

Kartierung epiphytischer Moose und Flechten im Stadtgebiet von Bonn

CLAUDIA DILG

(Manuskripteingang: 8. Dezember 1998)

Zusammenfassung: Im Sommer 1997 wurde im Stadtgebiet von Bonn eine Punktkartierung epiphytischer Moose und Flechten sowie eine Rasterkartierung nach VDI-Richtlinie 3799 durchgeführt.

Im Zuge der Punktkartierung wurden auf einer Fläche von etwa 37 km² auf 816 untersuchten Trägerbüumen 38 Moos- und 54 Flechtenarten nachgewiesen. Der Vergleich mit den Epiphytenkartierungen von STEINER & SCHULZE-HORN (1955) bzw. SCHARRENBERG (1976) zeigt eine deutliche Artenzunahme im Untersuchungsgebiet während der letzten Jahrzehnte. Eine Epiphytenwüste besteht heute nicht mehr.

Mit Hilfe der VDI-Flechtenkartierung wurde das gesamte Stadtgebiet unter Ausschluß der Waldgebiete in 4 Luftgüteklassen unterteilt. Die lufthygienische Belastung reicht von „sehr hoch“ bis „hoch bis mäßig“. Korrelationsanalysen ergaben eine recht schwache Korrelationen der ermittelten Luftgütwerte mit verschiedenen Luftschadstoffen. Die stärkste Korrelation zeigte sich mit den mittleren winterlichen Schwefeldioxidimmissionen.

Schlagworte: Biomonitoring, Bonn, Epiphyten, Moose, Flechten VOI-Richtlinie, Lüftgüte

Abstract: In 1997 a detailed mapping of epiphytic bryophytes and lichens and a standardized lichen mapping according to the VDI-guideline 3799 have been carried out in the city area of Bonn.

In the course of the detailed mapping in an area of about 37 km² 38 bryophyte and 54 lichen species have been found on 816 investigated phorophytes. In comparison to the epiphyte mappings of STEINER & SCHULZE-HORN (1955) and SCHARRENBERG (1976) the number of species within the area of investigation has obviously increased during the last decades. An epiphyte desert is not existing any longer.

By means of the VDI-mapping the city area excluding the forests is subdivided into four classes of air pollution. The scale of immission stress reaches from "very high" to "high to moderate".

Correlations analyses between lichen indices and the immission of different pollutants indicate only low correlations. The most significant correlation could be found between the lichen indices and the average concentrations of sulphur dioxide in winter.

Keywords: Biomonitoring, Bonn, epiphytes, Bryophytes, lichens air quality

1. Einleitung

Aufgrund ihrer anatomischen und physiologischen Merkmale reagieren epiphytische Moose und Flechten besonders empfindlich gegenüber Luftverunreinigung. Im Gegensatz zu chemisch-physikalischen Verfahren zur Messung von Luftschadstoffen haben sie den Vorteil, alle biologisch relevanten Umweltfaktoren zu integrieren und auf den Gesamtkomplex der Schadstoffe zu reagieren. Epiphytische Moose und Flechten werden daher schon seit Jahrzehnten als Indikatoren der Luftqualität herangezogen (MASUCH 1993, FRAHM 1998).

Während bis in die 70er Jahre in Deutschland ein Rückgang epiphytischer Moose und Flechten in Ballungsgebieten und Städten zu beobachten war, findet in vielen Regionen heute eine Wiederbesiedlung statt und der Epiphytenreichtum vieler Städte nimmt zu (KANDLER &

POELT 1984, HAWKSWORTH & MC MANUS 1989, KIRSCHBAUM et al. 1996).

Die ersten Angaben über Moosvorkommen in Bonn und Umgebung stammen von W. P. HÜBENER und J. F. SEHLMAYER aus der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts. Anfang dieses Jahrhunderts erfolgten weitere bryologische Einzelbeobachtungen. Die Funde sind in der Moosflora der Rheinprovinz von FELD (1958) veröffentlicht. Die frühesten heute bekannten Flechtenaufsammlungen stammen von P. DREESEN, FRUSTING und G. LAHM aus der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts (MÜLLER 1965). Da von diesen Sammlern nur bemerkenswerte Einzel-funde publiziert wurden, ist über die Artenzahl und den Reichtum der epiphytischen Moos- und Flechtenflora in Bonn während des letzten und zu Beginn dieses Jahrhunderts nur wenig bekannt.

Eine erste ausführliche Epiphytenkartierung im Stadtgebiet von Bonn führten STEINER &

SCHULZE-HORN (1955) Mitte der 50er Jahre durch. Etwa 20 Jahre später erfolgte im Rahmen einer Staatsexamensarbeit eine weitere Kartierung, bei der neben epiphytischen Flechten auch epiphytische Algen untersucht wurden (SCHARRENBERG 1976).

In den 90er Jahren untersuchte STECH (1995) die Moosflora ausgewählter städtischer Grünanlagen. 1996 erfolgte in Teilen des rechtsrheinischen Stadtgebietes eine Flechtenkartierung nach der VDI-Richtlinie 3799 im Rahmen eines Praktikums am Botanischen Institut der Universität Bonn durch KILLMANN.

Im folgenden werden Auszüge der Ergebnisse einer 1997 im Rahmen einer Diplomarbeit am Botanischen Institut der Universität Bonn durchgeführten Epiphytenkartierung dargestellt. Mit dieser Arbeit sollte neben einer floristischen Erfassung der epiphytischen Moose und Flechten die Veränderung der Epiphytenvegetation in Bonn während der letzten Jahrzehnte aufgezeigt werden. Des weiteren sollte der Einfluß von Luftschadstoffen auf die Epiphytenvegetation untersucht und soweit möglich Rückschlüsse auf die aktuelle Schadstoffbelastung im Stadtgebiet gezogen werden.

2. Material und Methodik

2.1. Kartierungsmethoden

2.1.1. Punktkartierung

Bei der Punktkartierung erfolgte eine punktuell Darstellung und Auswertung der kartierten Epiphytenvegetation auf Basis der Deutschen Grundkarte 1:5000. Ziel der Punktkartierung war es, einen detaillierten Überblick über das Vorkommen und die Verbreitung epiphytischer Moose und Flechten im Untersuchungsgebiet zu erhalten. Hierzu wurde innerhalb des Untersuchungsgebietes eine möglichst große Anzahl potentieller Trägerbäume auf ihren Epiphytenbesatz untersucht. In Hinblick auf eine gründliche Erfassung der Epiphytenvegetation wurde auf eine Standardisierung der zu kartierenden Trägerbäume verzichtet. Die Untersuchung des Epiphytenbesatzes beschränkte sich auf den Stammbereich zwischen 0,5 m und 2 m Höhe über dem Boden.

Um den zeitlichen Aufwand zu begrenzen, wurde die Punktkartierung auf die Stadtbezirke Bonn und Hardtberg sowie Teile des angrenzenden Stadtteils Friesdorf beschränkt. Landwirtschaftlich genutzte Flächen und geschlossene Waldgebiete wurden nicht berücksichtigt.

2.1.2. Rasterkartierung nach der VDI-Richtlinie 3799, Blatt 1 (VDI 1995)

Dieses standardisierte Verfahren der Flechtenkartierung ermöglicht eine Beurteilung der lufthygienischen Situation des Untersuchungsgebietes. Als Bezugssystem für die Bewertung der Luftgüte dient ein Meßnetz, welches das Untersuchungsgebiet in einzelne Rasterquadrate gliedert.

Die Kartierungsmethode wurde erstmalig auch auf Moose übertragen. Die Auswertung der im Freiland erhobenen Daten erfolgte für Moose und Flechten getrennt. Im direkten Vergleich sollte auf diese Weise die Aussagekraft der Moose innerhalb dieses Verfahrens überprüft werden.

Die Kartierung erstreckte sich über das gesamte Stadtgebiet von Bonn. Aufgrund des Mangels an geeigneten, die Kartierungsvoraussetzungen erfüllenden Trägerbäumen wurden Waldgebiete und landwirtschaftliche Nutzflächen z.T. nicht berücksichtigt.

Als Grundlage der Kartierung diente ein Netz aus Rasterquadraten mit 1 km Seitenlänge, welches sich an den Rechts- und Hochwerten der Gauß-Krüger-Abbildung orientiert. Pro Rasterquadrat wurden 5 bis 8 Bäume untersucht, welche der Baumartengruppe mit subneutralen Borkeneigenschaften angehören mußten (siehe VDI 1995). Abweichend von den in der Richtlinie vorgegebenen Kriterien durfte die Inklination des Stammes nicht geringer als 75° sein.

Die Aufnahme des Epiphytenbesatzes erfolgte an der am stärksten bewachsenen Seite des Stammes mit Hilfe eines Aufnahmegerätes. Dieses wurde so an den Baumstamm angelegt, daß sich die untere Kante des Gitters 100 cm über dem Boden befand. Durch das Gitter wurde die zu untersuchende Fläche des Stammes in 10 Quadrate mit einer Fläche von jeweils 100 cm² geteilt. Für jede epiphytische Moos- und Flechtenart, welche innerhalb des Gitters vorkam, wurde die Frequenz, d.h. die Anzahl der besiedelten Quadrate, ermittelt. Aufgrund der mittleren Frequenzsumme aller Epiphyten pro Baum wurde für jedes Rasterquadrat der Luftgütwert (LGW) als Maß für die lufthygienische Belastung ermittelt. Für weitere Einzelheiten siehe VDI (1995).

2.2. Computergestützte Auswertung und kartographische Darstellung

Zur Analyse des Zusammenhangs zwischen den anhand der Flechtenkartierung ermittelten Luft-

güewerten und verschiedenen Schadstoffen wurden Korrelationsanalysen durchgeführt.

Als Datengrundlage wurden Schadstoffparameter des Luftreinhalteplans Rheinschiene Süd (MURL 1992) herangezogen. Die Daten der Jahresemissionen [t/a] von Benzol, CO, NO₂, organischen Gasen und Dämpfen, SO₂ und Staub wurden dem Emissionskataster entnommen. Sie entstammen den Emittentengruppen Industrie, Verkehr und Hausbrand. Die Daten der 98. Perzentile, die Jahresmittelwerte und die winterlichen Konzentrationsmittelwerte der Schwefeldioxidmissionen basieren auf einem Strömungs- und Ausbreitungsmodell, welches die Schwefeldioxid-Belastung im Bonner Raum simuliert. Alle verwendeten Daten liegen, wie auch die Daten der LGW, in einem 1-km-Raster als Bezugssystem vor. Daten mit metrischem Skalenniveau wurden zunächst auf das Vorliegen einer Normalverteilung überprüft. Für Stichprobengrößen unter n=50 wurde der Shapiro-Wilks-Test, ansonsten eine Kolmogorov-Smirnov-Statistik mit einem Signifikanzniveau nach Lillifors verwendet. Bei Vorliegen einer Normalverteilung der zu korrelierenden Daten wurde der Pearsonsche Produkt-Moment-Korrelations-Koeffizient r errechnet. Zur Analyse nicht normalverteilter metrischer Daten sowie ordinalskalierten Daten diente Spearmans Rangkorrelationskoeffizient r_s.

Zur Überprüfung der Fehlerwahrscheinlichkeit wurden bei beiden Korrelationsanalysen mit Hilfe des Programmpaketes SPSS Signifikanztests durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde mit $\alpha = 5\%$ festgelegt (JANSSEN & LAATZ 1997).

Die kartographische Auswertung und Darstellung der Kartierungsergebnisse erfolgte im Kataster- und Vermessungsamt der Stadt Bonn mit Hilfe des Geographischen Informationssystems WINCAT V2.3.c.

3. Ergebnisse und Diskussion der Punktkartierung

3.1. Artenliste

Im Zuge der Punktkartierung wurden im Sommer 1997 auf einer Fläche von etwa 37 km² 816 Trägerbäume kartiert. Auf diesen wurden 3146 epiphytische Flechten- und 1322 epiphytische Moosvorkommen registriert. Insgesamt konnten die folgenden 38 epiphytischen Moos- und 54 epiphytischen Flechtenarten nachgewiesen werden.

Moose (Bryophyta)

Amblystegiella subtilis (HEDW.) LOESKE
Amblystegium serpens (HEDW.) B.S.G.
Amblystegium serpens var. *rigidiusculum* LINDB. & ARN.
Amblystegium varium (HEDW.) LINDB.
Brachythecium rutabulum (HEDW.) B.S.G.
Brachythecium velutinum (HEDW.) B.S.G.
Bryum argenteum HEDW.
Bryum capillare HEDW. s. str.
Bryum flaccidum BRID.
Bryum spec.
Ceratodon purpureus (HEDW.) BRID.
Dicranoweisia cirrata (HEDW.) LINDB.
Dicranum scoparium HEDW.
Dicranum tauricum SAP.
Eurhynchium praelongum (HEDW.) B.S.G.
Frullania dilatata (L.) DUM.
Grimmia pulvinata (HEDW.) SM.
Homalothecium sericeum (HEDW.) B.S.G.
Hypnum cupressiforme HEDW. s. str.
Hypnum resupinatum TAYL.
Leskea polycarpa HEDW.
Lophocolea heterophylla (SCHRAD.) DUM.
Metzgeria furcata (L.) DUM.
Orthodicranum montanum (HEDW.) LOESKE
Orthotrichum affine BRID.
Orthotrichum diaphanum BRID.
Orthotrichum lyellii HOOK. & TAYL.
Orthotrichum obtusifolium BRID.
Plagiomnium affine (FUNCK) KOP.
Platygyrium repens (BRID.) B.S.G.
Porella platyphylla (L.) PPEIFF.
Radula complanata (L.) DUM.
Rhynchostegium murale (HEDW.) B.S.G.
Tortula latifolia (BRUCH ex HARTM.) HARTM.
Tortula muralis HEDW.
Tortula papillosa WILS.
Ulota bruchii HORNSCH. ex BRID.
Ulota crispa (HEDW.) BRID.

Flechten (Lichenes)

Bryoria fuscescens (GYELNIK) BRODO & D.HAWKSW.
Buellia punctata (HOFFM.) MASSAL.
Caloplaca holocarpa (HOFFM. ex ACH.) WADE
Candelaria concolor (DICKSON) B.STEIN
Candelariella reflexa (NYL.) LETTAU
Candelariella viae-lacteeae G.THOR & V.WIRTH
Candelariella vitellina (HOFFM.) MÜLL.ARG.
Candelariella xanthostigma (ACH.) LETTAU
Cetraria chlorophylla (WILLD.) VAINIO
Cladonia coniocraea auct.
Cladonia fimbriata (L.) FR.
Evernia prunastri (L.) ACH.
Hypocenomyce scalaris (ACH. ex LILJ.)CHOISY
Hypogymnia physodes (L.) NYL.
Hypogymnia tubulosa (SCHAERER) HAVAAS
Lecanora carpinea (L.) VAINIO
Lecanora chlarotera NYL.
Lecanora conizaeoides NYL. ex CROMBIE

Lecanora dispersa (PERS.) SOMMERF.
Lecanora expallens ACH.
Lecanora hagenii (ACH.) ACH.
Lecanora saligna (SCHRADER) ZAHLBR.
Lecanora symmicta (ACH.) ACH.
Lepraria incana (L.) ACH.
Parmelia acetabulum (NECKER) DUBY
Parmelia c.f. *revoluta* FLÖRKE
Parmelia caperata (L.) ACH.
Parmelia elegantula (ZAHLBR.) SZAT.
Parmelia exasperatula NYL.
Parmelia glabratula (LAMY) NYL.
Parmelia revoluta FLÖRKE
Parmelia saxatilis (L.) ACH.
Parmelia subargentifera NYL.
Parmelia subaurifera NYL.
Parmelia subrudecta NYL.
Parmelia sulcata TAYLOR
Pertusaria flavida (DC.) LAUNDON
Phaeophyscia nigricans (FLÖRKE) MOBERG
Phaeophyscia orbicularis (NECKER) MOBERG
Physcia adscendens (FR.) OLIV.
Physcia caesia (HOFFM.) FÜRNR.
Physcia stellaris (L.) NYL.
Physcia tenella (SCOP.) DC.
Physconia grisea (LAM.) POELT
Platismatia glauca (L.) W.CULB.
Pseudevernia furfuracea (L.) ZOPF
Ramalina pollinaria (WESTR.) ACH.
Strangospora piticola (MASSAL.) KÖRBER
Usnea filipendula STIRTON s.str.
Usnea hirta (L.) WEBER ex WIGG.
Usnea subfloridana STIRTON
Xanthoria candelaria (L.) TH.FR.
Xanthoria parietina (L.) TH.FR.
Xanthoria polycarpa (HOFFM.) RIEBER

3.2. Wandel der Epiphytenvegetation in Bonn nach 1950

Als Bezugssystem für die Untersuchung der Veränderung der Epiphytenvegetation diente das Untersuchungsgebiet von STEINER & SCHULZE-HORN (1955), welches sich auf das eigentliche Stadtgebiet unterhalb des Venusberges beschränkte.

Der Vergleich der Kartierungen von 1955 und 1976 zeigt in diesem Zeitraum eine deutliche Abnahme der Flechtenvegetation (STEINER & SCHULZE-HORN 1955, SCHARRENBERG 1976). Während die absolute Anzahl der nachgewiesenen Flechtenarten nur geringfügig zurückging, weitete sich die Flechtenwüste merklich aus. Seit Ende der 70er Jahre ist für das Untersuchungsgebiet eine deutliche Artenzunahme und eine Wiederbesiedlung der früher epiphytenfreien Gebiete zu verzeichnen. Während STEINER & SCHULZE-HORN (1955) 10 Flechten- bzw. 4 Moosarten und SCHARRENBERG (1976) 8 Flechtenarten für das unterhalb des Venusberges gelegene Stadtgebiet angaben (siehe Tab.1), konnten im Rahmen dieser Untersuchung 40 Flechten- und 33 Moosarten nachgewiesen werden. Die Anzahl der epiphytischen Flechtenarten des Botanischen Gartens stieg in den letzten 20 Jahren von 4 auf 10 Arten.

Bei dem Vergleich der Kartierungen ist zu beachten, daß unterschiedliche Kartierungsmethoden zur Anwendung kamen. So untersuchten

Tabelle 1. Bei früheren Flechtenkartierungen im Bonner Stadtgebiet nachgewiesene epiphytische Arten (+ innerhalb bzw. (+) außerhalb des Untersuchungsgebietes von STEINER & SCHULZE-HORN 1955)

	Nachweise im Bonner Stadtgebiet durch	
	STEINER & SCHULZE-HORN (1955)	SCHARRENBERG (1976)
<i>Buellia punctata</i>	+	+
<i>Candelariella spec.</i>	+	
<i>Hypocenyce scalaris</i>	+	+
<i>Hypogymnia physodes</i>		(+)
<i>Lecanora chlarotera</i>	+	
<i>Lecanora conizaeoides</i>	+	+
<i>Lepraria incana</i>	+	+
<i>Parmelia sulcata</i>	(+)	
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	+	+
<i>Physcia adscendens</i>	+	(+)
<i>Physcia caesia</i>	+	
<i>Physcia grisea</i>	(+)	
<i>Physcia tenella</i>	+	+
<i>Xanthoria parietina</i>	+	(+)
<i>Xanthoria polycarpa</i>	+	

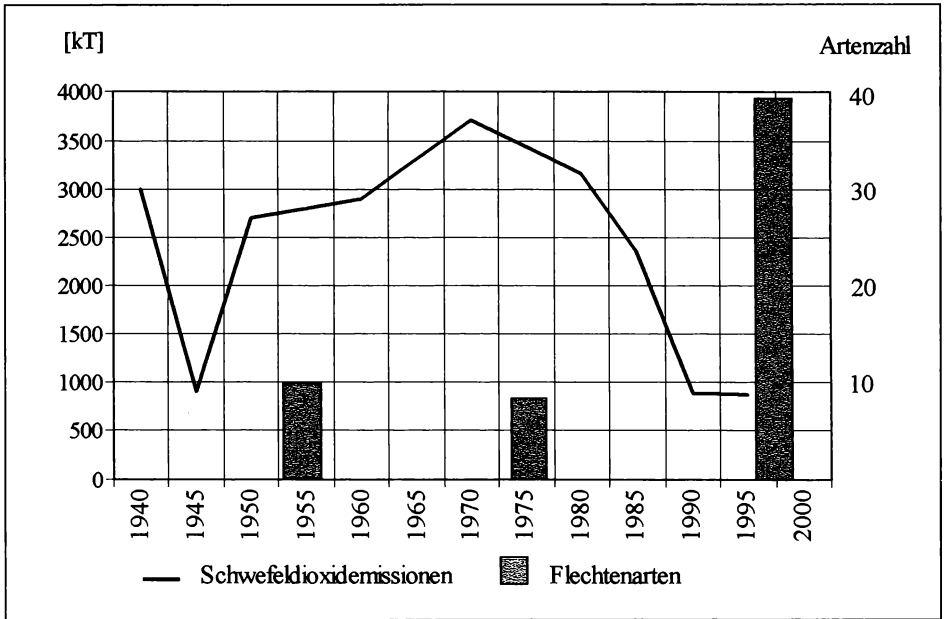


Abbildung 1. Entwicklung der Schwefeldioxidemissionen in Westdeutschland seit 1940 und Anzahl der in den 50er und 70er Jahren bzw. 1997 in den unterhalb des Venusberges gelegenen Stadtteilen nachgewiesenen Flechtenarten (NIESSLEIN & VOSS 1985, Umweltbundesamt 1997)

sowohl STEINER & SCHULZE-HORN (1955) als auch SCHARRENBURG (1976) insbesondere Bäume öffentlicher Straßen und Plätze. Daher ist nicht auszuschließen, daß die tatsächlichen Artenzahlen des Untersuchungsgebietes leicht über den von den Autoren ermittelten Werten lagen.

Die Wiederbesiedlung des Stadtzentrums durch epiphytische Flechten während der letzten 40 Jahre zeigt sich besonders deutlich in der Betrachtung des Gebietes der von STEINER & SCHULZE-HORN (1955) beschriebenen Flechtenwüste. So konnten innerhalb dieses Gebietes heute 18 Moos- und Flechtenarten mit z.T. hohen Deckungsgraden und Frequenzen gefunden werden.

STEINER & SCHULZE-HORN (1955) führten für die Flechtenarmut in der Bonner Innenstadt neben lufthygienischen insbesondere klimatische Ursachen an. Die starke Zunahme der Epiphytenvegetation in den letzten 20 Jahren belegt jedoch, daß Luftschadstoffe als Hauptverursacher der Flechtenarmut anzusehen sind. Während die negativen Effekte des Stadtklimas durch eine fortlaufende Ausdehnung des Stadtgebietes und eine zunehmende Bodenversiege-

lung sicherlich zugenommen haben, kam es zu einem starken Rückgang verschiedener Luftschadstoffe (MURL 1992).

Abb. 1 zeigt die Entwicklung der Flechtenartenzahl im Bonner Stadtgebiet gegenüber den Schwefeldioxidkonzentrationen der Luft. In Westdeutschland nahmen die Schwefeldioxidemissionen bis 1970 zu, um danach stetig abzufallen. Einen hierzu entgegengesetzten Verlauf zeigt die Flechtenartenzahl im Bonner Stadtgebiet. In der Zeit der Zunahme der Schwefeldioxidemissionen war die Tendenz der Epiphytenvegetation rückläufig und die Flechtenwüste nahm an Größe zu. Der genaue Zeitpunkt des Beginns der Wiederbesiedlung der Bonner Innenstadt durch Epiphyten kann anhand der beiden früheren Kartierungen nicht abgelesen werden. Es zeigt sich jedoch, daß diese nur mit kurzer Verzögerung nach dem Rückgang der Schwefeldioxidemissionen stattgefunden haben muß. Da neben der Abnahme der Schwefeldioxidemissionen auch ein Rückgang verschiedener anderer Schadstoffe in diesem Zeitraum auftrat, darf jedoch nicht auf einen direkten Zusammenhang der dargestellten Parameter geschlossen werden (s.u.).

4. Ergebnisse und Diskussion der Rasterkartierung

4.1. Untersuchte Bäume

Im Rahmen der Rasterkartierung wurden insgesamt 382 Bäume in 61 Rasterquadraten untersucht. Im Mittel wurden 6,26 Bäume pro Rasterquadrat für die Bewertung der Luftgüte herangezogen. *Acer platanoides* war mit über 50 % der untersuchten Bäume die häufigste Trägerbaumart. Es folgten *Populus spec.*, *Fraxinus excelsior*, *Juglans regia* und *Acer pseudoplatanus*.

4.2. Lufthygienische Situation Bonns, ermittelt aufgrund des Flechtenvorkommens

63 der untersuchten Bäume (14,5 %) wiesen keinen Bewuchs mit in die Bewertung der Luftgüte eingehenden Flechtenarten bzw. -artengruppen auf. Auf 26 (41 %) dieser Bäume konnte jedoch *Lecanora conizaeoides*, welche nicht in die Bewertung eingeht, nachgewiesen werden. Die mittlere Frequenzsumme aller Flechten auf den untersuchten Bäumen betrug 10,88. Die ermittelten Luftgütwerte für die einzelnen Rasterquadrate liegen im Bereich zwischen 1,8 und 25,2. Der Mittelwert liegt bei 10,9.

Wegen der relativ geringen mittleren Standardabweichung des Projektes ($sp = 6,73$) betrug die Breite der Luftgüteklassen 6,7 Einheiten. Insgesamt lassen sich 4 Luftgüteklassen aufstellen. Aufgrund der Eichung der Klassen mit Hilfe der mitteleuropäischen Bewertungsskala (siehe VDI 1995) reicht die lufthygienische Belastung Bonns somit von „sehr hoch“ bis hoch bis „mäßig“. Etwa 80 % der untersuchten Rasterquadrate muß eine sehr hohe bis hohe Belastung attestiert werden. Eine hohe bis mäßige lufthygienische Belastung findet sich nur in einem Rasterquadrat. Die aufgrund der Flechtenkartierung ermittelte Luftgüte im Bonner Stadtgebiet geht aus Abb. 2 hervor.

Die niedrigsten Luftgütwerte treten in der Bonner Innenstadt, der angrenzenden Nord- und Weststadt sowie in fast allen Stadtteilen Bad Godesbergs und in Teilen Beuels auf. Bessere lufthygienische Verhältnisse sind im Bonner Stadtgebiet entlang des Hangfußes des Venusbergs, in den Stadtteilen der Hanglagen, der Mittel- und Hauptterasse und in den nord-westlich der Innenstadt jenseits der A 565 gelegenen Stadtteilen zu finden.

4.3. Korrelation der Luftgütwerte mit Schadstoffparametern

Wie Tab. 2 zeigt, konnten zwischen den Luftgütwerten der Flechtenkartierung und den Jahresemissionen verschiedener Schadstoffe keine bzw. nur sehr schwache Korrelationen nachgewiesen werden.

Zwischen den Luftgütwerten der Flechten und den simulierten mittleren SO_2 -Immissionen bezogen auf ein Jahr ließ sich nur eine sehr schwache Korrelation nachweisen. Dagegen zeigte sich eine deutliche Korrelation der Luftgütwerte mit den mittleren SO_2 -Immissionen im Winter. Die winterlichen SO_2 -Konzentrationen sind erwartungsgemäß für die Epiphyten von großer Bedeutung. In dieser Zeit erreichen Moose und Flechten das Maximum ihrer Stoffwechselaktivität. Zusätzlich ist der Ausstoß von SO_2 zu diesem Zeitpunkt besonders hoch. So liegen die mittleren winterlichen SO_2 -Immissionen in Bonn bis zu 10 mal höher als die mittleren sommerlichen SO_2 -Immissionen (MURL 1992).

Es wurde häufig vermutet, daß die Maximalkonzentrationen von Schwefeldioxid als Minimumfaktor für das Vorkommen von Epiphyten in Städten eine Rolle spielen. Die Maximalwerte der SO_2 -Konzentration sind in Bonn, wie auch die Maximalwerte der 98. Perzentile, in den Stadtteilen Kessenich, Dottendorf, Ippendorf und Röttgen zu finden (MURL 1992). Diese Stadtteile, welche zu den Flechtenzonen II und I (Äußere Kampfzone bzw. Normalzone) zu zählen sind, zeichnen sich durch eine im Vergleich zur Innenstadt gut entwickelte Epiphytenvegetation aus. Auch die Tatsache, daß keine Korrelation zwischen der 98. Perzentile und den Luftgütwerten nachgewiesen werden konnte, zeigt, daß die SO_2 -Maximalkonzentrationen die Epiphytenzonierung nicht maßgeblich bestimmen.

Auf den ersten Blick erstaunt die deutlich positive Korrelation der Luftgütwerte mit den mittleren SO_2 -Immissionen, welche aus Quellen der Rheinschiene Süd nach Bonn transportiert werden. Letztere nehmen in Bonn relativ gleichmäßig von Nordwesten nach Südosten ab. Ein direkter Zusammenhang der beiden Parameter muß ausgeschlossen werden, da einerseits eine Zunahme der Luftgütwerte mit steigenden SO_2 -Konzentrationen nicht wahrscheinlich ist, und andererseits die SO_2 -Immissionen aus Quellen der Rheinschiene Süd nur einen kleinen Teil der gesamten SO_2 -Immissionen in Bonn ausmachen.

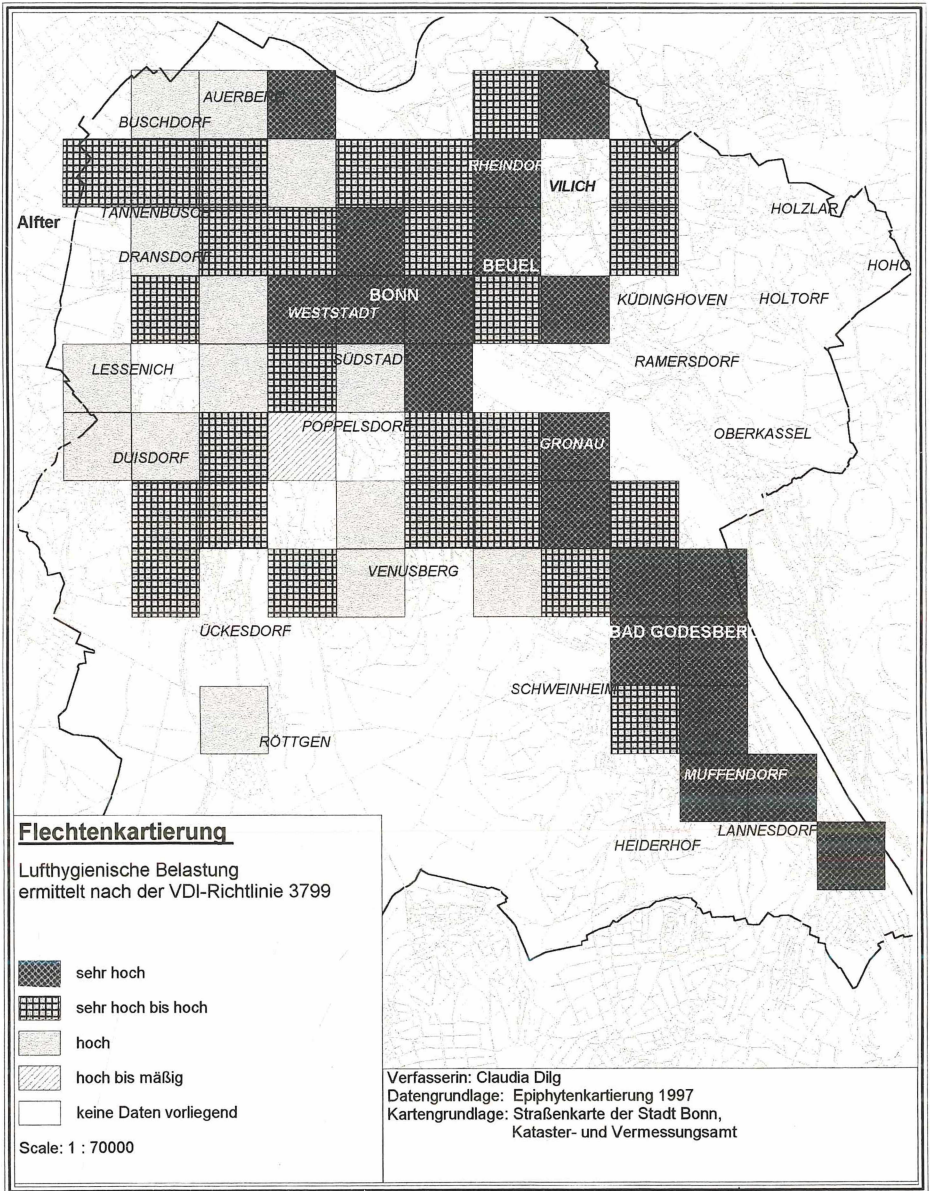


Abbildung 2. Lufthygienische Belastung der Stadt Bonn (nach VDI-Richtlinie 3799)

Die tendenzielle Abnahme der Luftgütwerte von Norden nach Süden deutet auf eine zunehmende Schadstoffkonzentration im Süden Bonns hin. Während ein solcher Gradient in der Immissionssimulation der SO_2 -Konzentrationen des Luftreinhalteplanes Rheinschiene Süd

(MURL 1992) nicht aufgezeigt wurde, kommt es nach KLAUS et al. (1997) zu einer Anreicherung der SO_2 -Konzentrationen am südlichen Ende der Kölner Bucht. Diese wird auf das Phänomen der Talwindzirkulationen zurückgeführt. Eine solche orographisch-klimatisch bedingte

Tabelle 2. Ergebnisse der Korrelationsanalyse zwischen den anhand der Flechtenkartierung ermittelten Luftgütwerten und den Emissions- bzw. Immissionsdaten verschiedener Luftschadstoffe (nach MURL 1992)

1 Rheinschiene Süd (südliches Ruhrgebiet)

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 signifikant

	Korrelationskoeffizient r, bzw. r _S	Anzahl der Stichproben
Jahresemissionen [t/a]		
Benzol	-0,230	61
CO	-0,285*	61
NO ₂	-0,124	61
Organische Gase und Dämpfe	-0,254*	61
SO ₂	-0,159	61
Staub	-0,218	60
Simulierte SO₂-Immissionen in [µg/m³]		
98 – Perzentile		
aus Quellen des Emissionskatasters RhS ¹ und Bonn	0,157	61
Jahresmittelwerte		
aus Quellen des Emissionskatasters Bonn	-0,297*	61
Jahresmittelwerte		
aus Quellen des Emissionskatasters RhS	0,492**	61
Jahresmittelwerte		
aus Quellen des Emissionskatasters RhS und Bonn	-0,201	61
Konzentrationsmittelwerte für den Winter		
aus Quelle des Emissionskatasters Bonn	-0,460**	61

Schadstoffanreicherung in den südlichen Gebieten Bonns kann auch die sehr niedrigen Luftgütwerte in Bad Godesberg erklären.

4.4. Moosvorkommen auf den untersuchten Bäumen

Epiphytische Moose wurden nur auf 30 % der Bäume gefunden. Ihre geringe Häufigkeit auf den untersuchten Trägerbäumen zeigt sich auch in der sehr geringen mittleren Frequenzsumme (2,5).

Die aufgrund des Moosvorkommens ermittelten Luftgütwerte der Rasterquadrate reichen von LGW 0 bis 8,4. Der Mittelwert liegt bei 2,4. Mit einer Standardabweichung des Projektes von $s_p = 4,17$ ergab sich eine Klassenbreite von 4,3. Da die Spanne der ermittelten Luftgütwerte im Gebiet nur 8,4 Einheiten betrug, konnten nur 2 Luftgüteklassen eingeteilt werden. Direkt benachbarte Klassen unterscheiden sich nicht statistisch signifikant. Es ist demnach in Bonn mit der auf Moose übertragenen VDI-Kartierungsmethode nicht möglich, eine statistisch abgesicherte Unterteilung des Gebietes in unterschiedliche Luftgüteklassen vorzunehmen. Wegen fehlender Signifikanz der Ergebnisse wurde auf eine kartographische Darstellung der

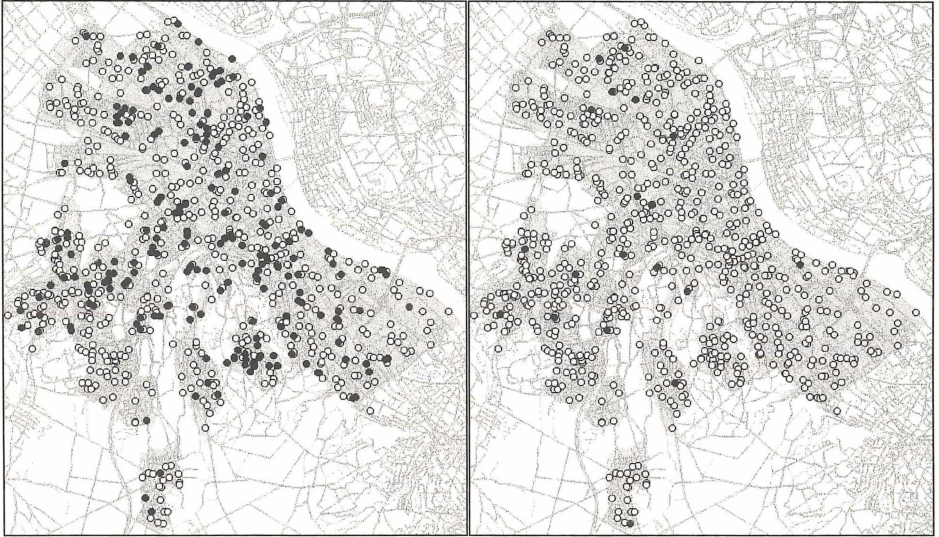
ermittelten Luftgütwerte und auf eine weitere Analyse der Ergebnisse verzichtet.

4.5. Diskussion

Es stellt sich die Frage, inwieweit die Grenzen der derzeitigen Verbreitung epiphytischer Arten durch aktuelle Schadstoffkonzentrationen bestimmt werden. Die Korrelationskoeffizienten zwischen den nach der VDI-Richtlinie ermittelten Luftgütwerten und den Schadstoffparametern erwiesen sich generell als sehr gering. Im Rahmen einer Flechtenkartierung Hessens ermittelten KIRSCHBAUM & WINDISCH (1995) z.B. erheblich stärkere Zusammenhänge zwischen den Luftgütwerten und den SO₂-Jahresmittelwerten. Als mögliche Fehlerquelle müssen hier die auf einem Modell basierenden Schadstoffdaten berücksichtigt werden.

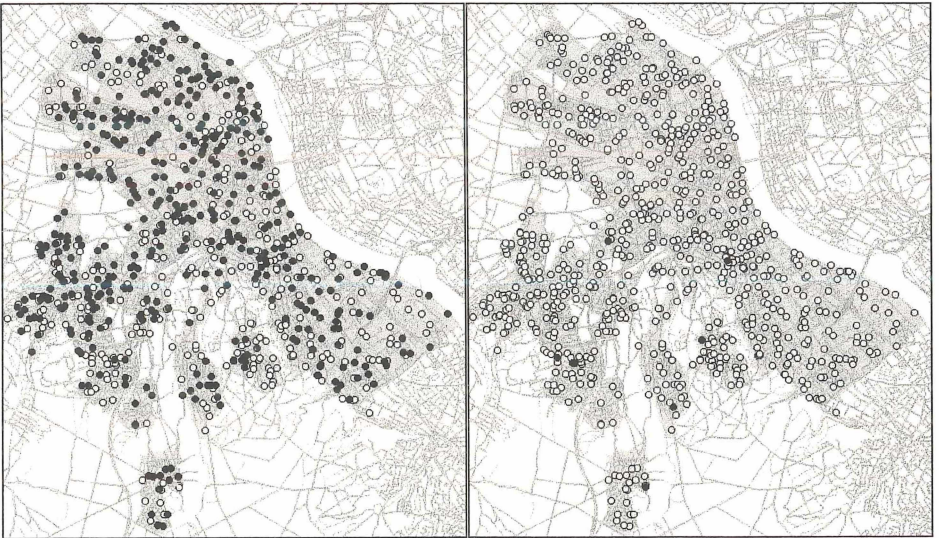
Es ist ebenfalls denkbar, daß die derzeitige Epiphytenvegetation vergangene lufthygienische Verhältnisse anzeigt und von der derzeitigen Luftschadstoffsituation weitgehend entkoppelt ist.

So könnten nach dem Rückgang der Schadstoffemissionen viele Arten derzeit noch nicht



Hypnum cupressiforme HEDW. s.str.

Ulota bruchii HORNSCH. EX BRID.
& *Ulota crispa* (HEDW.) BRID.



Phaeophyscia orbicularis (NECKER) MOBERG

Usnea spec.

Abbildung 3. Verbreitung verschiedener epiphytischer Moos- und Flechtenarten auf den im Untersuchungsgebiet kartierten Trägerbäume (Kartengrundlage: Straßenkarte der Stadt Bonn, Kataster- und Vermessungsamt)

ihre maximal mögliche Verbreitung im Stadtgebiet erreicht haben. Dieses betrifft insbesondere Arten mit geringer Ausbreitungsfähigkeit und Arten, welche während der Zeit der stärksten lufthygienischen Belastung in der näheren Umgebung keine Vorkommen hatten. So können nach GILBERT (1992) Arten, welche zu einer schnellen Wiederbesiedlung der Innenstädte befähigt sind („Zone skippers“), z.B. *Evernia prunastri* und *Parmelia subrudecta*, von Arten mit geringer Ausbreitungstendenz („Zone dawdlers“), z.B. *Hypocenomyce scalaris* und *Parmelia saxatilis*, unterschieden werden. Als Hinweis darauf, daß in Bonn eine Reihe empfindlicher Arten tatsächlich noch in Ausbreitung begriffen sind, können die reichlichen, meist noch jungen Exemplare von *Usnea spec.* und die z.T. fruchtenden *Ulota*-Individuen gedeutet werden (siehe Abb. 3). Zur Überprüfung, inwieweit die Verbreitung der Epiphyten durch die aktuelle lufthygienische Belastung geprägt ist, können Transplantationsversuche dienen.

Eine weitere mögliche Erklärung für die geringen Korrelationen einzelner Schadstoffe mit den Luftgütwerten bietet nach dem erheblichen Rückgang von Schwefeldioxid der zunehmende Einfluß von Schadstoffkombinationen auf die Epiphytenvegetation. So zeigten HERZIG et al. (1987) in der Schweiz eine hohe Übereinstimmung eines aufgrund der Flechtenfrequenz ermittelten IAP-Wertes mit technisch-physikalisch gemessenen Immissionsparametern. Während keiner der Immissionsparameter (Schwefeldioxid, Chlorid, Stickstoffdioxid, Staub, Cadmium, Blei, Zink und Kupfer) alleine eine statistisch signifikante Erklärung des Flechtenindex bieten konnte, erwies sich in der Kombination jeder der Schadstoffe als wirksam.

Nach dem rapiden Rückgang wichtiger Luftschadstoffe scheint auch die zunehmende Eutrophierung durch Stickoxidverbindungen und Staub einen großen Einfluß auf die Epiphytenvegetation auszuüben. So werden nitrophytische Arten durch den Düngereffekt in ihrem Wachstum und somit in ihrer Konkurrenzkraft gefördert. GILBERT (1970) beobachtete, daß insbesondere die Resistenz nitrophiler Arten gegenüber Luftschadstoffen durch Nährstoffzufuhr erhöht wird.

Ein Großteil der bis in das Stadtzentrum eindringenden Arten, wie z.B. *Physcia tenella*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Brachythecium rutabulum* und *Hypnum cupressiforme* (siehe Abb. 3),

sind als nitrophil einzustufen. Auf die Dominanz nitrophiler Arten im Stadtinneren deutet die zwar geringe, aber signifikante Korrelation der Bodenversiegelung mit der Nährstoffzahl der Flechten hin. Auch ein vermehrtes Auftreten von *Bryum argenteum*, einer sonst kaum epiphytisch wachsenden, stark nitrophilen Art im Stadtzentrum, ist auf Eutrophierung zurückzuführen.

Ein weiterer Hinweis auf den Einfluß der Eutrophierung gibt die leichte Zunahme der epiphytischen Algendeckung in den zentrumsnahen Stadtteilen. So vermuten HAWKSWORTH & ROSE (1970), daß pleurococcoide Algen auf eutrophierter Rinde eine höhere Toxizität erlangen.

Die Überlagerung verschiedener Prozesse, wie z.B. zunehmende Eutrophierung, Abnahme der klassischen Luftschadstoffe, Verzögerung der Wiedereinwanderung, aber auch die Beeinflussung der Epiphytenvegetation durch Mikroklima und das Vorhandensein geeigneter Trägerbäume, verdeutlicht die Problematik der Interpretation von Epiphytenkartierungen. So erscheint es in Bonn nicht möglich, aus der Epiphytenvegetation direkte Rückschlüsse auf die lufthygienische Situation zu ziehen. Im Rahmen eines umfassenden Monitoringsystemes, welches sowohl chemisch-technische Messungen von Luftschadstoffen als auch umweltepidemiologische Studien umfaßt, erscheint die Epiphytenkartierung dennoch als wichtiges ergänzendes Kontrollelement. Neben der Indikation der aktuellen lufthygienischen Situation sollte daher der Gedanke des Biomonitoring, einer langfristig angelegten Umweltbeobachtung mittels epiphytischer Moose und Flechten, in den Vordergrund der Epiphytenkartierung treten.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. J.-P. FRAHM für die wissenschaftliche Betreuung dieser Arbeit. Herr JOCHEN WAGNER (Kataster- und Vermessungsamt der Stadt Bonn) danke ich für die Ermöglichung der Nutzung des Umweltinformationssystemes der Stadt Bonn. Ganz herzlich danke ich Herrn Dr. M. BOECKER für die Durchsicht verschiedener Flechtenproben. Prof. Dr. VOLKMER WIRTH (Stuttgart) und ESTHER HEIBEL übernahmen freundlicherweise die Bestimmung einiger kritischer Proben. Herrn W. FABBENDER und Herrn Dr. D. MISTEREK (beide Amt für Umweltschutz und Lebensmitteluntersuchung der Stadt Bonn) sei für die Überlassung von Literatur gedankt. Die Untersuchungen wurden mit finanzieller Unterstützung des Amtes für Umweltschutz und Lebensmitteluntersuchung der Stadt Bonn durchgeführt.

Literatur

- FELD, J. (1958): Moosflora der Rheinprovinz. – Decheniana-Beihefte (Bonn) **6**, 94 S.
- FRAHM, J.-P. (1998): Moose als Bioindikatoren. – Wiesbaden (Quelle & Meyer), 187 S.
- HERZIG, R., LIEBENDÖRFER, L. & URECH, M. (1987): Flechten als Bioindikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz: Methoden - Evaluation und Eichung mit wichtigen Luftschadstoffen. – VDI-Bericht **609**, 619-639
- GILBERT, O. L. (1970): A biological scale for the estimation of sulphur dioxide pollution. – New Phytol. **69**, 629-634
- GILBERT, O. L. (1992): Lichen reinvasion with declining air pollution, in: BATES, J. W. & FARMER, A. M. (Ed.): Bryophytes and lichens in a changing environment. – Oxford (Oxford University Press)
- HAWKSWORTH, D. L. & MC MANUS, P. M. (1989): Lichen recolonization of London under conditions of rapidly falling sulphur dioxide levels, and the concept of zone skipping. – Bot. J. Linnean Soc. **109**, 99-109
- HAWKSWORTH, D. L. & ROSE, F. (1970): Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. – Nature **227**, 145-148
- JANSSEN, J. & LAATZ, W. (1997): Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows. 2. Aufl. – Berlin (Springer), 636 S.
- KANDLER, O. & POELT, J. (1984): Wiederbesiedlung der Innenstadt von München durch Flechten. – Naturw. Rdsch. **37**(3), 90-95
- KIRSCHBAUM, U., MARX, A. & SCHICK, J. E. (1996): Beurteilung der lufthygienischen Situation Gießens und Wetzlars mittels epiphytischer Flechten. – Angew. Bot. **70**, 78-96
- KIRSCHBAUM, U. & WINDISCH, U. (1995): Beurteilung der lufthygienischen Situation Hessens mittels epiphytischer Flechten. – Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz **171**, 150 S.
- KLAUS, D., FETT, M., POTH, A., RECHMANN, M. & VOSS, M. (1997): Beziehungen zwischen synoptischer und lokaler Windzirkulation und der Schadstoffbelastung in der südlichen Niederrheinischen Tieflandbucht. – Ber. z. dt. Landeskunde **71**(2), 255-284
- MASUCH, G. (1993): Biologie der Flechten. – Wiesbaden (Quelle & Meyer), 411 S.
- Ministerium für Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (MURL) (1992): Luftreinhalteplan Rheinschiene Süd 1992. – Düsseldorf, 283 S.
- MÜLLER, T. (1965): Die Flechten der Eifel mit Berücksichtigung der angrenzenden Ardennen und der Kölner Bucht. – Decheniana-Beihefte (Bonn) **12**, 1-72
- NIEBLEIN, E. & VOSS, G. (1985): Was wir über das Waldsterben wissen. – Köln (Deutscher Institut-Verlag), 258 S.
- SCHARRENBURG, U. (1976): Verbreitung und Exposition von epiphytischen Algen und Flechten im zentralen Stadtbereich von Bonn. – Staatsexamensarb. Univ. Bonn
- STECH, M. (1995): Untersuchungen zur Bryoflora der Stadt Bonn. – Diplomarb. Univ. Bonn, 123 S.
- STEINER, M. & SCHULZE-HORN, D. (1955): Über die Verbreitung und Expositions-abhängigkeit der Rindenepiphyten im Stadtgebiet von Bonn. – Decheniana (Bonn) **108**(1), 1-16
- Umweltbundesamt (1997): Daten der Umwelt – Der Zustand der Umwelt in Deutschland - Ausgabe 1997. – Berlin (E. Schmidt), 570 S.
- 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 Luftgüwertes (LGW). – Düsseldorf (Beuth), 24 S.

Anschrift der Autorin:

CLAUDIA DILG, Ellerstr. 22, D-53117 Bonn

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Decheniana](#)

Jahr/Year: 1999

Band/Volume: [152](#)

Autor(en)/Author(s): Dilg Claudia

Artikel/Article: [Kartierung epiphytischer Moose und Flechten im Stadtgebiet von Bonn 105-115](#)