Für die Erstellung der Luftgütেকarte werden die Trägerbäume zu Gruppen zusammengefasst. Die Gruppen setzen sich in der Regel aus fünf, stets benachbarten Trägerbäumen zusammen und werden Georäume genannt. Die Luftgütewerte der Einzelbäume werden zum Georaum-IAPBR gemittelt, um eine statistisch abgesicherte Aussage zu erhalten.

Baum mit wenig Flechtenbewuchs

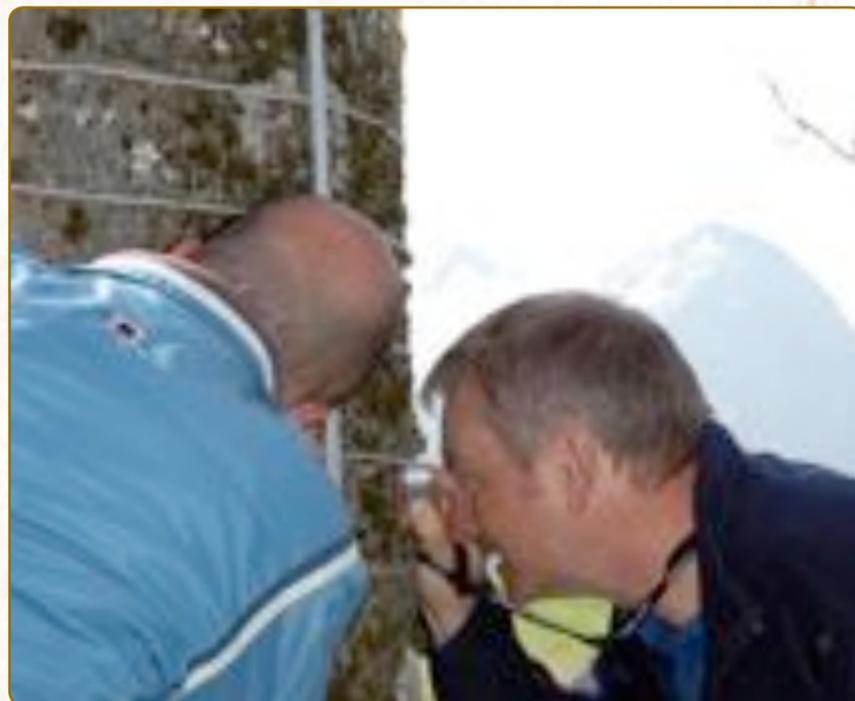


Baum mit vielen Flechten

Frequenzgitter an einem Trägerbaum



Einzelne Flechten können nur mit der Lupe bestimmt werden



# Luftreinhaltung in Liechtenstein

Mitte der Achtzigerjahre befürchtete man aufgrund der zahlreich beobachteten Schäden an Bäumen, dass der Wald verschwinden könnte. Der Niederschlag wies einen sauren pH-Wert auf. Man sprach von saurem Regen und Waldsterben.

In den grösseren Städten hatten sich Flechtenwüsten aufgrund verschmutzter Luft ausgedehnt. In benachbarten Gebieten waren Flechten ebenfalls kaum mehr zu finden.

In dieser Zeit waren die Autos ohne Katalysatoren unterwegs und mit Motoren ausgerüstet, welche verbleites Benzin verbrannten. Tempobeschränkungen auf den Autobahnen gab es noch keine. Die Häuser wurden überwiegend mit schwerem Heizöl beheizt, welches nicht entschwefelt war. Die Abluft der Kehrlichtverbrennungsanlagen wurde nur teilweise gereinigt. Fabrikationsbetriebe konnten als Einzelemittenten so viel verschmutzte Luft ausstossen, dass ihre Immissionen ganze Gebiete bedeckten.

Das Liechtensteiner Luftreinhaltegesetz trat 1986, die Luftreinhalteverordnung 1987 in Kraft. Damit waren die nötigen gesetzlichen Rahmenbedingungen geschaffen, um Immissionsgrenzwerte festzulegen und Massnahmen einzuleiten.

Mit der Verschärfung der Abgasvorschriften wurden schwefelreiche Brennstoffe wie Kohle und „Heizöl schwer“ zunehmend durch „Heizöl extraleicht“ und Erdgas substituiert. Der Schwefelgehalt im „Heizöl extraleicht“ konnte weiter von 0.5% auf 0.05% und damit um das Zehnfache reduziert werden. Die Verschärfung verschiedener Emissionsgrenzwerte 1992 und die damit verbundenen Feuerungskontrollen führten zu lufthygienischen Sanierungen von Feuerungsanlagen, Tankstellen und grossen Einzelemittenten. Die Sanierung von Einzelemittenten auch in angrenzenden Gebieten, so der Kehrlichtverbrennungsanlage in Buchs hatte ebenfalls einen positiven Einfluss auf die Liechtensteiner Situation.

Seit der Verschärfung der Abgasvorschriften stieg der Anteil der mit Katalysatortechnik ausgerüsteten Fahrzeuge kontinuierlich an und betrug im Jahr 2000 rund 95%. Die damit verbundene Einführung von bleifreiem Benzin und die technische Entwicklung in der Katalysatortechnik sowie bei den Motoren ermöglichten eine weitere Reduktion der Schadstoffemissionen. Die Optimierung von Verkehrsanlagen durch bauliche und betriebliche Massnahmen (Kreisel, Innenstadtsperre Vaduz) sowie die Temporeduktion auf Autobahnen verminderten die Schadstoffe in der Luft erheblich.

Es folgten weitere Grenzwertverschärfungen z.B. für Feinstaub und Stickoxide durch erneute Anpassungen der Luftreinhalteverordnung. Die Partikelfilterpflicht bei neuen Baumaschinen wurde 2006 eingeführt. Vorschriften zu Blei-, Schwefel- und Benzolgehalten sowie erhöhte Qualitätsanforderungen für Brenn- und Treibstoffe führten abermals zu Verminderungen des Schadstoffausstosses. Durch Verschärfung der Anforderungen an Feuerungsanlagen wie Holzheizungen wird unter anderem der Ausstoss an Feinstaub weiter eingedämmt.

In der letzten Dekade hat sich der Fokus vermehrt auf klimapolitisch relevante Inhalte wie die Steigerung von Energieeffizienz und erneuerbare Energien gerichtet.

Ebenfalls haben in den letzten Jahren Fördermassnahmen zum öffentlichen und Langsamverkehr eingesetzt und es sind neben Vorschriften zur Wärmedämmung auch vermehrt fiskalische Anreize geschaffen worden, vor allem um Treibhausgase zu reduzieren. Die Bemühungen für eine saubere Luft in Liechtenstein zeigten Wirkung: So hat sich die Qualität der Luft seit Mitte der 80er Jahre deutlich verbessert. Trotz dieser Fortschritte werden an verschiedenen Standorten nach wie vor die Grenzwerte für Ozon, Feinstaub und Stickoxide überschritten.

An drei Standorten werden seit 2008 Ammoniakmessungen durchgeführt. Die Werte gelten als mittel bis hoch. Die Belastung durch Ammoniak ist im Vergleich zu den Schutzwerten, die im Rahmen der Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung empfohlen werden, als hoch einzustufen. Schweizer Messreihen gehen bis ins Jahr 2000 zurück und zeigen, dass die Belastung seither gleich hoch geblieben ist.

*Kuhhaltung ist eine der grössten Quellen von Ammoniak, 90% der Ammoniakemissionen stammen aus der Landwirtschaft*



*Holzpellets haben hohe Heizwerte und sind aus erneuerbaren Ressourcen*

*Wärmedämmung ist eine wirksame Massnahme gegen Energieverlust und damit gegen Treibhausgase*



*Radwege ermöglichen mit dem Velo zur Arbeit zu fahren mit doppeltem Effekt: Die eigene Fitness steigt und der Treibhausgasausstoss wird weniger*

# Luftgüte 1989

Die Luftgütekarte zeigt, wo die Luft wie stark verschmutzt ist. Es werden fünf Zonen unterschieden: Rot, orange, gelb, grün und blau. In der Luftgütekarte von 1989 sind alle fünf Flechtenzonen vorhanden:

Rote und orange Zonen stellen lufthygienische Problemgebiete dar. In diesen Gebieten tritt eine starke Verarmung der Flechtenvegetation auf. In der roten Zone ist der Flechtenbewuchs auf vereinzelte, resistente Exemplare reduziert oder ganz verschwunden.

Die Siedlungszentren von Schaan und Vaduz befanden sich 1989 in einer roten Zone mit grosser Gesamtbelastung. Die Luftbelastung im Zentrum von Schaan (Lindenplatz) war damals vergleichbar mit derjenigen grösserer Schweizer Städte und stellte das am stärksten belastete Gebiet in Liechtenstein dar.

Hauptsächlich Zentren und Verkehrsknotenpunkte waren der orangenen Zone zuzurechnen und wiesen relativ grosse Gesamtbelastungen auf. Die orange Zone bedeckte ausschliesslich in der Rheinebene gelegene und verkehrsbelastete Gebiete, so bei Ruggell, Bendern, Eschen - Nendeln. Sie war von Schaan nach Triesen durchgehend und bedeckt den Dorfkern von Balzers.

Die restliche Talsohle konnte hauptsächlich der gelben Zone mit mittlerem Flechtenbewuchs zugeordnet werden. Diese Zone bildet den Übergangsbereich zwischen lufthygienischen Problemgebieten und weniger belasteten Zonen. Die gelben Gebiete sind einer mässigen Gesamtbelastung ausgesetzt. In dieser Zone treten auch empfindlichere Flechtenarten auf.

Die Hanglagen wiesen vorwiegend grüne Zonen auf, welche viel Flechtenbewuchs haben. Der grünen Zone konnten auch Schellenberg, Hinterschellenberg und das Gebiet südlich von Mäls zugeordnet werden.

Oberhalb von Triesenberg bei Gnalp sowie in den Gebieten unterhalb des Fläscherberges waren 1989 noch blaue Zonen vorhanden. Blaue Zonen weisen die geringste Luftbelastung und den reichsten Flechtenbewuchs auf. Die Immissionen waren 1989 hoch, doch auf die einzelnen Emissionsquellen rückführbar. Die Kleinräumigkeit von Liechtenstein ermöglichte, dass an geschützten Lagen und somit in unbelasteten Gebieten noch zahlreiche Flechten gezählt werden konnten.

Wirkungszonen	Immissionszonen
sehr wenig Flechtenbewuchs IAPBR: 0 - 26	<span style="color: red;">■</span> grosse Gesamtbelastung
wenig Flechtenbewuchs IAPBR: 26 - 53	<span style="color: orange;">■</span> relativ grosse Gesamtbelastung
mittlerer Flechtenbewuchs IAPBR: 53 - 81	<span style="color: yellow;">■</span> mittlere Gesamtbelastung
viel Flechtenbewuchs IAPBR: 81 - 107	<span style="color: green;">■</span> kleine Gesamtbelastung
normaler Flechtenbewuchs IAPBR: 107 -	<span style="color: blue;">■</span> sehr kleine Gesamtbelastung

# Veränderung 1989 – 1999

Die Luftgütekarte von 1989 bildet das Ergebnis der Ersterhebung und ist damit die Ausgangslage für die Erfolgskontrolle. Die hier dargestellte Differenzkarte zeigt die Veränderungen der Liechtensteiner Luftqualität im Zeitraum 1989 bis 1999.

Die Differenzkarte unterscheidet ebenfalls fünf Zonen: Gebiete, in denen sich die Luft von 89 zu 99 verbessert hatte, sind blau und hellblau dargestellt.

Weisse Gebiete bedeuten, dass keine wesentliche Veränderung stattgefunden hatte.

Verschlechterungen sind hellrot oder rot eingezeichnet.

Von 1998 zu 1999 zeigten sich Verbesserungen der Luftqualität ausschliesslich im Talgebiet von Liechtenstein. Es waren einerseits Dorfzentren und besiedelte Gebiete, wie Schaan, Vaduz und Triesen, andererseits die Gebiete entlang der Landesgrenze parallel zum Rhein und zur Schweizer Autobahn. Auch in Landwirtschaftszonen der Talsohle fanden Verbesserungen statt.

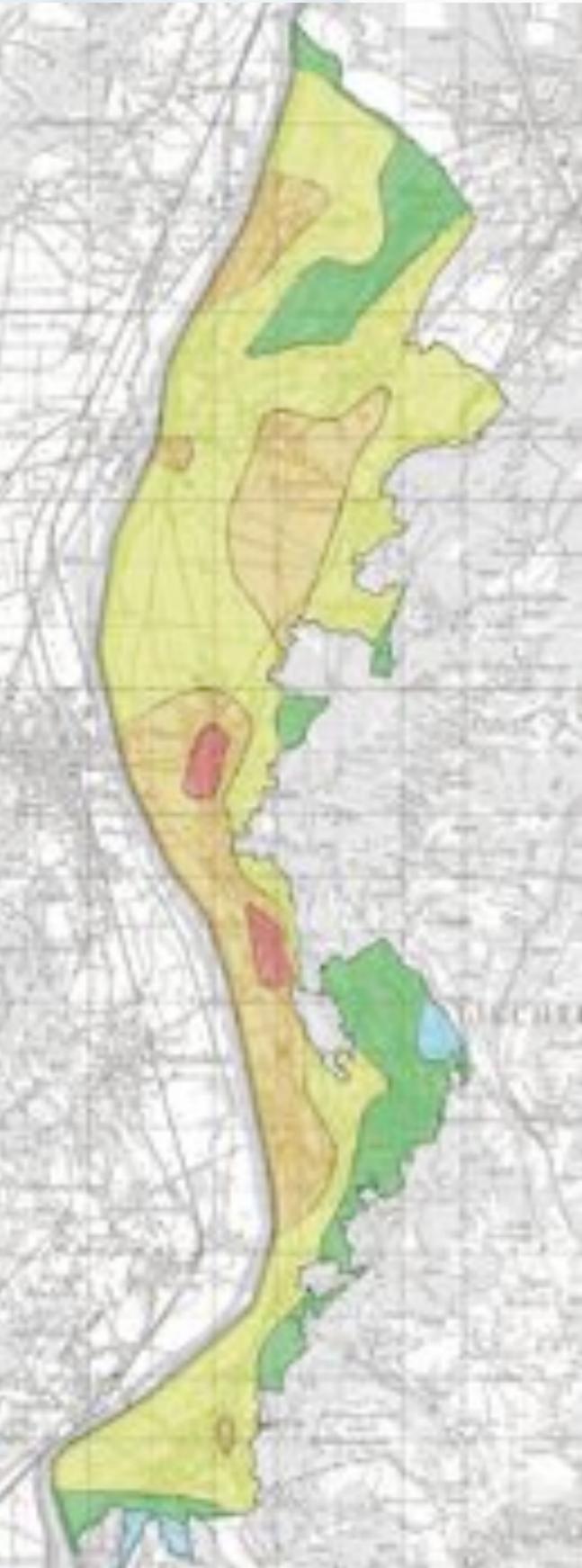
Verschlechterungen vollzogen sich vor allem in den Hanglagen sowie in mittleren Höhenlagen. Entlang des Schellenbergs, im Gebiet von Mauren, nördlich von Schaan und in den südlichen Landesteilen waren auch Siedlungen und Siedlungsrandgebiete in Tallagen einer Verschlechterung der Luftsituation unterworfen.

In Gnalp oberhalb Triesenberg und unterhalb des Fläscherberges fanden von 89 bis 99 starke Verschlechterungen der Luftqualität statt.

Die Differenzkarte belegt die Wirkung der in den Neunzigerjahren ergriffenen Luftreinemassnahmen, welche vor allem bei der Reduktion der Schadstoffe bei Benzinmotoren, Ölheizungen und Einzelmitteln ansetzten.

Die Differenzkarte verdeutlicht ebenfalls den Trend in der Zeit von 89 zu 99: Sehr stark belastete Gebiete vollzogen eine Verbesserung; sehr wenig belastete Gebiete erfuhr in der gleichen Zeitspanne eine Verschlechterung.

Veränderung der Luftbelastung 1989 - 1999	
<span style="color: lightblue;">■</span>	starke Verbesserung IAPBR Differenz: > 20.3
<span style="color: lightblue;">■</span>	Verbesserung IAPBR Differenz: 6.7 bis 20.3
<span style="color: white;">■</span>	keine wesentliche Veränderung IAPBR Differenz: 6.7 bis 6.7
<span style="color: pink;">■</span>	Verschlechterung IAPBR Differenz: -20.3 bis 6.7
<span style="color: magenta;">■</span>	starke Verschlechterung IAPBR Differenz: > -20.3



# Luftgüte 1999

Die Luftgütekarte 1999 ist das Ergebnis der Zweiterhebung von Flechten in Liechtenstein.

Von den fünf Zonen rot, orange, gelb, grün und blau sind nur noch drei Farben auf der Karte zu beobachten.

Die roten Zonen sind verschwunden. Die grosse Belastung der Lindenkreuzung in Schaan hat sich verkleinert und ist nun wie der Dorfkern von Vaduz neu statt der roten der orangen Zone zuzurechnen. In orangen Zonen treten mehr Flechten auf als in der roten, doch es sind immer noch wenig an der Zahl. Zudem handelt es sich um relativ unempfindliche Arten. Rund ein Fünftel der untersuchten Fläche in Liechtenstein ist 1999 immer noch der orangen Zone und damit einer relativ grossen Gesamtbelastung ausgesetzt. Dies sind Siedlungszentren und Industriezonen mit hohem Verkehrsaufkommen und einer Verdichtung von Haus- und Industriefeuerungen, durchzogen von Hauptverkehrsachsen und ausgedehnten landwirtschaftlichen Nutzflächen.

Die gelbe Zone umfasst die Rand- und Umgebungszonen von grösseren Siedlungen und erstreckt sich über weite Teile des Talbodens bis in mittlere Höhenlagen.

An Baumstämmen in der grünen Zone zeigt sich ein vielfältigeres Bild an Flechten als in der gelben Zone. Es gibt hier auch empfindliche Flechtenarten. Die Gesamtbelastung mit Schadstoffen ist in diesen Gebieten klein. In der Talsohle ist 1999 die grüne Zone nur noch in wenig besiedelten Gebieten, wie im Bereich des Naturschutzgebietes Ruggeller Riet oder nordöstlich des Schellenberges zu finden. Weitere grüne Zonen gibt es in mittleren Höhenlagen. Die beste Liechtensteiner Luft von 1999 hat das Gebiet der Mälsner Allmein unterhalb des Fläscherberges.

Die blauen Zonen sind 1999 restlos verschwunden und damit auch die Gebiete mit sehr viel Flechtenbewuchs.

## Wirkungszonen

sehr wenig Flechtenbewuchs  
IAPBR: 0 - 26  
wenig Flechtenbewuchs  
IAPBR: 26 - 53  
mittlerer Flechtenbewuchs  
IAPBR: 53 - 81  
viel Flechtenbewuchs  
IAPBR: 81 - 107  
normaler Flechtenbewuchs  
IAPBR: 107 -

## Immissionszonen

grosse Gesamtbelastung  
relativ grosse Gesamtbelastung  
mittlere Gesamtbelastung  
kleine Gesamtbelastung  
sehr kleine Gesamtbelastung

# Veränderung 1999 - 2009

Die Differenzkarte 2009 stellt die Veränderungen in der Luftgüte von 1999 bis 2009 dar. Verbesserungen werden als blaue oder hellblaue Zonen dargestellt. Die weisse Zone steht für keine wesentliche Veränderung. Verschlechterungen und starke Verschlechterungen zeigen sich hellrot beziehungsweise rot.

Von den fünf möglichen Zonen zeigen sich vier. In der Zeit seit der Jahrtausendwende hat sich keine starke Verbesserung in einem Gebiet mehr eingestellt.

In mehr als Dreiviertel der untersuchten Fläche vollzogen sich in den letzten Jahren Verschlechterungen der Situation.

Starke Verschlechterungen zeigen sich in mehr als einem Viertel des Untersuchungsgebietes. Betroffen sind die Gebiete des Ruggeller Riet, welche an den Rhein angrenzen, die Talsohle zwischen Benden und Schaan entlang dem Rhein, vom Hinterschellenberg über den Schellenberg nach Mauren sowie Hanglagen bei Triesen und Balzers sowie der Mälsner Allmein.

In etwas mehr als der Hälfte der Fläche verschlechterte sich die Lage ebenfalls, jedoch weniger stark. Dies betrifft weite Gebiete der Talsohle sowie das Gebiet rund um Triesenberg.

In den Dorfkernen von Ruggell, Eschen, Planken, Schaan, Vaduz, Triesen und im Gebiet oberhalb von Triesenberg blieb die Situation stabil.

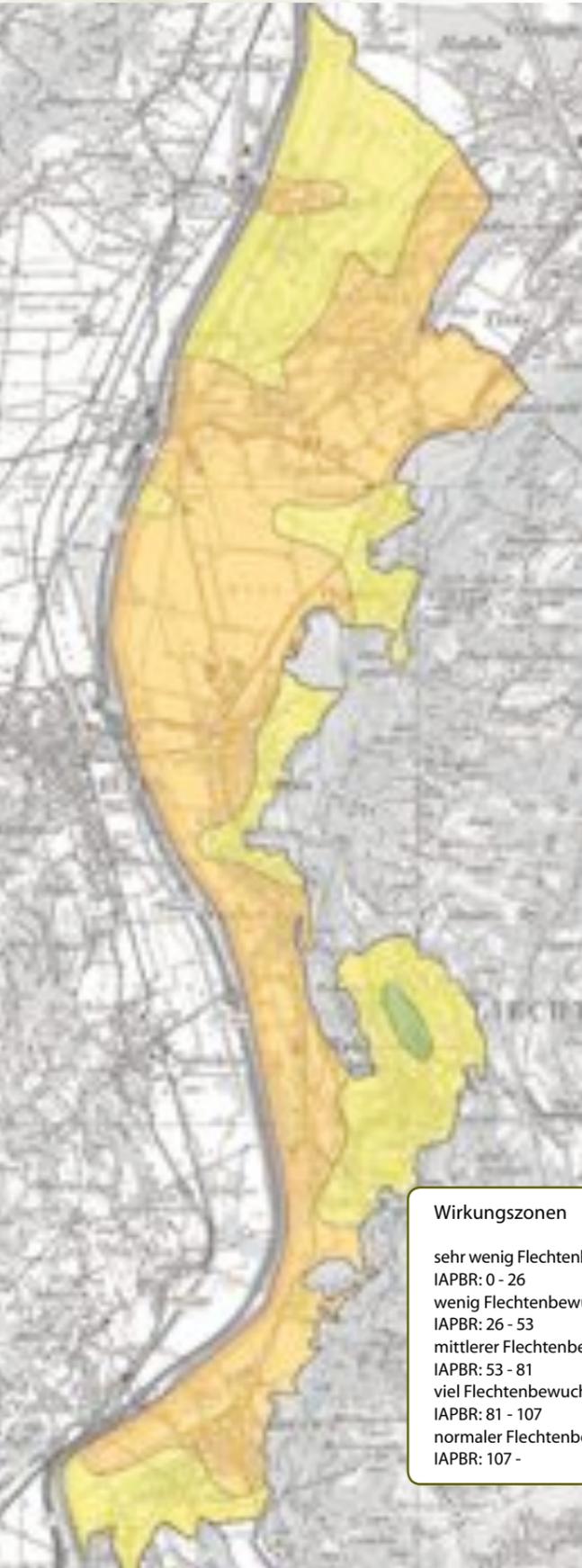
Nur an einem Ort verbesserte sich die Lage, nämlich im Siedlungsgebiet von Schaan, und dies nur sehr lokal.

Die grossflächigen und zum Teil starken Verschlechterungen über das ganze Untersuchungsgebiet hinweg sind sehr auffällig und lassen sich kaum mehr allein mit der Entwicklung der Gesamtbelastung der Luft in Liechtenstein erklären, hat doch die Schadstoffbelastung der Liechtensteiner Luft im vergangenen Jahrzehnt nachweislich abgenommen. Es braucht neue Erklärungen, weshalb die Luftgüte für Flechten trotz weniger Schadstoffen in der Luft abgenommen hat.

## Veränderung der Luftbelastung 1999 - 2009

starke Verbesserung  
IAPBR Differenz: > 20.3  
Verbesserung  
IAPBR Differenz: 6.7 bis 20.3  
keine wesentliche Veränderung  
IAPBR Differenz: 6.7 bis 6.7  
Verschlechterung  
IAPBR Differenz: -20.3 bis 6.7  
starke Verschlechterung  
IAPBR Differenz: > -20.3

# Luftgüte 2009



Wie 1999 kommen auch auf der Karte von 2009 nur drei von fünf möglichen Luftgütezonon vor, nämlich orange, gelb und grün. Die rote Zone mit sehr wenig Flechtenbewuchs sowie die blaue Zone mit normalem Flechtenbewuchs sind nicht mehr vorhanden.

Orange Gebiete bedeuten wenig Flechtenbewuchs. Sie machen die grösste Fläche des Untersuchungsgebietes aus. Beinahe die ganze Talsohle von Liechtenstein sowie ein kleines Gebiet im Kerngebiet von Ruggell sind orange eingefärbt und somit einer relativ grossen Gesamtbelastung ausgesetzt.

Das übrige Gebiet ist mit Ausnahme eines kleinen grünen Gebietes oberhalb von Triesenberg gelb eingefärbt und hat mittleren Flechtenbewuchs. Im Gegensatz zu den Luftgütekarten von 1989 und 1999, wo die gelben Zonen jeweils die grössten Anteile der Untersuchungsfläche bedeckten, belegt nun die orange Zone die meiste Fläche, was einer Verschlechterung entspricht.

In der grünen Zone mit einer kleinen Gesamtbelastung der Luft kommen noch viele Flechten vor. Dies ist nur noch an einem Ort oberhalb von Triesenberg der Fall.

## Vergleich der Luftgüte von 1989 bis 2009

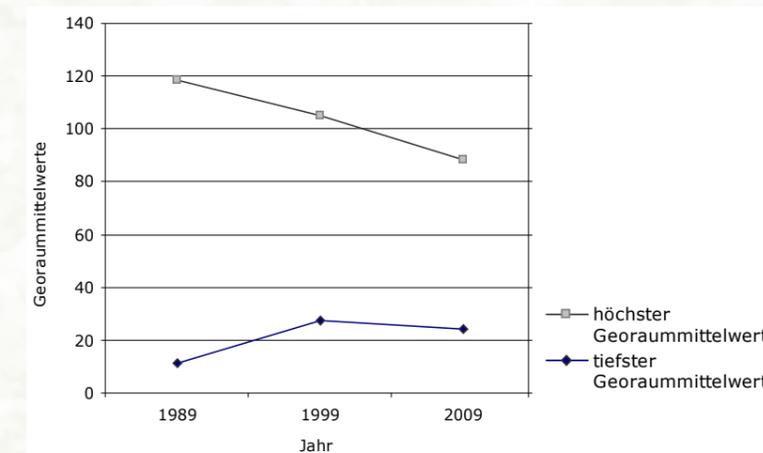
Zone	1989	1999	2009	Differenz von 1989 zu 2009
Flechtenbewuchs	%	%	%	%
sehr wenig (rot)	2	0	0	-2
wenig (orange)	25	21	61	36
mittel (gelb)	54	65	38	-16
viel (grün)	17	14	1	-13
normal (blau)	2	0	0	-2
Total	100	100	100	

Der Vergleich der Flächenanteile von 1989 bis 2009 zeigt, dass ausser der orangen Zone, welche mit 36% stark zugenommen hat, alle anderen Zonen kleiner geworden sind. Am meisten Fläche verloren hat die gelbe Zone (-16% Ausdehnung), gefolgt von der grünen Zone (-13% Ausdehnung).

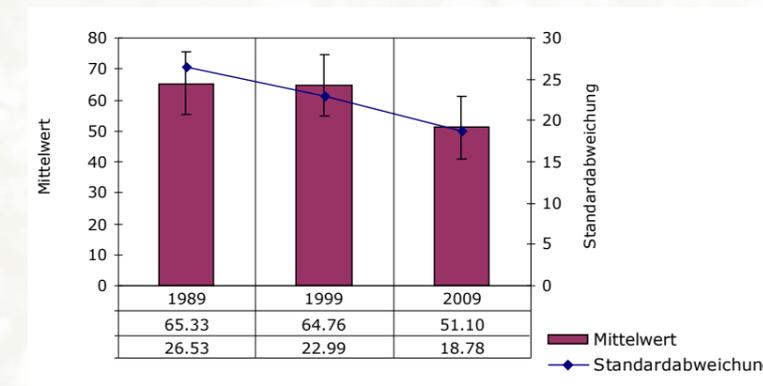
Aus biologischer Sicht ist es bedenklich, dass die blaue Zone mit normalem Flechtenbewuchs verschwunden ist und die grüne Zone mit viel Flechtenbewuchs sich bis auf einen kleinen Rest reduziert hat. In diesen Gebieten befinden sich die Rückzugsorte für empfindlichere und seltene Flechten.

Wirkungszonen	Immissionszonen
sehr wenig Flechtenbewuchs IAPBR: 0 - 26	grosse Gesamtbelastung
wenig Flechtenbewuchs IAPBR: 26 - 53	relativ grosse Gesamtbelastung
mittlerer Flechtenbewuchs IAPBR: 53 - 81	mittlere Gesamtbelastung
viel Flechtenbewuchs IAPBR: 81 - 107	kleine Gesamtbelastung
normaler Flechtenbewuchs IAPBR: 107 -	sehr kleine Gesamtbelastung

1989 betrug der höchste Georaum-Luftgütewert 119 (Definition siehe S. 9), 1999 lag er mit 105 noch über der 100er-Grenze. 2009 beträgt der höchste Wert nur noch 88. Der tiefste Georaum-Luftgütewert im Jahr 1989 war 12, 1999 betrug er 28. 2009 ist der tiefste Wert wieder leicht gesunken und beträgt aktuell 24.



Der Vergleich der zu den drei Untersuchungszeitpunkten gefundenen Luftgüte-Mittelwerte zeigt, dass die Mittelwerte von 1989 und 1999 gleich hoch sind und dass der Mittelwert von 2009 wesentlich tiefer liegt.



Die beiden Darstellungen belegen, dass die Entwicklung in Richtung tieferer Luftgüte geht und dass die Spannweite der gefundenen Werte abnimmt. Es handelt sich um ein grossflächiges Phänomen. Für die Flechten heisst das, dass die Lebensbedingungen sich angleichen, egal ob ihr Trägerbaum in Triesenberg oder im Dorfkern von Ruggell steht. Sie sind vergleichbar hoher Umweltbelastung ausgesetzt.

# Flechten-Acidoindex 2009

Die Artenzusammensetzung von Flechten an einem Baumstamm ist ein Spiegel für die Umweltbedingungen, welche am Standort herrschen.

Basentolerierende Flechten bevorzugen Standorte, an denen ein neutrales Milieu herrscht. Säuretolerierende Arten, wie beispielsweise die Runzelflechte, suchen nach saurer Umgebung. Dominieren an einem Baum die säuretolerierenden Arten, so lässt sich daraus schliessen, dass die umgebende Luft von sauren Immissionen geprägt ist, z.B. Schwefeldioxyde, Stickstoffoxide.

Aus diesen Reaktionsmustern lässt sich aufgrund der vorkommenden Flechtenarten der Acidoindex errechnen. Er ist das Flechtenmass für die Anzeige, ob saure oder basische Einflüsse aus der Luft vorhanden sind. Ist der Acidoindex ausgeglichen, so halten sich saure und basische Belastungen die Waage.

Die Acidoindexkarte zeigt, an welchen Standorten die basentolerierenden Flechtenarten im Verhältnis zu den säuretolerierenden Arten überwiegen. Basisch dominierte Standorte sind blau und grün, säuredominierte rot eingefärbt.

Es fällt auf, dass die blauen und grünen Punkte im Vergleich mit den roten Vierecken viel häufiger sind. Das bedeutet, dass basische Bedingungen in Liechtenstein vorherrschen. Betrachtet man die Situation genauer, fällt auf, dass im Süden von Liechtenstein viele basische Standorte sind und dass die sauer geprägten Standorte im Norden von Liechtenstein liegen. Ausnahme bildet ein hochmontaner Standort in Lavadina oberhalb Triesenberg.

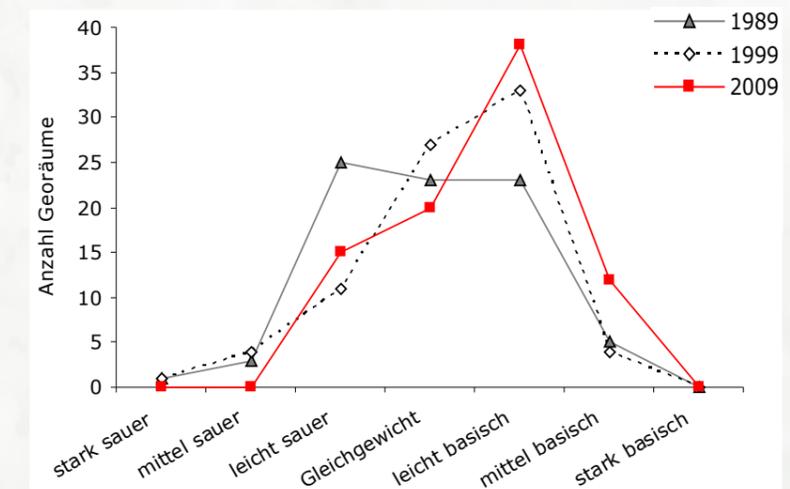
Das war nicht immer so. 1989 kamen die basischen nicht häufiger als die sauer geprägten Standorte vor. Diese waren noch über das ganze Land verteilt und kamen auch im Süden vor, z.B. am Fläscher Berg. 1999 liess sich beobachten, dass die säureliebenden Arten im Süden selten geworden sind, jedoch im Norden von Liechtenstein noch häufig vorkommen. 2009 fällt auf, dass nur noch wenige Standorte sauer sind. Sie liegen auf der Achse Ruggeller Riet nach Planken im Norden von Liechtenstein. Der basische Einfluss ist nicht lokal, er breitet sich seit 20 Jahren vom Süden her nach Norden aus. Es handelt sich hier um ein überregionales Phänomen. Die Ausbreitung von basischen Standorten kann auch in einigen Gebieten der Schweiz beobachtet werden, z.B. Kanton Zug.

- Acidoindex
- mittlere basische Belastung
  - leicht basische Belastung
  - Gleichgewicht
  - leicht saure Belastung

Die Abbildung mit den Verteilungen in den Jahren 1989, 1999 und 2009 zeigt, dass 1989 die mittel sauren Verhältnisse leicht dominierten. 1999 hatte sich die Situation bereits zugunsten der basisch geprägten Einflüsse verändert.

Die Kurve von 1999 belegt, dass die leicht basischen Standorte am häufigsten und das „Gleichgewicht zwischen basischen und sauren Einflüssen“ am zweithäufigsten waren. Eine weitere Verschiebung in Richtung eindeutig basisch geprägter Standorte erfolgte in den letzten 10 Jahren.

Die Kurve von 2009 zeigt, dass Standorte, welche stark und leicht sauren Einflüssen ausgesetzt waren, ganz verschwunden sind. Zugunommen haben hingegen die leicht und mittel basischen sowie die leicht sauren Verhältnisse.



In der Botanik kennt man die Gesetzmässigkeit der zonalen Vegetation. Damit bezeichnet man die für ein Grossklima typischen Pflanzengesellschaften. Der „Acidoindex im Gleichgewicht“ entspricht der dem Klima von Liechtenstein angepassten Flechtensammensetzung. Die einseitige Verschiebung des Acidoindex in Richtung basische Verhältnisse könnte eine Anzeige für klimatische Veränderungen in Liechtenstein sein und somit ein Hinweis für den Klimawandel seit 1989.

Die Runzelflechte verdankt ihren Namen den Rillen auf den Blättchen. Sie ist säuretolerant.



Die Kreisflechte ist basen- und toxischolerant. Sie gehört zu den häufigsten Flechten in Liechtenstein.

# Flechten – Von Vielfalt zu Einfalt?

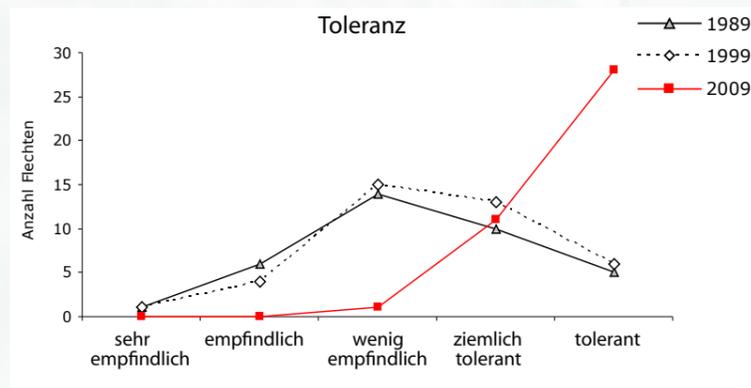
Die Messgrösse für die Bioindikation der Luftverschmutzung ist der Luftgütwert. Um den Luftgütwert zu berechnen, werden Anzahl und die Auftretenshäufigkeit (Frequenzen) der verschiedenen Flechtenarten gezählt. Dies sind gleichzeitig auch Schlüsselgrössen zur Bestimmung der Flechtenvielfalt oder der Biodiversität.

Die Anzahl der gefundenen Arten ist seit 1989 gleich hoch geblieben. Verändert hingegen hat sich die Auftretenshäufigkeit der Flechten. Zwei Drittel der Flechten kommen weniger häufig vor als noch vor 10 Jahren.

Die verschiedenen Flechtenarten reagieren unterschiedlich empfindlich auf die Verschlechterung der Lebensbedingungen. Toxitolerante Flechten widerstehen Schadstoffen besser als empfindliche Arten. In einem Gebiet mit viel Luftverschmutzung sind empfindliche Flechten deshalb weniger häufig als unempfindliche. Im Gegensatz zur Periode von 1989 bis 1999, in welcher Zu- und Abnahme der Häufigkeiten von Flechtenarten im Gleichgewicht war, verläuft die Entwicklung von 1999 bis 2009 einseitig. Die empfindlichen Flechtenarten nehmen stärker ab als die unempfindlichen.

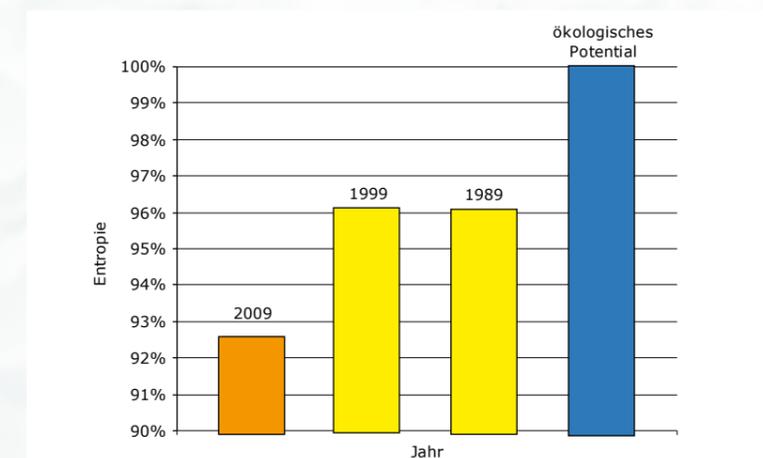
Das Mass zur Bewertung der Empfindlichkeit auf Luftverschmutzung ist die Toxitolanz, welche als mittlere Begleitartenzahl einer Flechte gemessen wird.

Dass die toleranten Flechten einseitig zugenommen haben, belegt auch die Abbildung mit den Verteilungen der Toleranzen von 1989, 1999 und 2009 eindrücklich. 1989 und 1999 waren die meisten Flechtenarten noch als wenig empfindlich einzustufen. 2009 sind die toleranten und somit die unempfindlichen Flechten am häufigsten. Sehr empfindliche und empfindliche Flechtenarten gibt es keine mehr.



Die Abbildung zeigt wie sich die mittlere Begleitartenzahlen von 1989 bis 2009 entwickelt haben. Die Verteilungen von 1989 und 1999 sind ähnlich. Im Vergleich dazu hat sich die Verteilung von 2009 stark verändert und ist einseitig geworden.

Die Vielfalt ist das Ergebnis des Belastungsdrucks auf den Lebensraum. In der unbelasteten blauen Zone finden wir eine grosse Vielfalt an Flechten an einem Ort. Sie führt uns den grösstmöglichen Flechtenreichtum und damit das ökologische Potential eines Gebietes vor Augen. Empfindliche wie unempfindliche Flechten sind häufig und finden sich nebeneinander am gleichen Baumstamm. Belastungen, wie sie in der roten und der orangen Zone vorherrschen, werden nur von wenigen Flechtenarten ertragen. So ergibt sich die kleine Artenzahl mit wenig Auftretenshäufigkeit in belasteten Gebieten. Die Vielfalt gemessen am maximalen Potential ist reduziert, wie auch die Abbildung mit dem Entropievergleich von 1989, 1999 und 2009 wiedergibt. Entropie ist das Mass für die Informationsdichte eines Systems. Je höher die Informationsdichte, desto grösser ist die Flechtenvielfalt.



Die Abbildung zeigt, dass die Vielfalt von 2009 kleiner ist als 1989 und 1999.

Seit dem Frühjahr 1993 existiert ein Liechtensteiner Flechtenherbar, welches Bestandteil der Naturkundlichen Sammlung ist. Die Flechtensammlung wurde vom Umweltbüro puls im Auftrag des Landesforstamtes erstellt. Sie dokumentiert eine kleine Auswahl von 129 Arten, welche eine besondere Bedeutung für die Menschen besitzen. Die Sammlung umfasst neben baumbewohnenden, auch boden- und steinbewohnende Flechten.

# Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- In mehr als drei Viertel der untersuchten Landesfläche ist der Luftgütwert seit 1989 und 1999 nachweislich gesunken.
- Die orange Zone nimmt die grösste Fläche auf der Luftgütekarte ein, sie hat seit 1999 stark zugenommen. Orange Gebiete zeigen eine relativ grosse Gesamtbelastung an.
- Die grüne Zone ist auf einen kleinen Rest oberhalb von Triesenberg zusammengeschrumpft.
- Die Artenzahlen sind seit 1989 gleich hoch. Die Artenvielfalt ist in den letzten 10 Jahren zurückgegangen.
- Empfindliche Flechten haben Unempfindlichen Platz gemacht.
- Im Vergleich zu 1989 herrschen 2009 basische Verhältnisse vor. Die Veränderungen des Acidindex weisen auf ein überregionales Phänomen hin.

Technische Messungen in Liechtenstein zeigen, dass die Schadstoffimmissionen der wichtigsten Substanzen zurückgegangen sind, bzw. seit 2000 stagnieren. Aufgrund der technisch überwachten Schadstoffe lässt sich die Verschlechterung des Zustandes der Flechten nicht erklären. Als mögliche Gründe könnten mehrere Auslöser zusammen kommen:

- Wie Messungen der Ammoniakimmissionen zeigen, ist die Ammoniakbelastung in Liechtenstein seit Jahren so hoch, dass sie über dem kritischen Level für Flechten liegt. Ihr Einfluss ist langandauernd und basisch. Empfindliche Flechten verschwinden.
- Die steigenden mittleren Temperaturen einhergehend mit verminderten Niederschlägen verändern das Klima in Liechtenstein grossräumig und rasch. Nur noch unempfindliche Flechten können überleben. Sie haben breitere ökologische Toleranzspektren.
- Zum Anpassungsdruck an die neuen klimatischen Bedingungen kamen in den letzten Jahren Extremereignisse mit stark erhöhten Schadstoffkonzentrationen dazu. Im 2003 war die Ozonbelastung aufgrund des trockenen, warmen und sonnigen Sommers äusserst hoch. Zu Spitzenbelastungen kam es ebenfalls im Sommer 2006. Weitere Extremsituationen ergaben sich im Winter 2005/2006: Eine hartnäckige und langandauernde Inversionslage brachte eine grosse Anreicherung von Schadstoffen wie Stickoxide und Feinstaub mit sich.

Die direkte Abhängigkeit der Flechten von der Luftqualität und die schnelle, sichtbare Reaktion auf Veränderungen am Standort ermöglichen Früherkennung und hochpräzise Erfassung der Gesamtbelastung der Luft.

# Ausblick

Die Veränderungen in Richtung mehr basentolerierende Arten und Ausdehnung der Belastungen in ländliche Zonen werden schon seit längerer Zeit beobachtet (Peter 2004). Sie haben das Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU) dazu veranlasst, die Ursachen zu untersuchen. Seit 2007 forschen die an der Liechtensteiner Untersuchung beteiligten Personen zusammen mit der Universität Basel über Zusammenhänge zwischen Schadstoffkonzentrationen, Flechten und zeitlichen Entwicklungen. Bisherige Ergebnisse zeigen einen Zusammenhang zwischen der Zusammensetzung von Flechtenarten mit Stickstoffbelastungen in der Luft wie z.B. Ammoniak und mit der zeitlichen Entwicklung der Schadstoffgemische. Aktuell ist der Fokus der Untersuchungen auf Flechtenvielfalt und Klimafaktoren erweitert worden.

## Quellenverzeichnis

Amt für Umweltschutz, Vaduz. Ammoniak-Immissionsmessungen in FL; Messberichte 2008 und 2009

Amt für Umweltschutz, Vaduz. Massnahmenplan Luft des Fürstentums Liechtenstein, September 2007

> evaluationen et al. 2011. Dritterhebung der Luftqualität mit Flechten in Liechtenstein, Projektbericht zuhanden des Amtes für Umweltschutz des Fürstentums Liechtenstein

Peter K., Urech M. Frühwarnsysteme - Flechten wachsen in sauberer Luft; Umwelt Fokus Aug 04, S. 38ff

puls 2000. Erhebung der Immissionsbelastung im Fürstentum Liechtenstein – Zweiterhebung, Projektbericht zuhanden des Amtes für Umweltschutz des Fürstentums Liechtenstein

puls 1993. Flechtenherbar der Naturkundlichen Sammlung FL im Auftrag des Landesforstamtes des Fürstentums Liechtenstein

puls 1991. Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten im Fürstentum Liechtenstein, Schlussbericht

Thöni L., Peter K., Hertz J., Bächtold H.: Ökologische Planung Bündner Rheintal, ORL-Bericht 76/1990, Immissionssituation Luft, vdf Zürich 1990

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