
Das Nitrophytenproblem bei epiphytischen Flechten – eine Synthese

JAN-PETER FRAHM, ANNE-MAIKE JANßEN, JUDITH SCHUMACHER, DANIELA THÖNNES, STEPHANIE HENSEL, BIRGIT HEIDELBACH, DAVID ERLER

Zusammenfassung: FRAHM, J.-P., JANßEN, A.-M., SCHUMACHER, J., THÖNNES, D., HENSEL, S., HEIDELBACH B., ERLER, D. 2009. Das Nitrophytenproblem bei epiphytischen Flechten – eine Synthese. *Archive for Lichenology* 05: 1-8.

Der starke Anstieg von nitrophytischen Flechten während der letzten 15 Jahren in landwirtschaftlich genutzten und städtischen Bereichen hat die Frage aufgeworfen, welche Stickstoffverbindung dafür verantwortlich sind, welche physiologischen Probleme diese machen, wo diese herkommen, welche Auswirkungen sie auf die Flechten haben, was mit dem Stickstoff in den Flechten passiert, wie sich Feinstaub und trockene Deposition auswirken und wieso Nitrophyten auch in unbelasteten Gebieten dominieren.

Nach den Ergebnissen zahlreicher Einzelstudien, die hier mit neuen Daten ergänzt werden, ist Ammoniak die relevante Stickstoffquelle. Dieser wird als Ammoniumnitrat speziell in Form von trockener Deposition von den Flechten aufgenommen. Da Ammoniumnitrat ein Salz ist, haben Nitrophyten höhere osmotische Werte, weswegen sie in belasteten Gebieten konkurrenzkräftiger sind. Dies erlaubt Nitrophyten gleichzeitig die Existenz in Trockengebieten auch ohne Stickstoffemissionen, weswegen sie nicht unbedingt Stickstoffzeiger sondern auch Trockenzeiger sind. Der anfallende Stickstoff wird in Form von Aminosäuren in der Flechte passiv gespeichert, weswegen Nitrophyten nicht nitrophil sondern nitrotolerant, halotolerant und xerophytisch sind. Die momentane Temperaturerhöhung und die damit verbundene erhöhte Verdunstung sowie die Zunahme trockener Deposition (Feinstaubbelastung) führen zur Zeit trotz sinkender Gesamtstickstoffbelastung zu einem weiteren Anstieg der nitrophytischen Flechten.

Abstract: FRAHM, J.-P., JANßEN, A.-M., SCHUMACHER, J., THÖNNES, D., HENSEL, S., HEIDELBACH B., ERLER, D. 2009. The nitrogen problem of epiphytic lichens – a synthesis. *Archive for Lichenology* 05: 1-8.

The strong increase of nitrophytic lichens in Central Europe during the past fifteen years in urban regions and regions with intensive agriculture poses the question, which nitrogen compounds are responsible, where they come from, which effects they have on lichens, what happens with the nitrogen in lichens, how particulate matter and dry deposition influence lichens and why nitrophytic lichens dominate also in regions with no or low nitrogen emissions.

According to several studies, which are complete by new data, ammonia is the relevant source of nitrogen. It is taken up by lichens as ammoniumnitrate as dry deposition. Ammoniumnitrate, however, is a salt. Accordingly nitrophytic lichens have higher osmotic values. This enables nitrophytic lichens to survive in drier regions as compared with other epiphytic lichens, where they are more competitive, even without nitrogen emissions. Therefore nitrophytic lichens are not nitrophilous but halotolerant and xerophytic. The present increase of temperatures, which raises the evaporation, and the increase of dry deposition (particulate matter) cause an increase of nitrophytic lichens in spite of decrease total nitrogen emissions.

Key words: epiphytic lichens, osmotic values, amino acids, particulate matter, catalysts, traffic, dry deposition.

Einleitung

Nach dem Rückgang des Sauren Regens in den Neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts kam es zu einer stetigen starken Wiederansiedlung von epiphytischen Flechten. Damit wurden jedoch offenbar nicht die früheren Verhältnisse erreicht. Gerade in den früher stark belasteten Gebieten breiteten sich jetzt nitrophytische Arten aus, was dazu führte, dass die gerade in Kraft getretene VDI-Richtlinie (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1995) falsche Ergebnisse brachte und durch eine neue Richtlinie (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2004) ersetzt werden musste. Obgleich die Gesamtstickstoffemissionen inzwischen stetig sinken, nehmen jedoch die nitrophytischen Flechten weiter zu, wie Dauerprobeflächenkartierungen zeigen (Franzen-Reuter et al. 2006, Janßen et al. 2007a, 2007b). Über die Gründe ist mehr spekuliert als geforscht worden, denn Bioindikationsforschung an Flechten ist bislang weitgehend empirisch erfolgt. Klassischerweise sind die Ermittlung abgestufter Zeigerarten oder die Vergabe von Toxizitätswerten den Erfahrungen in der Natur abgeleitet, was nicht heißt, dass diese falsch oder schlecht sein müssen. Ausnahmen machten früher lediglich Begasungsversuche. Ursachenforschung, wieso manche Arten Nitrophyten sind, was sie mit dem aufgenommenem Stickstoff machen, oder warum sie in Trockengebieten dominieren, ist kaum betrieben worden. Daher wird im Folgenden versucht, etwas über die Zusammenhänge zu bringen, soweit sie uns überhaupt bekannt sind.

Zur Klärung dieser Fragen, zur Überprüfung von dazu aufgestellten Hypothesen sind an der Universität Bonn mehrere Studien durchgeführt worden, deren Ergebnisse hier in aller Kürze stichpunktartig zusammengefasst sind, zumal sie in Einzelbeiträgen erschienen sind und den Zusammenhang zwischen den Faktoren Stickstoff, Salz und Trockenheit nicht erläuterten. Das Ganze wird durch noch bislang unpublizierte Resultate aus neueren Untersuchungen ergänzt.

Fragestellungen

- In welcher chemischen Form ist Stickstoff für epiphytische Flechten überhaupt relevant?
- Woher kommt dieser Stickstoff?
- Wie kommt der Zusammenhang zwischen nitrophytischen Flechten und Verkehrsdichte zustande?
- Welchen Einfluss hat Feinstaub auf das Nitrophytenphänomen?
- Warum wirken sich trockene und nasse Deposition unterschiedlich aus?
- Was passiert mit dem aufgenommenen Stickstoff in der Flechte?
- Was macht trockene Deposition für physiologische Probleme?
- Warum dominieren nitrophytische Flechten in Trockengebieten?
- Wie wirkt sich der Klimawandel auf nitrophytische Flechten aus?

Was wir wissen:

1. Der Stickstoffgehalt in *Parmelia sulcata* ist von den Stickstoffemissionen abhängig. In ländlichen Gebieten von Nordrhein-Westfalen (Franzen-Reuter 2004) als auch in Städten (Düsseldorf, Stapper et al. 2005) korreliert der Gesamtstickstoffgehalt dieser Flechte mit der Landwirtschaft bzw. dem Verkehr. Flechten sind also Passivsammler, sie können die Stickstoffaufnahme nicht begrenzen sondern nehmen immer so viel Stickstoff auf wie die Atmosphäre bietet. Man kann also über den Stickstoffgehalt einer Flechte auf die Stickstoffbelastung des Flechtenstandortes schließen. Dies ist ein biologisches Messverfahren, welches die Stickstoffbelastung über einen längeren Zeitraum integriert und damit weitaus billiger

ist als technische Messverfahren, die eine mindestens über ein Jahr laufende Messstation erfordern.

2. Nitrophytische Flechten reagieren nicht auf Stickoxide.

Stickoxide gelten als der Parameter für die atmosphärische Stickstoffbelastung. Diese wird durch Messungen von NO_x ausgedrückt. Gemessen wird in Deutschland (im Gegensatz z.B. zu den Niederlanden) nur NO_x . Dabei wird der Stickstoffeintrag von Ammoniak generell (oder nur in speziellen Forschungsprojekten) nicht berücksichtigt. Es fragt sich daher, welche Form des Stickstoffs für Flechten überhaupt relevant ist, NO_x oder NH_3 ? Daher wurde der VDI Nitrophytenindex von Bäumen neben Luftmessstationen in Nordrhein-Westfalen erfasst und mit den dort gemessenen NO_x -Werten korreliert. Es zeigte sich, dass keinerlei Beziehung zwischen der Höhe der NO_x -Emissionen und der Artenzahl sowie Frequenz von nitrophytischen Flechten besteht (Schumacher et al. 2006). Stickoxide sind also kein Parameter für nitrophytische Flechten. Ein weiterer Beleg für diese Aussage ergab sich bei in vivo-Düngeversuchen an epiphytischen Flechten. Dabei zeigte sich bei Ammonium-haltigen Düngern eine stärkere Wirkung als bei Nitrat-haltigen (Franzen-Reuter & Frahm 2007). Die Präferenz für Ammonium ergibt sich auch aus der Tatsache, dass Stickstoff von grünen Landpflanzen allgemein (also auch dem Algenpartner der Flechte) als Ammonium aufgenommen wird und – wenn nur Nitrat zur Verfügung steht, dies durch Nitratreduktase umgewandelt werden muss. NO_x bzw. Nitrat als Parameter für epiphytische Flechten scheidet auch aus einem anderen Grund aus, welcher das Stickstoff-Paradox erklärt. Trotz der Abnahme von Gesamt-Stickstoffdeposition ist eine wesentliche Zunahme der Nitrophyten zu verzeichnen. Gängigen Vorstellungen zu Folge löst sich NO_x in der Luft in Regenwasser zu Salpetriger Säure bzw. Salpetersäure. Dies kann aber nur bei Regen oder hoher Luftfeuchte passieren. Was passiert aber mit den Stickoxiden in den (viel längeren) Trockenperioden? Sie verbinden sich mit Ammoniak. Daher kann die Rolle der nassen Deposition als gering erachtet werden. Hingegen wird Rolle der trockenen Deposition (des Feinstaubes) bei der Eutrophierung nicht gesehen oder ist unterschätzt.

3. Nitrophytische Flechten reagieren auf Ammoniak.

Wenn Stickoxide das Auftreten nitrophytischer Flechten nicht bedingen, bleibt nur Ammoniak als Stickstoffquelle. Belegt wurde dies dadurch, dass Ammoniaksamplern an Bäumen in Düsseldorf angebracht wurden, an denen zuvor der Gesamtstickstoffgehalt von *Parmelia sulcata* gemessen wurde (Stapper et al. 2005). Der Stickstoffgehalt der Flechte korreliert mit den an diesen Bäumen gemessenen Ammoniakwerten (Frahm 2006, 2007). Auf dem Lande korrelieren die nitrophytischen Flechten mit der Viehdichte (Franzen et al. 2002), was ebenfalls ein Beweis für Ammoniak als Stickstoffquelle von Flechten ist.

4. Der Ammoniak in Städten kommt aus Katalysatoren.

Wenn nitrophytische Flechten nicht auf Stickoxide sondern Ammonium reagieren, so fragt man sich, woher der Ammoniak speziell in Städten kommt. Der größte Teil (90%) des Ammoniaks entsteht in der Landwirtschaft, aber wie ist das Vorkommen von nitrophytischen (=ammoniophytischen) Flechten in den Städten zu erklären? Wie die Messung von Ammoniak in Düsseldorf gezeigt hat, korrelieren die Ammoniakwerte mit der Verkehrsdichte (Frahm 2006). Die Ammoniakquelle muss also der Verkehr sein und wurde in den Abgasen aus Katalysatoren lokalisiert (Frahm 2008), in denen ein Teil des reduzierten Stickstoffs nach dem Haber-Bosch-Verfahren zu Ammoniak reagiert. Das wird gestützt durch den Verkehrsbezug der nitrophytischen Flechten in Städten, wo bereits – wie in Düsseldorf – 50 m von der Hauptstraße entfernt eine starke Reduzierung der Nitrophyten feststellbar ist (Stapper & Kriche 2004).

5. Ammoniak und Stickstoffdioxid verbinden sich zu Ammoniumnitrat.

Ammoniak ist nun ein sehr schnell reagierendes Gas, was sich gleich nach seiner Entstehung zu anderen Substanzen verbindet. Es ist bereits mehr als 10 m vom Straßenrand und einige hundert

Meter von Bauernhöfen entfernt nicht mehr nachweisbar (Cape et al, 2004). Gasförmiges Ammoniak scheidet also als Stickstoffquelle für Flechten aus. Ammoniak reagiert jedoch in Gegenwart von Wasserdampf und Ozon zu Ammoniumnitrat.

6. Ammoniumnitrat ist Feinstaub.

Ammoniumnitrat ist eine Festsubstanz in einer Partikelgröße von 1 µm (PM 1). Es entsteht also zumeist auf dem Lande (weswegen die Karten der Feinstaubdeposition auf der homepages des Umweltbundesamtes häufig in ländlichen Gebieten höhere Feinstaubbelastung anzeigen als in Städten). Es stellt durchschnittlich 50% des Feinstaubes (John & Huhlbusch 2006). Er besteht also überwiegend nicht aus Reifen- und Kupplungsabrieb oder Ruß, wie langläufig angenommen wird. Feinstaub ist aber eine trockene Deposition. Er lagert sich u.a auf Flechtenthalli.

7. Ammoniumnitrat ist ein Salz

Nachdem feststeht, dass die wesentliche Stickstoffquelle der nitrophytischen Flechten Ammoniak ist und in Form von Ammoniumnitrat appliziert wird und dies in Form von Feinstaub, ist für die Flechte extrem relevant, dass diese Substanz ein Salz ist. Dies impliziert osmotische Probleme. Feinstaub legt sich auf den Flechtenthallus und kann sich dort akkumulieren. In trockenem Zustand ist das noch kein Problem, wird das Salz jedoch gelöst, was gefährlicher Weise schon bei hoher Luftfeuchte passiert, ergibt sich eine konzentrierte Salzlösung auf der Flechte, aus der diese Wasser aufzunehmen versucht. Ammoniumnitrat bildet sich an rändern aus Abgasen von Diesel- und Benzinmotoren und lässt sich z.B. im Boden von Autobahnmittelstreifen in stoechiometrisch exakten Mengen nachweisen (Frahm 2008). Das erklärt das Halophyten Paradox. Entlang der Autobahnen nehmen die Halophyten unter den Blütenpflanzen extrem zu, obgleich wegen der milden Winter kaum noch Salz gestreut wird und wenn, die Streusalzmengen aus Umweltgründen stark herabgesetzt worden sind. Wahrer Grund ist nicht Streusalz sondern das Salz Ammoniumnitrat

8. Nitrophyten sind Halophyten

Um aus einer Salzlösung auf dem Thallus Wasser aufnehmen zu können, bedarf es hoher osmotischer Werte. In der Tat sind die osmotischen Werte gemessen als Leitfähigkeit des Zellsaftes bei den nitrophytischen Arten (*Physcia adscendens*, *Xanthoria parietina*) an demselben Baum zwei bis drei Mal höher als die Werte neutrophytischer Arten (*Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata*, *Evernia prunastri*) (Frahm et al. mscr.). Das ist keine Überraschung, da auch bei Blütenpflanzen (*Potentilla anserina*, *Chenopodium* spp., *Atriplex* spp. u.a.) Nitrophyten auch Halophyten sind. Das wird auch dadurch gezeigt, dass *Xanthoria parietina* in Küstengegenden besonders häufig ist, obgleich dort ja kein Stickstoffeinfluss vorliegt. Salze haben eine osmotische Wirkung, nicht nur Kochsalz, sondern auch Düngesalze.

9. Bestimmte Flechten reagieren auf Trockendepositionen.

Die Mengen von Nitraten in Regenwasser sind seit 1984 bzw. 1988 rückläufig (Altenbeck et al. 2005), und zwar sowohl in landwirtschaftlichen Gebieten als auch in Städten. An der LANUV-Messstation Kleve nahm der Nitrophyt *Phaeophyscia orbicularis* zu, obgleich der Stickstoff in nasser Deposition abnahm. Angestiegen war jedoch der Stickstoff in trockener Deposition (Janßen et al. 2007a). Damit kann *Phaeophyscia orbicularis* als Indikator für Trockendeposition gelten. Voraussetzung dafür sind entsprechend hohe osmotische Werte, die eine Wasseraufnahme erlauben, da osmotischer Stress bei Trockendeposition größer ist als bei Nassdeposition.

10. *Phaeophyscia orbicularis* ist Feinstaubzeiger.

Die Eignung dieser Art als Verkehrszeiger wurde bereits in Düsseldorf (Stapper & Kricke 2004, Schnell & Stapper 2009) belegt. Da die Förderung der Art auf trockene Deposition beruht (Janssen et al. 2007), reagiert die Art also auf Feinstaub. Diese Wirkung zeigt sich neuerdings auch auf dem Lande, wie das massenhafte Auftreten in landwirtschaftlichen Gebieten (Land Oldenburg) oder die

Zunahme in Kleve zeigt. Grund ist, dass *Phaeophyscia orbicularis* an demselben Baum in Bonn doppelt so hohe osmotische Werte (gemessen über die Leitfähigkeit des Zellsaftes) hat wie die ebenfalls nitrophytische *Physcia adscendens*, was ein entscheidender Vorteil zur Tolerierung von höheren Feinstaubmengen (= Salzmengen) ist.

11. Nitrophyten sind Xerophyten

Höhere osmotische Werte erlauben den Flechten die Wasserdampfaufnahme bei relativ niedriger Luftfeuchte. Das erlaubt ihnen das Vorkommen in Trockengebieten, auch solchen ohne Stickstoffimmissionen. Beim Vergleich der epiphytischen Flechtenvegetation von Bendorf im Neuwieder Becken, Bonn und Düsseldorf weist Bendorf den höchsten Nitrophytenindex auf, obgleich es dort keinen starken Stickstoffeinfluss gibt, wohl aber das trockenste Klima (Frahm et al. 2007). Dies wird durch Beobachtungen aus dem Mittelmeergebiet bestätigt, wo *Xanthoria parietina* im trockenen Küstenbereich in naturnahen oder allenfalls extensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten häufig ist. Auf Malta kommen Massen von *Ramalina lacera* mit Massen von *Xanthoria parietina* zusammen vor. Damit haben wir es hier nicht mit einem stark durch Stickstoff beeinflusstem Gebiet zu tun, sonst würde *Ramalina* fehlen.

Dies gilt auch für Moose und Blütenpflanzen. Das epiphytische Moos *Orthotrichum diaphanum* ist in Mitteleuropa ein Nitrophyt, der nur in Stickstoffbelasteten Gebieten vorkommt (Städte, landwirtschaftlich genutzte Gebiete), kommt aber im Mittelmeergebiet allgemein vor. Das gilt auch für Erdmoose. Salzmoose wie *Petalophyllum ralfsii* kommen in England nur an der Küste, in Trockengebieten (Mittelmeergebiet) auch im Binnenland vor. Aufgrund der Trockenheit sind die Böden dort versalzen. Dasselbe trifft auf Blütenpflanzen zu (*Trifolium fragiferum*, bei uns Salzpflanze, im Mittelmeergebiet im Binnenland).

12. Nitrophyten sind keine Basiphyten.

Als Grund für den Anstieg der Nitrophyten wird manchmal der Anstieg des Borke-pH als Folge der Staubbelastung angegeben. Dabei wird die Rolle der Staubbimprägung allgemein zu hoch eingeschätzt, da der Staun bei jedem Regenfall wieder abgewaschen wird, wie in Bonn durch Staubbmessungen an Borke nachgewiesen wurde (Frahm & Erler 2009). Dort korreliert der Rinden-pH jedoch nicht mit dem VDI-Nitrophytenindex, d.h. bei höheren pH-Werten steigt nicht die Frequenz von Nitrophyten (Frahm et al. 2009), ausgenommen sind Eichen, deren saure Borke um 0,3 pH erhöht wird, wie es ebenso in London festgestellt wurde (Larsen et al. 2006). *Xanthoria*-Arten wachsen durchaus bei pH 4-5 (James in Ferry 1973), sind also keine Basiphyten. *Xanthoria parietina* ist durchaus auch auf saurer Birkenborke zu finden. In Bonn sinkt der pH-Wert der Borke bei steigender Staubbelastung gemessen über die Leitfähigkeit der Borkenoberfläche (Frahm & Erler 2009), was logisch ist, da Ammoniumnitrat eine saure Reaktion hat. Von Ammonium weiß man, dass es eine Versauerung von Böden und Oberflächengewässern hervorruft (Kirchner et al. 2000). Das könnte auch eine Erklärung des Waldsterben-Paradox sein: trotz Verschwindens des Sauren Regens bleiben die Waldschäden auf gleichem Niveau, die Versauerung kommt jetzt nicht durch SO₂ sondern durch Ammoniumnitrat. Der Borke-pH mag zwar in der Umgebung von Zementfabriken bei Staubbimprägung ansteigen, in den Städten ist das Gegenteil der Fall. Das Wasser, mit dem trockene Proben von *Physcia tenella* ausgewaschen wurde, hat einen pH von 5,5 – 6,5, stützt also die Annahme, dass Ammoniumnitrat schwach sauer reagiert (unpubl.).

13. Nitrophyten nehmen mit der Meereshöhe ab.

In NRW sind Nitrophyten auf Tieflagen konzentriert und nehmen mit steigender Meereshöhe ab (Frahm & Stapper 2008). Dies ist ein weiteres Indiz dafür, dass Nitrophyten Xerophyten sind

14. Nitrophyten nehmen immer noch zu.

Dauerprobeflächenkartierungen in NRW (Franzen-Reuter et al. 2006, Janßen et al. 2007a) und Bonn (Janßen et al. 2007b) belegen eine stetige Zunahme der nitrophytischen Flechten trotz

Abnahme der nassen Deposition. Dadurch erklärt sich das Paradox der Zunahme nitrophytischer Flechten trotz Abnahme der Gesamtstickstoffdeposition.

15. Die Zunahme von Nitrophyten geht auch auf den Klimawandel zurück. In den letzten dreißig Jahren sind die Temperaturen gestiegen, dadurch steigt die Verdunstung. Höhere Verdunstung führt zum schnelleren Abtrocknen der Flechten. Das schränkt Feuchtigkeitsliebende Arten ein und bevorzugt trockenolerante Arten (Frahm & Stapper 2008).

17. Der Gehalt von Aminosäuren in Flechten steigt mit der N-Belastung der Umgebung. Es stellt sich nun die Frage, was die Flechten mit dem aufgenommenen Stickstoff machen. Die Menge des Gesamtstickstoffes in der Flechte ist proportional zum Stickstoffbelastung der Umgebung (Franzen-Reuter 2004) bzw. zur Ammoniakbelastung (Frahm 2006). Es zeigt sich, dass die untersuchten Flechten *Hypogymnia physodes*, *Evernia prunastri*, *Parmelia sulcata* aus belasteten Gebieten erhöhte Aminosäurewerte (Prolin, Arginin, Glutamin, Arginin) aufweisen (Franzen-Reuter 2004). Interessanterweise haben nitrophytische Arten aber keine höheren Aminosäurewerte. Bei der Untersuchung von fünf Flechtenarten (*Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata*, *Xanthoria parietina*, *Evernia prunastri*, *Physcia adscendens*) von einem Baum zeigte sich, dass die Aminosäuren Taurin, Alanin, Glutamin und Prolin bei *Physcia adscendens* und *Xanthoria parietina* nicht erhöht waren. Höchste Werte hatte *Evernia prunastri*, welche auch die größte Oberfläche hat (Frahm et al. mscr.). Es scheint so zu sein, dass Flechten den Stickstoff passiv aufnehmen und zwar soviel wie zur Verfügung steht und soviel ihre Oberfläche ermöglicht. Nur in stark belasteten Gebieten scheiden nicht-nitrophytische Arten aus, weil deren osmotische Werte nicht hoch genug sind (vgl. unter 8.).

Was wir daraus folgern

Für die Verwendung epiphytischer Flechten für die Bioindikation ergeben sich aus dem genannten wichtige Konsequenzen speziell für die VDI Flechtenrichtlinie (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2004):

Der Nitrophytenindex zeigt zuvörderst osmotische Probleme an Flechtenstandorten an. Diese können auch durch Trockenheit induziert werden, nicht notwendigerweise von Stickstoffemissionen herrühren.

Wenn Flechten auf Stickstoff reagieren, reagieren sie vornehmlich auf Ammoniak bzw. Ammonium, nicht NO_x oder Nitrat. Nitrophyten (sensu VDI 3657 Blatt 13) sind also Ammoniophyten.

Über die Indikation von Ammoniumnitrat sind epiphytische Flechten Feinstaubzeiger.

Bestimmte Arten wie *Phaeophyscia orbicularis* sind Zeiger für Trockendeposition.

Die Zunahme der Nitrophyten ist kein reiner immissionsökologischer Effekt, weil dabei auch klimatische Veränderungen (Temperaturerhöhung, Anstieg der Verdunstung) eine Rolle spielen. Nitrophytische Flechten sind also nicht nitrophil, nicht einmal nitrophytisch oder nitrotolerant sondern trockenolerant und halotolerant. Ein Zusammenhang zum Stickstoff ergibt sich nur indirekt, da Stickstoff in löslichen Verbindungen (dissoziierte Salze) anliegt. Wären sie nitrophytisch, müssten sie höhere N-Gehalte der Aminosäuregehalte aufweisen als andere Arten, was nicht der Fall ist.

Literatur

- ALTENBECK, P., RADERMACHER, L., KRAUSE, G. 2005. Langzeitbeobachtungen immissionsbedingter Wirkungen in Nordrhein – Westfalen Teil 3. Immissionsschutz 4: 126-129.

- 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.
- FRAHM, J.-P. 2006. Der Einfluss von Ammoniak auf Stickstoff liebende Flechten in verkehrsbelasteten Gebieten. *Immissionsschutz* 4/2006.
- FRAHM, J.-P. 2007. Die Rolle von Ammoniak bei der eutrophierenden Wirkung von Luftschadstoffen auf Flechten. *VDI-KRdL Schriftenreihe* 37: 79-86.
- FRAHM, J.-P. 2008. Überdüngung und Versalzung durch Katalysatoren? *Biologie in unserer Zeit* 2: 94-101.
- FRAHM, J.-P., STAPPER, N.J. 2008. Der Einfluss der Humidität auf die Ermittlung der Luftgüte nach VDI Flechtenrichtlinie 3957 Blatt 13. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft Juni 2008*: 251-256.
- FRAHM, J.-P., ERLER, D. 2009. Orientierende Untersuchungen zur Wirkung von Staubimprägnierung von Borken auf epiphytische Flechten. *Archive for Lichenology* 4: 1-5.
- FRAHM, J.-P., HENSEL, S. THÖNNES, D. 2007. Zur Vergleichbarkeit von Luftgütekartierungen mit Hilfe der VDI-Flechtenrichtlinie 3957 Blatt 13. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft Mai 2007*: 206-208.
- FRAHM, J.-P., THÖNNES, D., HENSEL, S. 2009. Ist der Anstieg nitrophiler Flechten an Bäumen auf eine Erhöhung des Borken-pH zurückzuführen? *Archive for Lichenology* 1: 1-10.
- FRAHM, J.-P., GALINSKI, E., BURKHARDT, J. mscr. Do nitrophytic lichen species react on atmospheric nitrogen or only on the osmotic salt effects of nitrogen compounds?
- 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. 2004. Untersuchungen zu den Auswirkungen atmosphärischer Stickstoffeinträge auf epiphytische Flechten und Moose im Hinblick auf die Bioindikation. Dissertation, Universität Bonn.
- FRANZEN-REUTER, I. & FRAHM, J.-P. 2007. Auswirkungen experimenteller Stickstoffgaben auf die Epiphytenflora in Dauerbeobachtungsflächen (Rheinland-Pfalz, Deutschland). *Herzogia* 20:61-75.
- FRANZEN-REUTER, I., GEHRMANN, J., FRAHM, J.-P. 2006. Veränderungen des Epiphytenbewuchses zwischen 2002 und 2004 auf Dauerbeobachtungsflächen in Nordrhein-Westfalen. *LÖBF-Mitteilungen* 2/06: 2-7.
- JAMES, P.W. 1973. The Effect of Air Pollutants other than Hydrogen Fluoride and Sulphur Dioxide on Lichens. S. 143-175 in: B.W.Ferry, M.S. Bradley & D.L. Hawksworth (eds.) *Air Pollution and Lichens*. London. (The Atlone Press).
- JANBEN, A.-M., FRAHM, J.-P., GEHRMANN, J. 2007a. Auswirkungen unterschiedlicher Stickstoffdepositionsformen auf epiphytische Flechten. *Immissionsschutz* 3/2007: 110-115.
- JANBEN, A.-M., FRAHM, J.-P., HEIDELBACH, B. 2007b. Die Entwicklung der Flechtenvegetation in Bonn 2003-2006. *Decheniana* 160:155-165.
- JOHN, A., HUHLBUSCH, T. 2006. DIFFUSE VERKEHRSEMISSIONEN UND FEINSTAUB-IMMISSIONEN. *VDI BERICHT* 1953: 47-57.
- LARSEN, R.S., BELL, J.N.B., JAMES, P.W., CHIMONIDES, P.J., RUMSEY, F.J., TREMPER, A., PURVIS, O.W. 2006. Lichen and bryophyte distribution on oak in London in relation to air pollution and bark acidity. - *Environmental pollution* 110:1-9.
- SCHUMACHER, J., JANBEN, A.-M., FRAHM, J.-P. 2006. Spiegelt der VDI-Luftgüteindex die Schadstoffbelastung durch NO₂ und SO₂ wider ? *Herzogia* 19: 205-213.
- SCHNELL, S., STAPPER, N.J. 2009. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Umweltbelastung mit epiphytischen Flechten. *Archive for Lichenology*3: 1-8.

-
- STAPPER, N.J., FRANZEN-REUTER, I., FRAHM, J.-P. 2005. Stickstoffgehalte in *Parmelia sulcata* als Indikator atmosphärischer Stickstoffeinträge in einer Großstadt am Beispiel Düsseldorf. *Immissionsschutz* 10(3): 84-89.
- STAPPER, N.J., KRICKE, R. 2004a. Epiphytische Moose und Flechten als Bioindikatoren von städtischer Überwärmung, Standorteutrophierung und verkehrsbedingten Immissionen. - *Limprichtia* (Bonn) 24, 187 - 208.
- STAPPER, N.J., KRICKE, R. 2004b. Luftqualität in Düsseldorf 2003. - Zusammenfassender Bericht über eine Untersuchung mit Flechten und Moosen. - Landeshauptstadt Düsseldorf, Der Oberbürgermeister, Umweltamt. - 9 S.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) (Hrsg.) 1995. VDI-Richtlinie 3759 Blatt 1: Messen von Immissionswirkungen; Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten. Flechtenkartierung zur Ermittlung des Luftgütewertes (LGW). Beuth Verlag, Berlin, 24 S.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) (Hrsg.) 2004. VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13: Luftverunreinigungen auf Flechten (Bioindikation) – Kartierung der Diversität epiphytischer Flechten als Indikator für die Luftgüte. Beuth Verlag, Berlin, 27 S.

Anschrift des Verfassers

Jan-Peter Frahm, Nees Institut für Biodiversität der Pflanzen, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Meckenheimer Allee 170, 53115 Bonn, Deutschland. E-mail: frahm@uni-bonn.de