

FID Biodiversitätsforschung

Decheniana

Verhandlungen des Naturhistorischen Vereins der Rheinlande und
Westfalens

Die Entwicklung der Flechtenvegetation in Bonn 2003-2006

Jansse, Anne-Maike

2007

Digitalisiert durch die *Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg, Frankfurt am Main* im
Rahmen des DFG-geförderten Projekts *FID Biodiversitätsforschung (BIOfid)*

Weitere Informationen

Nähere Informationen zu diesem Werk finden Sie im:

Suchportal der Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg, Frankfurt am Main.

Bitte benutzen Sie beim Zitieren des vorliegenden Digitalisats den folgenden persistenten
Identifikator:

[urn:nbn:de:hebis:30:4-196135](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hebis:30:4-196135)

Die Entwicklung der Flechtenvegetation in Bonn 2003–2006

The Development of Lichen Vegetation in Bonn 2003–2006

ANNE-MAIKE JANSSEN, JAN-PETER FRAHM & BIRGIT HEIDELBACH

(Manuskripteingang: 19. Dezember 2006)

Kurzfassung: Im Jahre 2003 wurden in Bonn Dauerprobeflächen an Bäumen zur Beobachtung der epiphytischen Flechtenvegetation angelegt. Die Nachkartierung im Jahre 2006 zeigen, dass die Stickstoffeinflüsse im Untersuchungszeitraum an allen Stationen anstiegen. Die durchschnittlichen Artenzahlen der einzelnen Stationen, sowie die Bedeckungsprozente der vorkommenden Arten stiegen weiterhin. Neutrophytische Arten wie *Parmelia sulcata* und *Melanelia subaurifera* zeigen immer noch Zuwächse. Bedenklich ist jedoch, dass an beinahe keiner der Bonner Dauerbeobachtungsflächen 2006 noch acidophytische Arten vorkommen. Außerdem zeigen sich an den vom Verkehr deutlich beeinflussten Stationen Hardtberg und Enderich im Rückgang der nitrophilen *Physcia*-Arten und der starken Ausbreitung von *Phaeophyscia orbicularis* sowie in der Neuansiedlung des Gesteinsbewohners *Physconia grisea* an der Station Tannenbusch Entwicklungen, die bisher vor allem aus intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten bekannt waren.

Schlagnote: Flechten, VDI-Richtlinie, Luftgüte, Stickstoffimmissionen

Abstract: In 2003, permanent observation plots for monitoring epiphytic lichens have been established in the city of Bonn. A reinvestigation in 2006 revealed that the influence of nitrogen emissions has increased. The average number of species as well as the cover of species has raised within three years. Neutrophytic species such as *Parmelia sulcata* and *Melanelia subaurifera* are still expanding, however acidophyte species have almost vanished. Within the nitrophytic species there is a change from species of *Physcia* to *Phaeophyscia orbicularis*, which has up to now mainly been observed in areas with intensive agriculture. The establishment of the saxicolous *Physconia grisea* on bark is new.

Keywords: Lichens, VDI-guideline, air quality, nitrogen emissions

1. Einleitung

Die Vegetation epiphytischer Flechten wird seit mehr als 100 Jahren als Indikator für die Luftqualität verwendet. Dies beruht auf der Eigenschaft der Flechten (wie auch der Moose), Wasser und Nährstoffe über ihre Oberfläche aufzunehmen, womit sie den Immissionen direkt ausgesetzt sind. Zudem haben die einzelnen Arten eine abgestufte Empfindlichkeit bzw. Toleranz gegen Luftschadstoffe.

In Bonn wurde die erste Kartierung epiphytischer Flechten von STEINER & SCHULZE-HORN (1955) durchgeführt. Dabei wurden zehn Flechtenarten sowie eine etwa einen Quadratkilometer große Flechtenwüste festgestellt, welche die Innenstadt, Altstadt und Südstadt umfasste. Zwanzig Jahre später führte SCHARRENBURG (1976) eine Flechtenkartierung durch. Im Vergleich zu STEINER & SCHULZE-HORN (1955) konnte er nur noch acht Flechtenarten feststellen. Zudem hatte das Gebiet der Flechtenwüste stark zugenommen. Bei einer im Rahmen eines Blockpraktikums am Botanischen Institut durchgeführten Kartierung konnte 1996 festgestellt werden, dass die Flechtenwüste verschwunden

war. 1997 führte DILG (1998) eine erste flächendeckende Kartierung nach der VDI-Richtlinie 3799 (VDI 1995) durch. Dabei wurden auf einer Fläche von 38 km² 54 Flechtenarten festgestellt. Dieser Anstieg wurde auf die gesunkenen SO₂-Werte zurückgeführt. Mit Hilfe der VDI-Richtlinie wurde das Stadtgebiet in vier Luftgüteklassen eingeteilt.

Da sich die bisherigen Flechtenkartierungen auf das linksrheinische Stadtgebiet beschränkt hatten, führte Killmann 1996 (unveröffentlicht) eine Kartierung eines Teiles des rechtsrheinischen Stadtgebietes durch. Diese Kartierung wurde 1999 wiederholt (ROHLFS 2000). Dabei stieg die Artenzahl nur um drei Arten an, was anzeigte, dass die „Rückkehr der Epiphyten“ weitgehend abgeschlossen war. Hingegen stieg die Frequenz der Arten. Da nach der VDI-Richtlinie der Luftgütwert aus der Anzahl der Arten und ihrer Frequenz berechnet wird, wurde deswegen ein Anstieg der Luftgüte konstatiert. Weil aber die Veränderungen im wesentlichen auf eine Zunahme der nitrophytischen Arten beruhte, würde man heute nicht mehr von einer Verbesserung der Luftgüte sprechen.

Um einen genaueren Einblick in die Veränderungen der epiphytischen Flechten zu bekommen, wurden im Frühjahr 2003 im Stadtgebiet von Bonn Dauerprobeflächen angelegt und erstmalig untersucht (HEIDELBACH 2003). Die Auswahl der Flächen und Bäume erfolgte gemäß der VDI Richtlinie 3957, Blatt 8 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2003). So wurden nur Bäume der Art *Acer platanoides* (Spitzahorn), sowie in zwei Fällen, in denen diese nicht in genügendem Umfang angetroffen wurde, die Art *Tilia platyphyllos* (Sommerlinde) als Trägerbaum ausgewählt. Insgesamt wurden pro Stadtteil (Endenich, Hardtberg, Rheinaue, Tannenbusch) je zehn bis zwölf Flächen angelegt. An den Referenzstationen (Buschdorf, Röttgen) wurden je fünf Dauerbeobachtungsflächen angelegt. Diese Flächen wurden 2006 von der ersten Autorin nach kartiert. In dieser ersten Untersuchung wurden nur Flechtenarten kartiert. In der Kartierung 2006 wurden für spätere Vergleichsuntersuchungen auch die epiphytischen Moose verzeichnet.

Jede der im Rahmen der Voruntersuchungen angelegten Untersuchungsfläche befindet sich in einer Höhe zwischen 100 und 150 cm an der am stärksten bewachsenen Seite des Trägerbaumes und hat eine Größe von 20 cm². Die jeweilige Ausrichtung der Fläche sowie die mit dem GPS ermittelten Koordinaten (Gauß-Krüger), Straßennamen und weitere auffällige Wegpunkte, wurden im Rahmen der Voruntersuchung notiert, um ein späteres Wiederauffinden zu erleichtern. Als Vergleichsgröße wurden zusätzlich die Umfänge der Bäume festgehalten.

2. Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet Bonn befindet sich (Abb. 1) an der Grenze des Naturraums Niederrheinische Bucht zum Rheinischen Schiefergebirge. Bonn ist umschlossen von den Ausläufern der Eifel, dem Bergischen Land und dem Siebengebirge. Durch diese Kessellage weicht das Klima von dem der übrigen Niederrheinischen Bucht ab. Die mittlere Tagestemperatur liegt in Bonn bei 10 °C. Das Jahresmittel der Niederschläge liegt mit nur 670 mm, deutlich unter dem des benachbarten Köln (789 mm). Das Stadtgebiet von Bonn ist durch die Rheinterrassen geprägt, somit befinden sich auch die sechs Untersuchungsstationen im Bonner Stadtgebiet in verschiedenen Höhenlagen. Die Stationen Rheinaue und Buschdorf liegen auf der Niederterrasse (40–60 m ü NN), die Station Endenich auf der Mittelterrasse (70–80 m ü NN) und die Stationen Röttgen und Hardtberg auf der Hauptterrasse (ca. 100 m ü NN). Da die ursprüngliche Untersuchung nicht nur zum Ziel hatte, eine zeitliche Beobachtung der Flechtenpopulation zu gewährleisten, sondern auch die Abhängigkeit des Flechtenbewuchses von der Nähe zu verkehrsbedingten Schadstoffquellen (Autobahnen und stark befahrene Straßen) untersuchen sollte, befindet sich die Mehrzahl der Trägerbäume an den Stationen Endenich, Hardtberg, Rheinaue und Tannenbusch in definierten Abständen zu solchen Schadstoffquellen. Einzig die als Vergleichsflächen angelegten Dauerbeobachtungsflächen in Buschdorf und Röttgen weichen von diesem Schema ab.



Abbildung 1. Lage der Untersuchungsstationen im Bonner Stadtgebiet

Figure 1. Location of sampling sites within the city of Bonn

3. Datenerhebung

Die Datenerhebung und das Anlegen der Dauerbeobachtungsflächen geschahen nach den Vorgaben der VDI Richtlinie 3957, Blatt 8 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2003). Hierzu wird eine transparente DIN A 4 Overhead-Folie mit Reißzwecken über der Fläche angebracht. Beim Anbringen der Folie wird darauf geachtet, dass die Folie möglichst glatt und stramm am Baum anliegt. Anschließend werden die Eckpunkte der Untersuchungsfläche auf der Folie notiert und am oberen rechten Rand ein Kürzel für den jeweiligen Baum eingetragen. Danach werden die Umrisse der vorhandenen Flechtenthalli mit verschiedenfarbigen wasserfesten Folienstiften abgezeichnet. Hierbei wird der Stift stets auf den Rändern der Flechte geführt um Fehler durch eine unterschiedliche Dicke der Begrenzung zu vermeiden. Welche Farbe für welche Flechtenart benutzt wird, wird unterhalb des Baumkürzels auf der Folie notiert. Flechtenthalli, die in Borkenrissen wachsen werden in Aufsicht gezeichnet. Nach Abnahme der Folie wird, wo nötig, eine Überprüfung der Bestimmung nach habituellen Merkmalen mit Hilfe von Chemikalien tests durchgeführt und der Umfang des Baumes in 1,5 m Höhe gemessen. Da es sich bei den Untersuchungsflächen um Dauerbeobachtungsflächen handelt, für deren Aussagekraft es notwendig ist, dass keine Thalli entnommen werden, fand die Ansprache der Arten ausschließlich im Gelände statt. Es wurden also nur habituelle Merkmale sowie die chemische Reaktionsfähigkeit herangezogen. Unsicher bestimmbare Thalli wurden zwar aufgenommen und ihre Flächen markiert aber nicht in die Berechnung der Zeigerwerte und Bedeckungsänderungen aufgenommen. Bei den Flechten wurde die Nomenklatur nach SCHOLZ (2000) und bei den Moosen nach KOPERSKI et al. (2000) verwendet.

Bevor die Folien digitalisiert werden können, werden sie mit einem trockenen Tuch von Borkenresten und ähnlichem gereinigt. Nicht vollständig geschlossene Umrisse werden manuell ausgebessert. Mit Hilfe eines Scanners werden die Folien dann in schwarz-weiße Bitmaps mit einer Farbtiefe von 1 Bit und einer Auflösung von 100 dpi umgewandelt. Anschließend werden die digitalisierten Folien mit einem Bildbearbeitungsprogramm (Microsoft Paint™) nochmals überarbeitet. Durch den Scanvorgang entstandene Lücken in den Flechtenumrissen werden geschlossen, sowie Punkte die durch Verunreinigungen entstanden sind entfernt und die Eckpunkte deutlich gekennzeichnet.

Um die Flächenberechnungen durchzuführen, wurde das speziell für diese Aufgabe entwickelte Programm „Flechtenanalyse“ eingesetzt, das unter <http://www.vdi.de/vdi/organisation/schnellauswahl/fgkf/krdl/richtlinien/03247> kostenlos aus dem Internet heruntergeladen werden kann. Eine ausführliche Beschreibung zur Benutzung des Programms liefern KIRSCHBAUM et al. (2002). Die hier geschilderte Möglichkeit zusätzliche Arten zu ergänzen wurde ausgenutzt, um zusätzlich Moosarten in die Artenliste aufzunehmen, und deren Flächenanteile zu bestimmen.

Die Ergebnisse der Berechnungen werden von dem Programm in einer ref-Datei dargestellt. Das Programm macht Angaben zur Anzahl der Flechtenthalli, zur Bedeckung der Dauerbeobachtungsfläche in Prozent und zur Bedeckung in mm². Die Angabe der Bedeckung in Prozent ist besonders nützlich, da die Untersuchungsfläche wegen des Dickenwachstums der Bäume im Verlauf einer Daueruntersuchung an Fläche zunehmen und somit dennoch eine Vergleichbarkeit gewährleistet bleibt.

Im Rahmen der VDI-Richtlinie 3957, Blatt 8 wird jeder Flechtenart je ein Zeigerwert zugeordnet, der Aussagen über ihre „Empfindlichkeit gegenüber Immissionen“ (E), den „pH-Wert des Substrates“ (R), das sie bevorzugt, und ihre „Ansprüche an die Stickstoffversorgung“ (N) macht. Der Zeigerwert 1 bezeichnet das geringste Ausmaß, der Zeigerwert 9 das höchste Ausmaß des betreffenden Faktors. Anschließend werden die Zeigerwerte mit dem prozentualen Anteil der Art an der Untersuchungsfläche multipliziert. Dann werden die Produkte aller Arten, für jeden Zeigerwert getrennt, aufsummiert und durch die Summen der prozentualen Bedeckung aller Arten geteilt. Die Quotienten stellen die gewichteten mittleren Zeigerwerte der Untersuchungsfläche bezüglich des berechneten Faktors dar. Die Zeigerwerte aller Untersuchungsflächen einer Station werden gemittelt um den gewichteten mittleren Zeigerwert einer Station bezüglich des Faktors zu erhalten.

Auf der Grundlage der mittleren Zeigerwerte wird abschließend eine Beurteilung der Station bezüglich der Immissionsbelastung, Ansäuerung des Substrates und Eutrophierung abgegeben.

4. Ergebnisse der Nachkartierung

Im Laufe der dreijährigen Beobachtungszeit fand an den Dauerprobeflächen im Stadtgebiet von Bonn ein deutlicher Zuwachs der Flechtenbedeckung statt. Während im Jahr 2003 nur 10,16 % der gesamten Untersuchungsfläche mit Flechten bedeckt gewesen waren, hat sich diese Fläche bis 2006 beinahe verdreifacht, so dass

Tabelle 1. Entwicklung der Moos- und Flechtenbedeckung der einzelnen Stationen, wobei jeweils der Anteil der Art an der Gesamtfläche (2003: 12970,27 cm², 2006: 13752,55 cm²) dargestellt ist. Anhand der Stationsnummer kann festgestellt werden, welche Art in welchem Jahr wo vorkam. Die kursiven Zahlen bedeuten, dass eine Art nur 2003 vorkam, die fetten, dass sie nur 2006 vorkam. Die anderen Zahlen zeigen an, dass eine Art in beiden Jahren an der angegebenen Station vertreten war. Die Angabe zu *Parmelia saxatilis* steht in Klammern, weil die Art vermutlich auch schon 2003 vertreten war.

Table 1. Development of the percentage of moss and lichen cover in different sampling sites in relation to the total area of all sampling squares. For each species the number of the sampling site at which it was found is given. Bold ciphers indicate species only found in 2006, italics those only found in 2003 and normal ciphers those found in both years. The cipher given the sampling site at which *Parmelia saxatilis* was found is given in brackets as it might already been present in 2003.

Flechtenart	Kürzel	Station	2003		2006	
			Bed. %	Bed. Mm ²	Bed. %	Bed. Mm ²
<i>Amandinea punctata</i>	Amapun	1,2,3,4,5,6	0,04	556,30	0,08	1100,50
<i>Candelaria concolor</i>	Cancon	2,3,5	0,03	419,60	0,22	3014,90
<i>Candelariella reflexa</i>	Canref	1,2,3,4,5,6	0,00	0,00	0,01	203,10
<i>Evernia prunastri</i>	Evepru	2,4,5,6	0,01	133,80	0,03	351,50
<i>Hypogymnia physodes</i>	Hypphy	6	0,01	140,00	0,00	0,00
<i>Lecanora expallens</i>	Lecexp	1,2,3,4,5,6	0,34	4425,80	0,25	3413,40
<i>Lecanora hagenii</i>	Lechag	6	2,11	27313,00	0,00	0,00
<i>Lepraria incana</i>	Lepine	1,2,4,6	0,02	245,00	0,03	348,20
<i>Melanelia subaurifera</i>	Melsub	2,4,5,6	0,01	179,50	0,14	1967,80
<i>Parmelia saxatilis</i>	Parsax	(2)	0,00	0,00	0,04	496,80
<i>Parmelia sulcata</i>	Parsul	1,2,3,4,5,6	0,24	3116,30	0,45	6146,00
<i>Phaeophyscia nigricans</i>	Phanig	4,5	0,01	95,40	0,05	740,10
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	Phaorb	1,2,3,4,5,6	2,34	30390,00	10,63	146246,30
<i>Physcia gesamt</i>	Phyges	1,2,3,4,5,6	4,30	55900,30	13,89	191111,30
<i>Physconia grisea</i>	Phygri	3	0,00	0,00	0,00	57,40
<i>Strangospora pinicola</i>	Strpin	2	0,13	1628,20	0,00	0,00
<i>Xanthoria candelaria</i>	Xancan	1,2,3,4,5,6	0,06	733,50	0,09	1254,40
<i>Xanthoria parietina</i>	Xanpar	3,4,5,6	0,37	4807,30	0,71	9704,70
<i>Xanthoria polycarpa</i>	Xanpol	5,6	0,05	624,00	0,03	417,70
Moosart						
<i>Dicranoweisia cirrata</i>	Diccir	2,3	k. A.	k. A.	0,55	7496,8
<i>Hypnum cupressiforme</i>	Hypcup	2	k. A.	k. A.	0,16	2186,90
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	Ortdia	1,2,3,4,5	k. A.	k. A.	1,04	14303,00

nun 27,56 % bedeckt sind. Die mittlere Bedeckung pro Baum stieg allerdings nur geringfügig von 4,05 % auf 4,92 %. Den größten Anteil an der Gesamtbedeckung haben nach wie vor die Blattflechten (2003: 73,27 %, 2004: 98,52 %) gefolgt von den Krustenflechten (2003: 26,63 %, 2006: 1,38 %) und den Strauchflechten (un-

verändert: 0,1 %). Insgesamt wurden 2003 17 Arten und 2004 16 Arten angetroffen. Somit ging die Gesamtartenzahl leicht zurück während die mittlere Artenzahl pro Baum um mehr als zwei Arten von 3,38 auf 5,66 stieg. Die maximale Artenzahl pro Baum lag 2003 bei 8 (Baum 3, Station Buschdorf) und 2006 bei 11 (ebenfalls

Baum 3, Station Buschdorf) Arten. Bei den in diesem Jahr zum ersten Mal aufgenommen Moosen wurden drei Arten verteilt auf 8 der insgesamt 32 Bäume angetroffen. Die prozentuale Bedeckung liegt bei 1,74 % aller Untersuchungsflächen. Die größten Moosbedeckungen finden sich an den Stationen Rheinaue (5,22 %) und Tannenbusch (3,04 %). In Röttgen wurde keine Moosart angetroffen.

Die in den Untersuchungsflächen 2003 und 2006 vertretenen Arten sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Arten *Physcia tenella* und *P. adscendens* wurden zwar getrennt aufgenommen, für die Auswertung jedoch als Gruppe behandelt, da die eindeutige Bestimmung junger Exemplare im Gelände nicht immer möglich ist. In der Bonner Untersuchung wurden die beiden Arten als *Physcia*-Gruppe angegeben. In die Berechnung der Gesamtartenzahl gingen beide Arten getrennt ein, da sie sicher nachgewiesen werden konnten.

Station 1: Endenich

An der Station Endenich hat ein deutlicher Artenzuwachs stattgefunden. Während 2003 nur 4 Arten an dieser Station angetroffen wurden, so waren es 2006 sieben Arten. Die durchschnittliche Artenzahl betrug 2003 1,67 und stieg bis 2006 auf 3,83. Somit liegt der in Endenich verzeichnete Zuwachs im Rahmen des durchschnittlichen Zuwachses von etwa 2 Arten pro Baum, hat jedoch unverändert die geringste durchschnittliche Artenzahl. Die höchste mittlere Bedeckung in den Untersuchungsflächen erreicht 2006 *Phaeophyscia orbicularis*, die in der Voruntersuchung noch kaum (0,06 %) vertreten war. Die *Physcia*-Gruppe, die diese Stelle 2003 eingenommen hatte, zeigt 2006 nur noch die zweithöchste mittlere Bedeckung. Die Arten *Amandinea punctata*, *Candelariella reflexa*, *Leprosaria incana* und *Xanthoria candelaria* sind hinzugekommen. *Parmelia sulcata* (2003: 0,02 %) findet sich heute nicht mehr in den Untersuchungsflächen.

Station 2: Rheinaue

Die auffälligste Veränderung der mittleren Bedeckung der Untersuchungsflächen an der Station Rheinaue ist die deutliche Zunahme der *Physcia*-Gruppe. Während die meisten der zuvor vorhandenen Arten leichte Zuwächse von bis zu 1,39 % (*Parmelia sulcata*) zeigten, stieg die mittlere Bedeckung der *Physcia*-Gruppe um 10,5 %. Rückgänge wurden bei *Evernia prunastri*, *Lecanora expallens* und *Strangospora pinicola* verzeichnet, wobei letztere 2006 sogar überhaupt nicht mehr angetroffen wurde. Außerdem fanden Neubesiedlungen durch die extremen Nitrophyten *Candelaria concolor* (0,06 %) und *Xan-*

thoria candelaria (0,03 %) statt. Auch die acidophytische *Parmelia saxatilis* (0,19 %) wurde erstmals für diese Station verzeichnet. Somit kommen an den Dauerbeobachtungsflächen der Rheinaue 2006 elf Arten vor. 2003 waren es nur neun. Mit einer durchschnittlichen Artenzahl von 5,67 Arten pro Baum nimmt die Station Rheinaue 2006 die dritthöchste Position ein. Noch 2003 nahm sie die vierte Position mit durchschnittlichen 3,5 Arten ein. Zusätzlich findet sich hier mit drei Moosarten (*Dicranoweisia cirrata*, *Hypnum cupressiforme*, *Orthotrichum diaphanum*) die höchste Artenzahl aller Stationen. *Orthotrichum diaphanum* (4,51 %) und *Hypnum cupressiforme* erreichen außerdem an dieser Station ihre höchste mittlere Bedeckung.

Station 3: Tannenbusch

Im Verlauf der Beobachtungszeit kam es an der Station Tannenbusch zu einem Zuwachs von fünf Arten, dem höchsten im Untersuchungsgebiet beobachteten. Somit beträgt die Gesamtartenzahl dieser Station 2006 zehn Arten. Dies ist die zweithöchste Artenzahl pro Station. Die durchschnittliche Artenzahl pro Baum beträgt 2006 dennoch nur 4,83 Arten (2003: 2,67). Dies ist nur die zweitgeringste durchschnittliche Artenzahl pro Baum. Woraus die sehr inhomogene Artenzusammensetzung der Bäume deutlich wird. Wie die anderen Stationen zeigt auch die Station Tannenbusch einen starken Zuwachs der *Physcia*-Gruppe. Die Arten *Candelaria concolor*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Physconia grisea* und *Xanthoria candelaria* wurden erstmalig an dieser Station aufgenommen. Die Art *Physconia grisea* war zuvor auch in keiner anderen Untersuchungsfläche vorgekommen und nimmt nun eine Gesamtfläche von 57 mm² ein. Bei allen übrigen Arten fand ein leichter Zuwachs statt. Keine Flechtenart verschwand aus den Untersuchungsflächen dieser Station. Die Moosarten *Dicranoweisia cirrata* und *Orthotrichum diaphanum* wurden an dieser Station aufgenommen. Für *Dicranoweisia cirrata* wurde mit 3,05 % die höchste mittlere Bedeckung verzeichnet.

Station 4: Hardtberg

An der Station Hardtberg wurden 2006 zwei neue Arten nachgewiesen. Die Zahl der vorgefundenen Arten steigt daher von neun auf elf. Auch die durchschnittliche Artenzahl stieg an (von 3,67 auf 5,17). Auffällig ist die Entwicklung von *Phaeophyscia orbicularis*, die an der Station Hardtberg wie auch an der Station Endenich starke Zuwächse verzeichnet und mit 15,67 % weit vor der *Physcia*-Gruppe (8,44 %) die höchste mittlere Bedeckung erreicht. Außerdem erreicht die verwandte *Phaeophyscia ni-*

gricans, die nur an dieser, wo sie neu eingewandert ist, und der Station Buschdorf nachgewiesen werden konnte, eine mittlere Bedeckung von 0,01 %. Die beiden weiteren hinzugekommenen Arten sind *Amandinea punctata* und *Candelariella reflexa*, die beide ebenfalls mittlere Bedeckungen von weniger als 0,1 % aufweisen. *Lepraria incana* (2003 noch 0,03 %) ist nicht mehr in den Flächen vertreten. Als einziges Moos konnte *Orthotrichum diaphanum* an dieser Station nachgewiesen werden. Es erreicht mit 0,16 % seine zweitniedrigste mittlere Bedeckung.

Station 5: Buschdorf

An der Station Buschdorf fand ein Zuwachs von zwei Arten statt. 2006 beträgt die Gesamtartenzahl somit elf. Die mittlere Artenzahl pro Baum beträgt 8 und ist, wie auch schon vor drei Jahren (5,25), die höchste verzeichnete. Die mittlere Bedeckung von *Phaeophyscia orbicularis* und der Physcia-Arten erreichte beinahe den gleichen Prozentsatz. Mit 23,99 % ist ihre mittlere Bedeckung nur 0,52 % größer als die der *Phaeophyscia orbicularis* (23,47 %). Vor drei Jahren lag die Fläche der Physcia-Gruppe mit 4,71 % noch beinahe 6 % unter der der *Phaeophyscia orbicularis* (10,23 %). Während *Evernia prunastri* und *Lecanora expallens* nicht mehr in den Untersuchungsflächen angetroffen wurden, und die Bedeckung mit *Xanthoria polycarpa* leicht abnahm (-0,67 %), stieg die Bedeckung aller übrigen Arten leicht an (max. 1,03 % *Melanelia subaurifera*). Die Vorkommen der Arten *Candelaria concolor*, *Candelariella reflexa* und *Xanthoria candelaria* stellen Neuan siedelungen dar. Von ihnen erreicht *Xanthoria candelaria* mit 0,11 % die höchste mittlere Bedeckung. Die beiden anderen erreichen nur 0,02 %. Als einziges Moos wurde *Orthotrichum diaphanum* angetroffen. Es erreicht mit einem Wert von 0,06 % an dieser Station seine geringste Bedeckung.

Station 6: Röttgen

Die Verhältnisse an der Station Röttgen haben sich am stärksten geändert. Während *Lecanora hagenii* 2003 noch mit einem Wert von 16,79 % die höchste mittlere Bedeckung der Untersuchungsflächen in Röttgen aufwies, ist sie heute an keiner der Flächen mehr aufzufinden. Aber nicht nur der höchste Einbruch einer Art zeigte sich an dieser Station. Auch der größte Verlust von Arten war hier festzustellen. Insgesamt verschwanden mit *Hypogymnia physodes*, *Lecanora hagenii* und *Lepraria incana* drei Arten. Allerdings kamen die Arten *Amandinea punctata*, *Candelariella reflexa*, *Melanelia subaurifera*

und *Xanthoria polycarpa* hinzu, weshalb es insgesamt zum Zuwachs einer Art kam. Somit sind 2006 elf Arten vorhanden (2003: 10). Auch die durchschnittliche Artenzahl pro Baum hat sich kaum geändert. Während sie 2003 bei fünf lag liegt sie heute bei 6,75 und nimmt somit in beiden Jahren die zweithöchste Stellung ein. Auffällig ist, dass *Phaeophyscia orbicularis* und die Physcia-Gruppe, ihre mittlere Bedeckung etwa verdreifachen konnten. Auch *Xanthoria parietina* nimmt 2006 mit 4,95 % zu 2,9 % (2003) einen beachtlichen Teil der Flächen ein. An dieser Station wurden keine Moosarten angetroffen. Die beträchtlichen Änderungen der Bedeckungsverhältnisse sind vermutlich auf ein großflächiges Absterben der Flechten an Baum zwei zurückzuführen. Dieser wies 2003 eine Gesamtbedeckung von 67,91 % auf während 2006 nur noch 1,06 % der Fläche bedeckt waren. Reste abgestorbener Flechten fanden sich über die gesamte Fläche verteilt.

5. Auswertung

Die deutlichen Veränderungen in der Bedeckung der einzelnen Untersuchungsflächen und ihrer jeweiligen Artenzusammensetzung spiegelten sich in einer Änderung der auf dieser Grundlage errechneten, gewichteten mittleren Zeigerwerte für „Empfindlichkeit gegenüber Immissionen“ (Empfindlichkeit), „pH-Wert des Substrates“ (Reaktion) und „Ansprüche an die Stickstoffversorgung“ (Nährstoffe) wieder (Tabelle 2).

Bei allen Zeigerwerten fand ein leichter Anstieg statt. Die gewichteten mittleren Empfindlichkeitszahlen liegen 2006 zwischen 1,84 und 2,33 (2003: 1,83–2,11), die gewichteten mittleren Reaktionszahlen zwischen 5,95 und 6,56 (2003: 5,43–6,38) und die gewichteten mittleren Nährstoffzahlen zwischen 5,87 und 6,31 (2003: 5,47–6,26). Somit liegen die Änderungen der Zeigerwerte im Bereich von 0–0,63 und ergeben nur in wenigen Fällen eine Änderung der Beurteilungskategorie nach VDI 3957 Blatt 8.

Auffällig ist, dass der gewichtete mittlere Zeigerwert für die Empfindlichkeit der vorkommenden Flechtenarten, außer an den Stationen Endenich und Hardtberg, an allen Stationen um mindestens 0,1 anstieg. In Endenich blieb er über den Beobachtungszeitraum konstant und auch an der Station Hardtberg konnte nur ein sehr leichter Anstieg (0,03) festgestellt werden. 2006 liegt somit nur noch der Wert der Station Endenich unter 2,00. 2003 waren es noch die Werte der Stationen Endenich, Tannenbusch und Röttgen. Rundet man allerdings die Werte aller Stationen um eine Beurteilung der Empfindlichkeit der

Tabelle 2. Entwicklung der gewichteten mittleren Zeigerwerte für „Empfindlichkeit gegenüber Immissionen“ (Empfindlichkeit), „pH-Wert des Substrates“ (Reaktion) und „Ansprüche an die Stickstoffversorgung“ (Stickstoff).

Table 2. Development of indicator values for "susceptibility to immissions", "pH-value of substratum" and "demands on nitrogen supply".

Station	Empfindlichkeit		Reaktion		Stickstoff	
	2003	2006	2003	2006	2003	2006
Endenich	1,84	1,84	5,64	5,95	5,61	5,93
Rheinaue	2,04	2,18	5,43	6,01	5,47	5,87
Tannenbusch	1,83	2,03	5,66	6,29	5,65	6,17
Hardtberg	2,11	2,14	5,95	6,25	5,96	6,06
Buschdorf	2,11	2,21	6,38	6,49	6,26	6,31
Röttgen	1,99	2,14	6,27	6,56	6,20	6,28

vorhandenen Flechtenarten an Hand der Beurteilungskategorien der VDI-Richtlinie 3759 Blatt 8 vorzunehmen, so erhalten alle Stationen nach wie vor eine Empfindlichkeitszahl von 2 die das Vorhandensein von Flechten mit „ziemlich geringer Empfindlichkeit“ gegenüber luft-hygienischen Belastungen beschreibt.

Die gewichteten mittleren Zeigerwerte für den pH-Wert des Substrates (Abb. 9) stiegen an allen Stationen. Am stärksten war der Anstieg in Tannenbusch (+0,63) am geringsten in Buschdorf (+0,11). Der höchste gewichtete mittlere Zeigerwert (6,56) wurde für die Station Röttgen ermittelt. Somit liegt der Wert über dem der Station Buschdorf (6,27), die 2003 den höchsten Wert aufwies. Den niedrigsten Wert erreicht die Station Endenich (5,95), die trotz eines mittleren Anstiegs als einzige Station noch einen mittleren gewichteten Zeigerwert für den pH-Wert unter 6 aufweist. Eine Beurteilung dieser Werte nach VDI 3957 (8) legt nahe, dass die Borken pH-Werte an den Dauerbeobachtungsflächen im Bonner Stadtgebiet etwa zwischen 5,6 und 6,5 liegen.

Bei den Nährstoffzahlen weisen die Stationen Buschdorf und Röttgen 2003 wie 2006 trotz eines nur sehr geringen Anstiegs von 0,05 bzw. 0,08 die höchsten gewichteten Mittelwerte auf. Die stärkste Veränderung zeigt sich mit einem Anstieg von 0,53 auch bei den Nährstoffzahlen an der Station Tannenbusch. Die gewichtete mittlere Nährstoffzahl dieser Station übersteigt

2006 sogar die der Station Hardtberg, wo nur ein geringer Zuwachs von 0,22 festgestellt werden konnte. Trotz eines Anstiegs von 0,4 bzw. 0,32 erreichen die gewichteten mittleren Zeigerwerte der Stationen Endenich und Rheinaue Werte, die mit 5,87 und 5,93 knapp an die 6 heranreichen. Auf ganze Zahlen gerundet ergibt sich für alle Stationen eine gewichtete mittlere Nährstoffzahl von 6, die auf eine Imprägnierung der mineralreichen Borken mit nährstoffreichem Staub hindeutet.

6. Diskussion

Die Entwicklung der Artenzusammensetzung zeigt, dass der seit dem Rückgang der SO₂-Emissionen auch in Langzeitstudien in anderen Städten (Duisburg: FRANZEN 2001, Limburg und Melsungen: KIRSCHBAUM & HANEWALD 2001, Dortmund: STAPPER 2001, Gießen und Wetzlar: KIRSCHBAUM et al. 2006) vielfach beobachtete Trend der Verdrängung der acidophilen Arten zugunsten der nitrophilen, auch in Bonn von 2003 bis 2006 fortgeschritten ist. Schon in der Kartierung 2003 wies die Flechtenflora Bonns nur noch sehr wenige acidophytische Arten auf. *Hypogymnia physodes* bedeckte mit 177,8 mm² nur 0,01 % der Gesamtfläche, kam allerdings noch an zwei Bäumen an zwei verschiedenen Stationen (Rheinaue, Röttgen) vor. Keines dieser Vorkommen ist 2006 noch vorhanden. *Strangospo-*

ra pinicola, ein Erstbesiedler ehemals stark mit SO_2 belasteter Flächen, erreichte immerhin 0,13% der Gesamtfläche. Von der Art ist jedoch bekannt, dass sie auch sehr schnell wieder verschwindet, sobald sich die Borkenverhältnisse weiter ändern, wie es durch den Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen geschieht (VAN HERK & APTROOT 2004). Dies scheint im Untersuchungszeitraum 2003–6 der Fall gewesen zu sein.

Mit Ausnahme von *Evernia prunastri* und *Parmelia saxatilis* finden sich daher in den Untersuchungsflächen heute keine acidophytischen Flechtenarten mehr. Während *Evernia prunastri* eine weite Amplitude von nährstoffarmer bis mäßig nährstoffreicher Borke bewohnen kann (KIRSCHBAUM & WIRTH 1997) – was erklärt, warum sie weiterhin an einzelnen nur wenig eutrophierten Standorten in Bonn vorkommen und sogar an Fläche gewinnen kann – ist *Parmelia saxatilis* auf saure Borken spezialisiert. Diese Art scheint sich auf den ersten Blick sogar neu angesiedelt zu haben. Da es sich jedoch um ein sehr großes Exemplar ($496,8 \text{ mm}^2$) handelt und auf der Folie aus dem Jahr 2003 bereits ein kleineres Exemplar von *Parmelia sulcata* verzeichnet ist (Abb. 2), handelt es sich vermutlich nicht um eine Neubesiedlung, sondern eine Fehlbestimmung, ausgelöst durch die Ähnlichkeit von jungen isidienfreien Exemplaren von *Parmelia*

saxatilis und jungen Exemplaren von *Parmelia sulcata*. Allein die Tatsache, dass dieser Thallus nicht nur existieren, sondern sich sogar weiter ausdehnen konnte, ist erstaunlich. Die Ursache hierfür liegt unter Umständen darin, dass die Station Rheinaue in Bezug auf die Nachwirkungen saurer Emissionen die größten Altlasten zu tragen scheint. 2003 wie auch 2006 hatte diese Station die geringste gewichtete mittlere Nährstoffzahl (5,47 bzw. 5,87). Der Einfluss des Ammoniaks aus den Katalysatoren der Autos, die täglich über die Autobahn 562 rollen scheint also nur langsam die Versauerung auszugleichen. Außerdem ist Baum 12, an dem sich das Exemplar mit *Parmelia saxatilis* befindet, mit etwa 500 m am weitesten von allen Bäumen der Station von der Autobahn und anderen nennenswerten Verkehrswegen entfernt. Wie CAPE et al. (2004) in Schottland, nachweisen konnte, sinkt die Ammoniakkonzentration der Luft aufgrund der Nahwirkung des Ammoniaks schon nur 10 m von Hauptverkehrsstraßen entfernt um 90 %. Dieses Ergebnis legt nahe, dass nur ein sehr begrenzter Einfluss dieses Faktors auf diesen Baum besteht, wodurch das Wachstum des Thallus ermöglicht werden könnte. Hinzu kommt, dass zwischen dem Baum und der Autobahn eine Ansammlung von Bäumen wächst, die den Wind aus Richtung der Autobahn behindert.

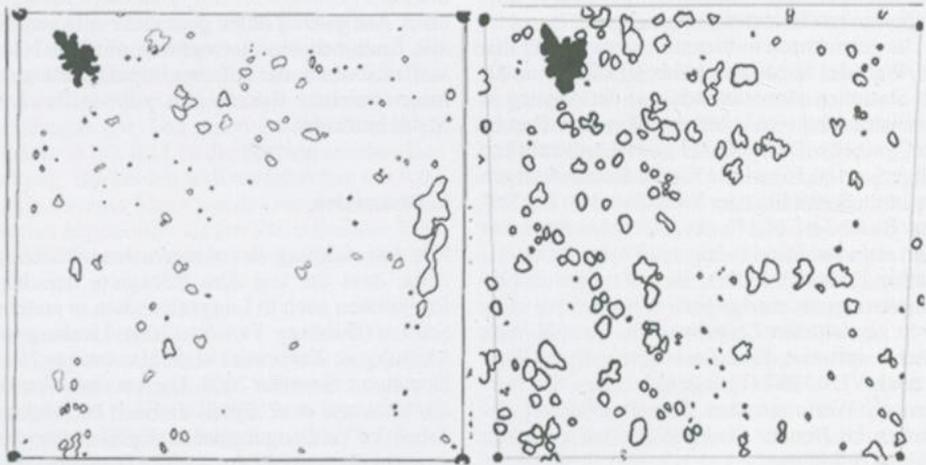


Abbildung 2. Flächenbedeckung von *Parmelia saxatilis* an Baum 12 (Rheinaue) 2003 (links) und 2006 (rechts). Die Größenverhältnisse sind aufgrund unterschiedlicher Verkleinerung verschoben. Die Bedeckung betrug 2003 $268,3 \text{ mm}^2$ und 2006 $496,8 \text{ mm}^2$.

Figure 2. Coverage of *Parmelia saxatilis* on tree no. 12 (Rheinaue) in 2003 (on the left) and 2006 (on the right). The proportions are changed due to different levels of reduction. Coverage came up to 268.3 mm^2 (2003) and 496.8 mm^2 (2006)

Die Entwicklung der Eutrophierungszeiger verlief gegenläufig zu der der Acidophyten. In einem noch deutlich stärkeren Ausmaß als schon 2003 prägen 2006 die Eutrophierungszeiger die Flechtenflora Bonns. Am auffälligsten ist hier die Entwicklung der Arten *Physcia tenella* und *adscendens*, sowie *Phaeophyscia orbicularis*. Fast man beide *Physcia*-Arten zu einer Gruppe zusammen, wie es wegen der oft schwierigen Unterscheidung junger Exemplare üblich ist, so zeigt sich, dass ihre Bedeckung an allen Stationen stark zunahm. Den stärksten Zuwachs gab es jedoch an der Station Buschdorf (+21,29 %), die 2006 auch den höchsten Bedeckungsgrad dieser Arten zeigt. Durch die Lage dieser Station zwischen der Autobahn 555 und der stark befahrenen Bundesstraße 9 sowie den umgebenden Feldern, dürfte hier der Stickstoffeintrag sehr hoch sein, was sich auch in der gewichteten mittleren Nährstoffzahl dieser Station zeigt. Er ist mit 6,31 der höchste im Untersuchungsgebiet Bonn.

Der schwächste Zuwachs der *Physcia*-Flächen wurde, mit nur 0,92%, an der Station Hardtberg verzeichnet. Dies ist erstaunlich, zumal diese Station eine hohe gewichtete Stickstoffzahl aufweist und beide *Physcia*-Arten als nitrophil gelten. Hinzu kommt, die starke Zunahme der ebenfalls nitrophilen und sehr resistenten *Phaeophyscia orbicularis*, die an dieser Station ihre höchste Bedeckung erreicht. In jüngster Zeit wurde immer wieder beobachtet, dass sich diese Art in Gebieten mit hoher NH_3 -Belastung stark ausbreitet. VAN HERK (2001) beobachtete, dass sie auf Eichen in den Niederlanden die *Physcia*-Arten verdrängt. Aber auch deutschlandweit wurde bereits beobachtet, dass *Physcia* in Gebieten mit starker Stickstoffbelastung zurückgeht, während *Phaeophyscia* an solchen Standorten optimale Wachstumsbedingungen vorfindet. (VORBECK & WINDISCH 2002, STAPPER & KRICKE 2004, FRANZEN-REUTER 2006). Es ist wahrscheinlich, dass es an der Station Hardtberg wegen der noch sehr niedrigen Gesamtbedeckung der Flächen noch nicht zur Verdrängung der *Physcia*-Gruppe gekommen ist, doch deutet die vergleichsweise langsame Entwicklung dieser Arten daraufhin, dass dies in Kürze der Fall sein könnte. Ähnliche etwas abgeschwächte Entwicklungen zeigen sich auch an anderen Stationen. In Eendenich übersteigt die Bedeckung mit *Phaeophyscia orbicularis* ebenfalls die Bedeckung der *Physcia*-Gruppe. Diese Station ist sicherlich die durch die Verkehrsbelastung am deutlichsten geprägte Station. Die Mehrzahl der Bäume befindet sich nicht nur in Autobahn Nähe sondern auch entlang einer der größten Einfallstraßen nach Bonn, dem Hermann-Wandersleb

Ring bzw. dessen Fortsetzung der Eendenicher Alle. Zusätzlich ist der Versiegelungsgrad an dieser Station sehr hoch. Nur einer der Trägerbäume ist von mehr als 2 m² Freifläche umgeben. Daher könnte neben den Luftschadstoffen auch das Stadtklima mit hohen nächtlichen Temperaturen und geringer Verdunstung einen erheblichen Einfluss auf das *Physcia*-*Phaeophyscia* Verhältnis in Eendenich haben. Wie STAPPER & KRICKE (2004) in Düsseldorf beobachten konnten, ist *Phaeophyscia orbicularis* im Gegensatz zu *Physcia tenella* nicht nur in besonderem Maße tolerant gegen Verkehrseinflüsse, sondern auch gegen nächtliche Überwärmung.

Der Eindruck der zunehmenden Eutrophierung der Untersuchungsflächen wird durch die Zuwanderung weiterer in der VDI-Richtlinie 3957, Blatt 13 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2004) als Eutrophierungszeiger geführten Arten wie *Candelariella reflexa* und *Physconia grisea* untermauert. Während *Candelariella reflexa* 2006 bereits eine Gesamtbedeckung von 0,01 % aufweist und an allen Stationen des Untersuchungsgebiets vorkommt, ist *Physconia grisea* nur an einem einzelnen Baum der Station Tannenbusch mit zwei Exemplaren vertreten. Diese machen mit einer Gesamtfläche von 57,4 mm² zwar noch kein Prozent an der Gesamtbedeckung aus, kommt aber außerhalb der Untersuchungsfläche bereits mit einem über 8 cm Durchmesser großem Exemplar vor. Besonders auffällig ist an dieser Art, dass es sich bei ihr eigentlich um eine Gesteinsflechte handelt, die auch auf eutrophierten oder basischen Borken anzutreffen ist. FRANZEN et al. (2002) fanden eine Zunahme des Vorkommens von *Physconia grisea* auf Bäumen unter dem Einfluss von intensiver Landwirtschaft. Das Vorkommen dieser Art in Bonn deutet somit daraufhin, dass am Standort eine große Menge Ammoniak verfügbar ist. Dieser stammt im Stadtgebiet von Bonn aus Katalysatoren, wie FRAHM (2006) nachweisen konnte. Die Lage des Trägerbaums in einer Entfernung von unter 100 m zur Autobahn 565 und dem Autobahnkreuz Bonn-Nord unterstreicht diese These. Da *Physconia grisea* trockene Standorte bevorzugt und Bonn eine jährliche Niederschlagsmenge von nur 669 mm hat, müsste die Art bei anhaltendem starkem Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen gute Voraussetzungen zur Ausbreitung vorfinden.

Auch die Flächen der übrigen Eutrophierungszeiger, mit Ausnahme von *Lecanora haagenii* und *Xanthoria polycarpa*, zeigen Bedeckungszuwächse, was weiter auf einen erhöhten Einfluss von eutrophierenden Luftschadstoffen schließen lässt. Der Einbruch der Bedeckung der nitrophilen Krustenflechte *Lec-*

anora hagenii, die 2003 die am viert häufigsten verbreitete Flechtenart war, allerdings nur an der Station Röttgen vorkam, geht vermutlich nicht auf eine Änderung der Schadstofflage, sondern auf den Pilzbefall an der Station Röttgen zurück. Ob die Art sich wieder ansiedeln kann, oder ob die Konkurrenz der Blattflechten zu groß ist müssen Folgeuntersuchungen zeigen.

Auch die gewichteten mittleren Reaktionswerte unterstreichen die Beobachtung zunehmender Eutrophierung. Ihre Zunahme an allen Stationen und der damit zusammenhängende mäßige Anstieg der nach VDI 3957 Blatt 8 zuzuordnenden Borken pH-Werte von unter 5,6 auf deutlich über 5,6 an allen Stationen, sind wahrscheinlich durch den Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen hervorgerufen worden. Mit Hilfe der gewichteten mittleren Zeigerwerte für Empfindlichkeit lässt sich keine direkte Aussage zur Eutrophierung der Luft machen. Doch weisen die meisten Eutrophierungszeiger Empfindlichkeitszahlen von 2 und höher auf, so dass ihr vermehrtes Vorkommen trotz des Vorkommens sehr unempfindlicher Arten zu einem leichten Anstieg der gewichteten mittleren Empfindlichkeitszahlen führt. Von empfindlicheren Flechtenvorkommen kann allerdings trotzdem nicht gesprochen werden, da die ermittelten gewichtete mittlere Empfindlichkeitszahlen von wenig über 2 nach der VDI-Richtlinie 3957 Blatt 8 immer noch als „ziemlich gering“ eingestuft werden. Am deutlichsten kann man den Einfluss der gestiegenen Luftdüngung am Anstieg der gewichteten mittleren Stickstoffzahlen erkennen. Ihr Anstieg auf Werte oberhalb der für Ahorne üblichen, zeigt an, dass die Borken einer Staubbimprägung und Düngung durch atmosphärischen Stickstoff ausgesetzt sind.

Literatur

- 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
- DILG, C. (1998): Epiphytische Moose und Flechten als Bioindikatoren der Luftqualität im Stadtgebiet von Bonn. – *Limprichtia* **11**
- FRAHM, J.-P. (2006): Der Einfluss von Ammoniak auf Stickstoff liebende Flechten in verkehrsbelasteten Gebieten. – *Immissionsschutz* **4**: 164–167
- FRANZEN, I. (2001): Epiphytische Moose und Flechten in den Monitoring-Transekten Duisburg, Bochum und Dortmund. – *Limprichtia* **16**
- FRANZEN-REUTER, I. (2006): Flechten und Moosbewuchs an Bäumen – LÖBF-Mitteilungen **2/ 06**: 2–7
- FRANZEN, I., STAPPER, N. J. & FRAHM, J.-P. (2002): Ermittlung der lufthygienischen Situation Nordrhein-Westfalens mit epiphytischen Flechten und Moosen als Bioindikatoren. Gutachten im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
- FRANZEN-REUTER, I. & STAPPER, N. J. (2003): Nachweis eutrophierender Luftverunreinigungen in NRW – Landesweite Kartierung epiphytischer Flechten und Moose. – *LÖBF-Mitteilungen* **1/ 03**: 76–78
- HEIDELBACH, B. (2003): Flächenbestimmung epiphytischer Flechten zur immissionsökologischen Langzeitbeobachtung nach VDI-Richtlinie 3957 Blatt 8 im Stadtgebiet von Bonn (unveröffentlichter Bericht)
- KIRSCHBAUM, U. & WIRTH, V. (1997): Flechten erkennen – Luftgüte bestimmen. – Stuttgart: Ulmer.
- KIRSCHBAUM, U. & HANNEWALD (2001): Veränderungen des Flechtenbewuchses in den hessischen Dauerbeobachtungsflächen Melsungen und Limburg zwischen 1997 und 1999. – *Angewandte Botanik* **75**: 20–30
- KIRSCHBAUM, U., SIEGMUND, M. & WIRTH, V. (2002): Flächenbestimmungen von Flechten zur ökologischen Langzeitbeobachtung. – *Herzogia* **15**: 159–178
- KIRSCHBAUM, U., WINDISCH, U., VORBECK, A., HANNEWALD, K. (2006): Mapping lichen diversity in Wetzlar and Giessen as an indicator of air quality. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* **66**: 272–280
- KOPERSKI, M., SAUER, M., BRAUN, W. & GRADSTEIN, S. R. (2000): Referenzliste der Moose Deutschlands. Schriftenreihe für Vegetationskunde **34** – Bonn-Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz
- ROHLFS, M. (2000): Flechtenkartierung belegt Verbesserung der Luftqualität im Bonner-Raum. *Decheniana* **153**: 103–108
- SCHARRENBERG, U. (1976): Verbreitung und Exposition von epiphytischen Algen und Flechten im zentralen Stadtbereich von Bonn. – Staatsexamensarbeit Univ. Bonn
- SCHOLZ, P. (2000): Katalog der Flechten und flechtenbewohnenden Pilze Deutschlands. Schriftenreihe für Vegetationskunde **31** – Bonn-Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz
- STAPPER, N. J. (2001): Biomonitoring im Ballungsraum Ruhrgebiet: Epiphytische Moose und Flechten in den Monitoring-Transekten Duisburg, Bochum und Dortmund – Wiederholungskartierung 2001 im Dortmunder Transekt. Gutachten im Auftrag der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten (LÖBF). **58** S.
- STAPPER, N. J. & KRICKE, R. (2004): Epiphytische Moose und Flechten als Bioindikatoren von städtischer Überwärmung, Standorteutrophierung und verkehrsbedingten Immissionen. – *Limprichtia*: **24**: 187–208
- STEINER, M. & SCHULZE-HORN, D. (1955): Über die Verbreitung und Expositionsabhängigkeit der Rindenepiphyten im Stadtgebiet von Bonn. – *Decheniana* **108** (1): 1–16
- VAN HERK, K. & APTRoot, A. (2004): *Veldgids korstmossen*. – Utrecht: KNNV Uitgeverij
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) (Hrsg.) (1995): VDI-Richtlinie 3799 Blatt 1: Messen von Immissionswirkungen – Ermittlung und Beurteilung

- phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten – Flechtenkartierung zur Ermittlung des Luftgütwertes (LGW). – Berlin: Beuth Verlag
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) (Hrsg.) (2003): VDI-Richtlinie 3957 Blatt 8: Flächenbestimmung epiphytischer Flechten zur immissionsökologischen Langzeitbeobachtung. – Berlin: Beuth Verlag
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) (Hrsg.) (2004): VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen mit Flechten (Bioindikation) - Kartierung der Diversität epiphytischer Flechten als Indikator für Luftgüte. – Berlin: Beuth Verlag
- VORBECK, A. & WINDISCH, U. (2002): Flechtenkartierung München – Eignung von Flechten als Bioindikatoren für verkehrsbedingte Immissionen. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) (Hrsg.). Materialien Umwelt und Entwicklung 173. – München

Anschrift der Autoren:

ANNE-MAIKE JANSSEN, JAN-PETER FRAHM & BIRGIT HEIDELBACH, Nees-Institut für Biodiversität der Pflanzen, Meckenheimer Allee 170, D-53115 Bonn

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Decheniana](#)

Jahr/Year: 2007

Band/Volume: [160](#)

Autor(en)/Author(s): Janssen Anne-Maike, Frahm Jan-Peter, Heidelberg Birgit

Artikel/Article: [Die Entwicklung der Flechtenvegetation in Bonn 2003-2006 155-165](#)