

# Erfassung des Luftgüteindex LGI mittels epiphytischer Flechten zum Umweltmonitoring in Norderstedt

---



## 1. Zielstellung

Zur Beurteilung der lufthygienischen Situation in Norderstedt wird auf sechs ausgesuchten Beobachtungsflächen der Luftgüteindex LGI durch eine standardisierte Erfassung der Diversität epiphytischer Flechten nach VDI Richtlinie 3957, Blatt 13 ermittelt. Die Untersuchung knüpft an die Ersterfassung borkenbewohnender Flechten an 65 Bäumen in zehn Dauerbeobachtungsflächen in 2013 an (Schultz 2013). Neben der Ermittlung des LGI wird ein erster Vergleich der Diversität und des Klimawandelindex zwischen den Beobachtungszeitpunkten 2013 und 2020 unternommen.

## 2. Methodik

### 2.1 Untersuchungsflächen

Vorliegende Untersuchung basiert auf der Erfassung der Diversität epiphytischer Flechten auf zehn ausgewählten Untersuchungsflächen (Schultz 2013) laut „Monitoringkonzept zum Flächennutzungsplan und Landschaftsplan Norderstedt 2020“. Tabelle 1 zeigt die sechs aktuell untersuchten Flächen mit den Baumnummern von 2013 sowie den Biotop- und Nutzungstypen.

Nr.	Untersuchungsfläche	Baum Nr.	Biotop/-Nutzungstyp	Angrenzender Biotop/-Nutzungstyp
1	Flensburger Hagen	1	FH (+ einzelne Bäume)	Glm, SVs
		2, 3	HW	RH, SVs, (Glm)
		4	RH, SlDb, SlDs	WP
		6	HGr	SBe, (Slg, Glm)
		* 5 (Straßenb.)	HGb	SBe, SBz, SV
2	Buchenweg	a 1, 2, 4	HGb	SBe, SP, (SVs)
		b 3, 5, 6	HGr	Glm, AA
3	Lehmkuhlenweg/Styhagen/ Rantzauer Forstweg	1-6	HW	Glm, Glw, AA
5	Niendorfer Str./ Ohechaussee	1, 2, 3, 7, 8	Slg	SVs, (RH, FH)
		* 4 (Fremdart)	Slg	SVs
6	Ohe-/Segeberger Chaussee	1, 2	HGy/SP	(SVs, SBg, SBz)
		3	HGr	SVs, SBg
		4, 5, 6	RH, WG	SBe, SBz, SVs
8.3	Glasmoorstr./Hofweg	a 1-3	HGr	SBe, SBz
		b 4-6	HW, HGr	HR, WG, Glw, SDr

Tab. 1: Untersuchungsflächen 2020 mit Nummerierung wie in 2013: Biotop-/Nutzungstyp am Standort und umliegend (Abk. s.u.). Bäume mit \* wurden aus Neuberechnung des LGI weggelassen. Bäume markiert mit a und b wurden entsprechend Biotop-/Nutzungstyp gruppiert und der LGI jeweils neu berechnet (Abb. 5, 6).

Abkürzungen der Biotop-/Nutzungstypen nach Landschaftsplan 2020 Norderstedt (Plan 1.1.1):

FH	Feldhecke	SlDs	Lagerstätte Sand, Erde, Gartenabfälle
Glm	artenarmes Intensivgrünland mit Mahd	Slg	Gewerbegebiete, Gewerbebetriebe
Glw	artenarmes Intensivgrünland mit Beweidung	SBe	Einzel- und Reihenhausbebauung
HGb	Einzelbaum	SBz	Blockrand und Zeilenbebauung
HGr	Baumreihe	SDr	Reiterhof
HW	Wallhecke	SP	öffentliche Park- und Grünanlage
Glw	artenarmes Intensivgrünland für Beweidung	SVb	Gleisanlage
RH	halbruderale Gras- und Staudenfluren	SVs	Straße, Fahrweg
SlDb	Bauschuttalagerung/-deponie	WG	Gebüsch
		WP	Pionierwald

Tabelle 2 listet die 2020 untersuchten Bäume und ergänzt somit Tabelle 1 aus Schultz (2013).

Untersuchungsfläche	Nr.	Trägerbaum	DBH [cm]	lat. [°N]	long. [°E]
<b>1 (Flensburger Hagen)</b>	1	Stiel-Eiche	40	53,73805	9,98874
	2	Stiel-Eiche	50	53,73822	9,98934
	3	Stiel-Eiche	60-70	53,73831	9,98952
	4	Hänge-Birke	50	53,73928	9,99014
	5	Stiel-Eiche	70	53,73897	9,99557
	6	Stiel-Eiche	70-80	53,73993	9,99362
<b>2 (Buchenweg)</b>	1	Linde	60	53,69915	9,99152
	2	Linde	60	53,69925	9,99129
	3	Stiel-Eiche	80-90	53,69874	9,98691
	4	Stiel-Eiche	70	53,69971	9,99173
	5	Stiel-Eiche	70-80	53,69867	9,99566
	6	Stiel-Eiche	70-80	53,69874	9,99511
<b>3 (Harthagen/Lehmkuhlenweg/Rantzauer Forstweg)</b>	1	Stiel-Eiche	70	53,70517	9,97155
	2	Stiel-Eiche	70	53,70753	9,97075
	3	Stiel-Eiche	80	53,70762	9,97053
	4	Stiel-Eiche	100	53,70423	9,96527
	5*	Stiel-Eiche	80	53,70387	9,96568
	6	Stiel-Eiche	90	53,70371	9,96493
<b>5 (Niendorfer Str./Ohechaussee)</b>	1	Rosskastanie	100	53,66571	9,97382
	2*	Stiel-Eiche	60	53,66326	9,97540
	3	Stiel-Eiche	50-60	53,66289	9,97473
	4	Ungar. Eiche	40	53,66415	9,97578
	7	Robinie	40-50	53,66663	9,97237
	8	Hänge-Birke	40	53,66633	9,97264
<b>6 (Ohechaussee/Segeberger Chaussee)</b>	1	Stiel-Eiche	70-80	53,68222	10,00025
	2	Stiel-Eiche	60	53,68223	9,99997
	3*	Linde	70	53,68219	9,99878
	4*	Stiel-Eiche	80	53,68356	10,00200
	5	Stiel-Eiche	90	53,68391	10,00318
	6*	Linde	50	53,68162	10,00138
<b>8.3 (Glasmoorstr./Hofweg)</b>	1	Stiel-Eiche	40	53,69786	10,03374
	2	Stiel-Eiche	40	53,69780	10,03368
	3	Stiel-Eiche	40	53,69772	10,03348
	4*	Stiel-Eiche	50	53,69947	10,03359
	5	Stiel-Eiche	80-90	53,70019	10,03790
	6*	Stiel-Eiche	100	53,70072	10,03576

Tab. 2: Untersuchungsflächen und Trägerbäume 2020; \* = neu festgelegte Baumstandorte, da die 2013 gewählten Bäume nicht mehr geeignet waren (verbuscht, verbaut, nicht mehr frei zugänglich, spezifisch für VDI 3957, Blatt 13 nicht geeignet).

Die verbleibenden vier Flächen sollten in einer späteren Folgeuntersuchung bearbeitet werden. Für die 2020 getroffene Auswahl war ausschlaggebend, dass die Untersuchungsflächen 8.1 Glasmoor/Hochmoor und 8.2 Glasmoorstraße/Am Glasmoor sowie 7 Stadtpark eine längerfristig stabile Entwicklung des Flechtenbestandes erwarten lassen, da es sich um relativ naturnahe Biotope handelt. Die Folgeuntersuchung kann daher in einem längeren zeitlichen Intervall von ca.

10 Jahren durchgeführt werden. Fläche 4 Furth/Styhagen/Buckhorn ist räumlich nah und auch vom Biotop- und Nutzungstyp sehr ähnlich wie Fläche 3 und wurde ebenfalls in der vorliegenden ersten Nachuntersuchung nicht berücksichtigt.

## 2.2 Erfassung der Flechtendiversität, Berechnung des Luftgüteindex, LGI

Die Bestimmung der Flechtenarten erfolgte vor Ort mit einer 10x Handlupe. Von nicht unmittelbar ansprechbaren Arten wurden schonend kleine Stücke für die spätere Bestimmung entnommen. Als Bestimmungsliteratur diente Wirth et al. (2013). Folgende Artnamen haben sich gegenüber 2013 verändert: *Bacidina arnoldiana* (rindenbewohnend) = *B. sulphurella* und *Porina aenea* = *Pseudosagedia aenea*. Zur Beschreibung der Artenvielfalt in den Untersuchungsflächen und den Vergleich der Ergebnisse von 2013 und 2020 wurden der Shannon- und Sørensen-Diversitätsindex berechnet (Tab. 3).

Für die Luftgütermittlung wurden pro Fläche jeweils sechs Bäume untersucht (Tab. 2). Nach VDI Richtlinie 3957, Blatt 13 wurden am Mittelstamm zwischen 100-150 cm Höhe Zählgitter mit je fünf 10 x 10 cm Feldern in den Haupthimmelsrichtungen angebracht und die Frequenz der registrierten Flechtenarten erfasst (Tab. 6, Anhang). Für die Bäume jeder Untersuchungsfläche wurden die Frequenzsummen gemittelt und daraus der Flechtendiversitätswert, FDW der Referenzarten und Eutrophierungszeiger errechnet. Der LGI ergab sich aus der Kombination beider Diversitätswerte und wurde mit einer Bewertungsmatrix bestimmt (Abb. 1). Beispielhaft lautet die verbale Beschreibung einer Fläche mit LGI 4E.2: „hohe Luftqualität mit geringem Eutrophierungseinfluss“.

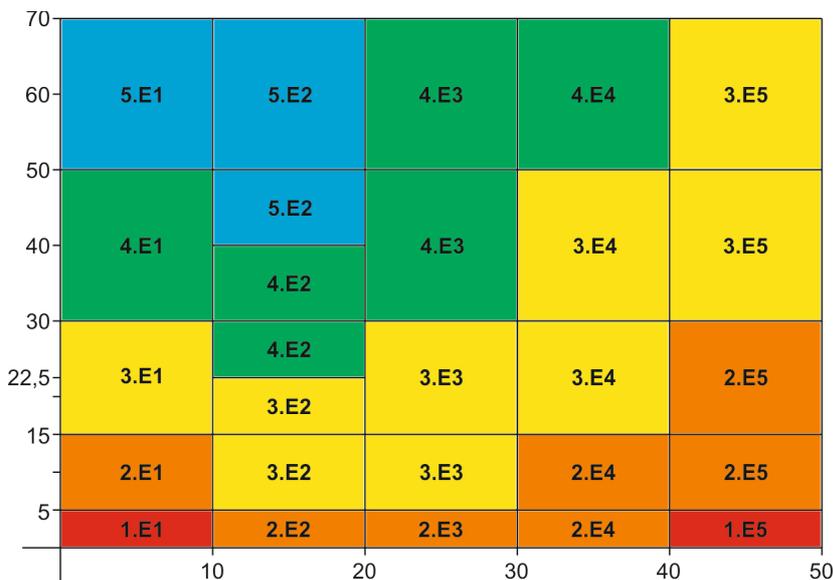


Abb. 1: Bewertungsmatrix für die Bestimmung des Luftgüteindex LGI. Auf der y-Achse der Diversitätswert der Referenzarten in 5 Klassen von 1, sehr niedrige Luftqualität bis 5, sehr hohe Luftqualität. Auf der x-Achse der Diversitätswert der Eutrophierungszeiger in 5 Klassen von 1, sehr geringer Eutrophierungseinfluss bis 5, sehr starker Eutrophierungseinfluss.

## 2.3 Zeigerwerte, Klimawandelindex

Um einen Vergleich mit den Ergebnissen der Erstuntersuchung von 2013 vornehmen zu können, wurden zusätzlich an jedem Baum alle weiteren Arten registriert, die nur außerhalb der Zählgitter vorkamen (Felder mit „x“ in Tab. 6). Erfasst wurde der ganze Stamm von der Basis bis 2 m Höhe.

Die ökologische Zeigerwerte der registrierten Flechtenarten wurden aus Wirth (2010) entnommen. Sie wurden ergänzt und erweitert um den Klimawert KW nach Kirschbaum & Wirth (2010) zur Berücksichtigung möglicher Effekte infolge des Klimawandels nach Vorgaben der VDI Richtlinie 3957, Blatt 20. Für in beiden Quellen nicht gelistete Arten wurde (so möglich) eine Einschätzung auf Grundlage der ökologischen Charakterisierung in Wirth et al. (2013) vorgenommen. Auch wurde die Liste der Eutrophierungszeiger nach VDI 3957, Blatt 13 sowie Kirschbaum & Wirth (2010) für die Verhältnisse in Metropolregion Hamburg leicht angepasst. So wurden für *Candelaria pacifica* die Zeigerwerte von der als ökologisch sehr ähnlich beschriebenen *Physconia grisea* übernommen. Da der Zeigerwert für die Nährstoffzahl N mit 8 angegeben wird, musste *Candelaria pacifica* in die Gruppe der Eutrophierungszeiger aufgenommen werden. Diese Einstufung erscheint in der Metropolregion Hamburg aufgrund des häufigen Vorkommens der Art auf eutrophierten Straßenbäumen gemeinsam mit anderen Eutrophierungszeigern (*Phaeophyscia orbicularis*, *Physcia* spp., *Xanthoria* spp.) gerechtfertigt. Nach Wirth et al. (2013) verhält sich *Xanthoria ucrainica* ökologisch sehr ähnlich wie der Eutrophierungszeiger *X. candelaria*. Und da auch *Caloplaca obscurella* einen sehr hohen N-Zeigerwert von 8 besitzt, wurden beide Arten ebenfalls als Eutrophierungszeiger gewertet. Damit gehören folgende hier registrierte Flechtenarten zu den Eutrophierungszeigern: *Caloplaca obscurella*, *Candelaria pacifica*, *Lecanora dispersa*, *L. hagenii*, *Phaeophyscia nigricans*, *Ph. orbicularis*, *Physcia adscendens*, *Ph. caesia*, *Ph. dubia*, *Ph. tenella*, *Physconia grisea*, *Xanthoria candelaria*, *X. parietina*, *X. polycarpa* & *X. ucrainica*.

Durch die Wiederholung der Untersuchung von 2013 wurde auch ein Vergleich des Klimawandelindex möglich. Dieser neue Index wurde von Kirschbaum & Wirth (2010) eingeführt, um lokal die Auswirkung des Klimawandels anhand der Einwanderung sog. Klimawandelzeiger zu bewerten. Bei diesen Arten handelt es sich um atlantisch verbreitete Flechten mit Präferenz für milde, feuchte Standorte und einem Nährstoffzeigerwert unter 7. Diese Arten breiten sich in Deutschland seit gut 20 Jahren von Westen und Südwesten her aus. Für vorliegenden Bericht wurden die Klimawandelwerte der 2013 und 2020 an den Untersuchungsflächen 1, 2, 3, 5, 6 und 8.3 registrierten Arten verglichen. Da 2013 keine Frequenzwerte nach VDI 3957, Blatt 13 ermittelt wurden, wird für die Berechnung des KWI das qualitative Verfahren nach VDI 3957, Blatt 20 S. 10 verwendet. Für die in der Richtlinie als Klimawandelzeiger geführte Art *Micarea viridileprosa* gibt Wirth (2010) keine Zeigerwerte an. Es wurde daher ein niedriger KWI von 7 entsprechend des ökologisch ähnlichen Klimawandelzeigers *M. adnata* angenommen.

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Artenhäufigkeit und -diversität

Bei der aktuellen Nachuntersuchung wurden insgesamt 62 Flechtentaxa registriert. Davon waren 47 auch 2013 auf den entsprechenden Flächen der Voruntersuchung gefunden worden, 14 Arten wurden in 2020 neu registriert. Von den 56 Arten, die 2013 auf den Flächen 1, 2, 3, 5, 6 und 8.3 festgestellt wurden, konnten 2013 neun nicht mehr bestätigt werden. In Summe sind von 2013 bis 2020 auf allen zehn Untersuchungsflächen insgesamt 81 borkenbewohnende Flechtentaxa nachgewiesen worden. Dies ist ein beträchtlicher Zuwachs seit Villwock (1984). Abbildung 2 stellt die absolute Häufigkeit der 62 registrierten Flechtenarten dar. *Lepraria incana* kam 385x vor, also in über der Hälfte der  $36 \times 4 \times 5 = 720$  Zählfelder. Sie ist die mit Abstand häufigste Flechte. Es folgen *Physcia tenella* und *Amandinea punctata* mit 182 bzw. 175 Zählungen. Sie kamen in ca. einem Viertel aller Zählfelder vor. *Candelariella reflexa* und *Coenogonium pineti* wurden 100x bzw. 81x



höheren Anteil der sowohl 2013 wie 2020 registrierten Arten begründet, wenn alle Untersuchungsflächen zusammengelegt werden. Die Diversität der Flechtengesellschaften (Shannon-Index) hat sich im Untersuchungszeitraum leicht erhöht (Ausnahme Fläche 6 mit leichter Abnahme bei insgesamt den niedrigsten Diversitätswerten aller Flächen).

Nr.	Untersuchungsfläche	Sørensen-Index	Shannon-Index	
			2013	2020
1	Flensburger Hagen	64,8%	3,253	3,531
2	Buchenweg	69,0%	3,032	3,259
3	Rantzauer Forstweg/Styhagen	62,1%	3,08	3,31
5	Niendorfer Str./Ohechaussee	63,8%	3,171	3,53
6	Ohe-/Segeberger Chaussee	59,5%	2,711	2,67
8.3	Glasmoorstr./Hofweg	64,5%	3,084	3,453
	Norderstedt	76,4%	3,486	3,698

Tab. 3: Floristische Ähnlichkeit (Sørensen-Index) und Artenvielfalt (Shannon-Index).

Abbildung 4 vergleicht die Artenzahlen in den sechs untersuchten Flächen. Die höchsten Werte wurden den Flächen 1, 5 und 8.3 erreicht. Die Fläche 1, Flensburger Hagen, wies die höchste Artenzahl auf. Sie liegt am Rand der bebauten Stadtfläche im Norden von Norderstedt und somit etwas abseits des negativen Stadteinflusses. Fläche 6, Schleswig-Holstein-Str./Segeberger Chaussee wies die geringste Artenzahl auf. Von negativen Einflüssen aus starkem Verkehr und hoher Siedlungsdichte ist auszugehen. Die Flächen haben sich insgesamt bezüglich der Artenzahlen gegenüber 2013 nicht grundsätzlich verändert.

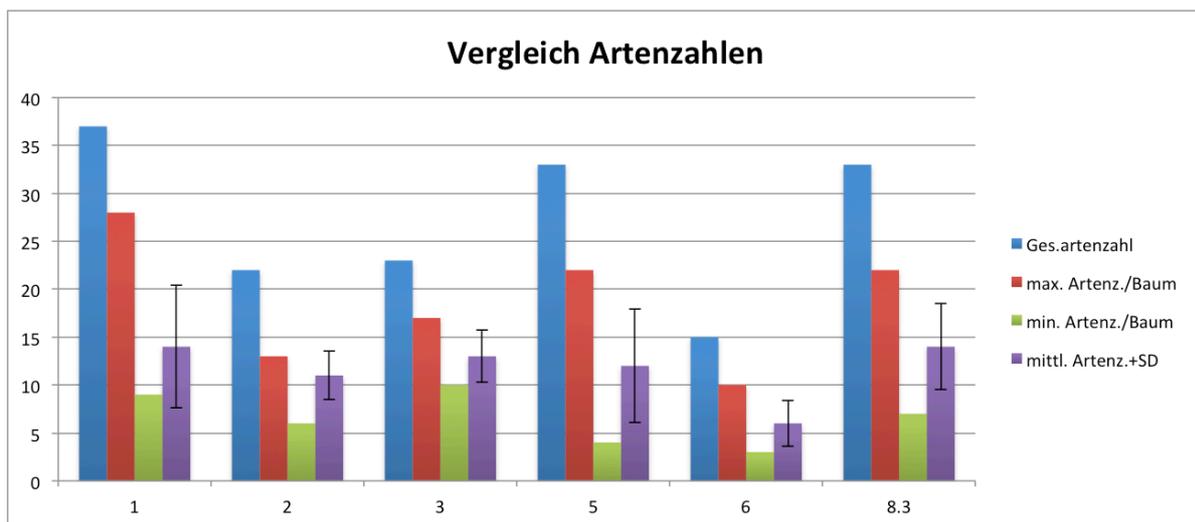


Abb. 4: Vergleich der Artenzahlen in den Untersuchungsflächen.

Im Anhang sind in Tabelle 6 die registrierten Arten und deren jeweilige Frequenz in den Zählgittern für die vier Himmelsrichtungen Süd, West, Nord und Ost gelistet. Ein „x“ gibt an, dass die betreffende Art am jeweiligen Baum nur außerhalb der Zählgitter registriert wurde. Der Übersichtlichkeit halber sind dort pro Seite nur die Daten von jeweils zwei Standorten dargestellt.

### 3.2 Luftgüteindex, LGI

Die Berechnung des LGI erfolgte in zwei Ansätzen. Für die erste Berechnung (Abb. 5) wurden alle sechs Trägerbäume je Untersuchungsfläche berücksichtigt. Zusätzlich wurde für eine regionale Einordnung auch ein Mittelwert (MW) als „mittlere Luftgüte in Norderstedt“ aus allen 36 untersuchten Bäumen errechnet. Die Einordnung der Luftgüte erfolgte mit der VDI-Bewertungsmatrix in Abbildung 1. Die Flechtendiversitätswerte, der LGI und die verbale Beschreibung der Luftqualität sind für jede Untersuchungsfläche sowie gemittelt über alle Trägerbäume in Tabelle 4 zusammengefasst.

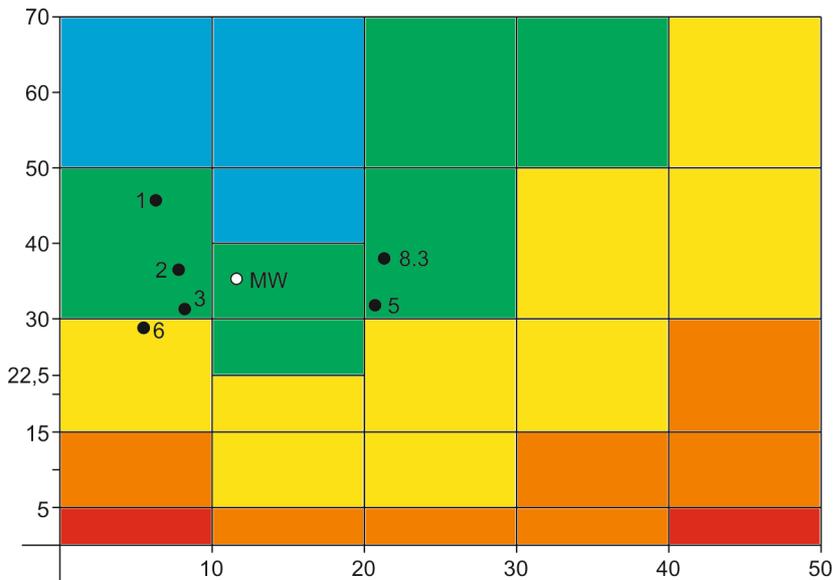


Abb. 5: Luftgüteindex (LGI) an sechs ausgewählten Untersuchungsflächen in Norderstedt mit je sechs Bäumen pro Fläche. Offener Punkt MW ist der „mittlere Luftgüteindex in Norderstedt“ ermittelt aus den Flechtendiversitätswerten an allen 36 untersuchten Bäumen.

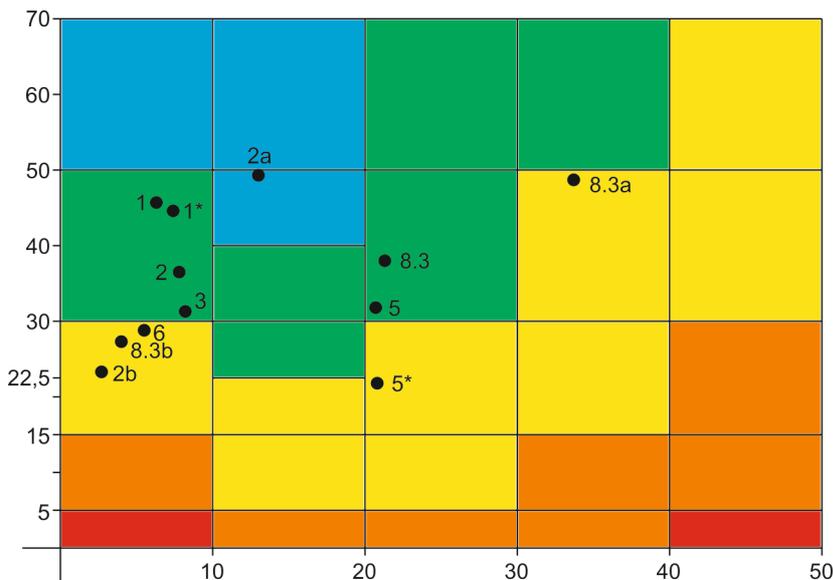


Abb. 6: wie oben, aber neu berechnet für Fläche 1 und 5 durch Weglassen je eines untypischen Baumes (\*) und für Fläche 2 und 8.3 durch Zuordnung von je drei Bäumen zu unterschiedlichen Biotop- und Nutzungstypen (a, b).

Bis auf Untersuchungsfläche 3 gab es bereits in der Voruntersuchung 2013 Probleme bei der Auswahl geeigneter Bäume (unverletzt, kaum geneigt, frei zugänglich, ohne Efeubewuchs und dichtes Gestrüch, keine zu starke oder einseitige Verschattung etc.). Da bei der damaligen Untersuchung jedoch die Gesamtdiversität epiphytischer Flechten im Fokus stand, war eine gewisse standörtliche Vielfalt unter den Trägerbäumen trotz weitgehender Beschränkung auf Stiel-Eiche noch weniger kritisch. Die VDI Richtlinie 3957, Blatt 13 setzt jedoch eine möglichst homogene Auswahl der Untersuchungsbäume voraus. Bis auf Fläche 3 konnte keine der 2020 erneut untersuchten Flächen als sehr homogen bezeichnet werden (vgl. Tab. 1), was für die z.T. engmaschig verzahnten Biotop- und Nutzungstypen im Stadtgebiet von Norderstedt auch nicht zu erwarten war. Daher wurden für vier der Flächen Korrekturen vorgenommen (Tab. 4) und der LGI neu berechnet (Abb. 6).

Nr.	Untersuchungsfläche	Baum Nr.	FDW Ref.-arten	FDW Eutr.-zeiger	LGI	Bewertung Luftgüte und Eutrophierungseinfluss (Bemerkung)
1	Flensburger Hagen	1-6	45,7	6,3	4E.1	hoch mit sehr geringem Eutr.einfluss
		* 1-4, 6	44,6	7,4	4E.1	hoch mit sehr geringem Eutr.einfluss
2	Buchenweg	1-6	36,3	7,8	4E.1	hoch mit sehr geringem Eutr.einfluss
		a 1, 2, 4	49,3	13	5E.2	sehr hoch mit geringem Eutrophierungseinfluss
		b 3, 5, 6	23,3	2,7	3E.1	mittel mit sehr geringem Eutrophierungseinfluss
3	Rantzauer Forstweg/Styhagen	1-6	31,3	8,2	4E.1	hoch m. s. geringem Eutr.einfl. (an mäßig m. s. geringem Eutr.einfl. 3E.1 grenzend )
5	Niendorfer Str./ Ohechaussee	1-4, 7, 8	31,8	20,7	4E.3	hoch m. mittl. Eutr.einfl. (an mittel m. mittlerem Eutr.einfl. 3E.3 grenzend)
		* 1-3, 7, 8	21,8	20,8	3E.3	mittel mit mittlerem Eutrophierungseinfluss
6	Ohe-/Segeberger Chaussee	1-6	28,8	5,5	3E.1	mittel m. s. geringem Eutr.einfl. (an hoch m. s. geringem Eutr.einfl. 4E.1 grenzend)
8.3	Glasmoorstr./ Hofweg	1-6	38	21,3	4E.3	hoch mit mittlerem Eutrophierungseinfluss
		a 1-3	48,7	38,7	3E.4	mittel m. starkem Eutr.einfl. (an hoch m. starkem Eutr.einfl. 4E.4 grenzend)
		b 4-6	27,3	4	3E.1	mittel mit geringem Eutrophierungseinfluss
	Norderstedt	alle	35,3	11,6	4E.2	hoch mit geringem Eutrophierungseinfluss

Tab. 4: Luftgüteindex (LGI) und verbale Beschreibung der Luftqualität in sechs Untersuchungsflächen mit Flechtendiversitätswerten (FDW) für Referenzarten und Eutrophierungszeiger gemittelt über jeweils 6 Bäume pro Fläche bzw. korrigiert durch Weglassen von je 1 untypischen Baum in Fläche 1 und 5 (\*) und differenziert nach Biotop- und Nutzungstyp mit je 3 Bäumen pro (Teil)Fläche (a, b).

Dabei zeigte sich, dass die LGI-Werte in den Teilflächen 2a/2b und 8.3a/8.3b recht weit auseinander liegen. Das könnte auf Inhomogenität der Untersuchungsfläche hinweisen (kleinräumig stärker abgestufte Luftgüte) oder aber bedeuten, dass zu wenige Bäume untersucht wurden und so kein guter Mittelwert gefunden wurde (Ausreißerproblem). Auf der anderen Seite hatte das Weglassen von Baum 5 in Fläche 1 keinen nennenswerten Einfluss auf den LGI, was wiederum bedeutet, dass die in der Fläche gemessene Luftgüte wohl verlässlich angezeigt wurde. Auch in Fläche 5 änderte sich der LGI durch Weglassen von Baum 4 kaum. Die Luftgüte lag jeweils an der Grenze von mäßig zu hoch (jeweils knapp darüber bzw. darunter). Jedoch ist der LGI von 5\* wohl realistischer und es ist zu erwarten, dass bei Ersetzen der Ungarischen Eiche durch Stieleiche der Wert noch sinkt.

### 3.3 Zeigerwert Nährstoffzahl

Für den Zeitraum 2013 bis 2012 konnte festgestellt werden, dass die epiphytische Flechtenvegetation in Norderstedt unter einem mittlerem bis stärkerem Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen stand. Abbildung 7 stellt die Häufigkeiten der Nährstoffzahlen an den sechs 2013 und 2020 untersuchten Flächen dar. Die Zeigerwerte wurden gruppiert mit 1-3 für niedrigen Nährstoffeinfluss, 4-6 mit mittlerem Nährstoffeinfluss und 7-9 mit hohem Nährstoffeinfluss bzw. hohem Einfluss düngender Emissionen. Es zeigte sich, dass an allen Untersuchungsflächen und über den Zeitraum 2013-2020 hinweg nährstoffmeidende Flechtenarten und solche mit nur geringer Düngungstoleranz nur sehr wenig vertreten waren, während Arten mit mittleren Nährstoffansprüchen bzw. mittlerer Empfindlichkeit gegenüber düngenden Emissionen insgesamt dominierten. Die Arten mit hohen Nährstoffansprüchen bzw. hoher Düngungstoleranz (sog. Eutrophierungszeiger) waren jedoch in allen untersuchten Flächen ebenfalls stark vertreten. In der floristisch verarmten und hohem Nutzungsdruck unterliegenden Fläche 6 waren die Düngungszeiger sogar in der Mehrzahl. Am artenreichsten und am wenigsten durch Eutrophierung belastet war Fläche 1, Flensburger Hagen. Hier spielt vermutlich die Aufgabe der Nutzung ehemaliger Gewerbeflächen, die Nähe zu Waldflächen und eine gewisse Distanz zur stark befahrenen Ulzburger Straße eine Rolle.

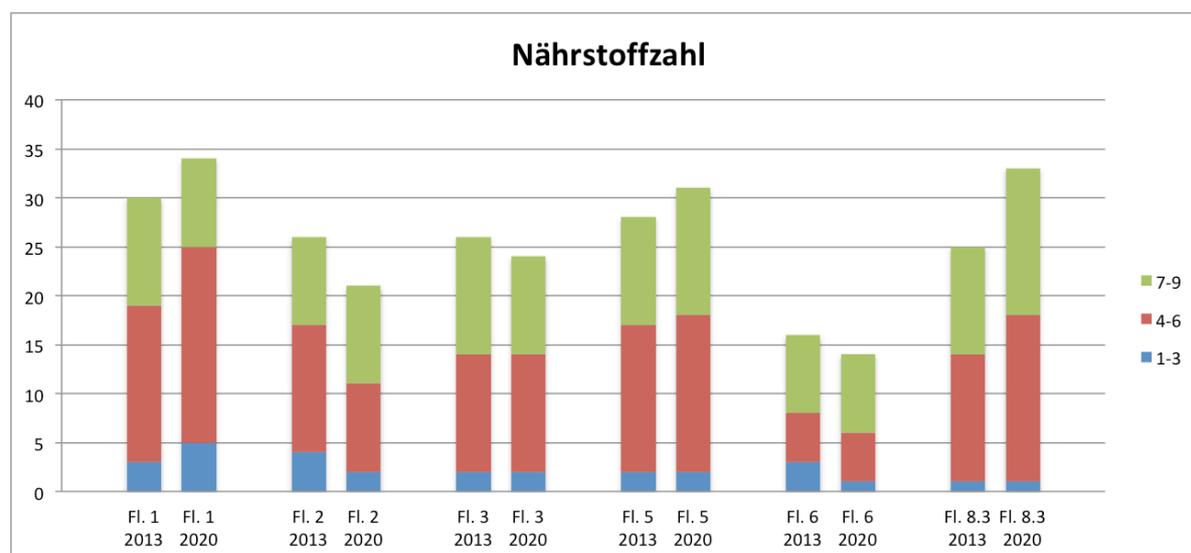


Abb 7: Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Zeigerwerte für die Nährstoffzahl N in sechs Untersuchungsflächen 2013 und 2020; 1-3 = geringer, 4-6 = mittlerer, 7-9 = hoher Nährstoffgehalt bzw. düngender Umwelteinfluss.

### 3.4 Klimawandelzeiger

Der Vergleich des Artenspektrums auf den 2013 und 2020 untersuchten Flächen ergab, dass in allen Flächen außer 8.3 eine Zunahme im Vorkommen von Klimawandelzeigern zu beobachten war und dementsprechend der qualitative Klimawandelindex KWI angestiegen ist. Das gilt auch für die Berechnung des „mittleren KWI“ für Norderstedt. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass sich die epiphytische Flechtenvegetation in Norderstedt infolge lokalen Klimawandels verändert hat.

Nr.	Untersuchungsfläche	KWI	
		2013	2020
1	Flensburger Hagen	1,2	4,8
2	Buchenweg	2,3	4,8
3	Rantzauer Forstweg/Styhagen	3,5	5,8
5	Niendorfer Str./Ohechaussee	1,2-3,5	5,7-8,2
6	Ohe-/Segeberger Chaussee	0	1,2
8.3	Glasmoorstr./Hofweg	3,6	2,3
	Norderstedt	2,4-2,7	3,9-4,5

Tab. 5: Veränderung des quantitativen Klimawandelindex, KWI zwischen 2013 und 2020 an sechs Untersuchungsflächen sowie gemittelt für Norderstedt.

## 4. Diskussion

### 4.1 Auswahl Trägerbäume

Für Nachuntersuchungen und wiederholte Berechnungen des Luftgüteindex nach VDI 3957, Blatt 13 sollte auf die Vergleichbarkeit der Trägerbäume geachtet werden. Die 2013er Untersuchung zielte auch auf eine möglichst vollständige Erfassung der epiphytischen Flechten in den Untersuchungsflächen ab, da entsprechende aktuelle Basisdaten für borkenbewohnende Flechten in Norderstedt fehlten. Von den 2013 ausgewählten Bäume konnten 2020 einige wenige nicht für die Luftgütebeurteilung herangezogen werden, da sie die Vorgaben der VDI 3957, Blatt 13 nicht (mehr) erfüllten. Diese Bäume wurden ersetzt durch andere. Dafür wurden falls möglich Stiel-Eichen herangezogen. Trotzdem bereitete die Baumauswahl vor allem in den Untersuchungsflächen 2, 5 und 6 z.T. erhebliche Probleme und es mussten Kompromisse bei der Wahl der Trägerbaumarten wie auch beim Standort eingegangen werden. Das betrifft auch die Frage der Homogenität der Untersuchungsflächen. Insbesondere Fläche 6, aber auch die Flächen 3, 5 und 8.3 sind nach Biotop- und Nutzungstyp nicht sehr homogen. Der LGI gemittelt über sechs Bäume, die an z.T. sehr unterschiedlichen Standorten stehen, gibt vermutlich nur ein nivelliertes Bild der tatsächlich kleinräumig differenzierteren Verhältnisse wieder. So konnte in zwei Abschlussarbeiten, die der Berichterstatter im Rahmen seiner Lehrtätigkeit an der Universität Hamburg angeleitet hat, nachgewiesen werden, dass der LGI im Hamburger Stadtgebiet ermittelt anhand des Flechtenbewuchses von Straßenbäumen von mehreren Faktoren gesteuert wird. Darunter zählen die Verkehrsdichte an der jeweiligen Straße, aber auch der dämpfende Einfluss von Gehölzen und Parkanlagen in unmittelbarer Straßennähe. Dies ist bei der Interpretation der gefundenen Werte für die Luftgüte zu berücksichtigen. Bei Nachfolgeuntersuchungen sollte in Betracht gezogen werden, mehr Bäume pro Untersuchungsfläche zu berücksichtigen. Alternativ könnte der Zuschnitt

der Untersuchungsflächen auch präzisiert werden, damit die Standorte der Trägerbäume einem möglichst einheitlichen Biotop- und Nutzungstyp entsprechen. Ein Untersuchungszyklus von 5-10 Jahren erscheint angemessen.

## 4.2 Artenzahlen und Artenspektrum

Insgesamt wurde in der Nachuntersuchung ein ähnliches Artenspektrum registriert wie 2013. Dies betrifft vor allem häufige und sehr häufige Arten. Bei den 14 neu registrierten Taxa handelt es sich dagegen überwiegend um Einzelfunde (Ausnahme *Opegrapha rufescens*). Dies deutet darauf hin, dass der Artenpool von Flechten an freistehenden Bäumen und mit sauren Borkeneigenschaften noch nicht vollständig erfasst wurde und/oder dass sich die Zusammensetzung der epiphytischen Flechtenvegetation qualitativ verändert hat (Klimawandel). Unter den neu nachgewiesenen Arten ist *Opegrapha rufescens* erwähnenswert, da sie sich in den letzten Jahren offensichtlich stark ausgebreitet hat und 2020 auf neun Bäumen in mehreren der Untersuchungsflächen registriert wurde, z.T. in hoher Deckung. Die Art ist vom Bearbeiter zuletzt auch in Hamburg-Langenhorn und im Ohlsdorfer Friedhof beobachtet worden. Es handelt sich um eine Krustenflechte mit *Trentepohlia*-Photobionten, die natürlicherweise vor allem in feuchten Wäldern vorkommt. Gleiches gilt für *Arthonia spadicea*, deren Schwerpunkt in Erlenbruchwäldern liegt, die jedoch nur einmal in Fläche 8.3 an der Stammbasis einer starken Stiel-Eiche am Rand eines Entwässerungsgrabens gefunden wurde. Wie *Anisomeridium polypori* und *Coenogonium pineti* gehören beide neu gefundenen Arten zu einer Gruppe von Flechten mit *Trentepohlia*-Photobionten, die als Waldarten heute auch auf freistehenden Bäumen regelmäßig zu finden sind und offenbar von den milderen und feuchten Wintern profitieren. Interessant ist auch der Fund von *Diploicia canescens* auf einer Linde am Buchenweg in Fläche 2. Dieser Baum war schon 2013 relativ dicht mit Flechten bewachsen, jedoch fehlte *Diploicia canescens* dort noch. Da es sich eine recht auffällige, kaum zu verwechselnde Art handelt, ist von einer Neuansiedlung auszugehen. Mit einem Klimaindex von 7,5 zählt diese Flechte zu den Klimawandelzeigern. Dazu gehört auch *Parmotrema perlatum*, die 2013 auf Untersuchungsfläche 6 an einer Esche nachgewiesen wurde. Dieser Baum wurde 2020 nicht erneut untersucht, da *Fraxinus excelsior* deutlich andere Borkeneigenschaften aufweist als die dominant untersuchten Stiel-Eichen. Allerdings wurde 2020 ein Thallus von *Parmotrema perlatum* nur wenige Meter entfernt von Baum 6 in Untersuchungsfläche 6 auf einer verwachsenen und beschatteten Rotbuche registriert – und zwar nur wenige Meter entfernt vom Tunnel-Kreisverkehr an Schleswig-Holstein-Straße und Segeberger Chaussee. In der 2020er Untersuchung nicht erneut nachgewiesen, aber in Untersuchungsfläche 6 immer noch vorkommend, ist *Chaenotheca trichialis*. Diese unauffällige Waldart wächst immer noch in den tiefen Borkenrissen einer sehr starken Stiel-Eiche im Südwest-Winkel des Tunnel-Kreisverkehrs. Der Baum war 2013 aufgrund der Nähe zur damaligen, noch nicht untertunnelten Kreuzung mit erfasst worden, konnte aber 2020 nicht erneut untersucht werden, da er inzwischen zunehmend von Büschen umstanden ist und von einer großen Werbetafel beschattet wird. Die umliegenden Gebäude mit gewerblicher Nutzung stehen aktuell leer und das Gelände liegt brach. In Fläche 1, Flensburger Hagen, konnte *Caloplaca cerinelloides* nicht erneut nachgewiesen werden. Es handelt sich um eine sehr unauffällige, kleinwüchsige, krustige Pionierflechte, die auch leicht zu übersehen ist. In dieselbe Kategorie fällt die 2020 erstmals registrierte *Catillaria nigroclavata*. Die ebenfalls relativ unauffällige, nährstoffliebende Krustenflechte *Caloplaca obscurella* war 2013 nur einmal in Fläche 4 registriert worden. Sie ist inzwischen deutlich häufiger geworden und wurde 2020 auf vier der sechs untersuchten Flächen gefunden. Die Art dürfte auch den nach wie vor nicht unerheblichen Einfluss eutrophierender Emissionen anzeigen. Von den nur geringe bis mäßige

Eutrophierung tolerierenden Blattflechten der Gattung *Hypogymnia* wurde lediglich *H. physodes* erneut registriert. In den nachuntersuchten Flächen kam die Art 2013 noch in Fläche 1, 2, 5 und 6 vor. Dagegen wurde sie 2020 nur noch in Fläche 5 beobachtet. Die andere Art, *Hypogymnia tubulosa* kam bereits 2013 nur in Fläche 5 vor. Sie konnte 2020 gar nicht mehr registriert werden. Beide Arten stehen, wenn auch abgestuft, exemplarisch für den stetigen Rückgang nährstoffmeidender und zugleich säureliebender Blattflechten, die auf der unter natürlichen Bedingungen sauren Borke von Stiel-Eiche eigentlich sehr gute Lebensbedingungen besitzen. An dieser Stelle sei auf die Bundesartenschutzverordnung hingewiesen, wonach die Flechten der Familie Parmeliaceae gesetzlich geschützt sind! Bei den Strauchflechten ist die Situation ebenfalls unverändert kritisch. Zwar konnten *Evernia prunastri* und *Ramalina farinacea* erneut an mehreren Standorten gefunden werden, aber die Individuen sind oft klein, von herabgesetzter Vitalität, veralgt oder sogar moribund. In Fläche 5 konnte auf einer Ungarischen Eiche (Baum 4) die empfindliche Strauchflechte *Ramalina fastigiata* zwar nicht erneut nachgewiesen werden, allerdings kommt *Pseudevernia furfuracea* dort immer noch vor, wenn auch nur in juvenilen Exemplaren gegen die Stammbasis. 2013 gab es noch größere Thalli, die jedoch an bzw. in einem Wundstreifen am unteren Mittelstamm wuchsen und von dort inzwischen verschwunden sind. Der Baum ist untypisch, nicht nur weil es sich um ein allochthones Gehölz handelt, sondern auch wegen des sehr dichten Flechtenbewuchses. *Quercus frainetto* scheint ein guter Trägerbaum für Flechten zu sein. Insbesondere die auffällige Blattflechte *Parmelina tiliacea* kommt auf diesem Baum sehr reichlich und mit vitalen Lagern vor. Mit *Micarea viridileprosa* konnte an diesem Standort eine weitere Flechte nachgewiesen werden, die 2013 noch nicht registriert worden war. Die Art ist ein Klimawandelzeiger und es liegt daher die Vermutung nahe, dass es sich um eine Neuansiedlung handelt. Der Baum sollte weiterhin beobachtet werden. Allerdings wäre zu überlegen, eine weitere Stiel-Eiche zu bearbeiten, auch wenn in dieser Untersuchungsfläche die Auswahl an Trägerbäumen geeignet für Untersuchungen nach VDI 3957, Blatt 13 nicht einfach ist.

### 4.3 Lüftungindex, LGI

Der LGI unterscheidet sich zwischen den untersuchten Flächen nicht sehr stark (Abb. 5). Auch die leicht korrigierte Neuberechnung (Abb. 6) zeigt kein grundsätzlich anderes Bild. Lediglich für Fläche 2 ergibt die Neuberechnung eine sehr hohe Luftgüte bei geringem Eutrophierungseinfluss für die neu definierte Teilfläche 2a und nur eine mittlere Luftgüte bei sehr geringem Eutrophierungseinfluss für Teilfläche 2b. Ob diese kleinräumig differenzierte Beurteilung stichhaltig ist, müsste durch Hinzuziehen weiterer, geeigneter Trägerbäume geprüft werden. Die hier (notgedrungen) verwendete Anzahl von nur drei Bäumen pro Teilfläche liegt vermutlich an der unteren Grenze von Gültigkeit und Aussagekraft des angewendeten Verfahrens. In Fläche 8.3 zeigt sich beispielhaft das Problem der in sich nicht homogenen Untersuchungsflächen. Die Differenzierung der ursprünglich sechs Bäume nach jeweiligem Biotop- und Nutzungstyp ergibt für die Teilflächen 8.3a und 8.3b eine mittlere Luftqualität (dicht an der Grenze zu hoch), jedoch in a mit hohem und in b mit sehr geringem Eutrophierungseinfluss. Hier scheint sich relativ klar der für den Siedlungsbereich in Teilfläche a zu erwartende düngende Einfluss vor allem durch Hunde (aber auch durch Verkehr und Landwirtschaft) zu zeigen. Die drei (älteren) Bäume in Teilfläche b sind dagegen eher durch umliegendes artenarmes Intensivgrünland beeinflusst und düngende Emissionen dürften eher durch Windverfrachtung eingebracht werden.

#### 4.4 Zeigerwert Nährstoffzahl

Der Vergleich der Zeigerwerte für die Nährstoffzahl zwischen 2013 und 2020 scheint ein probates Mittel zu sein, um langfristig den – nach wie vor markanten – Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen zu dokumentieren und die zukünftige Entwicklung weiterhin wissenschaftlich zu verfolgen. Die eher formalen Gründen geschuldete Einordnung von *Candelaria pacifica* als Eutrophierungszeiger sollte durch autökologische Untersuchungen überprüft werden. Das erstmalige Feststellen von nährstoffliebenden Arten wie *Caloplaca obscurella*, *Catillaria nigroclavata*, *Hyperphyscia adglutinata* und *Lecanora hagenii* weist darauf hin, dass die epiphytischen Flechtengemeinschaften fei stehender Bäume im Raum Hamburg/Norderstedt unverändert eutrophierenden Einflüssen unterliegen.

#### 4.5 Klimawandelindex, KWI

Die errechnete recht deutliche Erhöhung des KWI von 2013 bis 2020 sollte vorsichtig interpretiert werden. Zum einen sind deutlich längere Zeitreihen wünschenswert. Zum anderen konnte nur das qualitative Verfahren angewendet werden, da in der Voruntersuchung von 2013 keine echten Frequenzwerte ermittelt worden waren. Trotzdem liegt der Schluss zumindest nahe, dass sich die beobachtete Zunahme des KWI mit Klimawandeleffekten erklären lässt (s. z.B. von Storch et al. 2018). Eigene Beobachtungen im Hamburger Stadtgebiet legen nahe, dass sich typische Klimawandelzeiger wie *Flavoparmelia caperata* (neuerdings auch *F. soledians*), *Parmotrema perlatum*, *Punctelia jeckeri* und *P. subrudecta* (sowie neuerdings auch *P. borrieri*), *Melanohalea elegans*, *M. laciniatula* (derzeit noch nicht in Norderstedt bekannt) und die beiden *Hypotrachyna*-Arten *H. afrorevoluta* und *H. revoluta* in den letzten 20 Jahren deutlich ausgebreitet haben, bzw. aktuell in Ausbreitung befinden. Inwieweit neben dem Klimawandel auch das wärmere Stadtklima dabei eine Rolle spielt, bedarf detaillierterer Untersuchungen. Für Norderstedt kann man jedoch einen geringeren stadtklimatischen Effekt annehmen als für Hamburg und somit einen entsprechend stärkeren Einfluss des Klimawandels, der auf regionaler Ebene im nördlichen Hamburg und Norderstedt wohl vergleichbar sein dürfte.

Der Rückgang des KWI in Fläche 8.3 liegt darin begründet, dass 2013 noch drei Klimawandelzeiger je einmal registriert worden waren, jedoch in 2020 nur *Flavoparmelia caperata* und *Punctelia subrudecta* an je einem Baum erneut festgestellt werden konnten, erstere allerdings mit zahlreichen großen Individuen (s. Titelfoto). Auf breiterer Datenbasis und idealerweise mittels quantitativem Verfahren könnten in Zukunft belastbarere Aussagen getroffen werden. Die Effekte des Klimawandels auf die epiphytische Flechtenvegetation in Norderstedt dürften auch die Diversitätswerte zur Ermittlung des LGI beeinflussen. Alle Klimawandelzeigerarten gehören in die Gruppe der Referenzarten. Eine Zunahme der Frequenzen in dieser Flechtengruppe gegenüber den Eutrophierungszeigern dürfte zu einem besseren Luftgüteindex führen – ohne dass die Belastungssituation durch düngende Emissionen sich gebessert hätte. Vielmehr laufen zwei Entwicklungen gegeneinander: Die milden und feuchten Winter fördern allgemein viele epiphytische Flechten, während die anhaltende Luftbelastung aus Verkehr und Intensivlandwirtschaft weiterhin die weniger nährstoffliebenden Flechtenarten zurückdrängt.

## Literatur & Quellen

Kirschbaum, U. & Wirth, V. (2010) Flechten erkennen - Umwelt bewerten. – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden. 3. Aufl.

Landschaftsplan Norderstedt 2020. Biotoptypen und Nutzung. Plan 1.1.1 (Homepage der Stadt Norderstedt)

Schultz, M. (2013) Erfassung epiphytischer Flechten zum Umweltmonitoring auf zehn Beobachtungsflächen in Norderstedt. (Untersuchungsbericht im Auftrag der Stadt Norderstedt)

VDI 3957, Blatt 13 (2005) Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen mit Flechten (Bioindikation) – Kartierung der Diversität epiphytischer Flechten als Indikator für Luftgüte. Beuth-Verlag, Berlin.

VDI 3957, Blatt 20, Entwurf (2015) Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen mit Flechten (Bioindikation) – Kartierung von Flechten zur Ermittlung der Wirkung von lokalen Klimaveränderungen. Beuth-Verlag, Berlin.

Villwock, I. (1984) Veränderungen in Vorkommen und Verbreitung rindenbewohnender Flechten nach der Stadtgründung von Norderstedt (1970). – Abh. Verh. Naturwiss. Vereins Hamburg 27: 197-205.

von Storch, H., Meinke, I. & Claußen, M. (2018) Hamburger Klimabericht. Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. – Springer Spektrum, Heidelberg, Berlin.

Wirth, V. (2010) Ökologische Zeigerwerte von Flechten - erweiterte und aktualisierte Fassung. – Herzogia 23: 229-248.

Wirth, V., Hauck, M. & Schultz, M. (2013) Die Flechten Deutschlands. 2 Bände. – Ulmer, Stuttgart.

Hamburg, 14.01.2021

Dr. Matthias Schultz  
Holitzberg 70  
22417 Hamburg University  
Tel.: 040/53789170  
mobil: 0152 57425059  
matthias.schultz@uni-hamburg.de





Flechtenart	Fl.6 Ohe-/Segeberger Chaussee												Fl.8.3 Glasmoorstr./Hofweg																														
	1			2			3			4			5			6			1			2			3			4			5			6									
	S	W	N	O	S	W	N	O	S	W	N	O	S	W	N	O	S	W	N	O	S	W	N	O	S	W	N	O	S	W	N	O	S	W	N	O	S	W	N	O	S	W	N
<i>Amandinea punctata</i>	2	2			2	3			2		5				2		5		3	4	2		1		3	1	5	3	1	4	1		2	1		3	1						
<i>Anisomeridium polypori</i>																																											
<i>Arthonia spadicea</i>																																											
<i>Arthopyrenia punctiformis</i>																																											
<i>Bacidina adastrata</i>																																											
<i>Bacidina sulphurella</i>																																											
<i>Buellia griseovirens</i>																																											
<i>Caloplaca obscurella</i>																																											
<i>Candelaria concolor</i>																																											
<i>Candelaria pacifica</i>																																											
<i>Candelariella reflexa</i>																																											
<i>Candelariella xanthostigma</i>																																											
<i>Catillaria nigroclavata</i>																																											
<i>Cladonia coniocraea</i>																																											
<i>Cladonia fimbriata</i>																																											
<i>Coenogonium pineti</i>	1																																										
<i>Diploicia canescens</i>																																											
<i>Evermia prunastri</i>																																											
<i>Flavoparmelia caperata</i>																																											
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>																																											
<i>Hypocenomyce scalaris</i>																																											
<i>Hypogymnia physodes</i>																																											
<i>Hypotrachyna afrorevoluta</i>																																											
<i>Lecania cyrtella</i>																																											
<i>Lecania naegelii</i>																																											
<i>Lecanora carpinea</i>																																											
<i>Lecanora chlarotera</i>																																											
<i>Lecanora compallens</i>																																											
<i>Lecanora conizaeoides</i>	1																																										
<i>Lecanora dispersa</i>																																											
<i>Lecanora expallens</i>																																											
<i>Lecanora hagenii</i>																																											
<i>Lecanora persimilis</i>																																											
<i>Lecidella elaeochroma</i>																																											
<i>Lepraria finkii</i>																																											
<i>Lepraria incana</i>	5	5	2	5	5	5	5	3	4	1	5	3	5	2	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5																			
<i>Melanelixia glabrata</i>																																											
<i>Melanelixia subaurifera</i>																																											
<i>Melanohalea elegantula</i>																																											
<i>Melanohalea exasperatula</i>																																											
<i>Micarea viridileprosa</i>																																											
<i>Opegrapha rufescens</i>																																											
<i>Parmelia sulcata</i>																																											
<i>Parmelina tiliacea</i>																																											
<i>Phaeophyscia nigricans</i>																																											
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>																																											
<i>Phylctis argena</i>																																											
<i>Physcia adscendens</i>																																											
<i>Physcia caesia</i>																																											
<i>Physcia dubia</i>																																											
<i>Physcia tenella</i>																																											
<i>Physconia grisea</i>																																											
<i>Pseudevermia furfuracea</i>																																											
<i>Pseudosagedia aenea</i>																																											
<i>Punctelia jeckeri</i>																																											
<i>Punctelia subrudecta</i>																																											
<i>Ramalina farinacea</i>																																											
<i>Strangospora pinicola</i>																																											
<i>Xanthoria candelaria</i>																																											
<i>Xanthoria parietina</i>																																											
<i>Xanthoria polycarpa</i>																																											
<i>Xanthoria ucrainica</i>																																											

Tab: 6 (Forts., Untersuchungsflächen 6 und 8.3).