

***Phaeophyscia orbicularis* – Kreisförmige Schwielenflechte (*Physciaceae*), Stadt-pflanze des Jahres 2021**

NORBERT J. STAPPER

1 Einleitung

Seit 2017 ernennen die Mitglieder des Bochumer Botanischen Vereins die Stadtpflanze des Jahres als ein Bestandteil der Natur des Jahres. Nach vier Samenpflanzen, zuletzt dem Gelblichweißen Ruhrkraut (JAGEL 2020), nun erstmals eine Kryptogame oder „Niedere Pflanze“, nämlich die Kreisförmige Schwielenflechte – *Phaeophyscia orbicularis* (NECK.) MOBERG (Abb. 1).



Abb. 1: *Phaeophyscia orbicularis*
(Kreisförmige Schwielenflechte)
an einer Esche in der nördlichen
Düsseldorfer Innenstadt.
Lange Bildkante 10 mm
(26.11.2020, N. J. Stapper).

Bei Flechten denkt man spontan meist an lange Bartflechten oder an luxurierende Blattflechten, wie die Lungenflechten in nebelreichen Wäldern in den Alpen, im Schwarzwald oder auf Madeira, aber eher nicht an die Zentren der europäischen Großstädte. Aufgrund hoher Schwefeldioxid-Immissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger kamen dort in den 1960er Jahren praktisch keine Flechten mehr vor (DOMRÖS 1966, GILBERT 1970, HAWKSWORTH & ROSE 1970). Denn Flechten reagieren sehr empfindlich auf physikalische und chemische Umweltveränderungen, weshalb sie auch schon sehr lange als Monitororganismen verwendet werden (GRINDON 1859, NYLANDER 1866). Die Wiederbesiedlung der Stadtzentren durch die Flechten wird in erster Linie als eine Folge der Rauchgasentschwefelung betrachtet (KANDLER & POELT 1984, GILBERT 1992). So stieg die Zahl der Flechtenarten auf der Rinde von Stadtbäumen im Ruhrgebiet rasch von verbliebenen vier auf 60 Arten (KRICKE 2002) an, ähnlich in Düsseldorf von nur vier auf 76 Arten mit weiterhin steigender Tendenz (KNABE 1981, STAPPER & KRICKE 2004a & b, SCHMITZ & al. 2020). Anhand der artspezifischen Toleranzen wurden, namentlich im Westen Deutschlands, allerdings sehr bald auch die Wirkungen von eutrophierenden Immissionen, von mineralischen Stäuben sowie von städtischer Überwärmung auf die Flechten erkennbar (STAPPER & KRICKE 2004b). Hinzu kommt, dass, sehr wahrscheinlich als eine Folge des Klimawandels (VAN HERK & al. 2002), an kühle Standorte angepasste Arten im Rheinland seltener werden, während westeuropäische und submediterrane Flechtenarten hier immer häufiger registriert werden (STAPPER & FRANZEN-REUTER 2018, SCHMITZ & al. 2020).

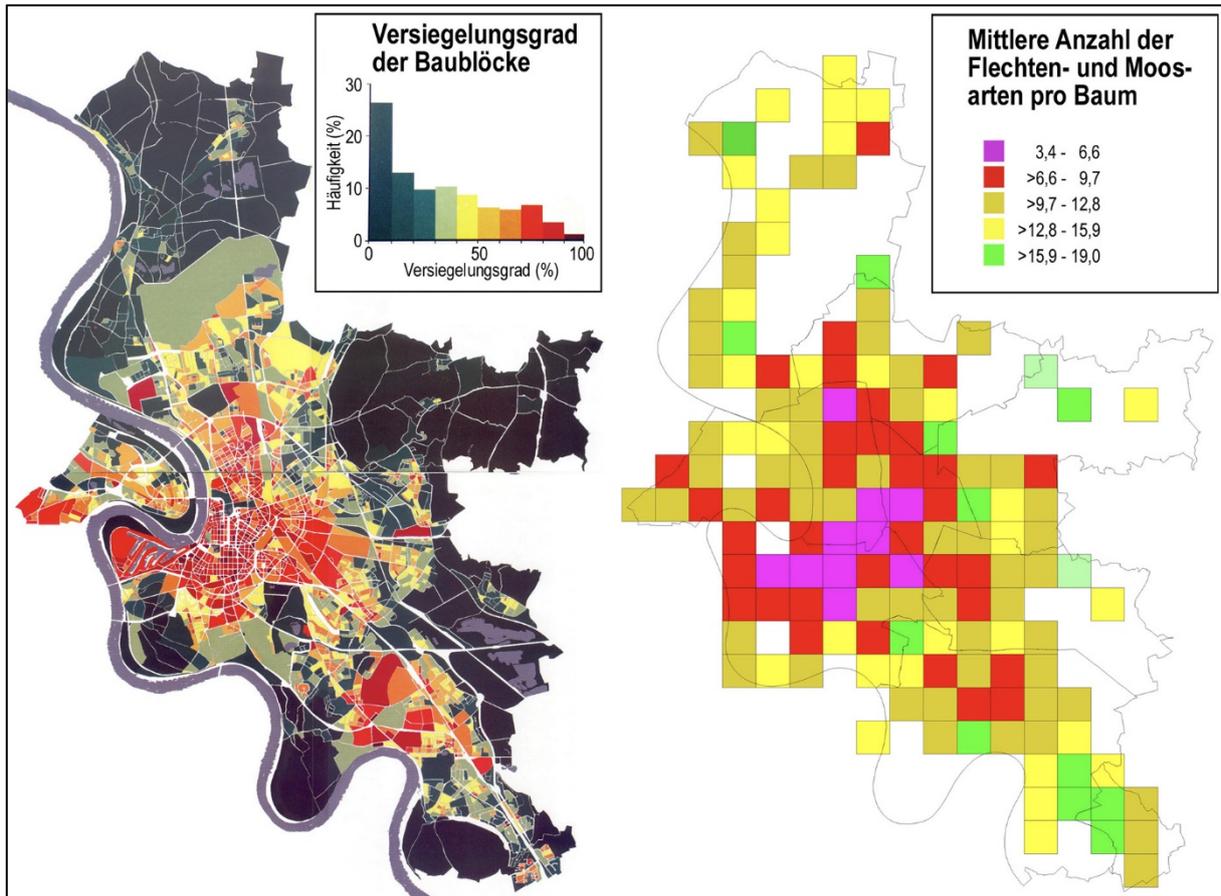


Abb. 2: Versiegelungsgrad der Baublöcke und Artenvielfalt epiphytischer Flechten und Moose an Stationsbäumen im Stadtgebiet von Düsseldorf im Jahr 2003 (Stadt Düsseldorf 1995, Stapper & Kricke 2004a).



Abb. 3: *Phaeophyscia orbicularis* auf der Borke eines Ahornbaumes in der Karlstraße nahe Stresemannplatz, einer stark überwärmten Lokalität in der Düsseldorfer Innenstadt (03.06.2019, N. J. Stapper).



Abb. 4: *Phaeophyscia orbicularis* an einem Ahornbaum an der Kreuzung Cours de la Liberté und Rue Mazenod im Stadtzentrum von Lyon, Frankreich (04.09.2018, N. J. Stapper).

Von den inzwischen zahlreichen Flechtenarten gelingt es aber nur wenigen, sich an innerstädtisch stark überwärmten Standorten zu etablieren (Abb. 2) oder sogar, innerhalb gewisser Grenzen, von verkehrsbedingten Immissionen zu profitieren. Ein Musterbeispiel dafür ist die Kreisförmige Schwielenflechte (*Phaeophyscia orbicularis*) (FRANZEN & al. 2002, VORBECK & WINDISCH 2002), unsere Stadtpflanze des Jahres 2021, die viele Alleebäume in den europäischen Großstadtzentren schmückt (Abb. 3 & 4).

Im Folgenden wird sie zunächst anhand makro- und mikroskopischer Bilder vorgestellt, bevor wir uns mit ihrer Verbreitung und Ökologie vertraut machen und auch einige ihrer Verwandten kennenlernen, die ebenfalls im Rheinland vorkommen. Die Leserinnen und Leser mögen bitte verzeihen, dass der Autor aufgrund seines Wirkortes hier ein vielleicht zu sehr durch den rheinischen Blickwinkel getöntes Bild malt. Andererseits zeigen die Flechtenbiota, jenseits ihrer geografisch bedingten Variabilität, eine seit mindestens 20 Jahren anhaltende, teils stürmische verlaufende Veränderung, aufgrund derer so manche, insbesondere an warme Habitate angepasste Flechtenart oft erst im Westen häufiger oder sogar zum ersten Mal überhaupt

beobachtet wird, während viele der schwindenden Arten, darunter z. B. an saure Habitate angepasste Flechten, in den östlicheren Bundesländern unverändert häufig vorkommen.

Flechten sind symbiotische Lebensgemeinschaften, die aus einem oder mehreren Pilzen, den Mykobionten, und einem oder mehreren zur Photosynthese befähigten Organismen, den Photobionten, bestehen. Letztere sind Grünalgen oder Cyanobakterien. Myko- und Photobionten bilden gemeinsam das „Flechtenlager“ bzw. den Thallus. Diese „Doppelnatur“ der Flechten ist zwar seit Ende des 19. Jhs. bekannt, doch dass am Aufbau dieser Lebensgemeinschaft mehr als nur ein für die Art spezifischer Pilz beteiligt sein kann, wurde erst kürzlich erkannt (SPRIBILLE & al. 2016). Aktuelle Konzepte betrachten Flechten als „Holobionten“ aus einem dominanten, die Gestalt bestimmenden Flechtenpilz, der ein Mikrobiom umschließt, in dem ein Netzwerk aus Pilzen, Algen und Bakterien die biologische Funktionalität des gesamten Phänotyps bestimmt (HAWKSWORTH & GRUBE 2020). Es gibt zahlreiche Arten, in denen Grünalgen und Cyanobakterien gemeinsam im gleichen Thallus vorkommen oder sogar Fälle, in denen der Thallusanteil mit Grünalgen einen anderen Namen erhielt als der völlig anders gestaltete Thallusanteil mit Cyanobakterien, wie die helle Große Lungenflechte (*Ricasolia amplissima*) und ihr sehr dunkles Cyanobakterien-Photosymbiodem *Dendriocaulon umhausense*. Erst durch die Bildung des gemeinsamen Lagers, in dem die Photobionten von den Pilzhyphen buchstäblich einge„flochten“ werden, können die Partner teils extreme Lebensräume besiedeln, in denen einer allein nicht überleben könnte. Der eine liefert Photosyntheseprodukte, der andere bietet derweil Schutz vor Fraß oder Strahlenschäden und ermöglicht z. B. den Zugang zu Mineralien aus dem Substrat. Eine umfassende Einführung in die Biologie der Flechten und ihre kulturelle Bedeutung bietet SCHÖLLER (1997). Empfehlenswert ist auch der Beitrag „Flechte“ in der deutschsprachigen Wikipedia (WIKIPEDIA 2020). Hilfestellung beim Einstieg in die Flechtenkunde, die Lichenologie, bieten zudem die einschlägigen Vereine, wie z. B. die BRYOLOGISCH-LICHENOLOGISCHE ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR MITTELEUROPA (BLAM 2020) oder der MITTELHESSISCHE LICHENOLOGISCHE ARBEITSKREIS (HEERD & al. 2016).

2 Merkmale von *Phaeophyscia orbicularis*

Phaeophyscia orbicularis ist eine Blatflechte, deren schmale Lagerlappen (Loben) sich eng an das Substrat anschmiegen und oft kreisrunde Rosetten von bis zu 3 oder gar 4 cm Durchmesser bilden (Abb. 5 & 6). Daher das Artepitheton „orbicularis“. Der deutsche Arname (CEZANNE & al. 2016) verweist darüber hinaus auf die Zugehörigkeit zur Familie der *Physciaceae* im „ursprünglichen Sinne“. Viele landesprachliche Namen verweisen, wie z. B. „Grønn rosettlav“ (norwegisch) oder „Rond schaduwmos“ (niederländisch), auf die runde Wuchsform oder die Farbe des Lagers. Oft zerfließen die Lager allerdings zu durchgehenden Rasen, wirklich schöne Rosetten findet man eher selten.

Im Vergleich zu vielen anderen Blatflechten ist *Phaeophyscia orbicularis* mit den genannten Abmessungen eher eine kleine, unauffällige Erscheinung. Und selbst wenn sie uns formenreich und in verschiedenen Farbschattierungen begegnet, gegen das auffällige Gelb einer *Xanthoria parietina* oder das hübsche Hellblau einer *Punctelia borrieri* („Sternenhimmel-

flechte“), die man seit zehn Jahren ebenfalls in den Städten an Rhein und Ruhr findet, kommt sie nicht an. Aber sie wurde schließlich auch aus anderen Gründen zur Stadtpflanze des Jahres 2021 ernannt.



Abb. 5: *Phaeophyscia orbicularis*, grünlichgraues Exemplar, lange Bildkante 13 mm (26.11.2020, N. J. Stapper).

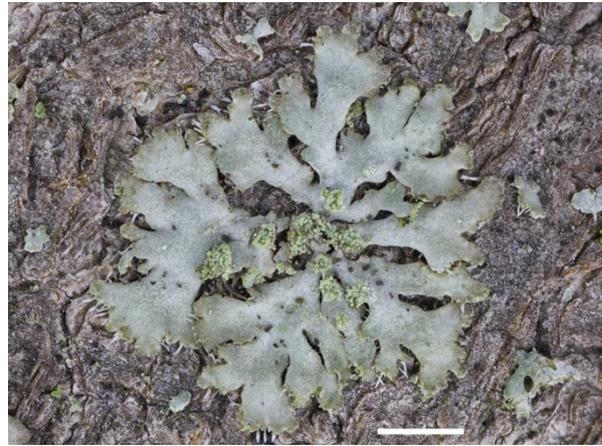


Abb. 6: *Phaeophyscia orbicularis*, sehr kleines hellgraues Exemplar, Balken 1 mm (26.11.2020, N. J. Stapper).

Die länglichen, zuweilen einander überdeckenden Loben sind 0,5–1,5 mm breit. Die Oberfläche ist matt, unbereift (also ohne kristalline Ablagerungen) und von hellgrauer bis dunkelgrauer oder dunkelbrauner (Sonnenformen) Farbe. Im feuchten Zustand ist sie wegen der dann durchscheinenden Algenschicht dunkelgrün. Manche Lager sind oberflächlich gelb gefärbt (Abb. 7), weil die Flechte dort den Farbstoff Skyrin abgelegt hat, der sich beim Betupfen mit Kalilauge blutrot färbt – nicht zu verwechseln mit den ähnlich reagierenden gelben Farbstoffen der *Xanthoria*-Arten. Zur vegetativen Verbreitung bildet die Flechte Sorale. Dazu bricht die Oberfläche auf den Loben oder an deren Rand auf (Abb. 8) und bildet zahlreiche Soredien. Das sind kleine körnige Diasporen, die aus mit Pilzhyphen eng umspinnenen Algenpaketen bestehen und vom Wind oder durch Tiere verbreitet werden können.



Abb. 7: *Phaeophyscia orbicularis* var. *hueana* (HARM.) CLAUZADE & CL. ROUX. Diese Varietät lagert den Flechtenfarbstoff Skyrin an der Thallusoberfläche ab. Im Gegensatz dazu deponiert *Ph. endophaenicea* (Abb. 23) diesen Farbstoff im Mark, unterscheidet sich aber insbesondere durch die Bildung von Lippensoralen. Fundort: Grafenwerth bei Bad Honnef, an Pappelborke, mit *Hypnum cupressiforme* und *Leskea polycarpa*, lange Bildkante 8,8 mm (18.12.2005, N. J. Stapper).



Abb. 8: *Phaeophyscia orbicularis*, Ausschnitt aus dem in Abb. 6 dargestellten Lager. An mehreren Stellen bricht die Oberrinde auf, weil sich dort bald ebenso Sorale bilden werden, wie es weiter im Zentrum des Lagers bereits geschehen ist. Die Rhizinen sind an den Lobenenden weiß, zur Thallusmitte hin dunkel. Viele der dunklen Partikeln auf der Thallusoberfläche sind Exkremente von Tieren, Balken 0,5 mm (26.11.2020, N. J. Stapper).

Die Sorale können durch Pigmenteinlagerung schwärzlich oder hell- bis dunkelgrau gefärbt sein, durch Abrieb hell oder, selten, gelblich. Sie sind rundlich bis länglich, aufgewölbt bis kopfig, zuweilen auch zusammenfließend, sodass der gesamte Flechtenrasen dann graumehlig wirkt. Die Unterseite des Lagers ist schwarz, und die teils weißspitzigen Rhizinen (Abb. 9) sind entlang der Lobenränder von oben sichtbar (Abb. 8). Nur gelegentlich findet man Lager mit Fruchtkörpern. Diese sind Apothecien mit dunkler Scheibe und Lagerrand (Abb. 10).

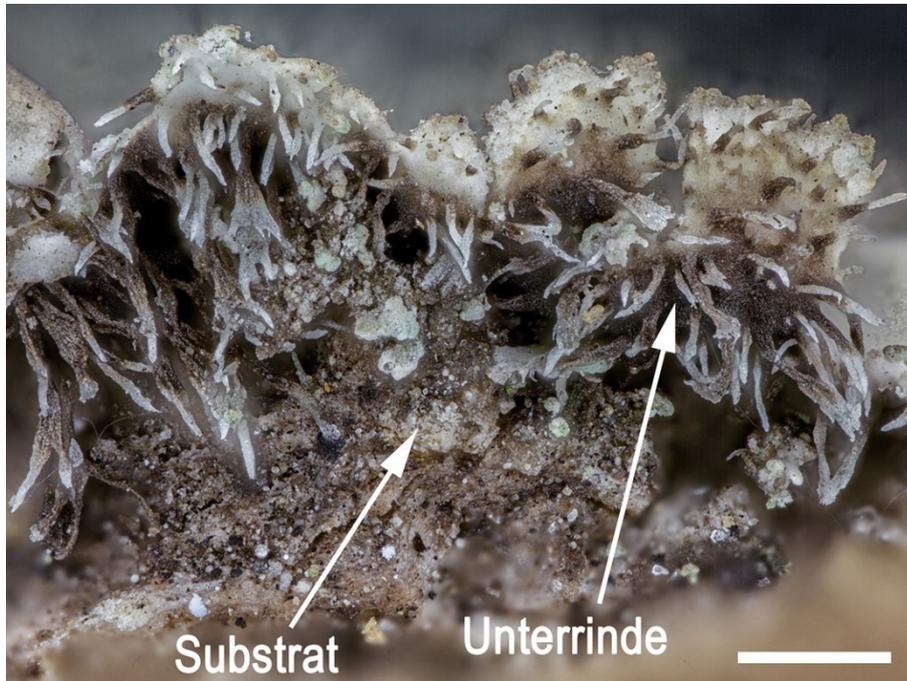


Abb. 9: *Phaeophyscia orbicularis*, Seitenansicht des Thallusrandes. Die Thallusunterseite verfärbt sich bereits weniger als 0,5 mm entfernt von den Lobenenden von annähernd weiß zu dunkelbraun und später schwarz. Die Rhizinen sind ebenfalls dunkel und weisen – namentlich an den Lobenrändern – weiße Spitzen auf, Balken 0,5 mm (26.11.2020, N. J. Stapper).



Abb. 10: *Phaeophyscia orbicularis* mit flächenständigen Apothecien. Die begleitenden Arten sind *Physcia tenella* (unten links), *Physcia adscendens* (unten rechts), lange Bildkante 13 mm. Fundort: Kall, Nordeifel (26.06.2009, N. J. Stapper).

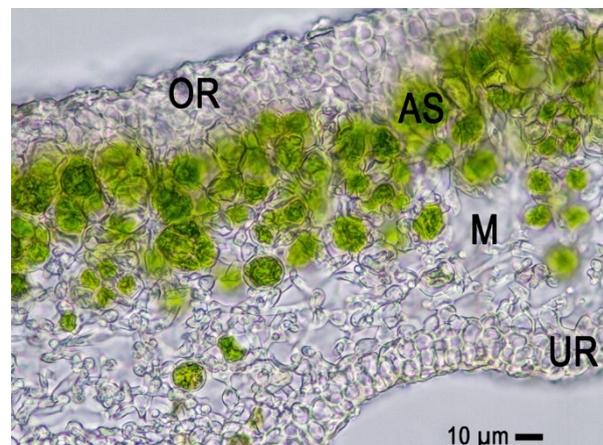


Abb. 11: *Phaeophyscia orbicularis*. Querschnitt durch den Thallus. Geschnitten wurde hier das bleiche, in Abb. 5 gezeigte Material, dessen Unterrinde auch weiter entfernt von den Lobenenden nicht dunkel gefärbt ist. OR = Oberrinde; AS = Algenschicht; M = Mark oder Medulla; UR = Unterrinde. Handschnitt, Medium: Wasser, Hellfeld 63x (01.12.2020, N. J. Stapper).

Anhand dünner Querschnitte durch den Thallus (Abb. 11) erkennt man im Mikroskop sehr schnell, dass Ober- und Unterrinde des Thallus aus zellähnlichen kurzen Hyphen mit mehr oder weniger gleichgroßen Lumina aufgebaut sind („Paraplektenchym“) und so dem Parenchym Höherer Pflanzen ähneln. Die großvolumigen Algen, die von den Hyphen des Flechtenpilzes eng umspinnen sind und als Algenschicht direkt unter der Oberrinde liegen, gehören in die Gattung *Trebouxia* (ETTL & GÄRTNER 1995, WIRTH & al. 2013). Schneidet man

den Thallus auf Höhe eines Sorals quer, dann fehlt hier natürlich die Oberrinde, die bereits aufgebrochen und wegerodiert ist. Stattdessen liegen nun die Algenschicht und das Mark frei und geben nach oben hin beständig Soredien ab (Abb. 12 & 13).

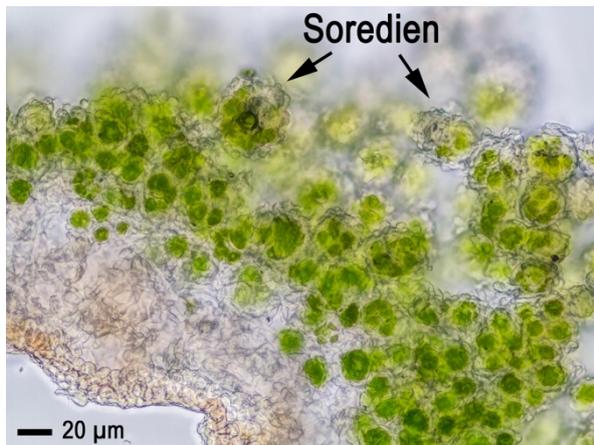


Abb. 12: *Phaeophyscia orbicularis*, Querschnitt durch ein Soral. Geschnitten wurde hier das bleiche, in Abb. 5 gezeigte Material. Die Oberrinde ist erodiert, die Algenschicht liegt frei, sie sondert kugelförmige Pakete aus Hyphen-umsponnenen Algen ab, die Soredien, Handschnitt, Medium: Wasser, Hellfeld 40x (01.12.2020, N. J. Stapper).

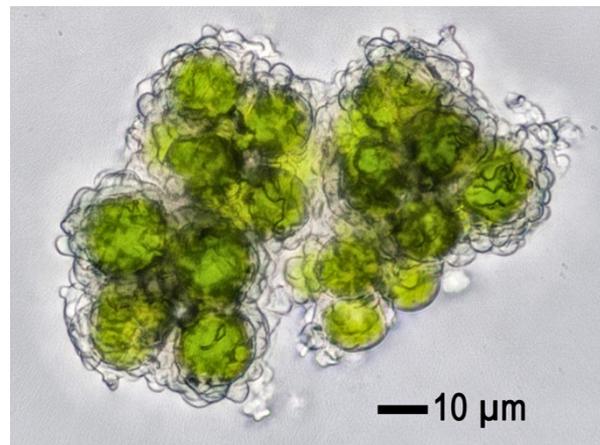


Abb. 13: Soredien von *Phaeophyscia orbicularis* in Wasser. Hellfeld 63x, fusionierte Serie aus 21 Einzelbildern mit 1 bis 1,5 µm Distanz zueinander (dieses Verfahren wurde für viele der gezeigten Abbildungen verwendet). Die hochfrequente Struktur im Hintergrund ist ein Artefakt, hervorgerufen durch Inhomogenitäten in den Glasschichten vor dem eigentlichen Bildsensor der für dieses Mikrofoto verwendeten Kamera, die durch die angewendeten Bildkontrastverfahren ebenfalls verstärkt werden (08.12.2020, N. J. Stapper).



Abb. 14: *Phaeophyscia orbicularis*, Querschnitt durch ein Apothecium. Die schwarze Scheibe aus Abb. 10 entspricht hier dem orangebraun gefärbten Epihymenium (EHy), unter dem das Hymenium (Hy) mit den von Paraphysen umgebenen Sporenschläuchen, die Asci, liegen, in denen die Sporen heranreifen. Der Rand des Apotheciums zeigt den gleichen Aufbau wie das Lager (vgl. Abb. 11) aus Rinde, Algenschicht und Mark (Med = Medulla), daher der Begriff „Lagerrand“. Handschnitt, Medium: Wasser, Hellfeld 63x (12.12.2020, N. J. Stapper).



Abb. 15: *Phaeophyscia orbicularis*, Sporenschläuche (Asci) mit Sporen im Hymenium. Ausschnitt aus dem in Abb. 14 gezeigten Apothecium, jedoch wurden hier acht Einzelbilder aus den für die Asci relevanten Fokusebenen fusioniert. Die Scheitel der beiden rechten Asci werden dadurch erkennbar, und im linken Ascus kann man alle acht teils einander überdeckenden Sporen sehen. Medium: Wasser, Hellfeld 63x (08.12.2020, N. J. Stapper).

Einen Querschnitt durch ein Apothecium zeigt Abb. 14, wobei die Abbildung allerdings dreimal so breit wäre, zeigte sie den Querschnitt vollständig von Rand zu Rand. Wenn der Rand wie das Lager aufgebaut ist, nämlich aus Oberrinde, Algenschicht und Mark, nennt man diese Art des Apothecienrands auch Lagerrand. Die schwarze Scheibe der Fruchtkörper aus Abb. 10 entspricht hier der orangebraun gefärbten Schicht, dem Epihymenium, unter dem das Hymenium mit den Sporenschläuchen, den Asci, liegt, in denen die Sporen heranreifen. Die Sporenschläuche (Abb. 15) sind von am Ende leicht keulig verdickten Hyphen, den Paraphysen umgeben. Paraphysen und Asci sind derart miteinander verklebt, dass man verdünnte Kalilauge hinzugeben muss, um ein Schnittpräparat unter leichtem Druck zerreiben und die Anatomie der Asci, z. B. nach Anfärbung mit Jod (Abb. 16) untersuchen zu können. Dann erkennt man auch, dass die Schläuche vom *Lecanora*-Typ sind: Die mit Jod blau anfärbbare (amyloide) Wandverdickung an der Spitze des Sporenschlauchs wird hier vollständig von einem Axialkörper durchdrungen. Die Sporen von *Phaeophyscia orbicularis* sind zweizellig, und ihre Größe wird in den Bestimmungswerken mit 17–26 μm Länge und 7–11 μm Breite angegeben. Damit sind die in Abb. 17 gezeigten Sporen also verhältnismäßig groß.

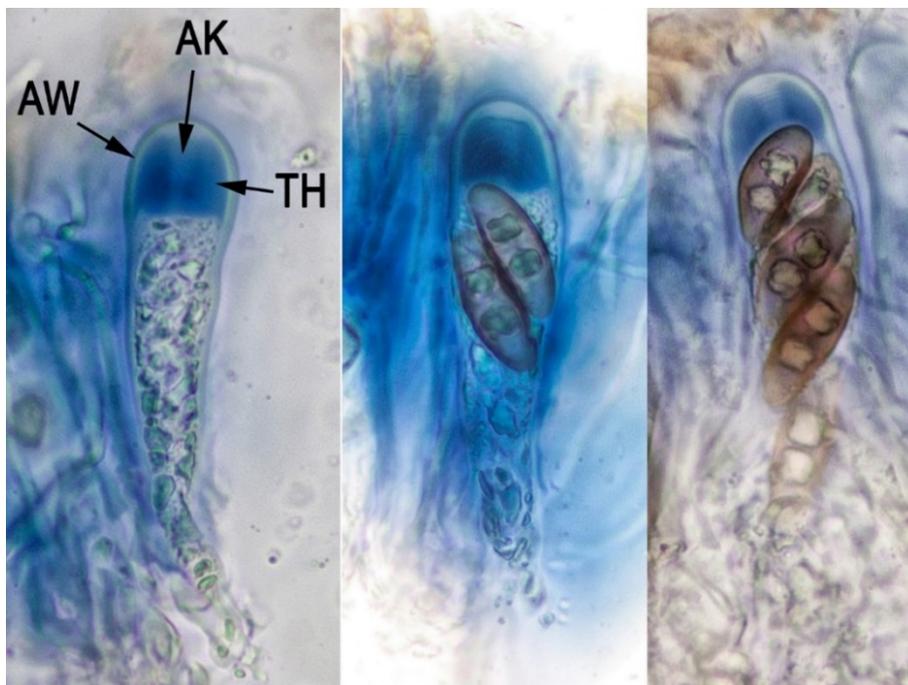


Abb. 16: *Phaeophyscia orbicularis*, Sporenschläuche (Asci) aus verschiedenen Quetschpräparaten nach Behandlung mit verdünnter Kalilauge und Jodlösung. Hellfeld 63x. Die Asci sind vom *Lecanora*-Typ, bei dem die mit Jod blau anfärbbare (amyloide) Wandverdickung (Tholus, TH; Ascuswand, AW) an der Spitze des Sporenschlauchs vollständig von einem Axialkörper (AK) durchdrungen wird. Amyloide Ascusgallerte verursacht die blaue Färbung der äußeren Schicht der Ascuswand (11.12.2020, N. J. Stapper)



Abb. 17: *Phaeophyscia orbicularis*, Sporen aus Quetschpräparaten nach Behandlung mit verdünnter Kalilauge, Hellfeld 63x. Die hier abgebildeten Sporen sind im Mittel 25 μm lang und 11 μm breit (11.12.2020, N. J. Stapper).

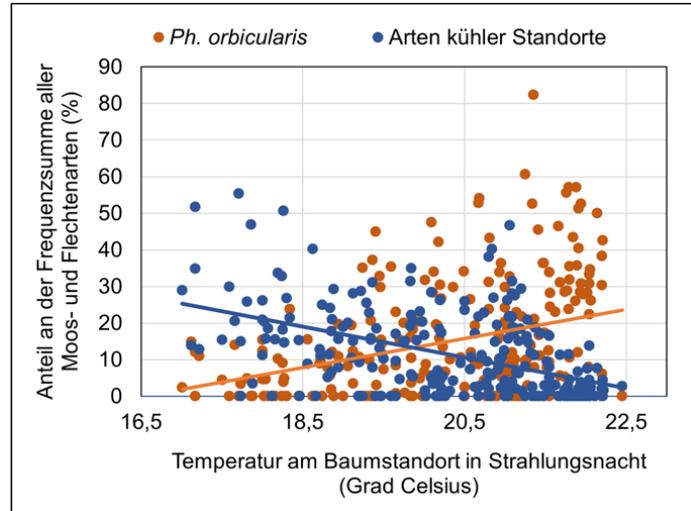
3 Zur Verbreitung und Ökologie von *Phaeophyscia orbicularis*

Phaeophyscia orbicularis ist aus ganz Europa und dem gemäßigten Nordamerika vielfach belegt und kommt auf allen Kontinenten außer in der Antarktis vor (GBIF 2020). Sie zählt in Deutschland zu den häufigsten Blattflechten (WIRTH & al. 2013) und besiedelt vornehmlich staubimprägnierte und mit Nährstoffen angereicherte Baumrinden, aber auch Holz und kalkhaltige Gesteinssubstrate (HEIBEL 1995). Es überrascht folglich nicht, dass sie auf den jährlichen Moos- und Flechtenexkursionen des Bochumer Botanischen Vereins auf dem Gelände der Ruhr-Universität Bochum und in seiner unmittelbaren Umgebung als verlässliche Bewohnerin von Beton und Baumrinde nachgewiesen wird und dort seit mindestens 1998 dokumentiert ist (GOOS 1998). Aufgrund ihrer Toleranz gegenüber stadttypischen Belastungen – hierzu gehören eutrophierende Stickstoffverbindungen z. B. aus Abgasen von Verbrennungsmotoren (Stickstoffoxide, Ammoniak), mineralische Stäube aus Fahrbahnabrieb oder Trockenheit infolge städtischer Überwärmung, dringt sie nicht nur tief in die Innenstädte vor und gehört fast immer zu den letzten Arten, die an extrem belasteten Standorten auf den Stadtbäumen noch überdauern, sondern sie profitiert sogar, innerhalb gewisser Grenzen, von verkehrsbedingten Immissionen (CAPE & al. 2003, FRANZEN & al. 2002, VORBECK & WINDISCH 2002, STAPPER & KRICKE 2004b, DÄMMGEN & al. 2010, HIERSCHLÄGER & TÜRK 2012, STAPPER 2012). Diese Eigenschaft teilt sie mit wenigen anderen epiphytischen (= Bäume bewohnenden) Flechten und Moosen, die sich ebenfalls durch hohe Nährstoffzahlen auszeichnen, darunter zuallererst ihre Verwandte *Phaeophyscia nigricans* (s. u.) und das Moos *Orthotrichum diaphanum*. Zu Letzterem berichten FRAHM & SOLGA (1999), dass es aufgrund eutrophierender Luftschadstoffe zunehmend in der Naturlandschaft vorkäme, während es früher für eutrophierte Substrate, wie Betonsteinfassungen von Misthaufen typisch gewesen sei.

Die Methoden zur Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen mit Flechten beruhen überwiegend auf der räumlichen Variabilität der Vielfalt epiphytischer Artvorkommen, z. B. VDI 3957 Blatt 13 (VDI 2005) oder auf in einer bestimmten Flechtenart angereicherten Substanzen, wie VDI 3957 Blatt 18 (VDI 2015). Zur räumlich differenzierten Darstellung der lufthygienischen Belastung der Ruhrgebietsstädte verwendeten KRICKE & FEIGE (2001) einen auf LEBLANC & DE SLOOVER (1970) zurückgehenden Ansatz, in dem die mittlere Anzahl der Begleitarten einer epiphytischen Flechtenart als ein Maß für die artspezifische Empfindlichkeit gegenüber Luftschadstoffen herangezogen wird. Diese mittlere Begleitartenzahl bezeichnete KRICKE (2002) bald als Urbanotoleranzwert (UTW), der das Verhalten einer Art in Bezug auf die Einflüsse der urbanen Umwelt charakterisiert. Der Grundgedanke dabei ist, dass, innerhalb eines Projekts, Arten, die den städtischen Einflussbereich meiden, einen höheren UTW aufweisen, als solche, die in artenärmeren Flechtengesellschaften im städtischen Einflussbereich vorkommen. Tab. 1 fasst die entsprechenden Ergebnisse für eine Epiphytenerhebung von 2019 im Stadtgebiet von Düsseldorf für all jene Moos- und Flechtenarten zusammen, die mindestens an fünf der 240 untersuchten Bäume nachgewiesen wurden. Dabei zeigt sich, dass an vielen Standorten registrierte Arten tendenziell wenige Begleitarten und somit einen eher niedrigen UTW aufweisen (Sortierungskriterium der Tabelle). Ebenso wird sichtbar, dass Arten mit hoher mittlerer Nachttemperatur an ihren Trägerbaumstandorten im Trend geringere UTW und eine stärker ausgeprägte Toleranz gegenüber hohen Nährstoffeinträgen aufweisen, erkennbar an ihren hohen Nährstoffzahlen. Im Gegensatz dazu sind auf kühlere Standorte in den Außenbereichen der Stadt limitierte Arten überwiegend seltener vertreten und gegenüber Nährstoffeintrag weniger tolerant. Obwohl die UTW projektspezifisch sind, wird im Rahmen des Klimawandelfolgenmonitorings mit Flechten in Düsseldorf seit 2013 eine weitgehend übereinstimmende Rangordnung der Arten festgestellt (SCHMITZ & al. 2014).

Immer gehört *Phaeophyscia orbicularis* zu den Arten mit der höchsten mittleren Standorttemperatur und der im Mittel geringsten Anzahl begleitender Arten (UTW). Erwartungsgemäß nimmt der Anteil von *Phaeophyscia orbicularis* an der Frequenzsumme aller epiphytischen Flechten und Moose an den Baumstämmen mit steigenden Nachttemperaturen an den Baumstandorten zu (Abb. 18).

Abb. 18: Zusammenhang zwischen der Häufigkeit ausgewählter epiphytischer Moos- und Flechtenarten und der Temperatur an den Trägerbaumstandorten in einer Strahlungsnacht in Düsseldorf 2019. Aufgetragen ist der prozentuale Anteil der Frequenzsumme aller Arten. Lineare Datenanpassung; *Phaeophyscia orbicularis* (orange) und „Arten kühler Standorte“ (blau). Letztere sind (projektspezifisch) *Hypnum cupressiforme*, *Flavoparmelia caperata*, *Lepraria incana*, *Parmelia sulcata*, *Punctelia subrudecta*, *P. jeckeri*, deren Frequenz, im Gegensatz zu *P. orbicularis*, mit zunehmender Temperatur abnimmt. Datengrundlage: Temperaturdaten um 04:00 Uhr am 21. Juni 2019 in 2 m Höhe über dem Boden (GEO-NET Umweltconsulting GmbH); Epiphytenfrequenzen gemäß VDI (2005) an 240 Standardbäumen entlang von drei Transekten vom Außenbereich bis ins Zentrum von Düsseldorf (STAPPER 2019).



Grundsätzlich sind diese Beobachtungen für die Großstädte in Westdeutschland typisch (vgl. WINDISCH & al. 2018). Die überwärmten Standorte sind allerdings auch oft durch höhere verkehrsbedingte Immissionen gekennzeichnet, was eine Trennung der jeweiligen Wirkungen erschwert. Immerhin konnten FRANZEN & al. (2002) zeigen, dass der Anteil von *Phaeophyscia orbicularis* an der Frequenzsumme der Flechten auch jenseits der Großstädte mit steigender (subjektiv bestimmter) Verkehrsbelastung zunimmt (Abb. 19).

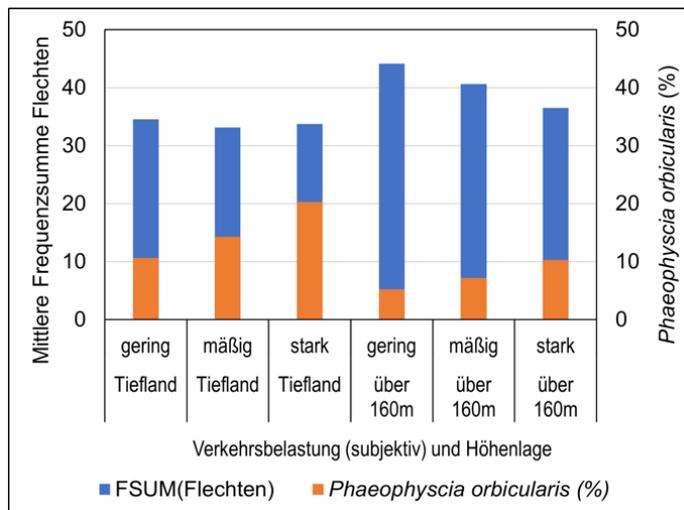


Abb. 19: Zusammenhang zwischen der Frequenzsumme aller Flechten (Gesamthöhe der Balken, linke Ordinate) bzw. dem prozentualen Anteil von *Phaeophyscia orbicularis* daran (orange Balken, rechte Ordinate) und der subjektiv bestimmten Verkehrsbelastung an den Standorten für jeweils zwei unterschiedliche Höhen-Intervalle (jeweils 50 % aller Baumstandorte, „Tiefland“ = 15 bis 160 m über NHN). Datengrundlage: 1815 Bäume in den jeweils ersten Quadranten der nordrhein-westfälischen Messtischblätter 1:50.000, die 2000 bis 2002 auf Epiphytenbewuchs hin untersucht wurden (FRANZEN & al. 2002).

Seit 2003 hat, als eine Folge weiter sinkender Immissionen, die Artendiversität der Flechten und Moose auf den Bäumen in Düsseldorf proportional zur Entfernung vom Stadtzentrum derart zugenommen, dass statt bis zu 19 (Abb. 2) inzwischen im Mittel bis zu 28 Arten pro Baum im Außenbereich der Stadt registriert werden (STAPPER 2019). Beispielhaft zeigt Abb. 20 zwei Baumstämme aus dem südlichen Vorort Garath, an denen 2019 zusätzlich zu *Phaeophyscia orbicularis* bis zu 29 weitere Flechtenarten nachgewiesen wurden.

Tab. 1: Häufigkeit epiphytischer Flechten und Moose an Bäumen im Stadtgebiet von Düsseldorf 2019. Datengrundlage: Epiphyten an 240 Bäumen entlang von drei Transekten durch Düsseldorf (STAPPER 2019). Berücksichtigt sind nur Arten, die an mindestens fünf Bäumen registriert wurden. Die Nomenklatur folgt WIRTH & al. (2013) bzw. CASPARI & al. (2018). Gruppe: M: Moose, F: Flechten, A: Algen. N-Zahl: Nährstoffzahl der Flechten (WIRTH 2010) und Moose (SIEBEL 2005). mT (°C): Mittlere Temperatur der Baumstandorte mit Vorkommen der jeweiligen Art; in 0,5 °C breiten Klassen farblich separiert; Situation um 4:00 Uhr in einer Strahlungsnacht (21.06.2019) in 2 m Höhe über dem Boden (GEO-NET Umweltconsulting GmbH). UTW: Urbanotoleranzwert; Sortierungskriterium; entspricht der mittleren Anzahl der Begleitarten an den Bäumen. H (%): prozentualer Anteil der Bäume, an denen die Art registriert wurde; in Häufigkeitsklassen, weiß: bis 5 %, hellgrau hinterlegt: bis 20 %, dunkelgrau: bis 50 % bzw. über 50 %, wenn fettgedruckt.

Gruppe	Artname	N-Zahl	mT (°C)	UTW	H (%)
M	<i>Frullania dilatata</i>	3	18,7	20,8	3,8
M	<i>Ulota bruchii</i>	3	18,8	20,6	3,3
F	<i>Candelariella xanthostigma</i>	5	19,3	20,0	2,9
F	<i>Caloplaca obscurella</i>	8	18,9	19,7	4,2
F	<i>Hypotrachyna afrorevoluta</i>	4	19,7	19,2	6,7
F	<i>Lepraria incana</i>	5	19,0	19,2	10,8
F	<i>Hypotrachyna revoluta</i>	4	18,4	19,1	2,9
F	<i>Lecanora barkmaniana</i>		19,9	18,8	5,4
M	<i>Ptychostomum moravicum</i>	5	19,6	18,3	2,5
M	<i>Dicranoweisia cirrata</i>	4	19,8	18,0	17,9
F	<i>Melanohalea elegantula</i>	5	19,7	18,0	7,5
F	<i>Lecanora expallens</i>	5	19,6	18,0	19,6
F	<i>Melanohalea exasperatula</i>	6	19,7	17,9	15,0
F	<i>Lecidella elaeochroma</i>	5	20,5	17,9	3,3
M	<i>Orthotrichum lyellii</i>	3	19,7	17,9	5,8
F	<i>Melanelixia glabratula</i>	4	19,2	17,5	3,3
A	<i>Trentepohlia</i> sp.		18,9	17,5	6,3
F	<i>Xanthoria candelaria</i>	8	19,7	17,3	16,7
F	<i>Parmotrema perlatum</i>	4	20,2	17,3	11,3
F	<i>Flavoparmelia caperata</i>	4	19,6	17,2	27,5
F	<i>Ramalina farinacea</i>	4	19,4	17,1	16,3
M	<i>Hypnum cupressiforme</i> s.l.	3	19,3	17,0	23,8
F	<i>Lecanora compallens</i>		19,1	17,0	2,1
F	<i>Hypogymnia physodes</i>	3	20,1	17,0	11,7
F	<i>Evernia prunastri</i>	4	20,1	16,5	35,0
F	<i>Lecanora chlorotera</i>	5	20,5	16,0	2,1
F	<i>Physcia caesia</i>	9	20,5	16,0	13,8
F	<i>Punctelia borrieri</i>	6	20,0	15,9	30,0
F	<i>Candelaria pacifica</i>		20,7	15,9	8,3
F	<i>Xanthoria polycarpa</i>	8	20,2	15,8	7,9
M	<i>Orthotrichum affine</i>	3	20,0	15,7	55,0
F	<i>Punctelia jeckeri</i>	6	20,0	15,7	64,2
F	<i>Melanelixia subaurifera</i>	5	20,0	15,6	46,7
M	<i>Grimmia pulvinata</i>	3	20,3	15,6	10,8
F	<i>Parmelia sulcata</i>	7	20,0	15,5	62,9
F	<i>Physconia grisea</i>	8	20,1	15,4	33,3
F	<i>Candelariella reflexa</i>	7	20,1	15,3	65,0
F	<i>Punctelia subrudecta</i>	5	20,1	15,0	69,2
F	<i>Lecanora hagenii</i>	7	20,4	14,9	3,8
F	<i>Flavoparmelia soledians</i>	5	20,3	14,9	27,1
F	<i>Physcia dubia</i>	8	20,6	14,7	2,9
F	<i>Amandinea punctata</i>	7	20,2	14,7	47,5
F	<i>Physcia tenella</i>	8	20,2	14,6	77,5
F	<i>Lecanora dispersa</i>	8	20,6	14,6	2,9
M	<i>Syntrichia papillosa</i>	6	20,5	14,0	20,8
F	<i>Candelaria concolor</i>	7	20,3	13,8	85,8
F	<i>Physcia adscendens</i>	8	20,4	13,4	62,1
F	<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	7	20,3	13,3	49,6
F	<i>Xanthoria parietina</i>	8	20,3	13,3	76,7
A	<i>Klebsormidium</i> sp.		20,6	13,3	16,3
F	<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	9	20,5	13,2	77,5
M	<i>Orthotrichum diaphanum</i>	7	20,5	12,7	54,6
F	<i>Phaeophyscia nigricans</i>	9	20,9	12,0	22,1



Abb. 20: Artenreiche Epiphytengesellschaften auf zwei Baumstämmen im südlichen Düsseldorfer Vorort Garath. Beide Bäume werden seit 2003 jährlich auf Flechtenbewuchs untersucht. Im Herbst 2019 wurden auf dem linken Baum zusätzlich zu *Phaeophyscia orbicularis* 29 weitere Flechtenarten registriert, darunter auch die rechts oben gezeigte, erst 1999 beschriebene *Lecanora barkmaniana* (Barkmans Kuchenflechte, mit *Physcia tenella*). An der Stammbasis des rechten Baums wächst seit sechs Jahren die im Rheinland seltene *Normandina pulchella* (Schönes Muschelschüppchen). Sie wächst fast immer über Moosen und ist trocken von hellblauer Farbe (N. J. Stapper).

Fasst man alle Beobachtungen aus diesem Abschnitt zusammen, liegt es dann nicht wirklich nahe, die kleine Flechte *Phaeophyscia orbicularis*, die sowohl in Salzburg (HIERSCHLÄGER & TÜRK 2012) und München (VORBECK & WINDISCH 2002) als auch in den Zentren der Großstädte an Rhein, Ruhr und Rhône (Abb. 4) die Baumstämme ziert und dabei selbst stärksten Belastungen trotz, zur Stadtpflanze des Jahres 2021 zu küren?

4 Einige Verwandte von *Phaeophyscia orbicularis* mit Vorkommen im Rheinland

Unsere Stadtpflanze des Jahres 2021 gehört zur Flechtenfamilie der *Physciaceae* (HAFELLNER & al. 1979, LÜCKING & al. 2016), die zum einen die namensgebende Gattung *Physcia* und zum anderen u. a. die Gattungen *Hyperphyscia*, *Phaeophyscia*, *Physciella* und *Physconia* umfasst, die mit einer oder sogar vielen Arten im Rheinland vertreten sind, und von denen einige im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Wer beim Flechtensuchen im Gelände genauer hinsieht, dürfte ab und an *Phaeophyscia orbicularis*-Exemplare oder ganze Rasen der Art finden, die mit „schwarzen Punkten“ versehen sind oder sogar weitgehend schwarz überlaufen und „irgendwie krank“ aussehen. Ursache dafür könnte der auf *Phaeophyscia*-Arten parasitierende, lichenicole Pilz *Arthonia phaeophysciae* GRUBE & MATZER sein (Abb. 21 & 22), einer von zahlreichen lichenicolen Pilzen, die

P. orbicularis besiedeln können. Eine Zusammenstellung solcher Pilze und ihrer Wirte geben LAWREY & DIEDERICH (2018). Interessant sind diese Flechtenart- oder -gattungsspezifischen Pilze nicht nur für Biodiversitätsbegeisterte, sondern auch für das Verständnis des „Ökosystems Flechte“.



Abb. 21: *Phaeophyscia orbicularis* mit dem lichenicolen Pilz *Arthonia phaeophysciae*, der im Thallus der Wirtsflechte schwarze Fruchtkörper bildet, bei deren Hervorbrechen die Oberrinde in charakteristischer Weise wegschilfert, Balkenlänge: 1 mm (02.12.2014, Düsseldorf-Lohausen, N. J. Stapper).



Abb. 22: *Phaeophyscia orbicularis* mit zahlreichen Ascomata des lichenicolen Pilzes *Arthonia phaeophysciae*, Kalibrierbalken 1 mm (02.12.2014, N. J. Stapper).

Phaeophyscia endophoenicea (Abb. 23) ähnelt *P. orbicularis* hinsichtlich der Thallusdimensionen, sie bildet aber meist gelb gefärbte Lippensorale. In NRW ist sie sehr selten (HEIBEL 1995), vom Autor aber inzwischen mehrmals im Rheinland gefunden worden.

Im Gegensatz dazu ist *Phaeophyscia nigricans* (Abb. 24) eine sehr häufige Flechtenart, die, ähnlich *P. orbicularis*, staubimprägnierte, eutrophierte Rinden und Gesteinssubstrate besiedelt. Sie ist in Gebieten mit intensiver landwirtschaftlicher Tierhaltung ebenso wie an stark verkehrsbelasteten Standorten in der Großstadt anzutreffen. Sie ist wohl viel kleiner als

P. orbicularis und gehört mit *Candelaria concolor* und *C. pacifica* zu den kleinsten einheimischen Blattflechten.



Abb. 23: *Phaeophyscia endophoenicea*. Die für die Art charakteristischen Lippensorale sind aufgrund der Einlagerung von Skyrin in das Mark der Flechte gelb gefärbt. In Wäldern wachsende Exemplare sind oft bleich, Balken 1 mm. (11.12.2020, N. J. Stapper).

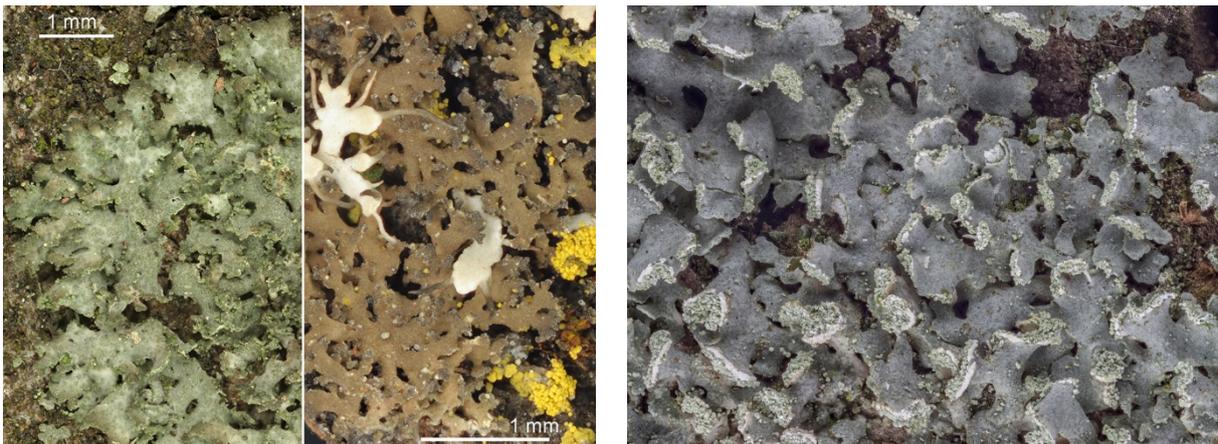


Abb. 24: *Phaeophyscia nigricans*. Die Art bildet bis zu 1 cm große Rosetten oder ausgedehnte Rasen. Lager grüngrau bis dunkelbraun, zuweilen fast schwarz (Name!). Im rechten Bild zusammen mit *Physcia tenella* und der gelben *Candelariella* spec. (links: Düsseldorf, 23.06.2009; rechts: Nordenau, Hochsauerlandkreis, 13.11.2004, N. J. Stapper).

Abb. 25: *Physciella chloantha*, an einem Baum im Rembrandtpark in Amsterdam, lange Bildkante 8 mm (28.01.2017, N. J. Stapper).

Physciella chloantha (Abb. 25) gehörte noch kürzlich zur Gattung *Phaeophyscia* und wurde u. a. aufgrund ihres abweichenden Aufbaus der Unterrinde abgetrennt. Charakteristisch für diese Art ist die Form ihrer Sorale, die entfernt an eine Schirmmütze erinnert, daher der niederländische Name „Zonneklepjesmos“. In Deutschland bisher nur von sehr warmen Standorten im Süden und Südwesten bekannt und vermutlich in Ausbreitung begriffen (WIRTH & al. 2013, JOHN 2016), wurde sie vom Autor bereits im Norden von Düsseldorf gefunden. Der in Abb. 25 gezeigte Rasen wurde in Amsterdam fotografiert.

Hyperphyscia adglutinata (Abb. 26 & 27) war in NRW immer sehr selten und galt dort als ausgestorben (HEIBEL 1995), als sie im Frühjahr 2003 am Niederrhein wiedergefunden wurde. Schon im Sommer 2003 konnte man sie an vielen Bäumen entlang des Rheins finden, und

heute besiedelt sie in Düsseldorf jeden zweiten Baum (siehe Häufigkeitsangabe in Tab. 1). Sie kommt äußerlich als „kleine *Phaeophyscia orbicularis*“ daher, besitzt aber keine Rhizinen, sondern ist unablösbar fest mit dem Substrat verbunden – eben „angeklebt“, wie der Arname bereits impliziert. Auch diese Art besiedelt eutrophierte Standorte und dringt inzwischen tief bis in die Stadtzentren an Rhein und Ruhr vor.



Abb. 26: *Hyperphyscia adglutinata* auf der Borke einer Esche in Düsseldorf, Balken 1 mm (06.11.2020, N. J. Stapper).



Abb. 27: *Hyperphyscia adglutinata*, Randbereich eines zusammenfließenden, größeren Lagers an Pappelborke, das zum Teil mit Algen überzogen ist, Veurne, Flandern, Belgien, Balken 1 mm (06.10.2006, N. J. Stapper).

Die Arten der Gattung *Physcia* zeichnen sich u. a. durch eine helle Unterrinde aus und dadurch, dass ihre Oberrinde den Farbstoff Atranorin enthält und sich deshalb nach Betupfen mit Kalilauge gelb verfärbt. Die Lager werden auch beim Befeuchten nicht grün, wie bei *Phaeophyscia orbicularis*. *Physcia* ist bei uns mit vielen Arten vertreten, von denen hier nur drei sehr häufige und eine (noch?) sehr seltene vorgestellt werden.

Physcia tenella (Abb. 28) und *Physcia adscendens* (Abb. 29) gehören, ebenso wie *Phaeophyscia orbicularis*, zu unseren häufigsten Blattflechten. *P. adscendens* nimmt unter den Dreien hinsichtlich ihrer Toleranz gegenüber städtischer Trockenheit und verkehrsbedingten Immissionen eine mittlere Position ein. Oft wachsen beide Arten in gemeinsamen Rasen und sind dann schwierig zu trennen. *P. adscendens* ist an der sonnenexponierten Süd- oder Ostseite der Baumstämme dann meist häufiger als *P. tenella*.



Abb. 28: *Physcia tenella*, reichlich fruchtendes Lager an einer Esche in der Nordeifel bei Schmidt, Balken 1 mm (17.12.2006, N. J. Stapper).



Abb. 29: *Physcia adscendens* mit den charakteristischen Helmsoralen an den Lobenenden. Mit *Candelariella xanthostigma* (gelb), Balken 1 mm (26.06.2009, N. J. Stapper).

Physcia caesia (Abb. 30) bildet bis zu 6 cm große Rosetten. Ihre radiär ausgerichteten Lagerlappen überdecken sich teilweise an den Spitzen. Die Oberseite ist weiß bis (violett)grau, mit deutlichem Blaustich, der meist das schon aus der Ferne sichtbare Kennzeichen der Art ist. Charakteristisch sind zudem die zahlreichen, blaugrauen, flächen- oder endständigen (Kugel)Sorale. Sie ist typisch für Alleebäume entlang stark befahrener Straßen und wie alle bisher genannten Arten an staubimprägnierte oder eutrophierte Substrate angepasst. Sie ziert die Betonmauern auf dem Campus der Ruhr-Universität Bochum (LOOS 2014), und an stark eutrophierten Standorten, z. B. am Niederrhein, wächst sie sogar auf den Glasscheiben von Dachfenstern.



Abb. 30: *Physcia caesia*, typisches weißblaues Lager mit bläulichen Soralen, Balken 1 mm (28.06.2009, N. J. Stapper).



Abb. 31: *Physcia tribacia*, eine im Rheinland sehr seltene Art dieser Gattung, mit einem kleinen Exemplar von *Candelaria concolor* (gelb), Balken 1 mm (15.10.2017, N. J. Stapper).

Physcia tribacia (Abb. 31) galt in NRW als verschollen (HEIBEL 1995), bis sie 2017 auf dem mit zahlreichen Bäumen bestockten und einem großenteils nur durch Rasengittersteine verstärkten Boden bestehenden Großparkplatz am Messegelände im Norden von Düsseldorf an einer Esche gefunden wurde (SCHMITZ & al. 2020). Der Beleg einer „unbekannten *Physcia*“ vom Rheindeich bei Düsseldorf-Volmerswerth von 2013 erwies sich allerdings im Nachhinein als ein noch älterer Fund dieser Art, die durch weiße, niedrig verzweigte, am Rand körnig sorediöse Lappen gekennzeichnet ist (niederländisch: „Lobjesvingermos“ – frei übersetzt: „Läppchen-Fingerflechte“). Auf dem erwähnten Parkgelände wurde 2017, an einem nur wenige Meter entfernten Baum, ebenfalls die in NRW bis dahin nur im Raum Aachen (BOMBLE 2016) registrierte *Physcia clementei* gefunden (nicht gezeigt). Bei beiden Arten darf man vermuten, wie auch im Fall von *Physciella chloantha* (s. o.), dass die anhaltende Klimaveränderung ihre Ausbreitung in Richtung Norden und Osten begünstigt.



Abb. 32: *Physconia enteroxantha*, im Rheinland sehr seltene Art dieser Gattung. Anhand der Rhizinen bzw. der gelblichen Färbung des Marks von *P. grisea* bzw. *P. perisidiosa* unterscheidbar, Balken 1 mm. Fundort: Hartegasse-Unterfeld, Oberbergischer Kreis (30.01. 2002, N. J. Stapper).

Die *Physconia*-Arten wurden aufgrund der Feinstruktur ihrer Sporen, anderer Inhaltsstoffe und abweichend aufgebauter Rinden und Rhizinen abgetrennt. Von *Physconia enteroxantha* (Abb. 32) wurden bisher im Rahmen des Klimawandelfolgenmonitorings (SCHMITZ & al. 2014) nur wenige Exemplare im Düsseldorfer Süden nachgewiesen. Im nordrhein-westfälischen Tiefland ebenso selten ist *Physconia distorta* (Abb. 33 & 34), die keine Sorale, sondern stattdessen meist reichlich Apothecien bildet. Auch sie ist unterseits dicht mit rechtwinklig auffasernden, dunklen Rhizinen besetzt.



Abb. 33: *Physconia distorta* bildet keine Sorale, aber meist reichlich Apothecien, Balken 1 mm (22.07.2010, N. J. Stapper).

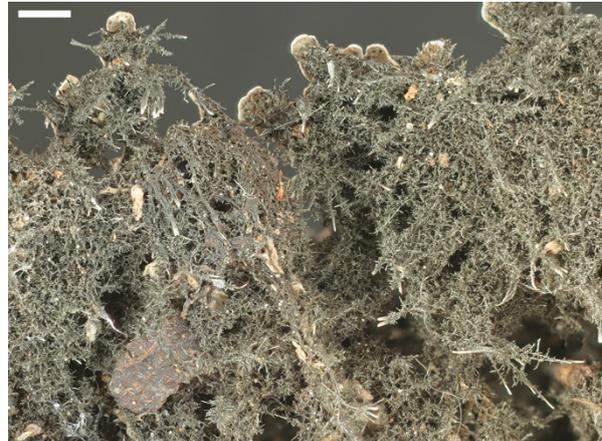


Abb. 34: *Physconia distorta*, Thallusunterseite mit flaschenbürstenartig auffasernden Rhizinen, Balken 1 mm (22.07.2010, N. J. Stapper).

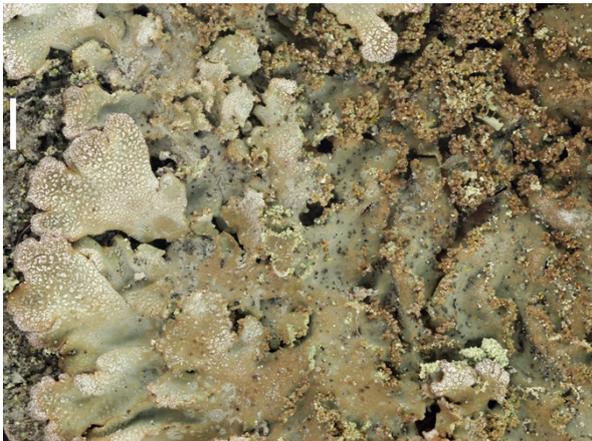


Abb. 35: *Physconia grisea* ist in den zurückliegenden 15 Jahren an den Alleebäumen im Rheinland sehr häufig geworden. Sie bildet Sorale und ist sicher anhand ihrer nicht auffasernden Rhizinen ansprechbar, Balken 1 mm (30.06.2009, N. J. Stapper).



Abb. 36: *Physconia grisea*, seitlicher Anblick des Lagers mit nicht auffasernden Rhizinen, Balken 1 mm (30.06.2009, N. J. Stapper).

Physconia grisea (Abb. 35 & 36) war um 2000 eine im Rheinland noch eher seltene Blattflechte mit Vorkommen auf nur 3,7 % der für eine landesweite Studie untersuchten Bäume (FRANZEN & al. 2002). Inzwischen ist sie erheblich häufiger geworden, und ein Grund dafür könnten, abgesehen von Nährstoffeinträgen über die Luft, die anhaltenden Klimaveränderungen sein, die diese in Europa gemäßigt-mediteran verbreitete Flechte bei uns begünstigen (APTROOT & al. 2004, APTROOT & SPARRIUS 2009, BLWG 2020). Sie besiedelt eutrophierte Gesteine und Baumrinden und kann ganze Flanken von Baumstämmen überziehen. Das graubraune Lager mit seinen bereiften Lobenrändern weist sie schnell als eine *Physconia*-Art aus, und mit einem Blick auf die nicht auffasernden Rhizinen (Abb. 36) ist sie zuverlässig als *Physconia grisea* identifiziert.

Physconia perisidiosa (Abb. 37) ist, mit Blick auf den Westen von NRW und das Ruhrgebiet, wieder eine Rarität, und es gehört eine gute Portion Glück dazu, sie an Bäumen in kühlen Vorortlagen zu finden. Sie ist etwas kleinwüchsiger als die vorgenannten Arten und auch meist etwas dunkler gefärbt.



Abb. 37: *Physconia perisidiosa* bildet übereinander wachsende, an den Enden bereifte Lappchen; typisch sind Lippensorale und rechtwinklig auffasernde Rhizinen (siehe Bildmitte). An einem Bergahorn in Düsseldorf-Garath mit u. a. *Physcia tenella* und dem Moos *Orthotrichum affine*, Balken 1 mm. (31.12.2016, N. J. Stapper).

Literatur

- APTROOT, A. & SPARRIUS, L. 2009: Europese verspreiding en internationale betekenis van Nederlandse korstmossen. – *Buxbaumiella* 83: 1–12.
- APTROOT, A., VAN HERK, C. M., SPARRIUS, L. B. & SPIER, J. L. 2004: Checklist van de Nederlandse korstmossen en korstmosparasieten. – *Buxbaumiella* 69: 17–55.
- BLAM 2020: Bryologisch-lichenologische Arbeitsgemeinschaft für Mitteleuropa e.V. – www.blam-bl.de [13.12.2020].
- BLWG 2020: Bryologische en Lichenologische Werkgroep (BLWG): Standaardlijst van Nederlandse korstmossen. Verspreidingsatlas korstmossen online. – www.verspreidingsatlas.nl/korstmossen [13.12.2020].
- BOMBLE, F.W. 2016: Bemerkenswerte epiphytische Moose und Flechten in Aachen und angrenzenden Gebieten. – *Veröff. Bochumer Bot. Ver.* 8: 47–59.
- CASPARI, S., DÜRHAMMER, O., SAUER, M. & SCHMIDT, C. 2018: Rote Liste und Gesamtartenliste der Moose (*Anthocerotophyta*, *Marchantiophyta* und *Bryophyta*) Deutschlands. In: METZING, D., HOFBAUER, N., LUDWIG, G. & MATZKE-HAJEK, G. (Red.): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands, Bd. 7: Pflanzen. – *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 70 (7): 361–489.
- 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 Poll.* 132: 469–478.
- CEZANNE, R., EICHLER, M., BERGER, F., VON BRACKEL, W., DOLNIK, C., JOHN, V. & SCHULTZ, M. 2016: Deutsche Namen für Flechten. – *Herzogia* 29: 745–797.

- DÄMMGEN, U., GRÜNHAGE, L., DÖRGER, G. & HANEWALD, K. 2010: Beiträge zur Erstellung einer atmosphärischen Stickstoff-Bilanz für Hessen: Teil 1, Bulk-Deposition von reaktivem Stickstoff. Wiesbaden 2010. – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- DAVIES, L., BATES, J. W., BELL, J. N. B., JAMES, P. W. & PURVIS, O. W. 2007: Diversity and sensitivity of epiphytes to oxides of nitrogen in London. – *Environmental Pollution* 146: 299–310.
- DOMRÖS, M. 1966: Luftverunreinigung und Stadtklima im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet und ihre Auswirkung auf den Flechtenbewuchs der Bäume. – *Arb. Rhein. Landeskd.* 23: 1–132.
- ETTL, H. & GÄRTNER, G. 1995: Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. – Stuttgart, Jena, New York.
- FRAHM, J.-P. & SOLGA, A. 1999: Der Einfluß von Stickstoffemissionen auf Moose und Flechten. – *Bryologische Rundbriefe* 28: 1-10.
- 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 Nordrhein-Westfalen (MUNLV). – Düsseldorf.
- GBIF 2020: *Phaeophyscia orbicularis* (NECK.) MOBERG. In: GBIF (Global Biodiversity Information Facility). – <https://www.gbif.org/species/2609145> [09.12.2020].
- GILBERT, O. L. 1970: A biological scale for 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. [Eds.]: *Bryophytes and lichens in a changing environment*: 159–177. – Oxford.
- GOOS, U. 1998: Floristische, vegetationskundliche und avifaunistische Untersuchungen auf dem Gelände der Ruhr-Universität Bochum. – *Dipl.-Arb., LS Spezielle Botanik, AG Geobotanik, Ruhr-Univ. Bochum.*
- GRINDON, L. H. 1859: *The Manchester flora.* – London.
- HAFELLNER, J., MAYRHOFER, H. & POELT, J. 1979: Die Gattungen der Flechtenfamilie *Physciaceae*. – *Herzogia* 5: 39–79.
- HAWKSWORTH, D. L. & GRUBE, M. 2020: Lichens redefined as complex Ecosystems. – *New Phytologist* 227: 1281–1283.
- 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.
- HEERD, E., KIRSCHBAUM, U., MATTONET, B., & WINDISCH, U. 2016: 30 Jahre Mittelhessischer Lichenologischer Arbeitskreis (MLA). – *Herzogiella* 3: 62–64.
- HEIBEL, E. 1999: Untersuchungen zur Biodiversität der Flechten von Nordrhein-Westfalen. *Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkunde* 61 (2): 1-346.
- HIERSCHLÄGER, M. & TÜRK, R. 2012: Immission related lichen mapping in the city zone of Salzburg. – *Stapfia* 97: 137-152.
- JAGEL, A. 2020: *Helichrysum luteoalbum* – Gelblichweißes Ruhrkraut, Gelbweiße Strohblume (*Asteraceae*), Stadtpflanze des Jahres 2020. – *Jahrb. Bochumer Bot. Ver.* 12: (in Vorb.)
- JOHN, V. 2016: Luftqualität und Klima im Warndt – Veränderung der Flechtenbiota in 35 Jahren. – *Abh. Delattinia* 42: 5–22.
- KANDLER, O. & POELT, J. 1984: Wiederbesiedlung der Innenstadt von München durch Flechten. – *Naturwiss. Rundschau* 37: 90–95.
- KRICKE, R. 2002: Untersuchungen zur epiphytischen Flechtenvegetation in urbanen Gebieten, dargestellt an der Rückkehr der Flechten in das Ruhrgebiet und ausgewählter Nachbargebiete. – *Diss., FB Bio- und Geowissenschaften. Univ. Essen.*
- KRICKE, R. & FEIGE, G. B. 2001: Biomonitoring der Luftqualität im Ruhrgebiet mit Hilfe von Flechten – 1966 bis 2000. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 61: 163–166.
- LAWREY, J. D. & DIEDERICH, P. 2018: Lichenicolous fungi – worldwide checklist, including isolated cultures and sequences available. – <http://www.lichenicolous.net> [01.12.2020].
- LEBLANC, F. & DE SLOOVER, J. 1970: Relation between industrialisation and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. – *Can. J. Bot.* 48: 1485–1496.
- LOOS, G. H. 2014: Exkursion: Bochum-Querenburg, Moose und Flechten der Ruhr-Universität. – *Jahrb. Bochumer Bot. Ver.* 6: 70–71.
- LÜCKING, R., HODKINSON, B. P. & LEAVITT, S.D. 2016: The 2016 classification of lichenized fungi in the *Ascomycota* and *Basidiomycota*. Approaching one thousand genera. – *The Bryologist* 119: 361–416.
- NYLANDER, W. 1866: Les lichens du Jardin du Luxembourg. – *Bull. Soc. Bot. France* 13: 364–372.
- SCHMITZ, U., STAPPER, N., STEVENS, M., DAHL, A. & LEISTEN, A. 2014: Klimafolgenmonitoring Landeshauptstadt Düsseldorf 2013 – Untersuchungen der Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Gruppen der Tier- und Pflanzenwelt. Gutachten der Biologischen Station Haus Bürgel im Auftrag des Umweltamtes der Landeshauptstadt Düsseldorf in Kooperation mit der Unteren Landschaftsbehörde, Garten-, Friedhofs- und Forstamt. – Düsseldorf.

- SCHMITZ, U., STAPPER, N., STEVENS, M., WIROOKS, L., DIESTELHORST, O. & BUSCH, J. 2020: Klimafolgenmonitoring Landeshauptstadt Düsseldorf 2019 – Untersuchungen der Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Gruppen der Tier- und Pflanzenwelt. – Gutachten der Biologischen Station Haus Bürgel im Auftrag des Umweltamtes der Landeshauptstadt Düsseldorf in Kooperation mit der Unteren Landschaftsbehörde, Garten-, Friedhofs- und Forstamt. – Düsseldorf.
- SCHÖLLER, H. (ed.) 1997: Flechten: Geschichte, Biologie, Systematik, Ökologie, Naturschutz und kulturelle Bedeutung. Begleitband zur Ausstellung „Flechten – Kunstwerke der Natur“. – Kleine Senckenberg-Reihe 27: 1–247.
- SIEBEL, H. N. 1993: Indicatiegetallen van blad- en levermossen. Rapport IBN-DLO, Wageningen. – <http://www.blwg.nl/mos-sen/standaardlijst/mosindicatie.xls> [09.12.2020].
- SPRIBILLE, T., TUOVINEN, V., RESL, P., VANDERPOOL, D., WOLINSKI, H., AIME, M. C., SCHNEIDER, K., STABENTHEINER, E., TOOME-HELLER, E., THOR, G., JOHANNESSON, H. & McCUTCHEON, J. P. 2016: Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens. – *Science* 353: 488–492.
- STADT DÜSSELDORF 1995: Klimaanalyse für die Landeshauptstadt Düsseldorf. Herausgeber: Landeshauptstadt Düsseldorf, Umweltamt.
- STAPPER, N. J. 2012: Baumflechten in Düsseldorf unter dem Einfluss von Luftverunreinigungen, Stadtklima und Klimawandel. – *Bibliotheca Lichenologica* 108: 221–240.
- STAPPER, N. J. 2019: Bioindikation von Wirkungen des Stadtklimas und stadttypischen Immissionen mit epiphytischen Flechten und Moosen in Düsseldorf 2019. – Pilotstudie im Auftrag des Umweltamtes der Landeshauptstadt Düsseldorf. – Düsseldorf.
- STAPPER, N. J. & FRANZEN-REUTER, I. 2018: Wirkung lokaler Klimaveränderungen auf baumbewohnende Flechten in Nordrhein-Westfalen zwischen 2001 und 2017. – *Immissionsschutz* 3/2018: 128–136.
- STAPPER, N. J. & KRICKE, R. 2004a: Luftqualität in Düsseldorf 2003 – Zusammenfassender Bericht über eine Untersuchung mit Flechten und Moosen. – Umweltamt II/04, Düsseldorf.
- STAPPER, N. J. & KRICKE, R. 2004b: Epiphytische Moose und Flechten als Bioindikatoren von städtischer Überwärmung, Standorteutrophierung und verkehrsbedingten Immissionen. – *Limprichtia* 24: 187–208.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure [Hrsg.]) 2005: VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Flechten (Bioindikation) – Kartierung der Diversität epiphytischer Flechten als Indikator der Luftgüte. – Berlin.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure [Hrsg.]) 2015: VDI 3957 Blatt 12 Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen (Bioindikation) – Erfassen von Stickstoffanreicherungen in der Blattflechte *Parmelia sulcata* zum Nachweis von Immissionswirkungen. – Berlin.
- WIKIPEDIA 2020: Seite „Flechte“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Permanentlink: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Flechte&oldid=206138486> [04.12.2020].
- WINDISCH, U., PUNGIN, A. & TREMP, H. 2018: Wirkungsermittlung von Stadtklimaeffekten auf Biota anhand des Bioindikators Flechte in Wiesbaden und Mainz. Abschlussbericht in Kooperation des Fachzentrums Klimawandel und Anpassung des HLNUG und des Grün- und Umweltamtes der Landeshauptstadt Mainz. – Mainz.
- VORBECK, A. & WINDISCH, U. 2002: Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Flechtenkartierung München – Eignung von Flechten als Bioindikatoren für verkehrsbedingte Immissionen. Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU). – *Materialien Umwelt und Entwicklung* 173: 1–174.
- WIRTH, V. 2010: Ökologische Zeigerwerte von Flechten – erweiterte und aktualisierte Artenliste. – *Herzogia* 23: 229–248.
- WIRTH, V., HAUCK, M. & SCHULTZ, M. 2013: Die Flechten Deutschlands. – Stuttgart.

Danksagungen

Prof. Dr. Isabelle Franzen-Reuter (Bad Bentheim), Dr. Volker John (Bad Dürkheim) und Dr. Wolfgang von Brackel (Röttenbach) danke ich für die anregende Diskussion des entstehenden Manuskripts. Die Arbeiten in Düsseldorf erfolgten im Auftrag des Umweltamtes der Landeshauptstadt Düsseldorf. Die landesweite Epiphytenkartierung 2000 bis 2002 erfolgte mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen MUNLV an die Universität Bonn (Prof. Dr. J.-P. Frahm †).

Anschrift des Autors

Dr. Norbert J. Stapper
Verresberger Straße 55
40789 Monheim am Rhein
E-Mail: nstapper@t-online.de