

Spiegelt der VDI-Luftgüteindex die Schadstoff-Belastung durch NO₂ und SO₂ wider?

Judith SCHUMACHER, Anne-Maike JANSSEN & Jan-Peter FRAHM

Zusammenfassung: SCHUMACHER, J., JANSSEN, A.-M. & FRAHM, J.-P. 2006. Spiegelt der VDI-Luftgüteindex die Schadstoffbelastung durch NO₂ und SO₂ wider? – Herzogia 19: 205–213.

Die 1995 in Kraft getretene VDI Richtlinie 3799 Blatt 1 zeigte in ihren Ergebnissen eine direkte Korrelation zu den SO₂-Emissionen. Im Jahre 2005 wurde die Richtlinie 3957 (13) eingeführt. Die neue Richtlinie berücksichtigt die veränderte Zusammensetzung der Luftschadstoffe, in der Schwefeldioxid nur noch eine geringe Rolle spielt aber Stickstoffverbindungen immer mehr an Bedeutung gewinnen. Dabei werden nitrophytische Flechten von den übrigen Flechtenarten getrennt aufgenommen. In dieser Studie wurden nach dieser Methode Erhebungen an 11 über Nordrhein-Westfalen verteilten Luftmessstationen durchgeführt und die errechneten Diversitätswerte der beiden Flechtengruppen mit den gemessenen NO₂- und SO₂-Daten der Stationen verglichen. Es ergab sich eine negative Korrelation zwischen Eutrophierungszeigern und der Schwefeldioxidbelastung, jedoch keine Korrelation zwischen den Eutrophierungszeigern und NO₂, da Stickstoffdioxid (im Gegensatz zu Nitraten, Ammonium und Ammoniak) offenbar keine direkte Wirkung auf Flechten hat.

Abstract: SCHUMACHER, J., JANSSEN, A.-M. & FRAHM, J.-P. 2006. Does the VDI-air quality index reflect the air pollutant by NO₂ and SO₂? – Herzogia 19: 205–213.

The VDI guideline 3799 (1) was introduced in 1995. Their results showed direct correlation with SO₂-emissions. In 2005, the new guideline 3957 (13) was introduced. The new guideline takes into account the growing impact of nitrogen derivatives as air pollutants. As a consequence, nitrophytic lichens, which are favoured by an increase in air nitrogen, are now monitored separately. From the data collected a diversity index is generated for the nitrophytic species as well as for the others. In this study, the diversity indices of the lichen flora growing around environmental control stations is compared to the mean annual values of NO₂- and SO₂-data. However, a correlation between the diversity index of the nitrophytic lichens and NO₂ could not be proved for NO₂, since nitrogen dioxide apparently has no direct effect on lichens. A negative correlation exists between the SO₂-emissions and eutrophic lichens.

Key words: Nitrophytic lichens, epiphytes, bioindication, air quality.

Einleitung

Die Zonierung von Flechtenarten in und um Städte war schon vor mehr als 100 Jahren aufgefallen (Grindon 1865 nach JAMES 1973, NYLANDER 1866, ARNOLD 1892). Sie beruhte auf der empirischen Feststellung von unterschiedlich empfindlichen Arten, welche auch heute noch Grundlage der Bioindikation mit Flechten ist. Schon damals ging man davon aus, dass die „Luftgüte“ diese Zonierung bedingt.

Diese Erkenntnis fand zu Zeiten der höchsten Schadstoffbelastung der Luft in den Sechziger, Siebziger und Achtziger Jahren des 20. Jahrhunderts eine reiche Anwendung in auf Flechten basierenden Luftgütekartierungen. Damals haben diverse Autoren verschiedene Methoden zur Berechnung von Luftgüteindices entwickelt. Diese beruhten auf der unterschiedlichsten

Verrechnung von Artenzahl, Bedeckung, Frequenz oder Toxitoleranz an Trägerbäumen innerhalb eines Rasters. Der Nachteil war, dass die aus diesen Studien gewonnenen Ergebnisse untereinander nicht vergleichbar waren. Um die Vergleichbarkeit von Luftgütekartierungen zu gewährleisten, gründete die Kommission zur Reinhaltung der Luft im Verein deutscher Ingenieure (VDI) die Arbeitsgruppe „Wirkungsfeststellung an Niederen Pflanzen“, die eine standardisierte Methode entwickelte, welche im Jahre 1995 als VDI-Richtlinie 3799 Blatt 1 in Kraft trat (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1995). In dieser Richtlinie wurden die Artenzahlen und Frequenzen der Flechtenarten in einem Probegitter mit 10 Feldern zur Berechnung der „Luftgüte“ genutzt.

Dabei sollte der Anspruch erfüllt werden, nicht nur Flechtenzonierungen zu erfassen, sondern die unterschiedliche Belastung der Luft mit Schadstoffen widerzuspiegeln. Da in dieser Zeit Schwefeldioxid die wesentlichste Komponente der Luftverschmutzung war, suchte man nach einer Methode, welche die unterschiedliche Belastung mit SO_2 reflektierte. Diese fand man in den Untersuchungen von HERZIG et al. (1987) in der Schweiz. Wie eigentlich erst später klar wurde, beruhte diese Methode auf der abgestuften Säuretoleranz von bestimmten, damals dominierend vorkommenden Flechtenarten. Je größer die SO_2 -Belastung war, desto weniger Arten tolerierten die Säurewirkung und um so geringer wurde die Frequenz der Arten im Messgitter. Bessere Luftverhältnisse bedeuteten damals, es kommen mehr (aber immer noch acidophytische) Arten vor, die insgesamt eine höhere Frequenz erreichen. Später wurde der Zusammenhang zwischen Flechtenindices und SO_2 -Emissionen noch einmal in Belgien durch GEBELEN & HOFFMANN (2001) bestätigt. Erst die Reduktionen der SO_2 -Emissionen auf ein Fünftel der früheren Konzentrationen gegen Ende der Neunziger Jahre offenbarte, dass der einfache aber überzeugende Zusammenhang zwischen Zahl und Menge Flechtenarten nicht mehr funktionierte, weil er sich einseitig auf die Säurewirkung bezog. Die Zunahme von jetzt nitrophytischen Flechtenarten führte dazu, dass z. B. in durch Landwirtschaft oder Verkehr stark belasteten Gebieten nach dieser Methode sehr hohe Luftgüteindices errechnet wurden. Dieser veränderten Situation wurde in der neuen Richtlinie 3957 Blatt 13 Rechnung getragen, indem man die Nitrophyten und übrigen Flechten (in denen die Acidophyten einen großen Anteil haben) nun getrennt aufnahm und verrechnete, wobei man jetzt (wie in der alten Richtlinie) eine Beurteilung saurer Emissionen über die Gruppe der übrigen Flechten und (jetzt zusätzlich) eine Einschätzung des Einflusses des Luftstickstoffs über die Nitrophyten bekommt. Damit scheint die neue Richtlinie perfekt an die gewandelte lufthygienische Situation angepasst.

Im Gegensatz zur alten Richtlinie, für die eine direkte Korrelation der Ergebnisse mit den Messwerten von Schwefeldioxid aus der Schweiz (HERZIG et al. 1987) vorlag, ist jedoch für die neue Richtlinie der Nachweis nicht erbracht. Leider war es weder dem Bundesumweltamt noch dem VDI möglich, diese notwendigen, die Aussagekraft und die Grenzen der neuen VDI-Richtlinie bestimmenden Untersuchungen durchführen zu lassen. Daher wurden im Sommer 2005 eine auf Nordrhein-Westfalen beschränkte, stichprobenartige Untersuchungen von der Universität Bonn durchgeführt. Dabei sollten Flechtenkartierungen nach der neuen VDI-Richtlinie in unmittelbarer Umgebung der Luftmessstationen des Landes Nordrhein-Westfalen durchgeführt und die Ergebnisse mit den Messwerten für Luftschadstoffe verglichen werden.

Methoden

Im Juli 2005 wurden im Umkreis von 1 km² um ausgewählte Luftmessstationen des Landesumweltamtes (LUA) des Landes Nordrhein-Westfalen Flechten nach den Vorgaben der VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13 kartiert. An diesen Messstationen werden unter anderem der NO_2 - und

der SO₂-Anteil der Luft erfasst und als Jahresmittelwerte und maximale 1-h-Werte im Internet zur Verfügung gestellt (Tab. 1). Die Messwerte stammen aus dem Jahre 2004.

Um ein möglichst breites Spektrum an Gebieten mit unterschiedlicher Luftbelastung abzudecken, wurden 15 Stationen in durch Verkehr, Landwirtschaft und Industrie verschieden stark belasteten Gebieten anhand der gemessenen Schadstoffwerte ausgewählt (Tab. 1). Zur Lage der Stationen siehe Abb. 1. Die jährliche durchschnittliche Schwefeldioxidbelastung schwankte um das Achtfache und lag dabei an den untersuchten Standorten zwischen 17 µg/m³ in Industrienähe (Duisburg-Bruckhausen, Bottrop-Welheim) und 2 µg/m³ in Borken-Gemen. Die meisten Stationen (auch im Stadtinneren) weisen Werte zwischen 4 und 8 µg/m³ auf. Die Stickstoffdioxidwerte schwanken nur um das Zweieinhalbfache und liegen zwischen 19 µg/m³ (in Borken Gemmen) und 46 µg/m³ in Essen-Ost. Hinsichtlich der Stickstoff-Emissionen liegen leider in Deutschland (im Gegensatz z. B. zu den Niederlanden) nur Messungen von Stickoxiden vor, wobei der Stickstoff in dieser Form keine große Relevanz für die Stickstoffversorgung von Flechten hat. Weitaus relevanter sind Ammoniak (NH₃) bzw. Ammonium (NH₄⁺), Nassdepositionen von Stickoxiden in Form von Nitrat oder Verbindungen beider in Form von Ammoniumnitrat (FRANZEN-REUTER 2004), für die aber keine Messwerte vorhanden sind.

An den drei Waldstationen (Simmerath, Eifel; Hilchenbach, Rothaargebirge; Veldrom, Eggegebirge) konnten keine Daten erhoben werden, da die vorhandenen Bäume nicht die Vorgaben der VDI-Richtlinie erfüllten. Die Daten aus Bonn-Auerberg wurden aufgrund fehlender SO₂-Messdaten nicht verwendet.

In der Umgebung jeder Luftmessstation wurde an sechs Bäumen mit Stammumfängen zwischen 70 und 180 cm, oberhalb 1 m Höhe in jeder Himmelsrichtung ein VDI-Aufnahmegitter mit fünf 100 cm² großen Teilquadraten angebracht, und die Frequenz der darin vorhandenen Flechten bestimmt. Flechten die vor Ort nicht bestimmt werden konnten, wurden zur Nachbestimmung herbarisiert. Um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen wurden nur *Acer platanoides* und *A. pseudoplatanus* als Trägerbäume ausgewählt. Außerdem wurden die Verkehrsbelastung und die landwirtschaftliche Nutzung wie im Aufnahmebogen des VDI vorgesehen in Kategorien von 1–3 (zunehmend) eingeschätzt.

Aus den aufgenommenen Daten wurden nach den VDI-Vorgaben die Flechtenzeigerwerte ermittelt und diese mit den Messdaten an den Luftmessstationen verglichen. Dazu wurden Korrelationsanalysen mit dem Computerprogramm STATISTICA® erstellt.

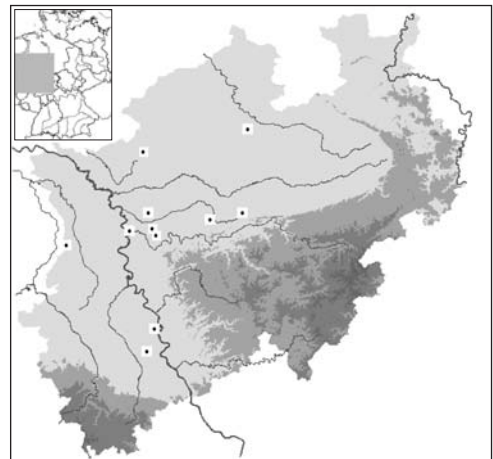


Abb. 1: Lage der Luftmessstationen in Nordrhein-Westfalen, an denen die Untersuchungen nach VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13 durchgeführt wurden.

Tab. 1: Immissionswerte des Jahres 2004 an den Luftmessstationen des Landesumweltamtes NRW, an denen die epiphytischen Flechten nach VDI-Richtlinie durchgeführt wurden. (Quelle: Landesumweltamt NRW, www.lua.nrw.de).

Station	Stickstoffdioxid		Schwefeldioxid	
	Jahresmittelwert [µg/m ³]	max. 1h-Wert [µg/m ³]	Jahresmittelwert [µg/m ³]	max. 1h-Wert [µg/m ³]
Borken-Gemen	19,00	82,00	2,00	58,00
Bottrop-Welheim	33,00	140,00	17,00	400,00
Dortmund-Eving	35,00	191,00	6,00	245,00
Duisburg-Bruckhausen	40,00	157,00	17,00	431,00
Essen-Ost	46,00	147,00	7,00	82,00
Essen-Vogelheim	31,00	200,00	8,00	127,00
Hürth	28,00	89,00	4,00	62,00
Köln-Rodenkirchen	33,00	161,00	5,00	66,00
Münster-Friesenring	34,00	117,00	5,00	73,00
Nettetal-Kaldenkirchen	25,00	149,00	4,00	64,00
Unna-Königsborn	28,00	100,00	4,00	50,00

Ergebnisse

An den 11 Stationen variierten sowohl die Artenzahlen als auch die VDI-Diversitätszeigerwerte erheblich (Tab. 2). Die an der VDI-Bewertungsmatrix abgelesenen Werte ergaben für alle Stationen geringe oder mittlere „Luftgüten“ mit sehr geringem bis sehr starkem Einfluss eutrophierender Verbindungen. Der höchste Eutrophierungszeigerwert wurde in Borken-Gemen mit 53,33 bestimmt (der Luftmessstation mit den am geringsten SO₂ und NO₂-Werten). Der niedrigste Eutrophierungszeigerwert von 7,5 wurde in Bottrop gefunden, wo die höchsten SO₂-Werte vorlagen. Die Korrelation der Flechten-Diversitätswerte mit den Jahresmittelwerten von SO₂ und NO₂ ergaben folgendes:

- a Bei dem Abgleich von **SO₂-Werten mit dem Diversitätswert der übrigen Arten** ergab sich überraschenderweise keine Korrelation ($r=-.3624$). Die Stationen mit den höchsten Werten (Bottrop, Duisburg) weisen nur mittlere Diversitätswerte der in dieser Gruppe zusammengefassten Acidophyten und Neutrophyten auf. Die Station mit dem geringsten SO₂-Wert (Borken) hat den zweithöchsten Index. Die Station mit dem höchsten Index (Nettetal) hat den zweitniedrigsten SO₂-Jahreswert.
- b Bei dem Vergleich von **NO₂-Werten mit den Diversitätswerten der Eutrophierungszeiger** ergibt sich auch keine signifikante Korrelation ($r=-.4904$). Die Station mit den höchsten NO₂-Jahres-Werten (Essen-Ost) hat einen hohen Diversitätswert. Den höchsten haben aber Nettetal und Borken, landwirtschaftliche Gebiete, welche mit die geringsten NO₂-Werte aufweisen.
- c Bei dem Vergleich von **SO₂ mit den Diversitätswerten der Eutrophierungszeiger** ergab sich eine schwache Korrelation von $r=-.6911$. Die Station mit dem höchsten SO₂-Werten (Bottrop) hat den geringsten Diversitätswert der Eutrophierungszeiger. Die Stationen mit dem geringsten SO₂-Jahresmittelwert (Borken, Unna, Nettetal) haben die höchsten Diversitätswerte. Das reflektiert die Tatsache, dass die landwirtschaftlichen Bereiche die geringsten SO₂-Werte aufweisen und die industriell beeinflussten Gebiete an sich geringe Diversitätswerte haben. Generell ist es jedoch so, dass die Diversitätswerte der

Tab. 2: Ergebnisse der Untersuchung nach VDI-Richtlinie.

Station	Diversitätswert		Luftgütekategorie		Artenzahlen
	Eutrophierungszeiger	Übrige	nach VDI	Übrige	Eutrophierungszeiger
Borken-Gemen	53,33	20,00	2,5	7	7
Bottrop-Welheim	7,50	13,83	2,1	7	2
Dortmund-Eving	25,67	7,50	3,3	9	6
Duisburg-Bruckhausen	17,67	7,00	3,2	6	5
Essen-Ost	33,83	18,17	3,4	11	6
Essen-Vogelheim	16,50	13,67	3,2	7	4
Hürth	18,67	7,50	3,2	6	6
Köln-Rodenkirchen	24,50	10,83	3,3	9	4
Münster-Friesenring	22,83	14,83	3,30	8	7
Nettetal-Kaldenkirchen	42,83	21,83	2,5	13	7
Unna-Königsborn	41,83	14,00	2,5	11	7

Eutrophierungszeiger an allen Stationen heute höher liegen als Diversitätswerte der übrigen Arten. Einzige Ausnahme ist Bottrop-Welheim, wo die Acidophyten dominieren.

- d Ein Vergleich von **NO₂ mit dem Diversitätsindex der übrigen Arten** ergab erwartungsgemäß keine Korrelation ($r=-.3396$).

Bei den Korrelationen der Diversitätswerte mit den Tageshöchstmengen an SO₂ und NO₂ ergibt sich folgendes: Bei der Korrelation der Acidophyten und Neutrophyten („Übrige“ der Richtlinie) mit SO₂ ergibt sich eine deutliche höhere, aber nicht signifikante Korrelation ($r=-.4648$). Das zeigt, dass die Flechten wesentlich mehr von den Höchstwerten als den Mittelwerten beeinflusst werden. Hier zeigt sich die Wirkung von SO₂ als physiologischer Schadstoff. Bei NO₂ in den vorliegenden Konzentrationen handelt es sich hingegen nicht um einen direkten Schadstoff, so dass die maximalen Tageswerte bei den Korrelationen geringere r-Werte ergeben.

Die absoluten Diversitätswerte der Stationen korrelieren negativ mit den gemessenen SO₂-Werten ($r=-0,67$, $p=0,026$). Bemerkenswert ist jedoch, dass dies nur für die Diversitätswerte der Eutrophierungszeiger ($r=-0,80$, $p=0,003$) gilt, nicht jedoch für die der Nicht-Eutrophierungszeiger ($r=-0,41$, $p=0,211$). Derselbe Zusammenhang spiegelt sich in den VDI-Diversitätswerten wider (Eutrophierungszeiger: $r=-0,69$, $p=0,019$ (Abb. 3), übrige Arten: $r=-0,36$, $p=0,273$). Unter Ausschluss der landwirtschaftlich stark beeinflussten Gebiete (Borken-Gemen, Nettetal-Kaldenkirchen), die sehr niedrige SO₂-Werte, aber hohe Eutrophierungswerte aufweisen, ist dieser Zusammenhang immer noch erkennbar, jedoch nicht mehr signifikant ($r=-0,63$, $p=0,067$).

Die gemessenen NO₂-Daten hingegen korrelierten weder mit dem Eutrophierungs-, noch mit dem „Übrige“-Diversitätswert, noch mit den absoluten Diversitätswerten ($r=-0,49$, $p=0,130$ (Abb. 2); $r=-0,34$, $p=0,305$; $r=-0,14$, $p=0,702$). Auch der Vergleich stationsbezogener Frequenzen einzelner Flechten mit den NO₂-Emissionen ergab nur bei *Xanthoria candelaria* ($r=-0,66$, $p=0,028$) und *Xanthoria parietina* ($r=-0,70$, $p=0,018$) signifikante Zusammenhänge.

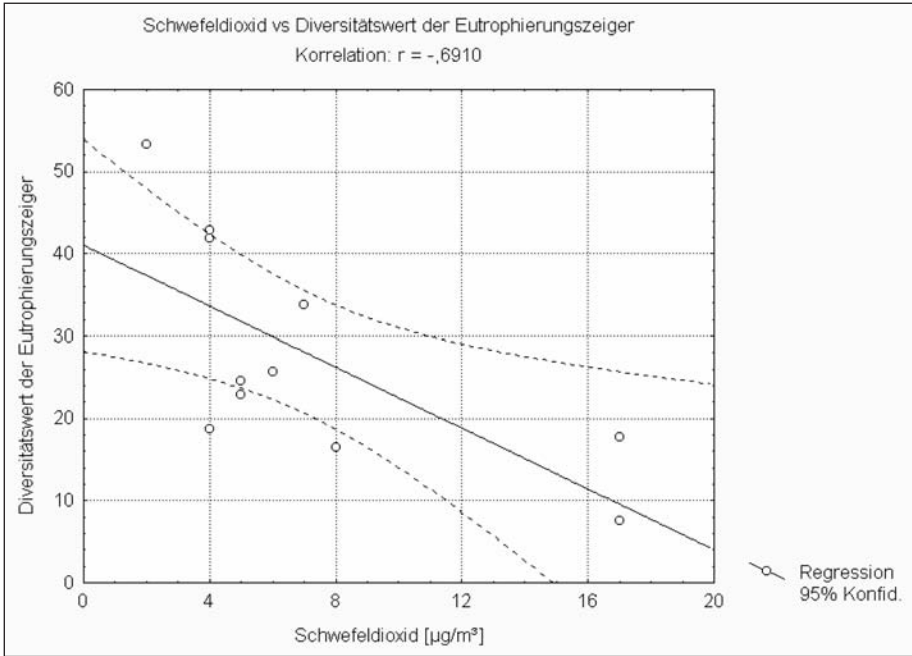


Abb. 2: Zusammenhang zwischen dem SO_2 -Jahresmittelwert und dem Flechtendiversitätswert der Eutrophierungszeiger.

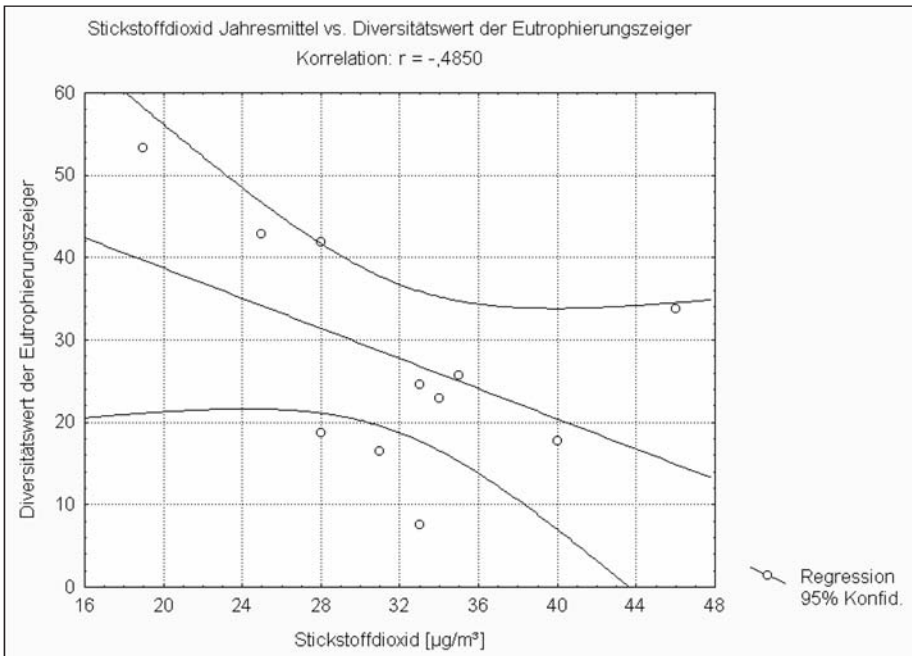


Abb. 3: Zusammenhang zwischen dem NO_2 -Jahresmittelwert und dem Flechtendiversitätswert der Eutrophierungszeiger.

Diskussion

Ein Zusammenhang zwischen den Diversitätswerten nach der VDI-Richtlinie und der tatsächlichen Belastung der Luft durch NO₂ konnte mit dieser Studie nicht nachgewiesen werden. Weder die Diversitätswerte der Eutrophierer, noch die der übrigen Arten zeigten signifikante Reaktionen auf unterschiedliche NO₂-Konzentrationen. Das besagt nicht, dass Stickstoff keinen Einfluss auf die eutraphenten Flechten hat, sondern nur, dass Stickstoff in Form von NO₂ keinen Einfluss hat, weil er in dieser Form für die Aufnahme von Pflanzen nicht relevant ist. Ein Grund hierfür ist, dass die Flechten Stickstoff vermutlich kaum als NO₂ (SØCHTING 1995), sondern in Form von NH₃, bzw. NH₄⁺ aufnehmen (FRANZEN-REUTER 2004). Zu ähnlichen Schlüssen kamen VORBECK & WINDISCH (2002) im Rahmen einer Flechtenkartierung von München. Dabei hatten sie auch den Zusammenhang zwischen Flechten und Verkehr untersucht. Auch dort wurde davon ausgegangen, dass Stickoxide offensichtlich eine geringe Rolle für die Veränderung des Flechtenbewuchses spielen, da sie sich in der Luft leicht ausbreiten, aber schon weniger als 50 m von Hauptstraßen entfernt kein Verkehrsbezug bei den Flechten mehr feststellbar war.

Den Einfluss der regionalen Stickstoffdepositionen auf die Epiphytenflora hatte bereits FRANZEN-REUTER (2004) untersucht. Dabei erfolgte eine Erfassung der Epiphytenflora in der Umgebung von sieben über ganz Nordrhein-Westfalen verteilte Messstationen der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten (LÖBF). In unterschiedlichen Höhenlagen (35–670 m ü. M.) wurden dort Gesamtstickstoffdepositionen zwischen 8 und 16 kg/ha/Jahr gemessen. In der Umgebung dieser Messstationen wurden die epiphytischen Flechten und Moose nach den VDI-Richtlinien 3799/1 als auch 3957/13 erfasst. Es ergab sich bei Zunahme der Stickstoffeinträge eine Zunahme der Eutrophierungszeiger (besonders *Phaeophyscia orbicularis*) und – wie in der vorliegenden Studie – eine negative Korrelation mit den übrigen Arten (z. B. *Lepraria incana*, *Parmelia sulcata*, *Hypogymnia physodes*).

Insofern sind NO₂-Messwerte für die die Ermittlung von Stickstoffwirkungen auf Epiphyten pflanzliche Bioindikation offenbar nicht sehr relevant. Das könnte nicht nur für Flechten und Moose sondern auch für den pflanzenverwertbaren Stickstoffeintrag in Ökosysteme gelten. Eine Beziehung ließe sich nur nachweisen, wenn man statt NO₂ Nitrat und Ammonium im Regenwasser oder Ammoniak in der Luft messen würde, was jedoch in Deutschland nicht der Fall ist.

Messungen an stark befahrenen Straßen haben in Schottland gezeigt, dass auf Grund einer unvollständigen Verbrennung von Treibstoff in Katalysatoren ein Großteil des Stickstoffes nicht als NO₂, sondern als NH₃ ausgestoßen wird (CAPE et. al. 2004). Auch in landwirtschaftlich stark genutzten Gebieten kann davon ausgegangen werden, dass der Anteil von Ammoniak in der Luft aufgrund von Düngung und Viehhaltung naturgemäß hoch ist und für die Pflanzenernährung relevanter als das gemessene NO₂. Es lässt sich nämlich beobachten, dass die Diversitätswerte in landwirtschaftlich stark belasteten Gebieten (Borken-Gemen, Nettetäl-Kaldenkirchen) bei den Eutrophierern deutlich erhöht sind.

Die Diversitätswerte der Eutrophierungszeiger zeigte ausschließlich eine negative Korrelation mit den gemessenen SO₂-Werten. Das heißt, an den Messstationen mit den höchsten SO₂-Werten haben wir die wenigsten Eutrophierungszeiger. Das leuchtet ein, sind dies doch die Verhältnisse, welche vor 10 Jahren noch großflächig beobachtet werden konnten. Dass die Gruppe der übrigen Flechten scheinbar nicht auf SO₂ reagiert, könnte darauf zurückzuführen sein, dass sie in ihren Ansprüchen nicht homogen ist. In ihr sind sowohl acidodophile

Flechtenarten als auch Spezies zusammengefasst, die keine besonderen Anforderungen an ihre Umwelt stellen.

Damit beantwortet sich die Frage, ob durch die neue VDI-Richtlinie nicht auch die Wirkung bestimmter Immissionen auf Flechten erfasst werden kann, wovon man vor 10 Jahren ausgegangen war, als die damals auftretenden Flechtenarten eine abgestufte Resistenz gegenüber der Säurewirkung der Luftschadstoffe aufwiesen, welche in erster Linie vom Schwefeldioxid ausging. Heute lässt die Dominanz von nitrophilen Flechtenarten in Städten, entlang von Verkehrswegen und Gebieten intensiver landwirtschaftlicher Nutzung sich nicht mit den NO_2 -Werten korrelieren. Dazu müssten andere Stickstoffverbindungen herangezogen werden. Gleichzeitig funktioniert aber auch unter den heutigen Bedingungen die Korrelation von den Nicht-Eutrophierungszeigern mit SO_2 nicht mehr.

Im Titel der neuen VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13 wird „die Ermittlung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Flechten“ zum Ausdruck gebracht. Im Untertitel werden Flechten als Indikatoren der Luftgüte bezeichnet. Dabei besteht das Problem der Definition von „Luftgüte“. Das ist zunächst einmal ein pauschaler Begriff, der nicht näher definiert wird. Man muss einerseits davon ausgehen, dass Luftgüte ein Teil der Güte eines Lebensraumes ist und die Güte eines Lebensraumes sich (zumeist) über die Diversität an Organismen ausdrückt. Man geht ferner auch mit Recht davon aus, dass Flechten durch ihre Art der Wasser- und Nährstoffaufnahme von Luftschadstoffen beeinflussbar sind. Der Ausdruck Luftschadstoffe ist bewusst komplex, weil die Bedeutung der Bioindikation darin liegt, dass biologische Organismen die Gesamtheit der Umwelteinflüsse über eine Zeit integriert. Damit wäre die Beurteilung der Luftgüte eine relative Methode, räumliche Unterschiede in der Luftgüte zu erfassen. Da Luftgüte gleichzeitig ein Teil der Güte des Lebensraumes ist, kann man diese relative Erfassung der Luftgüte auch als ein Parameter der Umweltgüte auffassen.

Die Diskrepanz zwischen NO_2 , welches als einziger Stickstoffparameter gemessen wird, und den Diversitätswerten der Eutrophierungszeiger zeigt also, wie dringlich und notwendig die Bioindikation ist, weil entsprechende Effekte wie die Lufteutrophierung nicht vollständig durch Messwerte abgedeckt werden.

Dank

Wir danken Dr. Norbert J. Stapper für die Nachbestimmung einiger Flechten und Dr. Isabelle Franzen-Reuter für die Durchsicht des Manuskriptes.

Literatur

- ARNOLD, F. 1892. Zur Lichenenflora in München. – *Berichte der Bayrischen Botanischen Gesellschaft* **1**:1–147.
- CAPE, J. N., TANG, Y. S., VAN DIJK, N., LOVE, L., SUTTON, M. A. & PALMER, S. C. F. 2004. Concentrations of ammonia and nitrogen dioxide at roadside verges, and their contribution to nitrogen deposition. – *Environmental Pollution* **132**: 469–478.
- FRANZEN-REUTER, I. 2004. Untersuchungen zu den Auswirkungen atmosphärischer Stickstoffeinträge auf epiphytische Flechten und Moose im Hinblick auf die Bioindikation. – http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/math_nat_fak/2004/franzen-reuter_isabelle
- GEEBELEN, W. & HOFFMANN, M. 2001. Evaluation of bio-indication methods using epiphytes by correlating with SO_2 -pollution parameters. – *Lichenologist* **33**: 249–260.
- HERZIG, R., LIEBENDÖRFER, L. & URECH, M. 1987. Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz: Methoden-Evaluation und Eichung mit wichtigen Luftschadstoffen. – *VDI Berichte* **609**: 619–639.
- JAMES, P. W. 1973. Introduction. – In: FERRY B. W., BADDELEY, M. S. & HAWKSWORTH, D. L. (eds.). *Air Pollution and Lichens*, p. 1–5. – London: Eslon Press.

-
- NYLANDER, W. 1866. Les lichenes du Jardin du Luxembourg. – Bulletin de la Societé Botanique de France **13**: 364–372.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) 1995. VDI-Richtlinie 3799 Blatt 1: Messen von Immissionswirkungen; Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten. Flechtenkartierung zur Ermittlung des Luftgütewertes (LGW). – Berlin: Beuth Verlag.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) 2004. VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Flechten (Bioindikation) – Kartierung der Diversität epiphytischer Flechten als Indikator für die Luftgüte. – Berlin: Beuth Verlag.
- SØCHTING, U. 1995. Lichens as monitors of nitrogen deposition. – *Cryptogamic Botany* **5**: 264–269.
- VORBECK, A. & WINDISCH, U. 2002. Flechtenkartierung München. Eignung von Flechten als Bioindikatoren für verkehrsbedingte Immissionen. – München: Materialien Umwelt & Entwicklung Bayern 173.

Manuskript angenommen: 31. Januar 2006.

Anschriften der Verfasser

Judith Schumacher, Anne-Maike Janssen, Jan-Peter Frahm, Nees-Institut für Biodiversität der Pflanzen, Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität, Meckenheimer Allee 170, D-53115 Bonn, Deutschland. E-mail: frahm@uni-bonn.de

