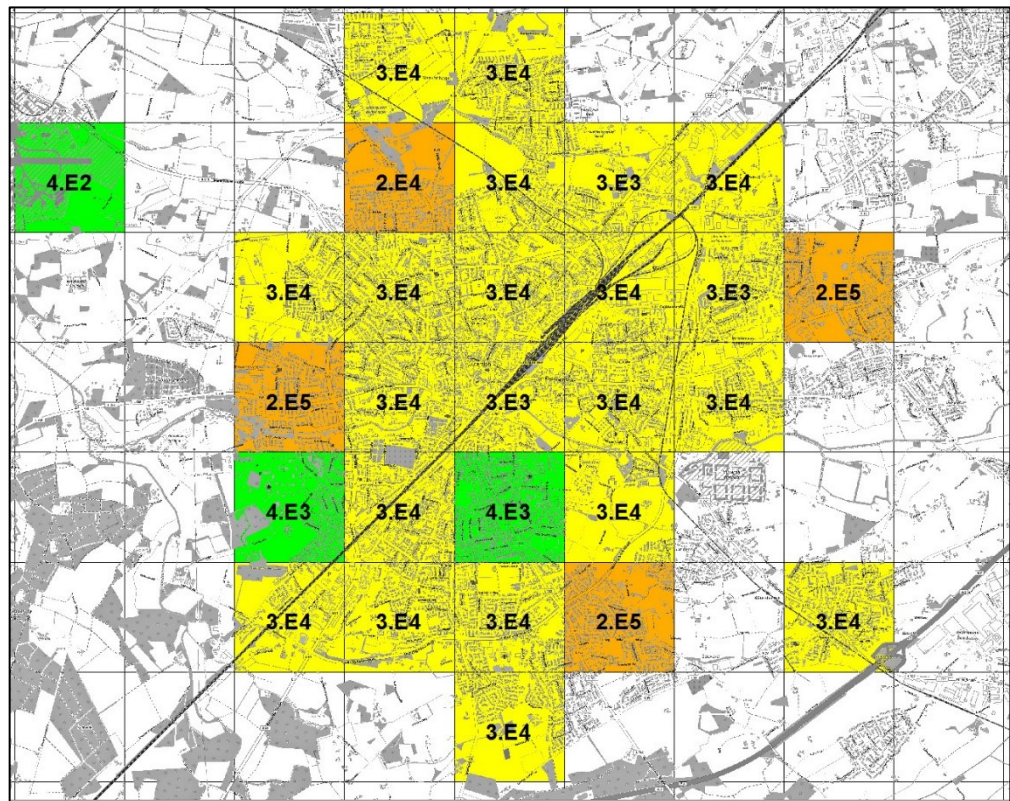


# Luftbelastung in Gütersloh 2004 und 2016

ermittelt mit epiphytischen  
Flechten und Moosen  
als Bioindikatoren



Dr. Norbert Stapper, Monheim/Rhein

Titel des Berichtes:	Luftbelastung in Gütersloh 2004 und 2016 ermittelt mit epiphytischen Flechten und Moosen als Bio- indikatoren
Werkunternehmer:	Dr. Norbert J. Stapper Büro für Ökologische Studien Verresbergerstraße 55 40789 Monheim-am-Rhein www.moose-flechten-umwelt.de/
Auftraggeber:	Stadtverwaltung Gütersloh Dr. Jürgen Albrecht Leiter des Fachbereichs Umweltschutz Hausadresse: Siegfriedstr. 30 33326 Gütersloh
Auftragsvergabe Geländearbeiten	September 2017 Oktober und November 2017
Bearbeiter und Berichterstatter	Dr. Norbert J. Stapper Büro für Ökologische Studien Verresbergerstraße 55 40789 Monheim-am-Rhein

Der vorliegende Bericht umfasst 74 Seiten mit 26 teils ganzseitigen Abbildungen und zwölf Tabellen. Die ACCESS-Datenbank mit den Daten von 2004 und 2016 wird zusammen mit den Shape-Dateien der Karten elektronisch übermittelt.

Dieser Bericht wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die anhand von Links verknüpften Inhalte ist der Autor nicht verantwortlich. Sie wurden zum Zeitpunkt der Linklegung aber als sinnvoll und unterstützend bewertet. Vor der Veröffentlichung des Berichtes durch den Auftraggeber sind eventuell Rechte Dritter zu berücksichtigen. Die Verwertungsrechte für die in den Text eingebundenen Fotografien gehen an den Auftraggeber über. Als Kartenhintergrund wurde eine in Graustufen gesetzte Version der Open-Street-Map verwendet (OpenStreetMap Mitwirkende; CC BY-SA). Als Kartenhintergrund für die verkehrsbezogene Luftgütekarte wurde die Deutsche Grundkarte DGK5 verwendet, die von der Kreisverwaltung Gütersloh in digitaler Form für diesen Zweck bereitgestellt wurde.

Titelbild: Ausschnitt aus der Luftgütekarte von Gütersloh 2016.

Bericht fertig gestellt am 1. Juni 2017.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Methodik</b> .....	<b>7</b>
2.1.	<i>Auswahl der Trägerbäume und Erfassung der Moos- und Flechtenarten</i> .....	7
2.2.	<i>Datenverarbeitung, Kartografie und Statistik</i> .....	8
2.3.	<i>Bestimmung der Luftgüte gemäß VDI 3957 Blatt 13</i> .....	11
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>13</b>
3.1.	<i>Veränderung des Spektrums epiphytischer Moose und Flechten seit 1988</i> .....	13
3.2.	<i>Räumliche Variabilität der Diversität epiphytischer Moose und Flechten</i> .....	21
3.3.	<i>Wirkung von städtischer Überwärmung, Lufteutrophierung und Verkehrsimmissionen</i> .....	34
3.4.	<i>Luftgüte 2004 und 2016 gemäß VDI 3957 Blatt 13</i> .....	52
3.5.	<i>Bioindikation von Klimawirkungen gemäß VDI 3957 Blatt 20</i> .....	59
<b>4.</b>	<b>Zusammenfassende Interpretation der Ergebnisse</b> .....	<b>62</b>
<b>5.</b>	<b>Handlungsempfehlungen</b> .....	<b>66</b>
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>69</b>
<b>7.</b>	<b>Zitierte Literatur</b> .....	<b>70</b>
<b>8.</b>	<b>Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen</b> .....	<b>74</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Zwei häufige Moos- und Flechtenarten: <i>Tortula papillosa</i> und <i>Candelaria concolor</i> ..	6
Abbildung 2-1:	Bezeichnung der Rasterquadrate im GK- und UTM-Koordinatensystem. ....	9
Abbildung 2-2:	Bewertung der Luftgüte anhand der Kombination der Diversitätswerte der Eutrophierungszeiger und der Referenzarten. ....	12
Abbildung 3-1:	Zeitliche Veränderung des Artenspektrums epiphytischer Flechten und Moose bzw. der relativen Häufigkeit ausgewählter Flechtenarten an Bäumen in Gütersloh 1988 bis 2016.....	19
Abbildung 3-2:	Veränderung der Häufigkeitsverteilung der Kontinentalitätszahlen der Flechten 1988 bis 2016. ....	20
Abbildung 3-3:	Mittlere Anzahl der Moos- und Flechtenartenzahl pro Baum in Rasterquadraten mit mindestens sechs Bäumen 2004 und 2016. ....	27
Abbildung 3-4:	Räumliche Variabilität der mittleren Anzahl der Moose pro Baum. ....	28
Abbildung 3-5:	Räumliche Variabilität der mittleren Anzahl der Flechten pro Baum. ....	29
Abbildung 3-6:	Räumliche Variabilität der mittleren Anzahl der Moose und Flechten pro Baum.....	30
Abbildung 3-7:	Räumliche Variabilität der mittleren Frequenz der Moose.....	31
Abbildung 3-8:	Räumliche Variabilität der mittleren Frequenz der Flechten.....	32
Abbildung 3-9:	Räumliche Variabilität der mittleren Frequenz der Moose und Flechten.....	33

Abbildung 3-10: Zusammenhang zwischen der Anzahl epiphytischer Flechtenarten bzw. Klimawandelzeiger pro Baum und der relativen Nachttemperatur an den Baumstandorten in Gütersloh und Düsseldorf. ....	43
Abbildung 3-11: Zusammenhang zwischen der subjektiv bestimmten Verkehrsbelastung und der Häufigkeit von Eutrophierungszeigern und der relativen Häufigkeit von <i>Phaeophyscia</i> -Arten.....	44
Abbildung 3-12: Veränderung der mittleren Begleitartenzahl der Flechten seit 2004.....	45
Abbildung 3-13: Relative Nachttemperatur an den Baumstandorten 2004 und 2016.....	46
Abbildung 3-14: Räumliche Variabilität der Artendiversität von Eutrophierungszeigern gemäß VDI 3957 Blatt 13 in Gütersloh 2016. ....	47
Abbildung 3-15: Verkehrsbezogene Luftgütekarte 2004 und 2016: Anteil der <i>Phaeophyscia</i> -Arten an der Flechtenfrequenzsumme.....	48
Abbildung 3-16: Verkehrsbezogene Luftgütekarte von Gütersloh 2016 - Verkehrsbelastungskategorie und prozentualer Anteil der <i>Phaeophyscia</i> -Arten an der Flechtenfrequenzsumme. ....	49
Abbildung 3-17: Ausschnitt aus der verkehrsbezogenen Luftgütekarte 2016.....	50
Abbildung 3-18: Räumliche Variabilität des Nitrophytenindex nach VAN HERK (1999). ....	51
Abbildung 3-19: Luftgütekarte von Gütersloh 2004 und 2016 gemäß VDI 3957 Blatt 13.....	56
Abbildung 3-20: Mittlere Frequenz der Referenzarten gemäß VDI 3957 Blatt 13.....	57
Abbildung 3-21: Mittlere Frequenz der Eutrophierungszeiger gemäß VDI 3957 Blatt 13.....	58
Abbildung 3-22: Räumliche Variabilität der Häufigkeit von Klimawandelindikatoren nach VDI 3957 Blatt 20 in Gütersloh 2004 und 2016. ....	60
Abbildung 3-23: Veränderung der Anzahl und der Frequenz von Klimawandelindikatoren in Gütersloh 2004 bis 2016. ....	61
Abbildung 4-1: Sprossspitze des Mooses <i>Racomitrium canescens</i> mit verkehrsbedingten Staubablagerungen. ....	64

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Liste der Eutrophierungszeiger gemäß VDI 3957 Blatt 13 (VDI 2005). ....	12
Tabelle 2-2: Verbale Bewertung des Luftgüteindex nach VDI 3957 Blatt 13 (VDI (2005).....	12
Tabelle 3-1: Liste der Flechten- und Moosarten mit Angabe der relativen Häufigkeit auf Standardbäumen 1988 bis 2016. ....	15
Tabelle 3-2: Mittlere Anzahl der Moos- bzw. Flechtenarten pro Baum und Kennzahlen zur Kartendarstellung. ....	24
Tabelle 3-3: Mittlere Frequenz der Moos- bzw. Flechtenarten pro Baum und Kennzahlen zur Kartendarstellung. ....	25
Tabelle 3-4: Kennzahlen zur Moos- und Flechtenartendiversität 2016. ....	26
Tabelle 3-5: Einfluss der Nachttemperatur, der subjektiv bestimmten Verkehrsbelastung und der Bebauungsdichte auf die Diversität epiphytischer Moos- und Flechtenartengruppen. ....	39
Tabelle 3-6: Einfluss der Temperatur, der subjektiv bestimmten Verkehrsbelastung und der Bebauungsdichte auf die Frequenz ausgewählter epiphytischer Moose und Flechten.....	40
Tabelle 3-7: Begleitartenzahl der Flechtenarten 2016, ihre Indikatoreigenschaften und die mittlere relative Nachttemperatur an den Baumstandorten mit Vorkommen der jeweiligen Art. ....	41
Tabelle 3-8: Zusammenhang zwischen der Überwärmung der Baumstandorte und der Häufigkeit von Flechten und ihren Begleitarten. ....	42
Tabelle 3-9: Bioindikation von Luftgüte und Eutrophierungseinfluss 2004 und 2016. ....	54
Tabelle 3-10: Eutrophierungseinfluss: Vergleich der Daten von Gütersloh und Düsseldorf. ....	55

## 1. Einleitung

Gegenstand des vorliegenden Berichtes ist eine standardisierte Kartierung von epiphytischen Moosen und Flechten im Stadtgebiet von Gütersloh im Herbst 2016. Ziel ist die Erfassung der räumlichen Variabilität von Umweltwirkungen auf diese empfindlichen Organismen und ein Vergleich mit den Ergebnissen einer entsprechenden Erhebung von 2004 (STAPPER 2004).

Moose und Flechten (Abbildung 1-1) reagieren empfindlich, schnell und artspezifisch abgestuft auf chemische oder physikalische Veränderungen ihrer Umwelt. Als wechselfeuchte Organismen nehmen sie Wasser und die darin gelösten Nähr- und Schadstoffe direkt aus der Atmosphäre auf, häufen diese an und sterben bei zu hoher Belastung ab. Epiphytische Flechten werden schon sehr lange als biologische Indikatoren für Luftschadstoffe verwendet (NYLANDER 1866; HAWKSWORTH & ROSE 1970). Eine standardisierte Kartierung epiphytischer Flechten ermöglicht hoch aufgelöste zeitliche und räumliche Vergleiche der Flechtenvegetation und damit – im Umkehrschluss – der Lebensbedingungen für diese Organismen im Untersuchungsgebiet (VDI 1995, 2005), wobei zwischen **sauren und eutrophierenden Luftschadstoffen** (VAN HERK 1999; VDI 2005) sowie **verkehrsbedingten Immissionen** differenziert werden kann (FRANZEN et al. 2002; VORBECK & WINDISCH 2002). Auch wenn es sich um völlig verschiedene Organismen handelt, gilt alles Bisherige auch für epiphytische Moose (VDI 2006; FRAHM et al. 2007). Welche Arten der jeweiligen Organismengruppen langfristig an einem Standort überleben können, wird, abgesehen von Luftschadstoffen, durch das Licht- und Feuchteangebot, den Wechsel von Trocken- und Feuchtperioden und die Temperatur bei aktivem Stoffwechsel mitbestimmt. Aus diesem Grund eignen sich sowohl Flechten als auch Moose als **Indikatoren für Klimaveränderungen** und die Einflüsse des **Stadtklimas** (STAPPER & KRICKE 2004a, b; STAPPER 2012a; STAPPER & JOHN 2013). Dessen charakteristischstes Merkmal ist die innerstädtische Überwärmung mit Ausbildung einer zentralen Wärmeinsel und geringerer relativer Luftfeuchte und verminderter Taubildung im Vergleich zum kühleren Umland (KUTTLER 1998). Diese für die Flechten negativen Wirkungen des Stadtklimas sind lokal wahrscheinlich immer kombiniert mit den ebenfalls negativen Wirkungen gas- und partikelförmiger Emissionen aus Verkehr, Produktionsprozessen und Hausbrand. Tatsächlich sind die Erfahrungen hinsichtlich Bioindikation mit Flechten umfangreicher als mit Moosen, vielleicht weil deren Artendiversität im urbanen Raum meist weit hinter der der Flechten zurückbleibt und beispielsweise für weniger Moose als Flechten ein Einfluss des Klimawandels auf ihr Areal in Europa dokumentiert ist (FRAHM & KLAUS 1997). Reaktionen der Flechten auf den globalen Klimawandel werden seit etwa 1990 und insbesondere in den gemäßigten Regionen beobachtet (APTROOT et al. 2016). In den Niederlanden (VAN HERK et al. 2002) erholten sich die Rindenflechten rasch mit sinkenden Schwefeldioxidimmissionen, wobei die Auswirkungen hoher Ammoniakbelastungen anhand der Förderung nitrophytischer Arten immer deutlicher erkennbar wurden. Ab 1995 jedoch waren die Veränderungen nicht mehr allein durch die Variable Luftschadstoff erklärbar, weil an warme Standorte adaptierte, ozeanische Flechten rasch häufiger wurden und boreale Arten seltener.

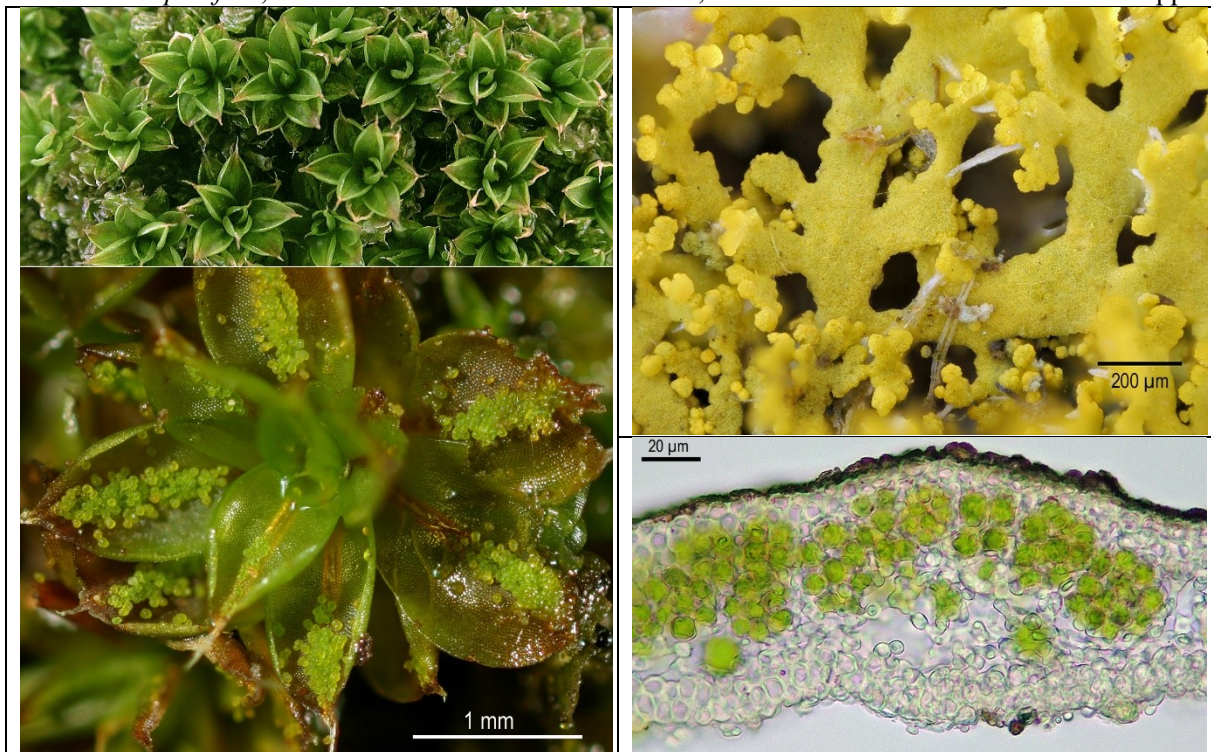
Eine immissionsbezogene Epiphytenkartierung zielt nicht auf die vollständige Erfassung des Artenspektrums im Untersuchungsgebiet. Vielmehr wird hier nach strenger Selektion der Trägerbäume eine möglichst genau definierte und für das Gebiet repräsentative **Substratstichprobe** untersucht, die vorübergehend oder dauerhaft von verschiedensten Moosen und Flechten besiedelt werden kann. So werden räumliche und zeitliche Unterschiede der Artendiversität oder, statistisch betrachtet, **Abweichungen der Biodiversität von der eigentlich standorttypischen Norm** darstellbar - und damit, im Umkehrschluss, die Variabilität der Summe aller Umweltwirkungen. Zu Zeiten des Sauren Regens bedurfte es nur der Registrierung der Häufigkeit aller vorkommenden Arten, um die Wirkung des starken Luftschadstoffs Schwefeldioxid

zu dokumentieren. Seit dessen Immissionswerte aber stark gesunken sind, werden die Wirkungen eutrophierender Substanzen sichtbar, die sich artenspezifisch unterschiedlich auswirken. Und so wurden in den vergangenen Jahren **Methoden** entwickelt, die mit Hilfe von Flechten und/oder Moosen Wirkungen unterschiedlicher Immissionen und Wirkungen des Klimawandels und des Stadtklimas abgrenzen lassen, von denen drei in der vorliegenden Arbeit eingesetzt wurden: Die VDI-Richtlinien 3957 Blatt 13 und Blatt 20 sowie der Nitrophytenindex des Niederländers VAN HERK (1999). Zur Darstellung der räumlichen Variabilität der Moos- und Flechtenarten wurde eine Berechnungsmethode aus VDI 3799 Blatt 1 angewendet. Obwohl für Moose eine separate Kartierungsrichtlinie vorliegt, wurden beide Organismengruppen gemeinsam erfasst (FRANZEN et al. 2002; STAPPER 2004; STAPPER & KRICKE 2004a, b).

Die Darstellung der **Ergebnisse** ist in verschiedene Abschnitte unterteilt: Zunächst wird das Spektrum der Arten und seine Veränderung seit 2004 vorgestellt. Danach wird die räumliche Variabilität der Artvorkommen dargestellt und untersucht, welchen Einfluss die städtische Überwärmung und die subjektiv bestimmte Verkehrsbelastung darauf ausüben. Hier werden auch Abweichungen vom "sonst üblichen Verhalten" der Arten erkennbar. In den beiden letzten Abschnitten rückt mit der aktuellen Luftgütekarte das Thema Lufteutrophierung in den Vordergrund, und zum Schluss werden statistisch signifikante Wirkungen des Klimawandels auf die epiphytischen Flechten in Gütersloh dokumentiert.

**Abbildung 1-1: Zwei häufige Moos- und Flechtenarten: *Tortula papillosa* und *Candelaria concolor*.**

Linke Spalte: *Tortula papillosa*, eine der beiden Moosarten, die in Gütersloh seit 2004 häufiger geworden sind. Die kleinen "Kugeln" auf der Oberseite der Blättchen sind vegetative Verbreitungseinheiten ("Brutkörper"). Rechte Spalte: *Candelaria concolor*, eine kleine Blattflechte, die in Nordrhein-Westfalen um 2001 noch sehr selten war und dort inzwischen zu den häufigsten Flechten überhaupt zählt. Entlang der Rheinschiene sehen die Stämme mancher Alleebäume aufgrund von *C. concolor*-Überzügen buchstäblich gelb angestrichen aus! Das untere Bild zeigt einen Querschnitt durch *C. concolor*, auf dem man die in den Thallus eingebetteten Grünalgen und die kräftige Ober- und Unterrinde erkennt. Die verwandte *C. pacifica*, die ebenfalls in Gütersloh vorkommt, ist unterseits unberindet. Fotos: NJ Stapper.



## 2. Methodik

### 2.1. Auswahl der Trägerbäume und Erfassung der Moos- und Flechtenarten

Die Auswahl der Trägerbäume folgt den in VDI 3799 Blatt 1 (VDI 1995), VDI 3957 Blatt 13 (VDI 2005) und VDI 3957 Blatt 20 (VDI 2017) angegebenen **Regeln**: Es wurden nur Bäume mit unverletzten, senkrecht stehenden Stämmen ( $\pm 5$  Grad) von mindestens 70 cm Umfang in 1 m Höhe über dem Boden ausgewählt (die Baumdatentabellen 2004 und 2016 befinden sich in der Datenbank und der mitgelieferten Excel-Mappe). Die untersuchten Stammareale sollen wenigstens einmal am Tag Sonnenlicht erhalten und frei vom Wind angeströmt werden können. Als Mindestabstand zu benachbarten Bäumen und Bauten wurde rund ein Kronendurchmesser eingehalten. Waldbäume sind somit von der Untersuchung ebenso ausgeschlossen wie solche auf Schulhöfen oder in Grünanlagen, die z. B. beim Fußballspielen als Torpfosten verwendet werden oder deren Epiphytenbewuchs auf andere Weise mechanisch wahrscheinlich beeinträchtigt wird. Auch Bäume mit Verbrennungsmalen durch Silvesterfeuerwerk wurden ausgeschlossen. Für die Suche nach geeigneten Trägerbäumen wurde zunächst das Baumkataster der Stadt Gütersloh herangezogen. Die Auswahl erfolgte nach Repräsentanz des Standortes für das untersuchte Rasterquadrat, und ein schon aus der Ferne als geeignet erscheinender Baum wurde nur dann ausgeschlossen, wenn er nicht den o.g. Vorgaben der Richtlinien entsprach und der nächst benachbarte, geeignete Baum untersucht. Auf diese Weise nähert man sich einer **Zufallsauswahl** für ein möglichst objektives und reproduzierbares Ergebnis. Das "überraschende Auftreten besonders interessanter Arten" darf bei der Baumauswahl keine Rolle spielen!

In 44 UTM-Rasterquadraten wurden insgesamt 293 Bäume ausgewählt, überwiegend Linden (219) und Eichen (62) sowie eine Schwarzerle, somit abgesehen von elf Ahornbäumen vorwiegend Bäume der **Baumartengruppe II** (VDI 2005). In der vorangegangenen Kartierung (STAPPER 2004) wurden 255 Bäume untersucht, unter denen sich mit 115 Ahornen und drei Eschen ein höherer Anteil von Bäumen der Baumartengruppe I befand. Grund dafür war die damals angestrebte optimale Vergleichbarkeit mit den Daten vorausgegangener Untersuchungen in Düsseldorf (STAPPER & KRICKE 2004a) und Nordrhein-Westfalen (FRANZEN et al. 2002). Wie aber schon 2004 im Bericht zur Voruntersuchung ausgeführt (STAPPER 2004), sind die tatsächlich zu erwartenden Unterschiede hinsichtlich der Epiphytenvorkommen und ihrer Frequenzwerte zwischen den hier erwähnten Baumarten, die u. a. mit dem artspezifischen Borken-pH-Wert begründet werden, in der Praxis sehr gering, sofern sie überhaupt nachweisbar sind. In aktuell oder historisch belasteten Regionen wird der pH-Wert der Borke ganz wesentlich von der Art der Belastung durch Gase (u.a. Ammoniak) oder Stäube (u.a. kalkhaltige Stäube) bestimmt und erwies sich aufgrund teils sehr großer statistischer Streuungen über alle untersuchten Baumarten als *praktisch identisch* (KRICKE 2000).

Im Kopf des **Aufnahmebogens** wurden notiert: das Datum, die Rasterquadratnummer, die mittels GPS-Gerät ermittelten Gauß-Krüger- und UTM-Koordinaten, Baumnummer, Baumart, Stammumfang, Neigungswinkel, Borkentextur (rissig/glatt), die vorwiegende Beleuchtungssituation (direktes Sonnenlicht / Beschattung einzelner Expositionen möglich), die Windexposition (exponiert/geschützt), die Distanz zur Fahrbahn (m), der Straßentyp (1 – unbefestigt, 2 – Nebenstraße, 3 – Hauptstraße/Autobahn, 4 – City-typische Straßenschlucht), die subjektive Verkehrsbelastung (1 – gering, 2 – mäßig/deutlich, 3 – stark, auch Lastkraftwagen, auch Innenstadtlage mit schluchtartigem Straßenprofil und Stopp/Go-Verkehr, Kreuzungssituation), die "Landschaft" (1 – Ebene, 2 – Tal, 3 – Hang, 4 – Kuppenlage), die Bebauung (1 – unbebaut, 2 – locker bebaut, dörflich, 3 – dicht, hoch) und die Nutzung (1 – keine, 2 – Grünland, 3 – Ackerland, 4 – Tierhaltung, 5 – Gewerbegebiet, 6 – Industriegebiet).

Die Erhebung der GK-Koordinaten diente der Kontrolle der UTM-Koordinaten für den Fall von Übertragungsfehlern oder zur Korrektur der angezeigten Koordinaten des jeweils anderen Gerätes.

Alle zwischen 50 und 210 cm Höhe an den Baumstämmen vorkommenden **Moos- und Flechtenarten** wurden im Aufnahmebogen notiert und ihre Häufigkeit in vier Klassen geschätzt (H1: Einzelvorkommen; H2: 2-5 separate Lager oder bis zu 2 % DG (bezogen auf die untersuchte Stammfläche) oder maximal einer Handfläche entsprechend; H3: 5-10 große Lager oder 2-25 % DG; H4: > 10 große Lager oder über 25 % DG). Diese Häufigkeitsangaben wurden zur Berechnung des Nitrophytenindex NIW nach VAN HERK (1999) verwendet. Um eine **gleichbleibende Erfassungstiefe** zu erreichen, wurde jeder Baum nach dem Fund der jeweils letzten Art noch für weitere zwei Minuten auf bis dahin nicht registrierte Arten hin abgesucht.

Die **Frequenz** der Flechten und Moose auf den Trägerbäumen wurde mit einem 10 cm breiten und 50 cm hohen **Zählrahmen** mit fünf quadratischen Maschen bestimmt, der in den vier Haupthimmelsrichtungen mit Hilfe eines Expanderbandes so angebracht wurde, dass sich seine Unterkante jeweils 1 m über dem Boden befand. Für jede Art wurde die Anzahl der Maschen im Aufnahmebogen vermerkt, in der diese vorkam. Somit kann jede Art an einem Baum maximal eine Frequenz von 20 erreichen. Arten außerhalb des Gitters erhalten die Frequenz Null.

Die Flechten und Moose wurden anhand morphologischer und chemischer Merkmale identifiziert. Die **Nomenklatur** folgt für die Flechten weitgehend WIRTH et al. (2013), für Lebermoose SÖDERSTRÖM et al. (2016) und für Laubmoose HODGETTS (2015). Im Text werden in wenigen Fällen davon abweichende, jedoch gebräuchliche Artnamen verwendet. Zwischenzeitliche, wiederholte Veränderungen die "alte" Gattung *Xanthoria* betreffend sind zumindest für die Geländearbeit unerheblich und wurden daher nicht übernommen. Als *Candelariella viae-lacteae* sind teils graugrüne körnig-schuppige, sterile Krusten benannt, die höchstwahrscheinlich zu *Candelariella* gehören und dem Material ähneln, das auf Exkursionen in der Schweiz häufig als *C. viae-lacteae* bezeichnet wurde, aufgrund der eingeschnittenen Schüppchen aber auch zu *C. boleana* gehören könnte (WESTBERG & CLERK 2012). *Candelaria concolor* und *C. pacifica* werden hier erstmals separat erfasst. Beide Arten kommen seit einigen Jahren in Nordrhein-Westfalen vor (STAPPER 2012b), wobei *C. pacifica* erheblich seltener ist. In trockenen Flechtenrasen kann die etwas kräftiger gelb gefärbte *C. pacifica* von *C. concolor* differenziert werden, und die rindenlose Unterseite ersterer lässt dann eine sichere Ansprache zu. Die ohnehin seltenen Vorkommen von *Usnea*-Bartflechten wurden 2004 nur auf Gattungsniveau angesprochen. 2016 wurde kein *Usnea*-Vorkommen registriert. Unter der gebräuchlichen Bezeichnung *Lecanora hagenii* werden die zwei sehr ähnlichen Arten *L. hagenii* und *L. persimilis* zusammengefasst, die kürzlich in die neue Gattung *Myriolecis* gestellt wurden (ZHAO et al. 2015). Unter den Moosen wurden Vorkommen von *Bryum capillare* mit Brutfäden als *Bryum subelegans* angesprochen. *Hypnum cupressiforme* versteht sich als *H. cupressiforme* "im weitesten Sinne".

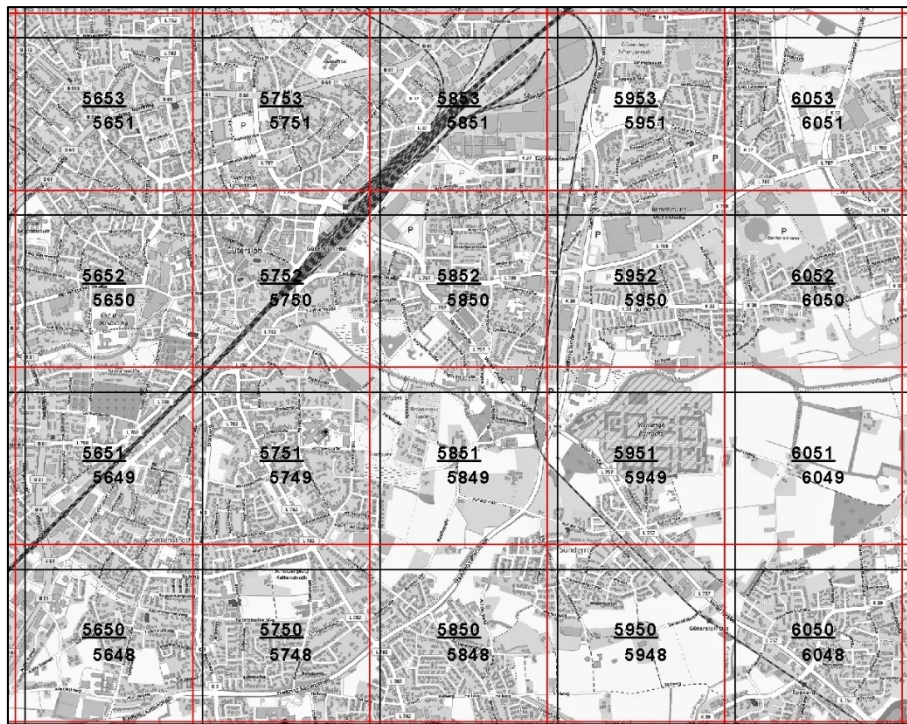
## 2.2. Datenverarbeitung, Kartografie und Statistik

Alle im Gelände erhobenen Daten wurden in eine Microsoft-ACCESS Datenbank übertragen (diese wird elektronisch übermittelt). Für statistische Analysen wurden das Programmpaket STATISTICA 12 (STATSOFT 2014) und PAST 3.14 (HAMMER 2016) verwendet. Für nicht normalverteilte Daten wurden nichtparametrische Tests zur Untersuchung auf signifikante Unterschiede oder Korrelation verwendet. Als digitale Grundlage zur Darstellung der Daten in Karten wurde eine in Graustufen gesetzte bzw. geditherte Version der OpenStreetMap angefertigt (OpenStreetMap Mitwirkende; CC BY-SA). Vom Besteller als PDF bereitgestellte Karten wurden georeferenziert und mit verschiedenen Programmen dargestellt (Q-GIS-Desktop 2.16 (QGIS Development Team, 2016), Arcview 3 (ESRI) oder DIVA-Gis 7.5 (HIJMANS et al. 2016)). Alle



Punkt-Daten der Kartierung von 2004, die im Gauß-Krüger-Koordinatensystem vorliegen, wurden durch Addition konstanter Werte in UTM-Koordinaten überführt (Abbildung 2-1). Die Exaktheit dieses simplen Verfahrens unterschreitet die Ungenauigkeit der Messwerte der verwendeten GPS-Handgeräte.

**Abbildung 2-1: Bezeichnung der Rasterquadrate im GK- und UTM-Koordinatensystem.** Quadratkilometer-Felder. Rote Linien und unterstrichene Zahlen: Gauß-Krüger-Koordinatensystem; schwarze Linien und nicht unterstrichene Zahlen: UTM-System. Die Benennung setzt sich zusammen aus den Tausendern der jeweiligen Koordinaten für Rechts und Hoch RRHH.



In **Rasterkarten** wurden den darzustellenden Variablen unterschiedliche Farben zugewiesen. Die dabei zugrunde gelegten **Klassenbreiten** orientieren sich an der Streuung der Daten im Projekt. Sie wurden berechnet nach dem in VDI 3799 Blatt 1 vorgelegten Verfahren zur Berechnung der projektspezifischen Breite der Luftgüteklassen (siehe Textkasten auf der folgenden Seite). Nicht benachbarte Klassen unterscheiden sich statistisch signifikant auf dem Niveau 0,05. Dieses Berechnungsverfahren wurde angewendet für normalverteilte Daten.

Da in diesem Bericht oft die Ergebnisse der Kartierungen von 2004 und 2016 verglichen werden, gelten für Rasterkarten und die Berechnung der Klassenbreiten durchgehend folgende Kennzahlen:

	2004	2016
Anzahl der Bäume insgesamt	255	293
Anzahl der Bäume in Rasterquadraten mit mindestens sechs Bäumen	185	266
$m$ Anzahl der Rasterquadrate mit mindestens sechs Bäumen	20	32
$n_p$ mittlere Anzahl kartierter Bäume pro Messfläche im gesamten Projekt	9,25	8,31
$m(n_p - 1)$	165	234
$t_p$ kritischer Freiheitsgrad für $n_p - 1$ Freiheitsgrade	2,306	2,365
$t_p / n_p^{0,5}$	0,803	0,820

Der **Luftgütewert** LGW eines Rasterquadrates entspricht der mittleren Frequenzsumme aller Flechten an den kartierten Bäumen:

$$LGW_j = \frac{\sum F_{ij}}{n_j}$$

i = Nummer des einzelnen Baumes im Quadrat

j = Nummer des Quadrates

F<sub>ij</sub> = Frequenzsumme der Flechten am Baum i im Quadrat j

n<sub>j</sub> = Anzahl kartierter Bäume im Quadrat j.

Als Maß für die Güte der LGW werden die **obere und untere Vertrauensgrenze** herangezogen, die von der Fehlerstreuung der Ergebnisse abhängen und das Konfidenzintervall angeben, innerhalb dessen der "wahre" LGW mit einer Wahrscheinlichkeit von 0.95 zu finden ist:

$$s_j = \sqrt{\frac{\sum (F_{ij} - LGW_j)^2}{n_j - 1}}$$

$$VG_{Uf}, VGO_f = LGW_j \pm t_j * \frac{s_j}{\sqrt{n_j}}$$

s<sub>j</sub> = Standardabweichung des Quadrates j

VG<sub>Uf</sub>, VGO<sub>f</sub> = untere und obere Vertrauensgrenze des LGW<sub>j</sub>

t<sub>j</sub> = kritischer Wert der *Student*verteilung für n<sub>j</sub>-1 Freiheitsgrade

**Die Breite der Luftgüteklassen** wird über die mittlere Standardabweichung aller Messflächen (=Rasterquadrate) des Projektes ermittelt und entspricht deren halbem Konfidenzintervall. Sie ist also **projektgebunden** und u.a. durch den Grad der Standardisierung der Trägerbäume und die Sorgfalt bei der Erhebung beeinflusst:

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum_j \sum_i (F_{ij} - LGW_j)^2}{m(n_p - 1)}}$$

$$\text{Klassenbreite der Luftgüteklassen} = t_p * \frac{s_p}{\sqrt{n_p}}$$

Darin bedeuten:

s<sub>p</sub> mittlere Standardabweichung der Messflächen (=Rasterquadrate) im gesamten Projekt

n<sub>p</sub> mittlere Anzahl kartierter Bäume pro Messfläche im gesamten Projekt

m Anzahl der kartierten Messflächen im gesamten Projekt

t<sub>p</sub> kritischer Freiheitsgrad für n<sub>p</sub> - 1 Freiheitsgrade laut Tabelle.

Für die Einstufung der LGW der einzelnen Messflächen (=Rasterquadrate) j in die Luftgüteklassen gilt die Konvention

Untere Klassengrenze		obere Klassengrenze
0	<LGW <sub>j</sub> ≤	1 x Klassenbreite
1 x Klassenbreite	<LGW <sub>j</sub> ≤	2 x Klassenbreite
	usw.	

Die Nummerierung der Luftgüteklassen beginnt mit der schlechtesten Klasse. Zur Bewertung der Klassenbreite wird die in Mitteleuropa allgemein gültige **Belastungsskala** herangezogen, deren Schwellenwerte definiert sind mit 0, 12.5, 25, 37.5 und 50 für die Luftgütebereiche "*sehr hoch*", "*hoch*", "*mäßig*" und "*gering*".

### 2.3. Bestimmung der Luftgüte gemäß VDI 3957 Blatt 13

Bis Ende der 1990er Jahre waren Flechten an Baumstämmen in vielen mitteleuropäischen Großstädten noch vergleichbar selten. Mit Greifen der Gesetzgebung zur Absenkung von sauren Abgasen aus z. B. Kraftwerken wurden anthropogen geförderte azidophytische Flechtenarten immer seltener, während eutrophierungstolerante Arten rasch häufiger wurden. Letztere tolerieren oder profitieren sogar von düngenden Immissionen, weshalb in immissionsbezogenen Flechtenkartierungen bei Vorhandensein eutrophierender Immissionen – also praktisch überall in Deutschland - azidophytische, neutrophytische und eutrophierungstolerante Arten differenziert bewertet werden müssen. Die derzeit geltende Flechten-Kartierungsrichtlinie zur Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen VDI 3957 Blatt 13 (VDI 2005) berücksichtigt diesen Umstand. Die anhand der vier Zählgitter in den Haupthimmelsrichtungen ermittelte Frequenz der Flechten wird hier "Flechtendiversitätswert" ("*Lichen Diversity Value*") genannt und die Diversitätswerte so genannter Referenzarten ("LDVR") und bestimmter Eutrophierungszeiger ("LDVN") unterschieden. Die Bewertung einer Messfläche und damit ihr "Luftgüteindex" (LGI) ergibt sich aus der Kombination von LDVR und LDVN anhand der in Abbildung 2-2 dargestellten Bewertungsmatrix. Die Luftgüte wird anhand der Vielfalt und Artenzusammensetzung der Flechtenvegetation verbal mit "sehr hoch – hoch – mittel – gering – sehr gering" bewertet, mit einem Index – dem **Luftgüteindex** beziffert und für die kartografische Darstellung mit einer Farbe belegt. Im Gegensatz zur Datenauswertung gemäß der nicht mehr gültigen VDI 3799 Blatt 1 (VDI 1995) wird hier keine projektbezogene Breite der Luftgüteklassen berechnet.

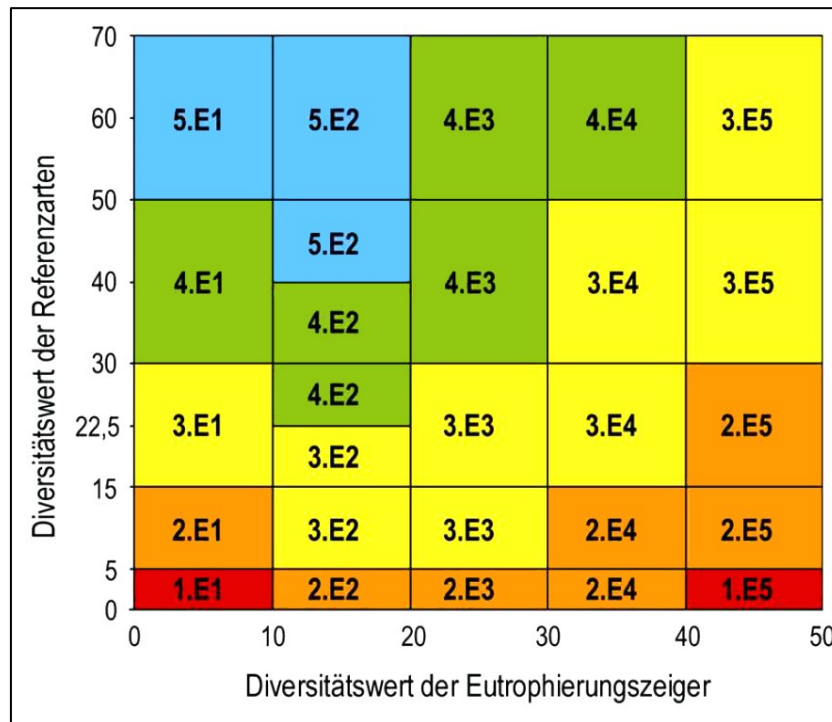
Zum Zeitpunkt der Auswertung der Kartierungsdaten von 2004 wurde ein Vorentwurf von VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13 verwendet, gemäß dem auch Artvorkommen außerhalb der Gitterflächen in die Bewertung eingingen. Neben dem neuen Zuschnitt der Rastquadrate infolge des Wechsels vom Gauß-Krüger- zum UTM-Modell und der damit einhergehenden Umverteilung der Trägerbäume ergibt sich somit ein weiterer Grund, weshalb die Kartendarstellung der neu berechneten Luftgüte von 2004 geringfügige Abweichungen aufweist.

**Tabelle 2-1: Liste der Eutrophierungszeiger gemäß VDI 3957 Blatt 13 (VDI 2005).**

Flechtenspezies		
<i>Caloplaca citrina</i>	<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	<i>Physconia grisea</i>
<i>Caloplaca holocarpa</i>	<i>Physcia adscendens</i>	<i>Rinodina spp.</i>
<i>Lecanora dispersa</i>	<i>Physcia caesia</i>	<i>Xanthoria candelaria</i>
<i>Lecanora hagenii-Gruppe</i>	<i>Physcia dubia</i>	<i>Xanthoria parietina</i>
<i>Lecanora muralis</i>	<i>Physcia tenella</i>	<i>Xanthoria polycarpa</i>
<i>Phaeophyscia nigricans</i>	<i>Physconia distorta</i>	

**Abbildung 2-2: Bewertung der Luftgüte anhand der Kombination der Diversitätswerte der Eutrophierungszeiger und der Referenzarten.**

Der Luftgüteindex setzt sich aus zwei Ziffern zusammen, die durch einen Punkt und den Buchstaben E getrennt sind. Die erste Ziffer des Indexes entspricht der Luftgüte und ist mit den Farben gekoppelt, die zweite Ziffer symbolisiert das Vorkommen von Eutrophierungszeigern. Die verbale Bewertung des Luftgüteindexes kann der Tabelle 2-2 entnommen werden.



**Tabelle 2-2: Verbale Bewertung des Luftgüteindexes nach VDI 3957 Blatt 13 (VDI (2005))**

Luftgütebewertung ohne Berücksichtigung eutrophierender Immissionen		Einfluss eutrophierender Immissionen	
<b>5</b>	sehr hohe Luftgüte	<b>E5</b>	sehr starker Einfluss
<b>4</b>	hohe Luftgüte	<b>E4</b>	starker Einfluss
<b>3</b>	mäßige/moderate Luftgüte	<b>E3</b>	mäßiger Einfluss
<b>2</b>	geringe Luftgüte	<b>E2</b>	geringer Einfluss
<b>1</b>	sehr geringe Luftgüte	<b>E1</b>	sehr geringer Einfluss

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Veränderung des Spektrums epiphytischer Moose und Flechten seit 1988.

An den 293 untersuchten Standardbäumen wurden im Herbst 2016 insgesamt 3954 Moos- und Flechtenvorkommen registriert, im Mittel also **13,5 Artvorkommen pro Baum**. Das ist ein Vorkommen pro Baum mehr als in der vorangegangenen Untersuchung 2004 (3192 Vorkommen an 255 Bäumen; STAPPER 2004). Mindestens eine Art (Baum# 53521) und maximal 27 Arten (Baum# 56497, 57511) wurden an einem Baum nachgewiesen. Wie schon 2004 wurde auch 2016 kein Baum ausgewählt, auf dem keine Moose oder Flechten wuchsen. Es wurden im Mittel mehr Flechten als Moose pro Baum registriert, 11,8 Flechten und 1,7 Moose. 2004 wurden mit 10,1 Artvorkommen pro Baum zwar weniger Flechten nachgewiesen, jedoch mehr Moose, nämlich 2,4 Arten pro Baum.

Das Spektrum der seit 1988 bzw. 2001 in Gütersloh und seiner Umgebung auf Bäumen registrierten Flechten- bzw. Moosarten ist in Tabelle 3-1 aufgeführt und umfasst **109 verschiedene Taxa**, 85 Flechten (teils nur auf Gattungsniveau) und 24 Moose.

Die Unterschiede hinsichtlich der **Zeigerwertmediane** der Moose bzw. Flechten zwischen den beiden Erhebungen von 2004 und 2016 sind erwartungsgemäß gering. Die **Moose** sind Lichtpflanzen (der Median der L-Zahl, kurz: "medL", beträgt 8), die an kühle bis mäßig warme Standorte adaptiert sind (medT = 4), im Kontinentalitätsgefälle mit subozeanischer bis subkontinentaler Verbreitung (medK = 5), die mäßig frische bis länger trocken fallende Plätze besiedeln und Tau- und Nebelfeuchte nutzen (medF = 4), sie sind überwiegend Mäßig- bis Schwachsäurezeiger (medR = 6) mit geringem bis mäßigem Nährstoffangebot (medN = 4). Hierbei wurden die Zeigerwerte für Moose nach DUELL (2001) und, im Fall der Nährstoffzahl, die N-Zahlen von SIEBEL (1993; "Nutriëntenrijkdom") herangezogen.

Die **Flechten**, hier wurden die neuen Zeigerwerte nach WIRTH (2010) verwendet, sind Halblichtpflanzen (medL = 7) mäßig kühler bis mäßig warmer Lagen (medT = 5) und weiter Verbreitung von West- bis Osteuropa (medK = 6), die niederschlagsarme Standorte ertragen (medF = 3) und dabei mäßig saure Substrate besiedeln (pH 4,9 – 5,6; medR = 5) und allenfalls eine mäßige bis deutliche Eutrophierung tolerieren (medN = 5). Im Vergleich zu den alten Flechtenzeigerwerten (WIRTH 1992) sind die Nährstoff-Zahlen einiger Flechten "nach oben" angepasst worden. Der Anteil der Flechtenarten mit N-Zahl größer oder gleich 4 ist in den Untersuchungen 2004 und 2016 identisch und beträgt 81 %. Das heißt, das **Artenspektrum ist erheblich von nährstofftoleranten Arten geprägt**.

In der **Roten Liste** der gefährdeten Pflanzen, Pilze und Tiere in Nordrhein-Westfalen sind die seit 2001 auf Standardbäumen in Gütersloh nachgewiesenen Moose mit Ausnahme von *Hedwigia ciliata* (Kategorie 3 "gefährdet"), das nur einmal 2004 registriert wurde, als "ungefährdet" eingestuft (SCHMIDT 2011a,b). Unter den **Flechten** (BÜLTMANN et al. 2011) gelten 61 Arten als "ungefährdet", acht als "gefährdet" (Kategorie 3), vier Arten als "stark gefährdet" (Kategorie 2; *Lecanora symmicta*, *Physcia aipolia*, *Physconia distorta* und *P. perisidiosa*), zwei Arten als "vom Aussterben bedroht" (Kategorie 1; *Parmotrema stuppeum* [einmal 2016, chemische Thallusreaktion überprüft] und *Ramalina fastigiata* [nur 2004]). Für vier Arten ist die Datenlage unzureichend (Kategorie D), dies sind *Candelariella viae-lacteae*, deren Ansprache hier unsicher ist (siehe auch Anmerkung in Kap. 2), *Lecanora barkmaniana*, *L. compallens*, und *Punctelia borreri*. Und weitere drei Flechten sind in der Roten Liste nicht aufgeführt: *Candelaria*

*pacifica*, *Hypotrachyna afrorevoluta* und *Xanthoria ucrainica*. Alle vier Arten sind zumindest im Westen von NRW vielfach belegt.

Während die **Zahl der Flechten seit 1988 kontinuierlich angestiegen** ist, hat sich die **Zahl der Moosarten seit 2004 kaum verändert** (siehe Abbildung 3-1). Die 2004 noch häufigen Moose *Ceratodon purpureus* und *Dicranoweisia cirrata* beispielsweise wurden 2016 nur noch auf einem Viertel bzw. einem Zehntel so vieler Trägerbäume nachgewiesen. Auch *Grimmia pulvinata* und *Orthotrichum diaphanum* wurden auf einem geringeren Anteil der Trägerbäume registriert. Einzig *Tortula muralis* und *T. papillosa* kamen 2016 auf einem bis zu fünfmal höheren Anteil der Trägerbäume vor. Alle 2016 erstmals registrierten Moose wurden an weniger als 3,5 % der Trägerbäume gefunden.

Die Anzahl der jeweils nachgewiesenen Flechtenarten hat sich seit 1988 von 29 auf inzwischen 74 erhöht, wobei in der letzten, artenreichsten Untersuchung einige Flechten auch nicht mehr registriert wurden, z. B. die azidophytischen Flechten *Lecanora conizaeoides*, *Pseudevernia furfuracea* oder *Tuckermanopsis chlorophylla*. Den **Rückgang der azidophytischen Flechten** veranschaulicht Abbildung 3-1 am Beispiel von *Hypocomyce scalaris*, *Hypogymnia physodes*, *Lecanora conizaeoides* und *Parmelia saxatilis*. Die Population der während der Zeit des Sauren Regens selten gewordenen Flechte *H. physodes* hatte sich zwischenzeitlich kräftig erholt, doch seit 2004 ist sie wieder auf zwei Drittel geschrumpft, gemessen am Anteil der von dieser früher sehr häufigen Flechte bewachsenen Trägerbäume. Auch in Düsseldorf hat der Anteil der von dieser Art besiedelten Bäume seit 2003 jährlich um gut 2 % abgenommen (SCHMITZ et al. 2016).

Einige **nitrophytische Flechten sind häufiger geworden** seit 2004, obwohl sie 2004 bereits mit vielen Arten kräftig vertreten waren. Abbildung 3-1 zeigt den zeitlichen Verlauf für ausgewählte Nitrophyten. Für die kräftige Zunahme von *Candelaria concolor*, die im Rheinland inzwischen auf fast jedem Baum vorkommt, werden die Eutrophierung der Luft und klimatische Veränderungen diskutiert. Vor rund 15 Jahren war sie noch sehr selten und wurde an nur drei von 1815 untersuchten Standardbäumen in NRW registriert (FRANZEN et al. 2002).

Schnell angestiegen ist in Gütersloh die Zahl der Flechtenarten, die gemäß VDI 3957 Blatt 20 (VDI 2017) als **Klimawandelindikatoren** verwendet werden. 1988 wurde einzig die anhand ihrer Verbreitung in Europa (APTROOT & SPARRIUS 2009) als Klimawandelzeiger geeignete *Physconia grisea* nachgewiesen, die jedoch wegen ihrer Eutrophierungstoleranz nicht in die Indikatorenliste der VDI-Richtlinie aufgenommen wurde. Somit traten Klimawandelzeiger erst 2001 auf, und seither hat sich ihre Anzahl von fünf auf zehn verdoppelt. Abbildung 3-1 zeigt den zeitlichen Verlauf für die Klimawandelindikatoren *Flavoparmelia soledians*, *Melanohalea elegantula*, *Parmotrema perlatum*, *Punctelia borrieri*, *P. jeckeri* und *P. subrudecta*. *Punctelia borrieri* wurde bereits 2004 in Gütersloh vermutet, jedoch erwiesen sich alle fraglichen Vorkommen als *P. subrudecta*. Die Zunahme der Klimawandelindikatoren seit 1988 zeigt sich, wie in Abbildung 3-2 dargestellt, auch in der Verteilung der Kontinentalitätszahlen, die für die Klimawandelindikatoren nur 1 bis 3 beträgt entsprechend "K1, euatlantisch, nur an wenigen östlichen Vorposten im westlichen, südwestlichen bzw. nordwestlichen Mitteleuropa vorkommend" bis "K3, mit zerstreuten Vorkommen an relativ milden Standorten in weiten Teilen Mitteleuropas" (WIRTH 2010).

**Tabelle 3-1: Liste der Flechten- und Moosarten mit Angabe der relativen Häufigkeit auf Standardbäumen 1988 bis 2016.**

**Artname:** Die Nomenklatur folgt für Flechten WIRTH et al. (2013) und für Lebermoose SÖDERSTRÖM et al. (2016) und für Laubmoose HODGETTS (2015); im Text wurden stellenweise abweichende, gebräuchliche Artnamen gewählt; grün hinterlegt sind Nitrophyten zur Berechnung des **Nitrophytenindex NIW** gemäß VAN HERK (1999). **Rote Liste NRW:** Angabe der Gefährdungskategorie für Flechten bzw. Moose nach BÜLTMANN et al. (2011) bzw. SCHMIDT (2011 a, b). **Indikatoreigenschaften: Ökologische Zeigerwerte** R (Reaktionszahl) und N (Nährstoffzahl) der Flechten nach WIRTH (2010) sowie R- bzw. N-Zahl für Moose nach DÜLL (2001) bzw. SIEBEL (1993); ein leeres Feld in diesen Spalten bedeutet indifferentes Verhalten der Art oder dass kein entsprechender Wert veröffentlicht worden ist; R-Werte  $\leq 3$  rosa, N-Werte  $\geq 8$  grün markiert. **Nitrophyt** entsprechend VDI 3957 Blatt 13 (VDI 2005). **Klimawandelzeiger (KWZ)** nach VDI-Richtlinie 3957 Blatt 20 (VDI 2017); Biomzone, aufgrund der Arealangaben in der niederländischen Standardliste der Flechten (BLWG 2011), warmgemäßigte Arten („gme“) und südliche Arten (ssg, „submediterranean-subatlantic-moderate“). **Relative Häufigkeit der Flechten, Datengrundlage 1988:** Flechten an 122 Linden im Stadtgebiet von Gütersloh (BORGSTEDT 1988); **2001,** Flechten und Moose an 47 Bäumen in der Umgebung von Gütersloh (FRANZEN *et al.*, 2002); **2004,** Flechten und Moose an 255 Bäumen in Gütersloh (STAPPER 2004); **2016,** entsprechend Flechten und Moose an 293 Bäumen.

Artbezeichnung im Text	Artname taxonomisch	Rote Liste NRW	Indikatoreigenschaft					Häufigkeit			
			R-Zahl	N-Zahl	Nitrophyt (VDI 2017)	Klimawandelzeiger	Biomzone (NL-SL)	(Prozentualer Anteil der Trägerbäume mit Vorkommen der jeweiligen Art)			
								1988	2001	2004	2016
<b>FLECHTEN</b>											
<i>Amandinea punctata</i>	<i>Amandinea punctata</i> (Hoffm.) Coppins & Scheid.	*	5	7				58,2	80,9	69,8	72,7
<i>Bacidia adastrata</i>	<i>Bacidia adastrata</i> Sparrius & Aptroot	kA								2,4	1,7
<i>Bacidia neosquamulosa</i>	<i>Bacidia neosquamulosa</i> Aptroot & van Herk	*	5	6		KWZ					0,7
<i>Bacidia</i> spp.	<i>Bacidia</i> spec.									1,6	
<i>Buellia griseovirens</i>	<i>Buellia griseovirens</i> (Sm.) Almb.	*	5	4							0,3
<i>Caloplaca cerinella</i>	<i>Caloplaca cerinella</i> (Nyl.) Flagey	3	7	6							0,7
<i>Caloplaca citrina</i>	<i>Caloplaca citrina</i> (Hoffm.) Th. Fr.	*	9	9	N		0,8				0,3
<i>Caloplaca holocarpa</i>	<i>Caloplaca holocarpa</i> (Hoffm.) A. E. Wade	*	8	6	N		5,7		0,4		
<i>Caloplaca obscurella</i>	<i>Caloplaca obscurella</i> (J. Lahm ex Körb.) Th. Fr.	*	7	8							0,3
<i>Candelaria concolor</i>	<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Stein	*	6	7						6,7	85,7
<i>Candelaria pacifica</i>	<i>Candelaria pacifica</i> M. Westberg & Arup	kA									3,1
<i>Candelariella aurella</i>	<i>Candelariella aurella</i> (Hoffm.) Zahlbr.	*	9	8			36,1	2,1	3,1		
<i>Candelariella reflexa</i>	<i>Candelariella reflexa</i> (Nyl.) Lettau	*	5	7				46,8	81,2	90,4	
<i>Candelariella viae-lacteae</i>	<i>Candelariella viae-lacteae</i> G. Thor & V. Wirth	D	7	7							1,0
<i>Candelariella vitellina</i>	<i>Candelariella vitellina</i> (Hoffm.) Müll. Arg.	*	5	8			26,2	6,4	9,4	4,1	
<i>Candelariella xanthostigma</i>	<i>Candelariella xanthostigma</i> (Pers. ex Ach.) Lettau	*	5	5			2,5		3,1	25,6	
<i>Catillaria nigroclavata</i>	<i>Catillaria nigroclavata</i> (Nyl.) Schuler	*	7	7							0,3
<i>Cladonia coniocraea</i>	<i>Cladonia coniocraea</i> (Flörke) Spreng.	*	4	3							0,7
<i>Cladonia fimbriata</i>	<i>Cladonia fimbriata</i> (L.) Fr.	*	4	3					0,8	2,4	
<i>Cladonia</i> spp.	<i>Cladonia</i> spp.		3	3						1,2	2,7
<i>Evernia prunastri</i>	<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach.	*	3	4				25,5	32,2	27,6	
<i>Flavoparmelia caperata</i>	<i>Flavoparmelia caperata</i> (L.) Hale	*	5	4		KWZ	gme	10,6	9,4	10,6	
<i>Flavoparmelia soredians</i>	<i>Flavoparmelia soredians</i> (Nyl.) Hale	3	6	5		KWZ	ssg			1,2	4,8

## Stapper (2017): Luftbelastung in Gütersloh 2004 und 2016

Artbezeichnung im Text	Artnamen taxonomisch	Rote Liste NRW	Indikatoreigenschaft					Häufigkeit			
			R-Zahl	N-Zahl	Nitrophyt (VDI 2017)	Klimawandlungszeiger	Biomzone (NL-SL)	(Prozentualer Anteil der Trägerbäume mit Vorkommen der jeweiligen Art)			
								1988	2001	2004	2016
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	<i>Hyperphyscia adglutinata</i> (Flörke) Mayrhofer & Poelt	*	7	7			gme			2,7	13,0
<i>Hypocnomyce scalaris</i>	<i>Hypocnomyce scalaris</i> (Ach.) M. Choisy	*	2	2				10,7	2,1	0,8	0,7
<i>Hypogymnia physodes</i>	<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.	*	3	3				5,7	19,1	32,2	18,1
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	<i>Hypogymnia tubulosa</i> (Schaer.) Hav.	*	5	4				0,8		14,9	7,8
<i>Hypotrachyna afrorevoluta</i>	<i>Hypotrachyna afrorevoluta</i> (Krog & Swinscow) Krog & Swinscow	kA	4	4			KWZ	ssg			3,8
<i>Hypotrachyna revoluta</i>	<i>Hypotrachyna revoluta</i> (Flörke) Hale	3	5	4			KWZ	gme	2,1	2,7	1,0
<i>Lecania naegelii</i>	<i>Lecania naegelii</i> (Hepp) Diederich & van den Boom	*	7	7							0,3
<i>Lecanora barkmaniana</i>	<i>Lecanora barkmaniana</i> Aptroot & Herk	D						ssg			1,0
<i>Lecanora carpinea</i>	<i>Lecanora carpinea</i> (L.) Vain.	*	5	4						1,2	3,8
<i>Lecanora chlorotera</i>	<i>Lecanora chlorotera</i> Nyl.	*	6	5						0,8	8,2
<i>Lecanora compallens</i>	<i>Lecanora compallens</i> Herk & Aptroot	D									2,7
<i>Lecanora conizaeoides</i>	<i>Lecanora conizaeoides</i> Nyl. ex Cromb.	*	2	5				88,5	8,5	7,5	
<i>Lecanora dispersa</i>	<i>Lecanora dispersa</i> (Pers.) Röhl.	*	8	8	N			51,6			11,6
<i>Lecanora expallens</i>	<i>Lecanora expallens</i> Ach.	*	4	5				0,8	6,4	22,4	11,6
<i>Lecanora hagenii</i>	<i>Myriolecis hagenii</i> (Ach.) Sliwa, Zhao Xin & Lumbsch	*	8	7	N			3,3	6,4	17,6	5,1
<i>Lecanora muralis</i>	<i>Lecanora muralis</i> (Schreb.) Rabenh. ssp. muralis	*	8	9	N			3,3		0,8	0,7
<i>Lecanora saligna</i>	<i>Lecanora saligna</i> (Schrad.) Zahlbr.	*	4	5				1,6			
<i>Lecanora symmicta</i>	<i>Lecanora symmicta</i> (Ach.) Ach. var. symmicta	2	5	4							0,3
<i>Lecidella elaeochroma</i>	<i>Lecidella elaeochroma</i> (Ach.) M. Choisy	*	6	5						2,7	9,6
<i>Lecidella scabra</i>	<i>Lecidella scabra</i> (Taylor) Hertel & Leuckert	*	5	5							0,7
<i>Lepraria incana</i>	<i>Lepraria incana</i> (L.) Ach.	*	3	5				1,6	27,7	27,8	28,3
<i>Lepraria lobificans</i>	<i>Lepraria lobificans</i> Nyl.	*	6	3							1,0
<i>Lepraria rigidula</i>	<i>Lepraria rigidula</i> (B. de Lesd.) Tønsberg	*	4	2							0,7
<i>Melanelixia glabratula</i>	<i>Melanelixia glabratula</i> (Lamy) Sandler & Arup	*	3	4					2,1	2,7	2,4
<i>Melanelixia subaurifera</i>	<i>Melanelixia subaurifera</i> (Nyl.) O. Blanco et al.	*	6	5					17,0	39,2	31,7
<i>Melanohalea elegantula</i>	<i>Melanohalea elegantula</i> (Zahlbr.) O. Blanco et al.	*	4	5			KWZ			0,8	5,8
<i>Melanohalea exasperatula</i>	<i>Melanohalea exasperatula</i> (Nyl.) O. Blanco et al.	*	5	6					2,1	9,0	10,2
<i>Parmelia saxatilis</i>	<i>Parmelia saxatilis</i> (L.) Ach.	*	3	3				4,9		0,4	0,7
<i>Parmelia sulcata</i>	<i>Parmelia sulcata</i> Taylor	*	5	7				0,8	48,9	65,9	61,4
<i>Parmelina tilliacea</i>	<i>Parmelina tilliacea</i> (Hoffm.) Hale	*	5	6						0,8	3,1
<i>Parmotrema perlatum</i>	<i>Parmotrema perlatum</i> (Huds.) M. Choisy	*	5	4			KWZ	gme	4,3	5,1	6,5
<i>Parmotrema stuppeum</i>	<i>Parmotrema stuppeum</i> (Taylor) Hale	1									0,3
<i>Phaeophyscia nigricans</i>	<i>Phaeophyscia nigricans</i> (Flörke) Moberg	*	8	9	N				36,2	51,4	20,1
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	<i>Phaeophyscia orbicularis</i> (Neck.) Moberg	*	7	9	N			39,3	78,7	87,8	84,6
<i>Phlyctis argena</i>	<i>Phlyctis argena</i> (Spreng.) Flot.	*	4	5							1,4
<i>Physcia adscendens</i>	<i>Physcia adscendens</i> (Th. Fr.) H. Olivier	*	7	8	N			10,7			72,7
<i>Physcia aipolia</i>	<i>Physcia aipolia</i> (Humb.) Fűrnr.	2	7	5							1,4
<i>Physcia caesia</i>	<i>Physcia caesia</i> (Hoffm.) Fűrnr.	*	8	9	N			18,9	40,4	38,8	48,1
<i>Physcia dubia</i>	<i>Physcia dubia</i> (Hoffm.) Lettau	*	7	8	N			9,8	27,7	18,8	8,5



## Stapper (2017): Luftbelastung in Gütersloh 2004 und 2016

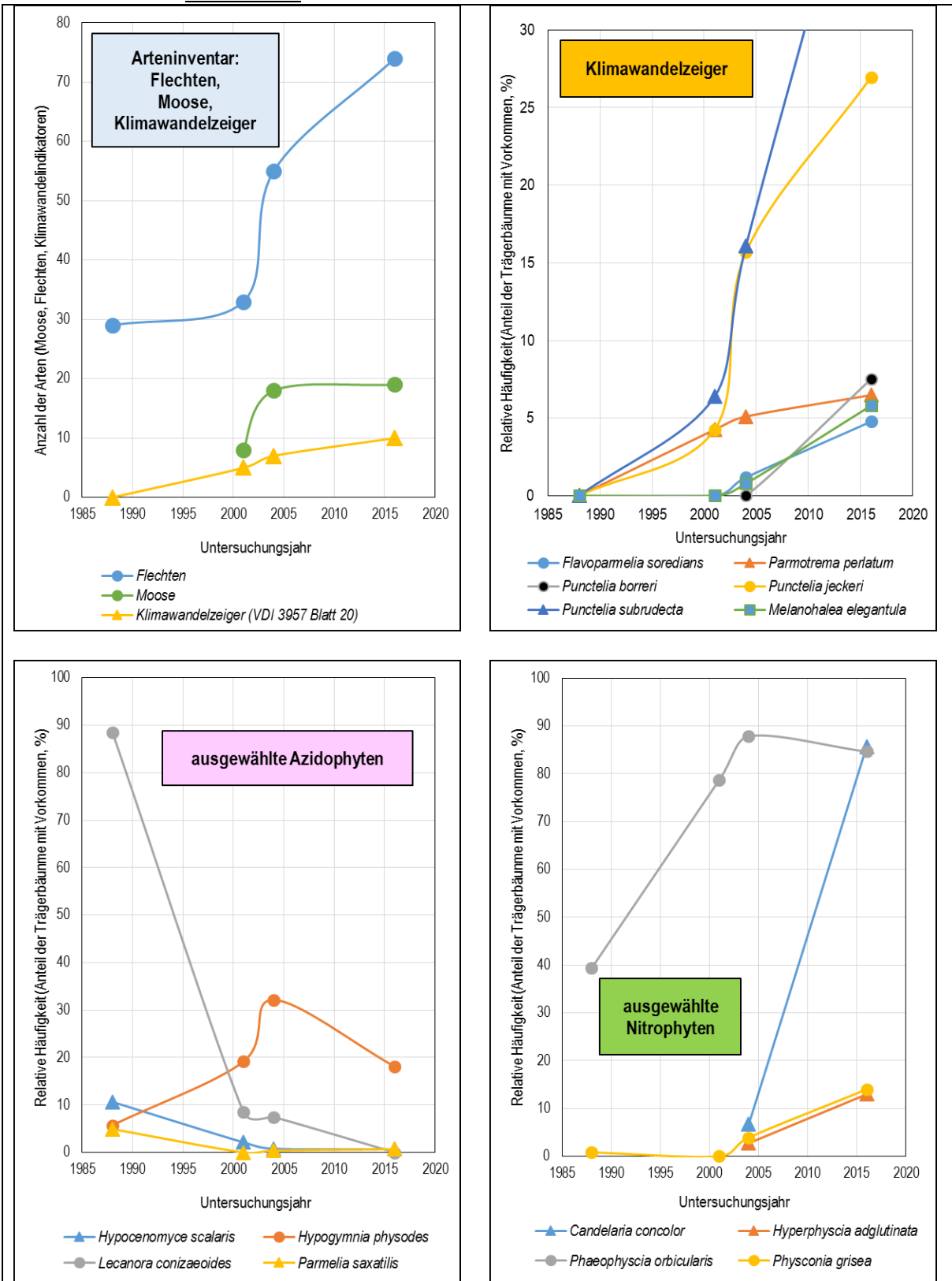
Artbezeichnung im Text	Artnamen taxonomisch	Rote Liste NRW	Indikatoreigenschaft					Häufigkeit			
			R-Zahl	N-Zahl	Nitrophyt (VDI 2017)	Klimawandlungszeiger	Biomzone (NL-SL)	(Prozentualer Anteil der Trägerbäume mit Vorkommen der jeweiligen Art)			
								1988	2001	2004	2016
<i>Physcia stellaris</i>	<i>Physcia stellaris</i> (L.) Nyl.	3	6	6						2,0	0,3
<i>Physcia tenella</i>	<i>Physcia tenella</i> (Scop.) DC. var. <i>tenella</i>	*	6	8	N			30,3	97,9	96,1	96,6
<i>Physconia distorta</i>	<i>Physconia distorta</i> (With.) J. R. Laundon	2	7	6							0,3
<i>Physconia grisea</i>	<i>Physconia grisea</i> (Lam.) Poelt	*	6	8	N		gme	0,8		3,9	14,0
<i>Physconia perisidiosa</i>	<i>Physconia perisidiosa</i> (Erichsen) Moberg	2	6	4							0,3
<i>Placynthiella icmalea</i>	<i>Placynthiella icmalea</i> (Ach.) Coppins & P. James	*	2	5						0,4	0,3
<i>Platismatia glauca</i>	<i>Platismatia glauca</i> (L.) W.L. Culb. & C. F. Culb.	*	2	2					2,1		
<i>Pleurosticta acetabulum</i>	<i>Pleurosticta acetabulum</i> (Neck.) Elix & Lumbsch	3	7	5			gme				1,0
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	<i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf	3	3	2				1,6	2,1	1,6	
<i>Punctelia borreri</i>	<i>Punctelia borreri</i> (Sm.) Krog	D	5	6		KWZ	ssg				7,5
<i>Punctelia jeckeri</i>	<i>Punctelia jeckeri</i> (Roum.) Kalb	*	4	6		KWZ			4,3	15,7	27,0
<i>Punctelia subrudecta</i>	<i>Punctelia subrudecta</i> (Nyl.) Krog	*	4	5		KWZ	gme		6,4	16,1	45,4
<i>Ramalina farinacea</i>	<i>Ramalina farinacea</i> (L.) Ach.	*	5	4					4,3	7,8	9,2
<i>Ramalina fastigiata</i>	<i>Ramalina fastigiata</i> (Pers.) Ach.	1	6	4						0,4	
<i>Rinodina oleae</i>	<i>Rinodina oleae</i> Bagl.	*	8	6	N						0,8
<i>Strangospora pinicola</i>	<i>Strangospora pinicola</i> (A. Massal.) Körb.	*	3	5				0,8	14,9	23,1	5,5
<i>Tuckermanopsis chlorophylla</i>	<i>Tuckermanopsis chlorophylla</i> (Willd.) Hale	3	3	3					2,1	0,8	
<i>Usnea dasypoga</i>	<i>Usnea dasypoga</i> (Ach.) Nyl	3	3	2							0,7
<i>Usnea</i> spp.	<i>Usnea</i> sp.										1,2
<i>Xanthoria candelaria</i>	<i>Polycauliona candelaria</i> (S.Y.Kondr.) Frödén, Arup & Søchting	*	6	8	N			9,0	34,0	49,0	19,8
<i>Xanthoria parietina</i>	<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th. Fr.	*	7	8	N			18,9	66,0	54,9	90,4
<i>Xanthoria polycarpa</i>	<i>Polycauliona polycarpa</i> (S.Y.Kondr.) Frödén, Arup & Søchting	*	7	8	N			3,3	59,6	63,1	29,0
<i>Xanthoria ucrainica</i>	<i>Polycauliona ucrainica</i> (S.Y.Kondr.) Frödén, Arup & Søchting	kA	6	8	N						5,8
<b>MOOSE</b>											
<i>Amblystegium serpens</i>	<i>Amblystegium serpens</i> (Hedw.) Schimp.	*	6	7							2,0
<i>Brachythecium rutabulum</i>	<i>Brachythecium rutabulum</i> (Hedw.) Schimp.	*		8							0,4
<i>Bryum argenteum</i>	<i>Bryum argenteum</i> Hedw.	*	6	8					6,4	10,6	2,7
<i>Bryum capillare</i>	<i>Ptychostomum capillare</i> (Hedw.) Holyoak & N. Pedersen	*	6	5					6,4	6,7	3,1
<i>Bryum subelegans</i>	<i>Ptychostomum moravicum</i> (Podp.) Ros & Mazimpaka	*	6								3,4
<i>Ceratodon purpureus</i>	<i>Ceratodon purpureus</i> (Hedw.) Brid.	*		6					17,0	18,8	2,0
<i>Dicranoweisia cirrata</i>	<i>Dicranoweisia cirrata</i> (Hedw.) Lindb. ex Milde	*	5	4					25,5	43,1	14,0
<i>Frullania dilatata</i>	<i>Frullania dilatata</i> (L.) Dumort.	*	7	3						0,4	0,3
<i>Grimmia pulvinata</i>	<i>Grimmia pulvinata</i> (Hedw.) Sm. ex Sm. & Sowerby	*	7	3					12,8	28,2	15,7
<i>Hedwigia ciliata</i>	<i>Hedwigia ciliata</i> (Hedw.) Ehrh. ex P. Beauv.	3	2	2						0,8	
<i>Hypnum cupressiforme</i>	<i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw.	*	4	3					10,6	27,1	29,4
<i>Metzgeria furcata</i>	<i>Metzgeria furcata</i> (L.) Dumort.	*	6	4							0,3
<i>Orthotrichum affine</i>	<i>Orthotrichum affine</i> Brid.	*	6	3					21,3	49,8	51,9
<i>Orthotrichum anomalum</i>	<i>Orthotrichum anomalum</i> Hedw.	*	8	3						0,8	0,3

Stapper (2017): Luftbelastung in Gütersloh 2004 und 2016

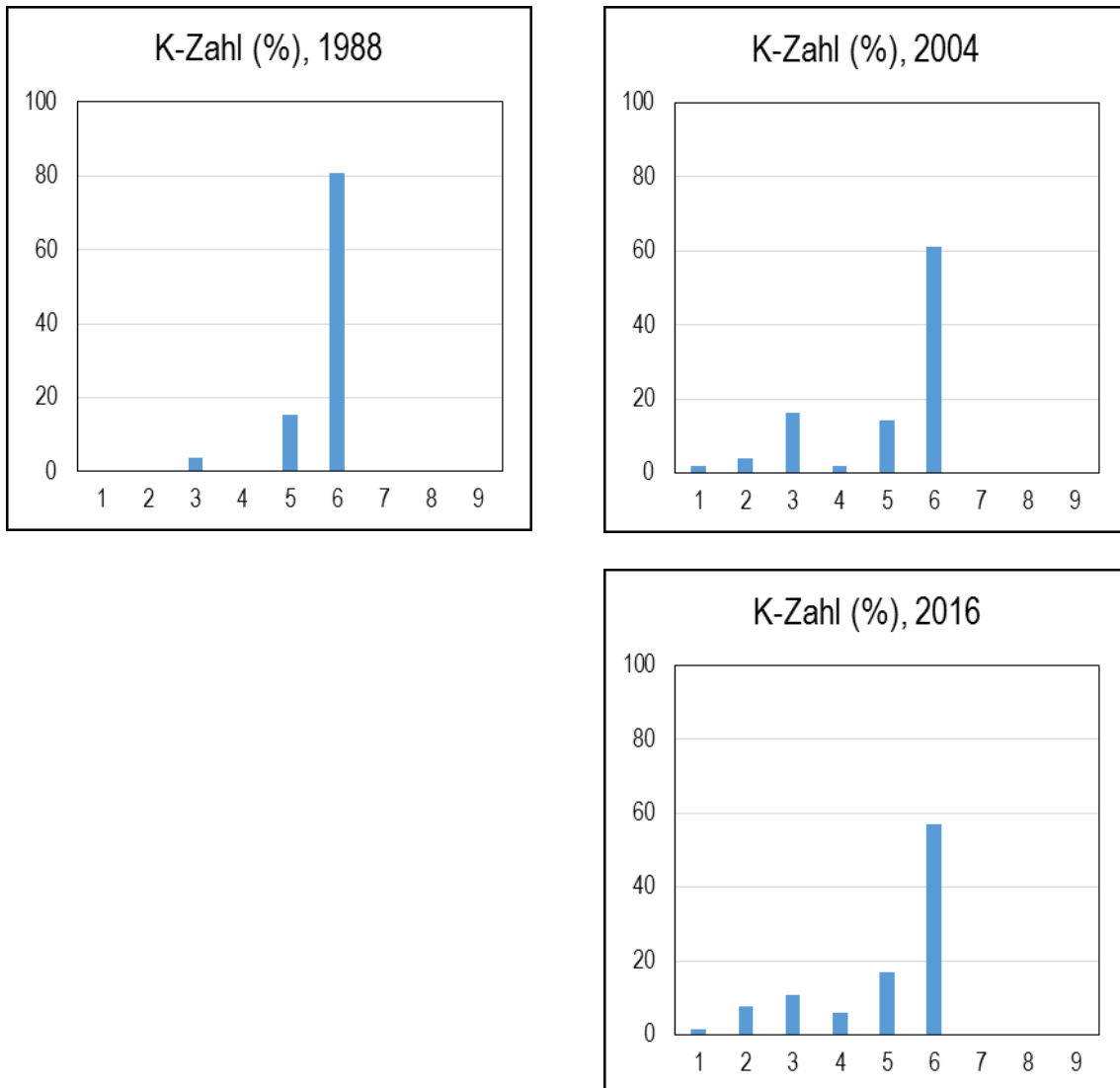
Artbezeichnung im Text	Artnamen taxonomisch	Rote Liste NRW	Indikatoreigenschaft					Häufigkeit			
			R-Zahl	N-Zahl	Nitrophyt (VDI 2017)	Klimawandelzeiger	Biomzone (NL-SL)	(Prozentualer Anteil der Trägerbäume mit Vorkommen der jeweiligen Art)			
								1988	2001	2004	2016
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	<i>Orthotrichum diaphanum</i> Brid.	*	6	7				51,1	37,6	21,5	
<i>Orthotrichum lyellii</i>	<i>Orthotrichum lyellii</i> Hook. & Taylor	*	5	3					3,9	3,1	
<i>Orthotrichum pumilum</i>	<i>Orthotrichum pumilum</i> Sw.	*	7	4						0,3	
<i>Orthotrichum stramineum</i>	<i>Orthotrichum stramineum</i> Hornsch. ex Brid.	*	6	5					0,4		
<i>Orthotrichum striatum</i>	<i>Orthotrichum striatum</i> Hedw.	*	6	3						1,0	
<i>Orthotrichum tenellum</i>	<i>Orthotrichum tenellum</i> Bruch ex Brid.	*	6	5						0,3	
<i>Rhynchostegium murale</i>	<i>Rhynchostegium murale</i> (Hedw.) Schimp.	*	7	6						0,3	
<i>Tortula muralis</i>	<i>Tortula muralis</i> Hedw.	*		6					3,9	9,6	
<i>Tortula papillosa</i>	<i>Syntrichia papillosa</i> (Wilson) Jur.	*	6	6					2,0	11,9	
<i>Ulota crispa</i>	<i>Ulota crispa</i> (Hedw.) Brid.	*	4	3					1,2		
<b>Arten insgesamt</b>							29	41	73	93	
<b>Moose</b>							n. u.	8	18	19	
<b>Flechten</b>							29	33	55	74	
<b>davon:</b>											
<b>Klimawandelzeiger (VDI3957/20)</b>							0	5	7	10	
<b>Klimawandelzeiger (NL-SL)</b>							1	4	7	11	
<b>Nitrophyten (VDI3957/13)</b>							14	9	13	15	

**Abbildung 3-1: Zeitliche Veränderung des Artenspektrums epiphytischer Flechten und Moose bzw. der relativen Häufigkeit ausgewählter Flechtenarten an Bäumen in Gütersloh 1988 bis 2016.**

Einzeldaten siehe Tabelle 3-1.



**Abbildung 3-2: Veränderung der Häufigkeitsverteilung der Kontinentalitätszahlen der Flechten 1988 bis 2016.**



### 3.2. Räumliche Variabilität der Diversität epiphytischer Moose und Flechten.

Das Spektrum der epiphytischen Flechten und Moose an den Gütersloher Bäumen ist seit der letzten Erhebung im Jahr 2004 noch artenreicher geworden, so dass sich ein innerstädtischer Vergleich der Artendiversität für erste Rückschlüsse auf die Lebensbedingungen für diese Organismen anbietet.

Die mittlere Anzahl der Arten beider Organismengruppen pro Trägerbaum und die daraus errechnete mittlere Anzahl der jeweiligen Artenzahlen pro Trägerbaum und Rasterquadrat (Quadratkilometer-Kacheln im UTM-Koordinatensystem) sind in den nachfolgenden Abbildungen kartografisch dargestellt. In diesen Darstellungen wird nur die Präsenz der Arten berücksichtigt, nicht aber gleichzeitig ihre Häufigkeit auf den Trägerbäumen, die anhand der mittleren Frequenz auf den darauffolgenden Karten wiedergegeben wird. Die Breiten der mit unterschiedlichen Farben gekennzeichneten Klassen wurden für jede Variable und jedes Untersuchungsjahr so berechnet, dass **nicht benachbarte Klassen** sich statistisch signifikant unterscheiden (siehe Kapitel 2.2). Alle derart gekennzeichneten Rasterquadrate fassen die Daten von mindestens sechs Trägerbäumen zusammen. Aufgrund der Überführung ins UTM-Koordinatensystem stehen für 2004 anstatt der ursprünglich 23 nur noch 20 Rasterquadrate mit jeweils mindestens sechs Bäumen zur Verfügung. Für 2016 sind es 32 Quadrate, die eine größere zusammenhängende Fläche abdecken. Die jeder Karte zugrundeliegenden Kenndaten sind in Tabelle 3-2 zusammengefasst. Die Ergebnisse hinsichtlich der Präsenz der Arten lauten zusammengefasst:

- In jedem Rasterquadrat wurden Flechten auf den Bäumen angetroffen. Eine Flechtenwüste – zumindest von einer Ausdehnung, dass sie im 1-km-Raster darzustellen wäre, gab es in Gütersloh allerdings auch früher nicht (vergl. BORGSTEDT 1988).
- Wie bereits 2004 wurden auch 2016 **auf allen Bäumen Flechten** nachgewiesen.
- Der Anteil der Bäume, auf denen keine Moose registriert wurden, ist von 21 % (2004) auf 34 % angestiegen.
- Wenn man die Grundgesamtheiten der Trägerbäume beider Untersuchungen vergleicht (siehe Tabelle 3-2), dann ist die Anzahl der Flechtenarten pro Baum seit 2004 statistisch signifikant angestiegen ( $p < 0,001$ ; t-Test für unabhängige Stichproben), ebenso die Zahl der Moos- und Flechtenarten pro Baum ( $p < 0,01$ ). Dem 16%igen Anstieg der Flechtenarten pro Baum steht eine 28%ige **Abnahme der Moosartenzahl pro Baum** gegenüber ( $p < 0,001$ ). Siehe auch Abbildung 3-3.
- Aufgrund der geringen Streuung der Daten lassen sich für jede untersuchte Bedingung bzw. Stichprobe mindestens drei Klassen differenzieren (Tabelle 3-2; Abbildung 3-4, Abbildung 3-5, Abbildung 3-6).
- 2016 befinden sich die **Rasterquadrate mit den meisten Moos- und Flechtenarten** auf den Trägerbäumen **innerhalb des Stadtgebietes** (Abbildung 3-6): 5752 (18,1 Moose und Flechten pro Baum; Gebiete um Mohns Park und nördlich des Nordbades), 5851 (17,8 Arten pro Baum; Miele, K37, Luisenstraße) und 5649 (17,9 Arten pro Baum; vom Westring über Diek- und Wiedenbrückerstraße bis zum Brockweg nördl. Kattenstroth). Die Artendiversität nimmt folglich zum Zentrum hin zu, statt der Erwartung entsprechend mit steigendem Versiegelungsgrad der Baublöcke und der damit einhergehenden städtischen Überwärmung sowie zunehmender Belastung durch verkehrsbedingte Immissionen von den Außenbezirken zum Stadtzentrum hin abzunehmen.
- Die schon erwähnten "innerstädtischen" Rasterquadrate 5752 und 5851 (15,3 bzw. 14,8 Flechtenarten pro Baum) und das am nordwestlichen Stadtrand gelegene Quadrat 5551

(15,0 Arten pro Baum; Grenzweg, Lienenkampsweg, Ohlbrocksweg) sind 2016 diejenigen mit den meisten Flechtenarten pro Trägerbaum (Abbildung 3-5).

- Das Rasterquadrat 5750 weist mit nur 8,3 Flechtenarten pro Baum den geringsten Wert auf und befindet sich im Stadtzentrum (Berliner Platz, Hauptbahnhof, Siegfriedstraße).
- Bei den Moosen (Abbildung 3-4) verteilen sich auch 2016 die Werte nur auf drei Klassen. Doch wie bei den Flechten liegen auch hier, mit Ausnahme des Rasterquadrates 5549 (im Mittel 3,6 Arten pro Baum; Hermann-Simon-Straße, Diekstraße, Danziger Straße), alle **Rasterquadrate mit moosartenreichen Trägerbäumen innerhalb des Stadtgebietes**.
- Dass in Gütersloh die Artendiversität von der Peripherie zum Stadtzentrum hin nicht abnimmt, deutete sich schon 2004 an, als ebenfalls die im Mittel artenärmsten Quadrate überwiegend außerhalb der Stadt oder an deren Rand lagen.

Zusätzlich zur Aufnahme aller Moos- und Flechtenarten auf den Bäumen wurde auch deren Frequenz in einem eng begrenzten Areal der Borkenoberfläche dieser Bäume mittels Zählrahmen bestimmt. Das erlaubt zwar nicht mehr alle auf dem Baum tatsächlich vorhandenen Arten zu erfassen, aber die Frequenzbestimmung der innerhalb der Gitterflächen vorkommenden Arten ermöglicht eine differenziertere Quantifizierung der Artvorkommen, die in einem späteren Schritt zur Bioindikation herangezogen wird. In Tabelle 3-4 sind verschiedene Kenndaten zur Artendiversität zusammengefasst:

- Im Mittel wurden mit den Frequenzgittern 81 % (62 bis 93 %) der tatsächlich auf den Bäumen nachgewiesenen Moose und Flechten erfasst. Die **Artendichte** (Sortierungskriterium in Tabelle 3-4) beträgt im Mittel 70 Arten pro Quadratmeter und variiert von 48 Arten/m<sup>2</sup> im Stadtzentrum (Rasterquadrat 5750) bis zu 106 Moosen und Flechten im Rasterquadrat 5752 nördlich des Zentrums (Siedlungsgebiet um Mohns Park und nördlich des Nordbades).
- Der **Shannon-Index H'**, der die Artenzahl und Artenverteilung in einem Wert zusammenfasst, ist eng und statistisch signifikant ( $p < 0,05$ ) korreliert mit der Anzahl der an den Bäumen insgesamt ( $r = 0,74$ ; Produkt-Moment-Korrelation) bzw. in den Gitterflächen (0,82) registrierten Moos- und Flechtenarten. Die aus dem Shannon-Index abgeleitete **Evenness J'**, die eine Aussage über die Gleichverteilung der Arten angibt (geringe Evenness bedeutet hohe Dominanz einer Art bei oftmals geringer Artenzahl) variiert zwischen 0,66 und 0,81. Das heißt, es gibt **keine Dominanzbestände**.
- Der Erfassungsgrad der Arten war 2004 vergleichbar (Tabelle 3-4, letzte Zeile). Die Artendichte war mit 58 Moosen und Flechtenarten pro Quadratmeter geringer, der höchste (niedrigste) Wert wurde mit 89 bzw. 35 Arten/m<sup>2</sup> für die Rasterquadrate 5949 (Sundern) bzw. 5649 (Kattenstroth) berechnet.

Auf den Karten in Abbildung 3-7, Abbildung 3-8 und Abbildung 3-9 ist die Variabilität der mittleren Frequenzsummen der Moose, der Flechten und beider Organismengruppen zusammen für 2004 und 2016 dargestellt. Die Kenndaten der jeweiligen Projekte sind in Tabelle 3-3 aufgeführt. Die Anzahl verschiedener Arten wird hier mit der jeweiligen Häufigkeit in den Zählgittern kombiniert. In den Karten werden die Baumstandorte nicht angezeigt, dafür aber die Werte von Rasterquadraten mit weniger als sechs Bäumen in Schraffur wiedergegeben. Die Ergebnisse zusammengefasst:

- Im Vergleich zu 2004 ist die **mittlere Frequenzsumme der Moose gesunken**. Diese Abnahme zeigt sich bei der Betrachtung jeweils aller Bäume der beiden Untersuchungen wie auch beim Vergleich der Rasterquadrate mit mindestens sechs Bäumen in einer oder beiden Erhebungen.
- Die mittlere Frequenzsumme der Flechten dagegen ist signifikant um gut die Hälfte gegenüber 2004 angestiegen ( $p < 0,001$ ). Der entsprechende Anstieg der Frequenzsumme von Moosen und Flechten zusammen beruht auf der Veränderung bei den Flechten.

- Aufgrund der geringen Streuung der Daten lassen sich für jede untersuchte Bedingung bzw. Stichprobe mindestens drei Klassen differenzieren.
- Im Gegensatz zu 2004 ist das Rasterquadrat mit der höchsten Moosfrequenz nicht mehr im Stadtzentrum (5750; Hauptbahnhof), sondern im Südwesten der Stadt (5549; Hermann-Simon-Straße, Diekstraße, Danziger Straße).
- Hinsichtlich der Flechtenfrequenz lassen sich im bebauten Stadtgebiet drei Klassen differenzieren. Die höheren Werte fallen auf Rasterquadrate im Nordosten (z. B. 6052; u.a. Nordhorner Straße) und im Südwesten (5549, Hermann-Simonstraße, Diekstraße, Danzigerstraße) und Süden der Stadt (5648 und 5747, südliches Kattenstroth, z. B. westlicher Teil des Kattenstrother Weges oder Ossietzkystraße). Die signifikant geringsten Werte weisen die Rasterquadrate 5555 (Niehorst) und 5352 (Südostende des Flughafens) auf.
- 2004 waren insbesondere die Rasterquadrate 5852 (nordöstlicher Stadtrand, nördlich Miele) und 6154 (Avenwedde) durch geringe Flechtenfrequenzen gekennzeichnet. Das Quadrat 5949 (Sundern) wies damals die höchste Flechtenfrequenz auf (46,7).

**Tabelle 3-2: Mittlere Anzahl der Moos- bzw. Flechtenarten pro Baum und Kennzahlen zur Kartendarstellung.**

Untersuchte Bedingung, Stichprobe <i>Standardabweichung der Projekte, Klassenbreiten</i>	Untersuchungsjahr	
	2004	2016
<b>Gesamtes Projekt, alle Trägerbäume, alle Rasterquadrate</b>		
Gesamtzahl der Rasterquadrate	45	44
Anzahl der Trägerbäume (Grundgesamtheit)	255	293
Moose pro Baum (MW über alle Bäume)	2,37	1,71***
Flechten pro Baum (MW über alle Bäume)	10,13	11,78***
Moose und Flechten pro Baum (MW über alle Bäume)	12,50	13,49**
<b>Rasterquadrate mit mindestens sechs Trägerbäumen 2004 oder 2016</b>		
Anzahl der Rasterquadrate	20	32
Anzahl der Trägerbäume	185	266
Moose pro Baum (MW aller 185 bzw. 266 Bäume in diesen Rasterquadrate)	2,45	1,74*
Flechten pro Baum (MW wie Zeile zuvor)	10,44	11,90**
Moose und Flechten pro Baum (MW wie Zeile zuvor)	12,90	13,64 <sup>n.s.</sup>
Moose pro Baum und Rasterquadrat (MW der Rasterquadrat-Mittelwerte)	2,3	1,6
kleinster Wert	0,8	0,3
größter Wert	4,4	3,7
$s_p$ , <i>Standardabweichung des Projektes</i>	2,016	1,681
<i>Klassenbreite</i>	1,619	1,378
Flechten pro Baum und Rasterquadrat (MW der Rasterquadrat-Mittelwerte)	10,3	11,8
kleinster Wert	7,2	8,8
größter Wert	14,3	15,3
$s_p$ , <i>Standardabweichung des Projektes</i>	3,195	3,458
<i>Klassenbreite</i>	2,566	2,836
Moose und Flechten pro Baum und Rasterquadrat (MW der Rasterquadrat-Mittelwerte)	12,6	13,4
kleinster Wert	8,0	9,8
größter Wert	16,8	18,1
$s_p$ , <i>Standardabweichung des Projektes</i>	4,280	4,166
<i>Klassenbreite</i>	3,437	3,416
<b>Rasterquadrate mit mindestens sechs Bäumen in beiden Untersuchungen 2004 und 2016</b> (Mittelwert von jeweils 17 Rasterquadrat-Mittelwerten)		
Moose pro Baum und Rasterquadrat	2,5	1,9 <sup>n.s.</sup>
Flechten pro Baum und Rasterquadrat	10,6	12,4**
Moose und Flechten pro Baum und Rasterquadrat	13,1	14,3 <sup>n.s.</sup>



**Tabelle 3-3: Mittlere Frequenz der Moos- bzw. Flechtenarten pro Baum und Kennzahlen zur Kartendarstellung.**

Untersuchte Bedingung, Stichprobe <i>Standardabweichung der Projekte, Klassenbreiten</i>	Untersuchungsjahr	
	2004	2016
<b>Gesamtes Projekt, alle Trägerbäume, alle Rasterquadrate</b>		
Gesamtzahl der Rasterquadrate	45	44
Anzahl der Trägerbäume (Grundgesamtheit)	255	293
mittlere Frequenzsumme Moose (MW über alle Bäume)	3,2	2,9 n.s.
mittlere Frequenzsumme Flechten (MW über alle Bäume)	35,7	55,8***
mittlere Frequenzsumme Moose und Flechten (MW über alle Bäume)	38,9	58,7***
<b>Rasterquadrate mit mindestens sechs Trägerbäumen 2004 oder 2016</b>		
Anzahl der Rasterquadrate	20	32
Anzahl der Trägerbäume	185	266
mittlere Frequenzsumme Moose (MW aller 185 bzw. 266 Bäume in diesen Rasterquadraten)	3,4	2,9 n.s.
mittlere Frequenzsumme Flechten (MW wie Zeile zuvor)	36,4	55,5***
mittlere Frequenzsumme Moose und Flechten (MW wie Zeile zuvor)	39,8	58,4***
Mittlere Frequenzsumme der Moose pro Baum (Mittelwert der Rasterquadrat-Mittelwerte)	3,3	2,7 n.s.
kleinster Wert	0,1	0,1
größter Wert	7,4	12,1
$s_p$ , <i>Standardabweichung des Projektes</i>	4,379	4,142
<i>Klassenbreite</i>	3,517	3,397
Mittlere Frequenzsumme der Flechten (Mittelwert der Rasterquadrat-Mittelwerte)	36,2	55,4***
kleinster Wert	28,4	34,5
größter Wert	46,7	65,6
$s_p$ , <i>Standardabweichung des Projektes</i>	11,610	12,990
<i>Klassenbreite</i>	9,323	10,652
Mittlere Frequenzsumme der Moose und Flechten (Mittelwert der Rasterquadrat-Mittelwerte)	39,5	58,1***
kleinster Wert	30,0	34,8
größter Wert	52,7	73,4
$s_p$ , <i>Standardabweichung des Projektes</i>	13,103	13,266
<i>Klassenbreite</i>	10,522	10,878
<b>Rasterquadrate mit mindestens sechs Bäumen in beiden Untersuchungen 2004 und 2016</b> (Mittelwert von jeweils 17 Rasterquadrat-Mittelwerten)		
Mittlere Frequenzsumme der Moose pro Baum	3,2	3,0 n.s.
Mittlere Frequenzsumme der Flechten pro Baum	36,2	56,8***
Mittlere Frequenzsumme der Moose und Flechten pro Baum	39,4	59,8***

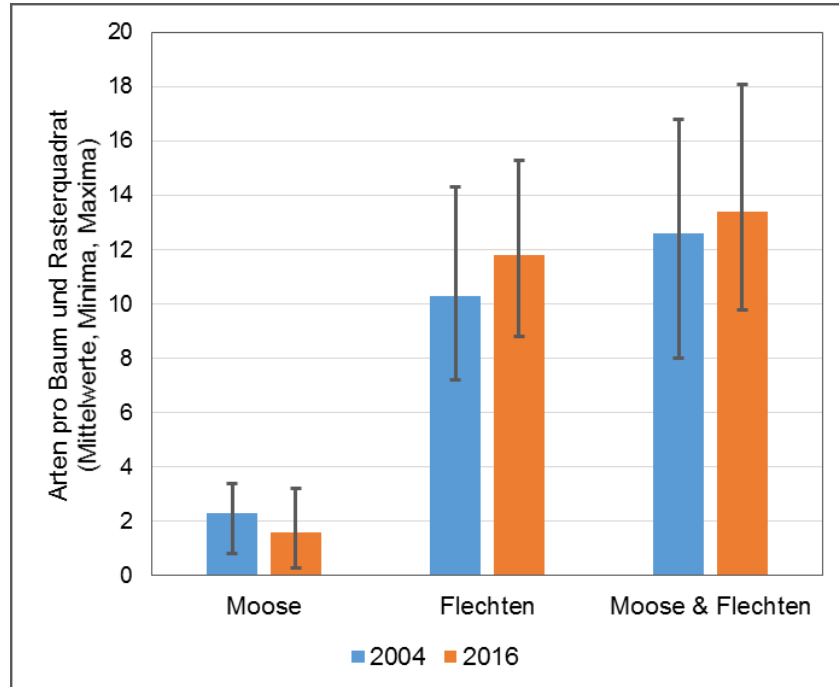
**Tabelle 3-4: Kennzahlen zur Moos- und Flechtenartendiversität 2016.**

Minima und Maxima sind rot bzw. grün hinterlegt. **Rasterquadrat**: Nummer des UTM-Rasterquadrates; **N(Baum)**: Anzahl untersuchter Bäume im Rasterquadrat; **Arten-Inventar**: Anzahl aller Moos- und Flechtenarten an den Stämmen der untersuchten Standardbäume; **Fläche (m<sup>2</sup>)**: Gesamtfläche der Frequenzgitter; **N(Arten) in Gitterfläche**: Anzahl der mittels Zählgitter erfassten Moos- und Flechtenarten; **Artendichte (N/m<sup>2</sup>)**: Sortierungskriterium; Anzahl der Moos- und Flechtenarten in der Gesamtfläche der Frequenzgitter (Bäume mit "Null" Arten im Gitter kommen nicht vor); **Anteil erfasseter Arten (%)**: Erfassungsgrad der an den Baumstämmen vorkommender Moose und Flechten mit den Zählgittern; **FSUM (1 m<sup>2</sup>)**: Frequenzsumme standardisiert auf 1 m<sup>2</sup>. **Shannon-Index H'**:  $= - \sum (p_i * \ln p_i)$  mit  $p_i$  = relativer Anteil der Art i an der jeweiligen Gesamtheit der Individuen im jeweiligen Rasterquadrat, hier die Frequenzsumme aller Arten; **Evenness J'** (Equitability, Gleichmäßigkeit). Sie ist ein relatives Maß und gibt die Verteilung der Individuen auf die einzelnen Arten an.  $J' = H' / \ln(\text{Artenzahl im Zählgitter})$ , wobei E maximal 1 erreichen kann, was dann eine völlige Gleichverteilung aller Arten bedeutet. **MW**, Mittelwert.

Rasterquadrat	N(Baum)	Arten-Inventar	Fläche (m <sup>2</sup> )	N(Arten) in Gitterfläche	Artendichte (N/m <sup>2</sup> )	Anteil erfasseter Arten (%)	FSUM (1 m <sup>2</sup> )	H'	J'
5750	12	35	0,6	29	48,3	83	997	2,44	0,72
5850	14	44	0,7	35	50,0	80	1117	2,42	0,68
5651	16	48	0,8	40	50,0	83	1270	2,56	0,69
6048	8	22	0,4	20	50,0	91	1228	2,26	0,75
5548	9	29	0,45	23	51,1	79	1196	2,28	0,73
5751	15	50	0,75	41	54,7	82	1112	2,69	0,73
5849	8	27	0,4	22	55,0	81	1153	2,32	0,75
5748	9	32	0,45	26	57,8	81	1253	2,27	0,70
5848	6	24	0,3	18	60,0	75	1293	1,97	0,68
6354	7	24	0,35	21	60,0	88	983	2,46	0,81
5653	8	32	0,4	24	60,0	75	1093	2,38	0,75
6051	7	30	0,35	23	65,7	77	1260	2,22	0,71
5650	10	39	0,5	33	66,0	85	1140	2,54	0,73
5951	6	32	0,3	20	66,7	63	1000	2,24	0,75
5649	14	57	0,7	47	67,1	82	1296	2,76	0,72
5550	7	32	0,35	24	68,6	75	1217	2,34	0,74
5753	7	28	0,35	24	68,6	86	1029	2,18	0,69
5352	6	34	0,3	21	70,0	62	777	2,02	0,66
5952	6	29	0,3	21	70,0	72	1167	2,27	0,74
5747	7	29	0,35	25	71,4	86	1326	2,30	0,71
5652	7	35	0,35	26	74,3	74	1066	2,37	0,73
5555	6	26	0,3	23	76,7	88	697	2,33	0,74
5551	7	33	0,35	28	80,0	85	1283	2,45	0,74
5648	7	34	0,35	28	80,0	82	1351	2,27	0,68
5855	6	29	0,3	25	83,3	86	1110	2,18	0,68
5950	6	35	0,3	26	86,7	74	1143	2,37	0,73
5851	8	45	0,4	35	87,5	78	1233	2,62	0,74
6454	8	41	0,4	35	87,5	85	1160	2,38	0,67
5749	9	43	0,45	40	88,9	93	1267	2,55	0,69
5852	6	33	0,3	27	90,0	82	1210	2,44	0,74
5549	7	38	0,35	32	91,4	84	1469	2,66	0,77
5752	7	41	0,35	37	105,7	90	1300	2,77	0,77
<b>MW (2016)</b>	<b>8,3</b>	<b>35</b>	<b>0,42</b>	<b>28</b>	<b>70</b>	<b>81</b>	<b>1162</b>		
<b>MW (2004)</b>	<b>9,3</b>	<b>33</b>	<b>0,46</b>	<b>25</b>	<b>58</b>	<b>78</b>	<b>791</b>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>
<b>min...max</b>	<b>6...19</b>	<b>18...45</b>	<b>0,3...0,95</b>	<b>16...39</b>	<b>35...89</b>	<b>62...89</b>	<b>640...1054</b>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>

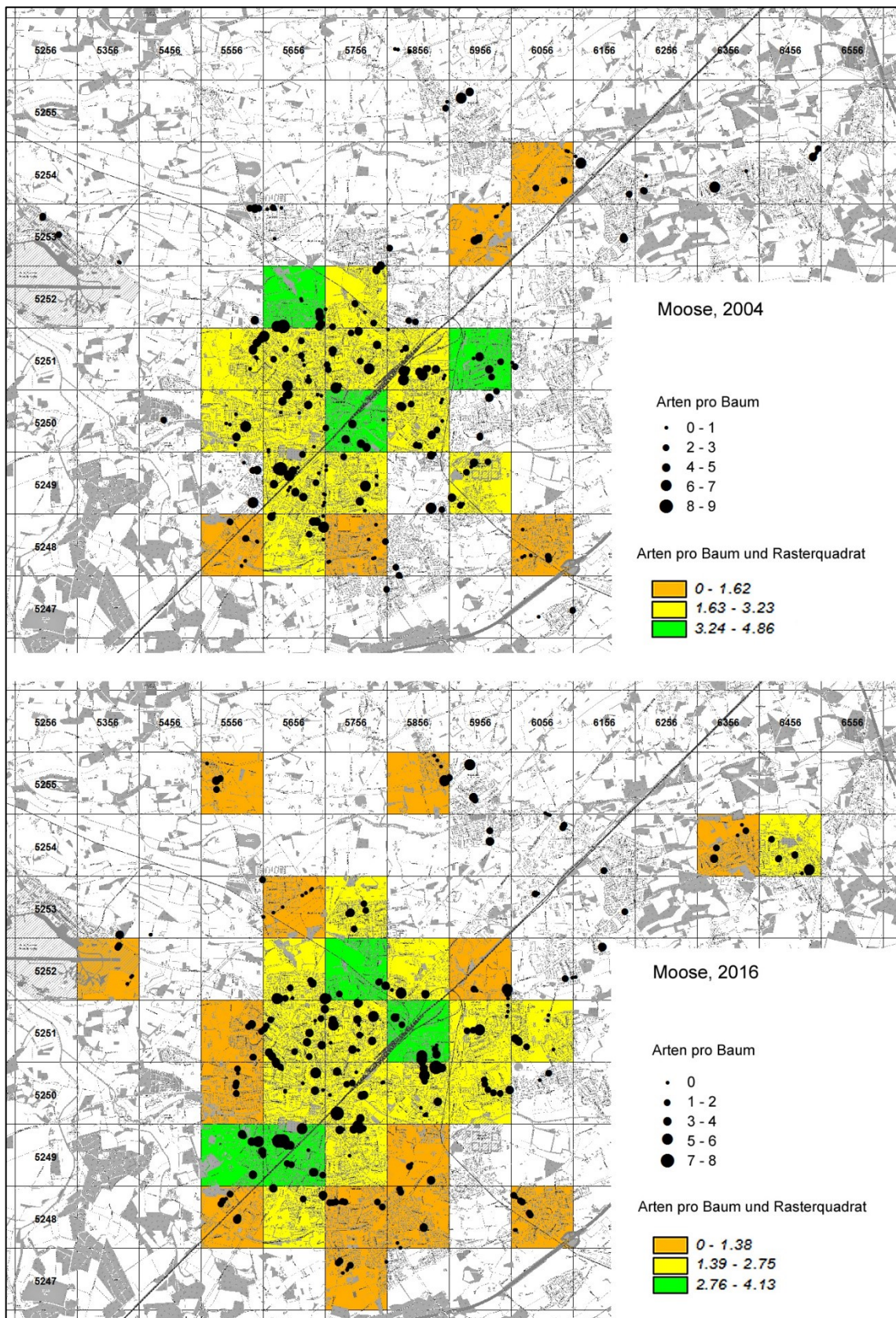
**Abbildung 3-3: Mittlere Anzahl der Moos- und Flechtenartenzahl pro Baum in Rasterquadrate mit mindestens sechs Bäumen 2004 und 2016.**

Datengrundlage: Vorkommen epiphytischer Moose an den Stämmen von Standardbäumen. Angegeben sind die Mittelwerte über alle Rasterquadrate. Die Fehlerbalken geben den jeweiligen Bereich der Werte an (Minima und Maxima).



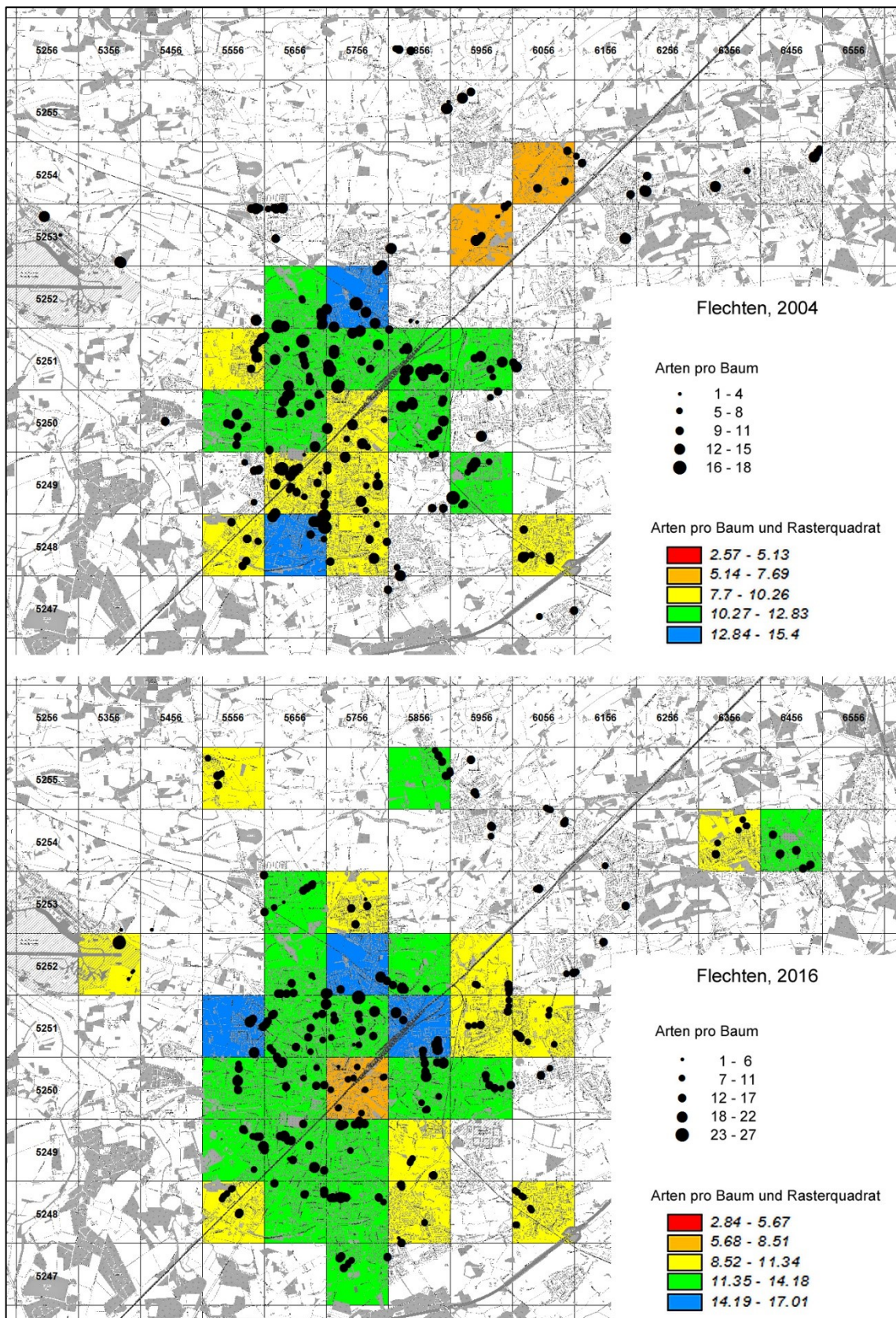
**Abbildung 3-4: Räumliche Variabilität der mittleren Anzahl der Moose pro Baum.**

Datengrundlage: Vorkommen epiphytischer Moose an den Stämmen von Standardbäumen. Rasterquadrate mit mindestens sechs Bäumen sind entsprechend der jeweiligen Klasse gefärbt.



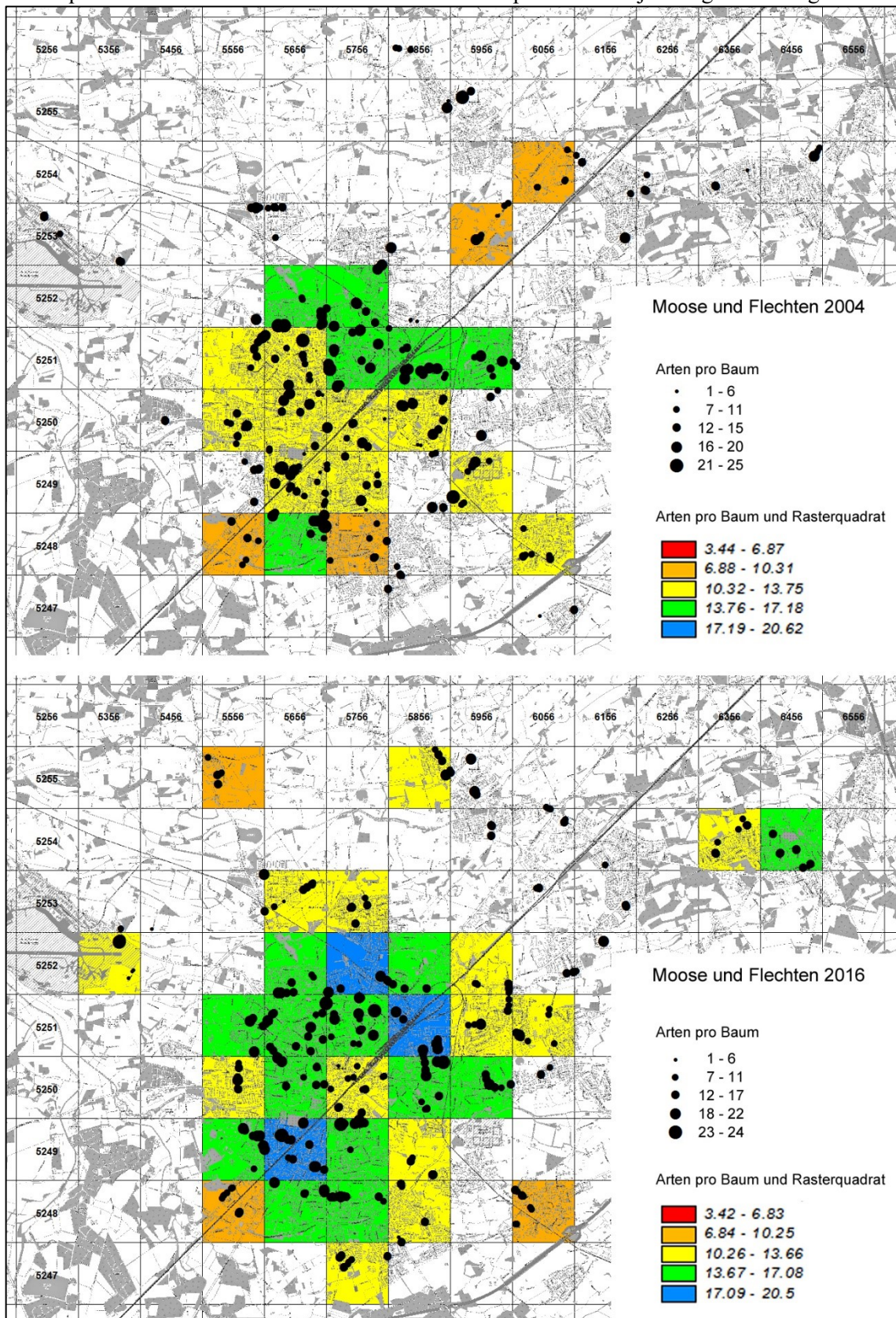
**Abbildung 3-5: Räumliche Variabilität der mittleren Anzahl der Flechten pro Baum.**

Datengrundlage: Vorkommen epiphytischer Flechten an den Stämmen von Standardbäumen. Rasterquadrate mit mindestens sechs Bäumen sind entsprechend der jeweiligen Klasse gefärbt.



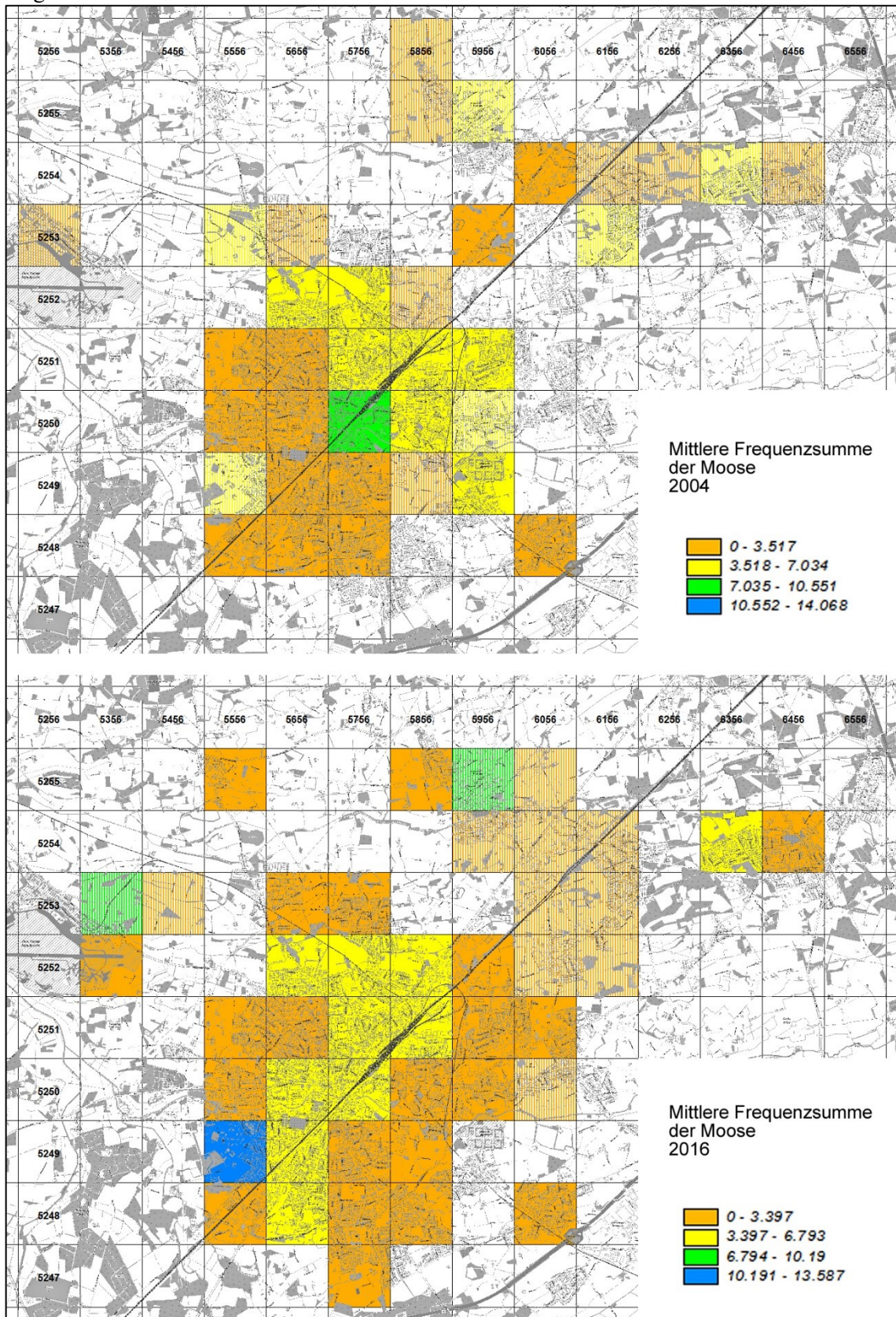
**Abbildung 3-6: Räumliche Variabilität der mittleren Anzahl der Moose und Flechten pro Baum.**

Datengrundlage: Vorkommen epiphytischer Moose und Flechten an den Stämmen von Standardbäumen. Rasterquadrate mit mindestens sechs Bäumen sind entsprechend der jeweiligen Klasse gefärbt.



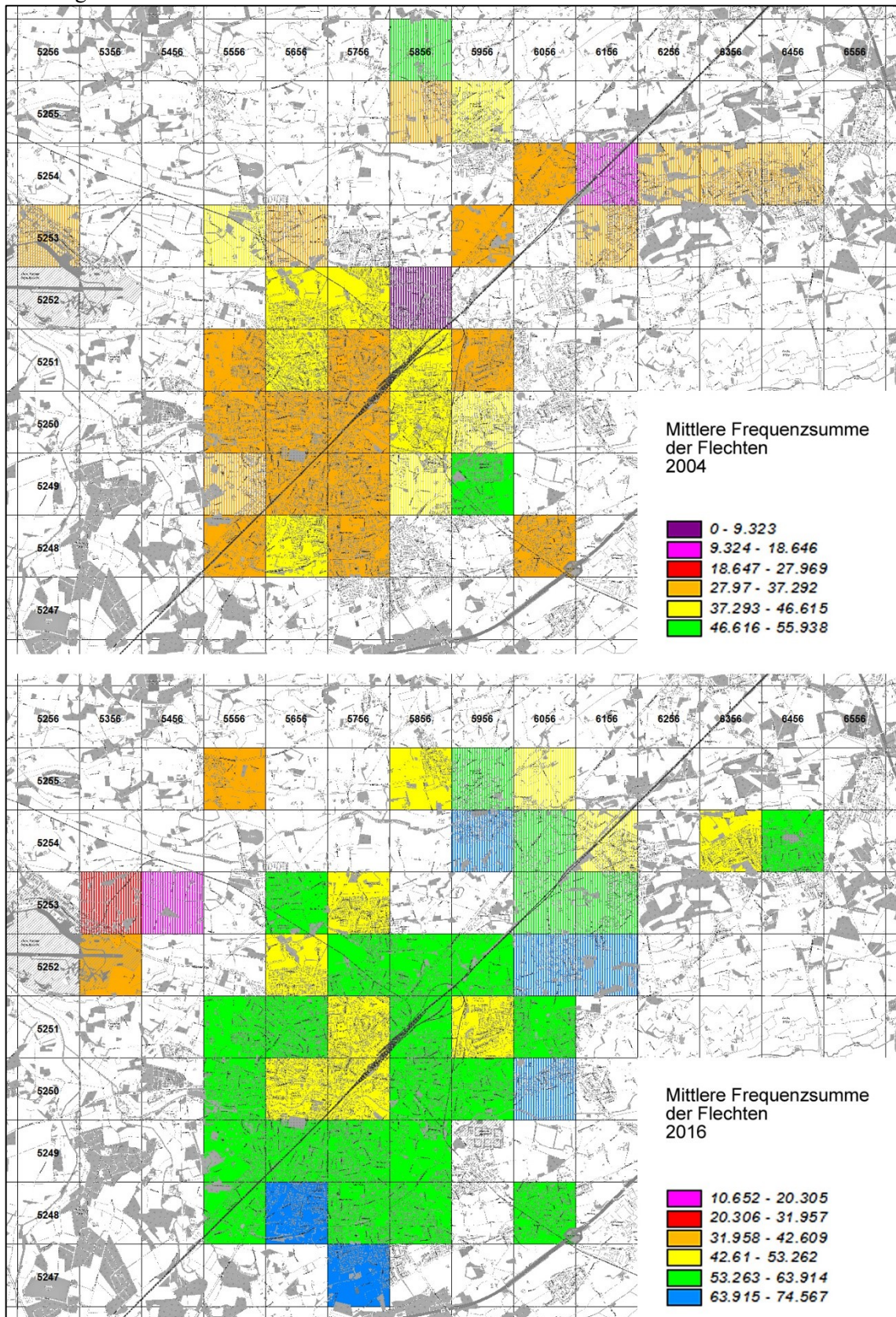
**Abbildung 3-7: Räumliche Variabilität der mittleren Frequenz der Moose.**

Datengrundlage: Moosfrequenzen an Standardbäumen. Farbige Quadrate: Mittelwerte von mindestens sechs (vollfarbig) bzw. von weniger als sechs Bäumen (schraffiert) pro Rasterquadrat. Baumstandorte nicht dargestellt.



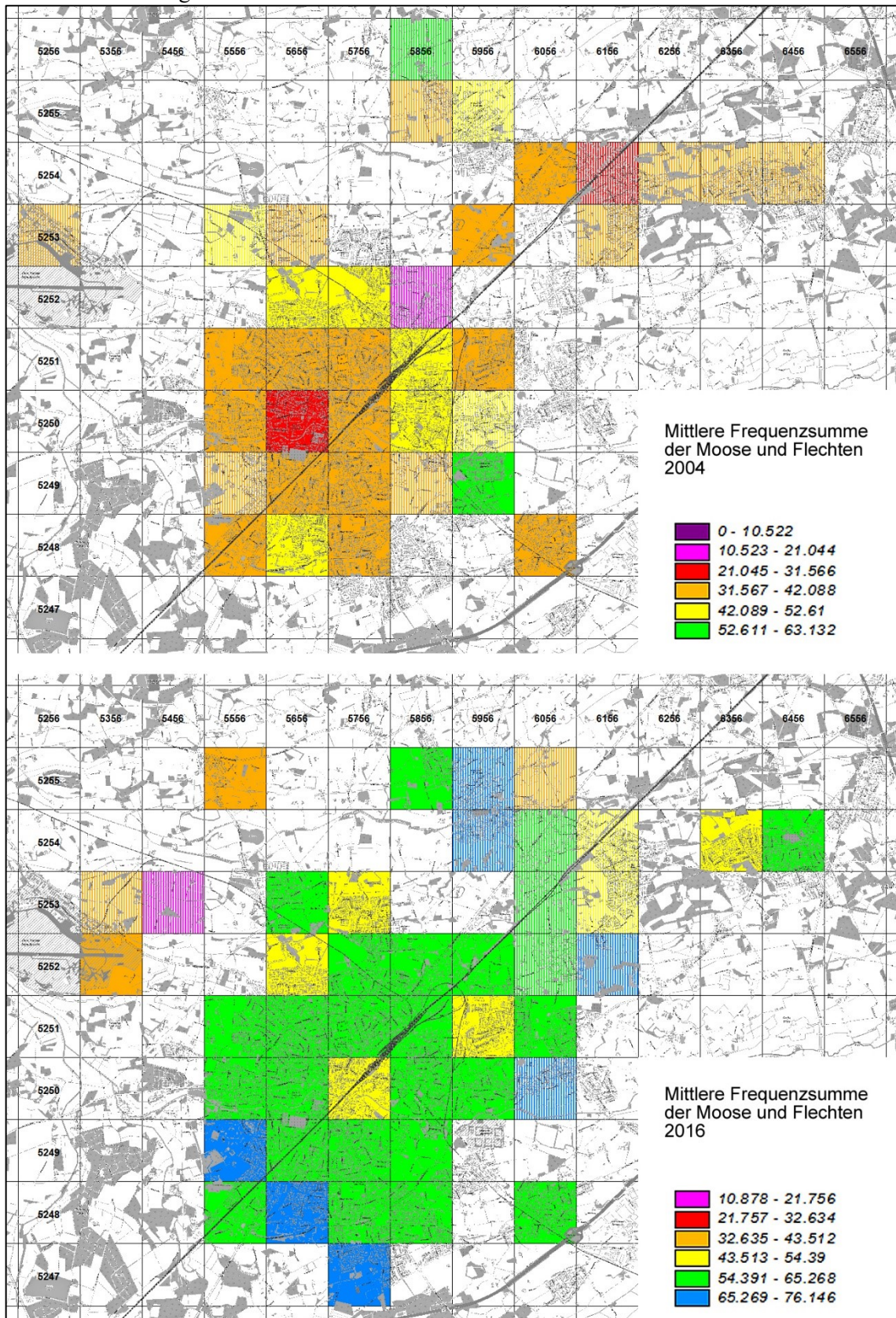
**Abbildung 3-8: Räumliche Variabilität der mittleren Frequenz der Flechten.**

Datengrundlage: Flechtenfrequenzen an Standardbäumen. Farbige Quadrate: Mittelwerte von mindestens sechs (vollfarbig) bzw. von weniger als sechs Bäumen (schraffiert) pro Rasterquadrat. Baumstandorte nicht dargestellt.





**Abbildung 3-9: Räumliche Variabilität der mittleren Frequenz der Moose und Flechten.**  
 Datengrundlage: Moos- und Flechtenfrequenzen an Standardbäumen. Farbige Quadrate: Mittelwerte von mindestens sechs (vollfarbig) bzw. von weniger als sechs Bäumen (schraffiert) pro Rasterquadrat.  
 Baumstandorte nicht dargestellt.



### 3.3. Wirkung von städtischer Überwärmung, Lufteutrophierung und Verkehrsimmissionen

Zur Bioindikation der Wirkung von städtischer Überwärmung oder von eutrophierenden oder verkehrsbedingten Immissionen ist eine alleinige Betrachtung der Häufigkeit oder der Frequenzwerte aller Flechten oder Moose nicht zielführend. Vielmehr muss man hierfür die **art-spezifische Empfindlichkeit gegenüber den jeweiligen Noxen** heranziehen und diese ggf. für ein Projekt in einer bestimmten Region zuvor ermitteln bzw. überprüfen. Die nachfolgend beschriebenen Ergebnisse beruhen überwiegend auf Beobachtungen an epiphytischen Flechten.

Aus der grafischen Darstellung der Ergebnisse einer **Temperaturfahrt** in den frühen Morgenstunden des 13. August 2001 in Gütersloh (die Daten wurden nicht selbst erhoben sondern von der Stadtverwaltung Gütersloh als PDF bereitgestellt; Autor & Urheber: Büro für Umweltmeteorologie, Paderborn) wurden durch Übernahme der den Baumstandorten nächstliegenden Temperaturmesswerte zunächst Karten der **mittleren relativen Nachttemperatur** (mRNT) an den Baumstandorten erstellt (siehe Abbildung 3-13). Selbstverständlich ist für eine fachgerechte, ggf. standardisierte Darstellung stadtklimatischer Gradienten eine anspruchsvollere Analyse der Ergebnisse mehrerer Temperaturfahrten erforderlich, die aber nicht Gegenstand der vorliegenden Studie ist. Die hier vorgenommene, einfache Auswertung dient allein dem Zweck, Erklärungen für die räumliche Variabilität der Artvorkommen und Arthäufigkeiten zu finden. Die unterschiedliche Anzahl der Bäume in den jeweiligen Temperaturklassen für 2004 und 2016 beruht auf den unterschiedlichen Baumpositionen der jeweiligen Epiphytenerhebungen. Obwohl auch die Daten weiterer Temperaturfahrten vorliegen, wurden die aus den frühen Morgenstunden vorgezogen, da Flechten und Moose als wechselfeuchte Organismen bei ausreichender nächtlicher Abkühlung von morgendlicher Taufeuchte profitieren und Nettphotosynthese betreiben können, was mit zunehmender Überwärmung unwahrscheinlicher wird.

Erste Hinweise auf Umweltwirkungen auf bestimmte Arten lassen sich aus der mittleren Anzahl der **Begleitarten** ableiten. In Erweiterung des Konzeptes von LEBLANC & DE SLOOVER (1970) wird hier die Begleitartenzahl jedoch nicht nur als Maß für die artspezifische Empfindlichkeit gegenüber Luftschadstoffen herangezogen, sondern auch als Maß für die Widerstandsfähigkeit gegenüber den Einflüssen der urbanen Umwelt insgesamt und "**Urbanotoleranzwert**", UTW, genannt (KRICKE & FEIGE 2001; KRICKE 2002; STAPPER & KRICKE 2004a). Dabei wird unterstellt, dass nur wenige Arten die sich mitunter rasch ändernden städtischen Umweltbedingungen tolerieren und folglich durch eine geringe Begleitartenzahl gekennzeichnet sind. Es handelt sich um eine projektspezifische Größe.

Anhand der Korrelation der Frequenzwerte der einzelnen Moos- und Flechtenarten mit der städtischen Überwärmung oder der subjektiv bestimmten Verkehrsbelastung oder dem Versiegelungsgrad (Kategorie "Bebauung") lassen sich Moos- und Flechtenarten differenzieren, die häufiger oder seltener werden, also eventuell profitieren oder aber verdrängt werden (Tabelle 3-5, Tabelle 3-6). Von besonderem Interesse sind dabei Arten, die von verkehrsbedingten Immissionen profitieren und als Zeigerarten in verkehrsbezogenen Luftgütekarten verwendet werden können.

In diesem und im folgenden Kapitel werden verschiedene Karten zur räumlichen Variabilität nitrophytischer Flechten in Gütersloh abgebildet. In Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung werden dabei unterschiedliche Gruppen epiphytischer Flechtenarten berücksichtigt, entweder die Nitrophyten gemäß VDI 3957 Blatt 13 (VDI 2005) oder die für den Nitrophytenindex nach VAN HERK (1999) zu wertenden Arten oder die als Verkehrszeigerarten eingestuften Nitrophyten *Phaeophyscia nigricans* und *P. orbicularis*. Die meisten dieser Kartenabbildungen beruhen auf Frequenzdaten aller oder weniger Nitrophyten, während Abbildung 3-14 und Abbildung 3-18 die räumliche Variabilität der Artenvielfalt nitrophytischer Flechten pro Baum nach VDI (2005) bzw. gemäß VAN HERK (1999) wiedergibt. Die Aussagen der jeweiligen Karten unterscheiden sich aber deutlich, da z. B. hohe Frequenzsummen auch durch nur wenige Arten erreicht werden können. In allen Fällen gilt jedoch, dass dargestellte Werte aus benachbarten Klassen (Mittelwerte der Punktdaten in Rasterquadraten) sich nicht signifikant unterscheiden.

Die in den nachfolgenden Tabellen und Abbildungen dargestellten Beobachtungen werden folgendermaßen zusammengefasst:

- Gütersloh verfügt über eine **zentrale Wärmeinsel** ("*Urban Heat Island*"). Die Temperaturdifferenz zwischen den wärmsten und den kältesten Baumstandorten beträgt maximal 5 Kelvin (Abbildung 3-13).
- Die nächtliche Überwärmung ist positiv korreliert mit der Bebauung. Auch verkehrsreiche Lagen sind der Erwartung entsprechend städtisch überwärmt ( $p < 0,05$ ; Spearmans Rangkorrelation; Tabelle 3-5).
- Üblicherweise nimmt die Vielfalt der epiphytischen Moose und Flechten mit steigender Überwärmung ab (STAPPER & KRICKE 2004b, STAPPER 2012). Abbildung 3-10 zeigt, wie die Anzahl epiphytischer Flechtenarten pro Baum in Düsseldorf mit steigender relativer Nachttemperatur statistisch signifikant sinkt, während sie in Gütersloh signifikant ansteigt. Auch die Anzahl der Moosarten (nicht dargestellt; Daten in Tabelle 3-5) und deren Frequenz nimmt mit steigender Erwärmung statistisch signifikant zu, während die Frequenz der Flechten unverändert bleibt (Tabelle 3-5).
- Im Gegensatz dazu nimmt die Anzahl der Flechtenarten mit der Verkehrsbelastung signifikant ab ( $p < 0,05$ ). *Phaeophyscia*-Arten jedoch profitieren von steigender Verkehrsbelastung, und zwar stärker als von der städtischen Überwärmung. Auch die Eutrophierungszeiger gemäß VDI 3957 Blatt 13 profitieren, während die Referenzarten gemäß VDI 3957 Blatt 13 und die Klimawandelzeiger nach VDI 3957 Blatt 20 mit weniger verschiedenen Arten vorkommen und mit insgesamt geringerer Frequenz (Tabelle 3-5).
- In Abbildung 3-11 ist der Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der Eutrophierungszeiger bzw. der *Phaeophyscia*-Arten und der Verkehrsbelastung dreidimensional dargestellt. Subjektiv gering verkehrsbelastete Standorte sind durch Seltenheit dieser Flechtenarten gekennzeichnet.
- Auch die Frequenz weniger anderer Flechtenarten ist positiv mit der Verkehrsbelastung korreliert, z. B. *Candelariella vitellina*, *Lecanora dispersa* und *Physcia adscendens* (Tabelle 3-6). Diese drei Arten werden hier dennoch nicht als "**Verkehrszeigerarten**" aufgenommen, da nur die beiden *Phaeophyscia*-Arten sich auch in allen vorangegangenen Untersuchungen als dazu geeignet erwiesen haben (FRANZEN et al. 2002; VORBECK & WINDISCH 2002; STAPPER & KRICKE 2004a, b).
- *Amandinea punctata* ist an windoffenen Standorten im offenen Umland eine der häufigeren Flechten, was ihre signifikante negative Korrelation mit städtischer Überwärmung, Verkehrsbelastung und Bebauung begründet (Tabelle 3-6).

- Keines der Moose zeigt eine signifikante Korrelation mit der Überwärmung, Verkehrsbelastung oder der Bebauung. Einzig die schwache positive Korrelation zwischen *Grimmia pulvinata* und *Tortula papillosa* und der Überwärmung fällt auf (Tabelle 3-6). Letztere ist eine der Moosarten, die seit 2004 viel häufiger geworden sind.
- Bis auf wenige Arten (*Bacidia adastrata*, *Candelaria concolor*, *Lecanora hagenii*), die sich an fast allen Standorten im städtischen Raum behaupten können, weisen alle Flechtenarten 2016 höhere Urbanotoleranzwerte (UTW) auf als 2004 (Abbildung 3-12). Dies ist Ausdruck der allgemein gestiegenen Artendiversität.
- Beim Vergleich der Urbanotoleranzwerte fällt auf, dass häufige Flechtenarten und Arten mit hohen Nährstoffzahlen (darunter sind selbstverständlich auch alle Eutrophierungszeiger) niedrige Begleitartenzahlen aufweisen (Spearmans  $R = -0,62$  bzw.  $-0,59$ ;  $p < 0,05$ ; Tabelle 3-7, Tabelle 3-8). Diese Beobachtung ist typisch für urbane Gebiete (STAPPER 2012; STAPPER & JOHN 2015; SCHMITZ et al. 2017).
- **Entgegen der Erwartung** verhält sich die positive Korrelation zwischen städtischer Überwärmung und Urbanotoleranzwert (Tabelle 3-8), da üblicherweise die Anzahl und Frequenz der Flechten mit steigender Überwärmung sinkt (STAPPER 2012; STAPPER & JOHN 2015; SCHMITZ et al. 2017). Gründe dafür könnten (1) eine zu den kühleren Gebieten hin zunehmende Störung sein und (2) dass die Wirkung der ohnehin moderat ausgeprägten Wärmeinsel durch die positive Wirkung innerstädtischer Grünflächen (Mohns Park, Grünzug entlang der Dalke von Sundern über den Stadtpark bis Meier Mercklinghaus und Siegfriedstraße) kompensiert wird.
- Im Gegensatz zum Klimawandelfolgenmonitoring in Düsseldorf (SCHMITZ et al. 2017), wo die Klimawandelindikatoren (VDI 2017) sehr unterschiedliche Urbanotoleranzwerte aufweisen, besteht in Gütersloh ein Trend hin zu hohen UTW (Tabelle 3-7). Das könnte bedeuten, dass diese Flechtenarten, die im Untersuchungsgebiet ohnehin an ihrer derzeitigen Arealgrenze auftreten, in Gütersloh nur an relativ ungestörten Lokalitäten langfristig überleben, wo die Artendiversität der Flechten dann auch generell hoch ist. Tatsächlich stehen die Bäume mit jeweils sehr vielen Klimawandelindikatoren in den Rasterquadraten 5751 (nördliches Stadtzentrum) und 5752 (nordöstliches Stadtzentrum), und damit an den wärmsten Lokalitäten (Abbildung 3-22).
- Die hier als Verkehrsbelastungszeiger identifizierten *Phaeophyscia*-Arten sind eine Teilmenge der Eutrophierungszeiger gemäß VDI 3957 Blatt 13 (VDI 2005). Der Vergleich der räumlichen Variabilität zeigt, dass die Verkehrsbelastungszeiger tendenziell innerhalb des bebauten Stadtgebietes einen hohen Anteil zur Frequenzsumme der Flechten beitragen (z. B. Rasterquadrate in der Innenstadt und in Spexard; Abbildung 3-15, Abbildung 3-16), während die Eutrophierungszeiger insgesamt eher in der Peripherie des bebauten Stadtgebietes artenreich und zudem mit hoher Frequenz auf den Trägerbäumen vorkommen (Abbildung 3-14, Abbildung 3-21). Typisch für urbane Gebiete wäre jedoch eine Abnahme der Eutrophierungszeiger mit steigender Entfernung von der Innenstadt (STAPPER & KRICKE 2004a; STAPPER 2012). Selbst wenn die *Phaeophyscia*-Arten ebenfalls von der Überwärmung profitieren (Tabelle 3-5, Tabelle 3-6), weisen sie hier auf **Verkehrsbelastungen im Zentrum** hin, während die hohe Zahl und Frequenz der Eutrophierungszeiger in den Randgebieten eher auf eine **Wirkung düngender Immissionen in der Umgebung der Stadt** hinweist.

Die räumliche Darstellung des prozentualen Anteils der *Phaeophyscia*-Arten an der Frequenzsumme der Flechten wird als eine neue Variante der **verkehrsbezogenen Luftgütekarte** eingeführt (Abbildung 3-15, Abbildung 3-16, Abbildung 3-16): Zum einen ist der Anteil dieser Flechten an der Flechtenfrequenzsumme stärker mit der Verkehrsbelastung korreliert als ihre

alleinige Frequenzsumme (Tabelle 3-5). Zum anderen wird auf diesem Weg auch die Frequenz aller anderen Flechtenarten mit einbezogen, die proportional zur Verkehrsbelastung abnimmt. Gleichzeitig wird dadurch verhindert, dass außerordentlich hoch belastete Teilgebiete fälschlich als geringer belastet dargestellt werden, weil selbst die Frequenz der *Phaeophyscia*-Arten, meist die einzig verbliebenen Flechten, ab einer maximalen Verkehrsbelastung ebenfalls abnimmt (STAPPER 2012). Ausschließlich mit *Phaeophyscia*-Arten bewachsene Bäume findet man in überwärmten großstädtischen Straßenschluchten mit Tausenden Fahrzeugen pro Tag (STAPPER & KRICKE 2004a). Im Gegensatz zur verkehrsbezogenen Datenauswertung von 2004 (FRANZEN et al. 2002; STAPPER & KRICKE 2004a, b) werden hier die Moose in der verkehrsbezogenen Luftgütekarte nicht mehr berücksichtigt, da sie in Gütersloh 2016 kein mit der Verkehrsbelastung korreliertes Verhalten zeigten.

In Gütersloh betrug der Anteil der *Phaeophyscia*-Arten 2016 zwischen 0 % (48 von 293 Bäumen) und 69 % der Flechtenfrequenzsumme. 2004 bewegten sich diese Werte zwischen 0 % (35 von 255 Bäumen) und 96 % der Flechtenfrequenzsumme. Das bedeutet aber nicht, dass die Wirkung verkehrsbedingter Immissionen 2004 höher war als 2016, da sich beispielsweise der Gesamtumfang des Artenspektrums zwischen beiden Untersuchungen deutlich unterscheidet. Ziel ist in beiden Fällen nur die Darstellung der räumlichen Variabilität. Die verkehrsbezogenen Luftgütekarten von 2004 und 2016 sind in Abbildung 3-15 zum Vergleich übereinander dargestellt. Eine hochaufgelöste Version der Karte für 2016 in Kombination mit der subjektiv bestimmten Verkehrsbelastung (Abbildung 3-17) wird elektronisch im TIF- und SHP-Format übergeben. Rasterquadrate mit mindestens sechs Trägerbäumen sind farblich markiert. Die Streuung der Daten ermöglicht in der Rasterdarstellung lediglich die Abgrenzung von zwei sich überlappenden Klassen im engeren Stadtgebiet. Fokussiert man jedoch in die Karte hinein, so lassen sich beispielsweise in der Gütersloher Innenstadt (siehe Abbildung 3-17) durchaus Wirkungen erkennen und abgrenzen:

- Je höher die subjektiv bestimmte Verkehrsbelastung (2016 in drei Stufen, 1-gering (grüne Kreise), 2-mäßig (orange Kreise) und 3-stark (rote Kreise), desto größer ist der jeweils darin liegende schwarze Kreis, der den Anteil der *Phaeophyscia*-Arten an der Flechtenfrequenz für entsprechenden Baumstandort angibt.
- Bäume auf Verkehrsinseln oder entlang der stark frequentierten Bundesstraße 61 (Nordring) sind nicht nur rot markiert sondern weisen auch hohe *Phaeophyscia*-Frequenzwerte auf. Ähnliches gilt für Bäume an der Friedrich-Ebert-Straße unweit des Hauptbahnhofs.
- Bäume entlang der Jägerstraße (Rasterquadrate 5651 und 5650) sind nahe der B61 dichter mit *Phaeophyscia*-Arten bewachsen (=hoher Anteil an der Flechtenfrequenzsumme) als im weiteren Verlauf der Straße in südöstlicher Richtung.
- Die Standorte der Bäume an der stark befahrenen Verler Straße (5850) wurden ebenfalls in die höchste Verkehrsbelastungskategorie eingestuft. Dort ist auch der *Phaeophyscia*-Anteil an der Frequenzsumme hoch. Dies gilt ebenfalls für Bäume an der nördlich davon abzweigenden Kampstraße und, in deren weiterem Verlauf nach Norden, auch für die Bäume entlang der Annenstraße. In den verkehrsrärmeren Quer- und Nebenstraßen (Dorotheenstraße, Luisenstraße) sind die *Phaeophyscia*-Arten wieder deutlich seltener.
- Sehr heterogen ist die Situation im Rasterquadrat 5750: Während die Bäume entlang der Eickhoff-, Kirch-, Neuenkirchener- und Carl-Bertelsmann-Straße an subjektiv mäßig belasteten Standorten stehen und durchaus hohe relative *Phaeophyscia*-Frequenzen aufweisen, befinden sich die Bäume entlang der Siegfried- und Parkstraße an als gering belastet eingestuften Standorten mit wenig *Phaeophyscia*. Dies gilt ebenso für die Bäume entlang

der Hochstraße und der Reckenberger Straße unmittelbar südlich davon (außerhalb des abgebildeten Kartenausschnitts). Die Bäume an der östlichen Einfahrt in die Hochstraße weisen wieder mehr *Phaeophyscia*-Anteil auf.

- Auffallend ist auch der geringe Frequenzsummenanteil der *Phaeophyscia*-Arten auf Bäumen entlang der Kronenstraße, der Georgstraße oder auch der Töllestraße (5651), die zum Teil über 20 verschiedene Moose und Flechten aufweisen, während entlang der nahe gelegenen B61 nicht nur viel *Phaeophyscia* spp., sondern auch teils weniger als zehn Arten pro Baum registriert wurden.

**Die Wirkung der verkehrsbedingten Immissionen auf die Moose und Flechten ist demnach in unmittelbarer Nähe zur Fahrbahn sehr stark und fällt innerhalb von ca. 100 m Distanz schnell auf die städtische Hintergrundbelastung ab.** Folglich ist die Punktdarstellung zur räumlich differenzierten Abbildung der verkehrsbedingten Immissionsbelastung einer Stadt dem Quadratkilometerraster vorzuziehen.

Die Verler Straße in Spexard (6048) ist ebenfalls eine Lokalität mit sehr hoher Verkehrsbelastung. Weitere Lokalitäten scheinen stark verkehrsbelastet zu sein, zumal es sich auch um offenere Standorte handelt: Brockhäger Straße an der Kreuzung mit der Schillstraße (5652), die Hülsbrockstraße (5952), die Kreuzung Haller Straße mit Niehorster Straße (5855/5955) oder auch die Neuenkirchener Straße nahe Spexarder Postweg. Die Avenwedder Straße in Friedrichsdorf wurde zwar als stark verkehrsbelastet eingestuft, doch *Phaeophyscia*-Arten sind an den dort untersuchten Bäumen nicht so häufig, möglicherweise auch infolge der etwas windoffeneren Lage oder im Vergleich zur Gütersloher Innenstadt stärkeren nächtlichen Abkühlung.

Der von VAN HERK (1999) eingeführte Nitrophytenindex NIW ("*Nitrofiele Indicatie Waarde*"), ermöglicht es, aus der Anzahl bestimmter nitrophytischer Flechten an den Stämmen von Standardbäumen auf die **lokale Ammoniakimmission** zu schließen. Die hierzu verwendeten Flechtenarten sind in Tabelle 3-1 gekennzeichnet und auch in der Legende zu Abbildung 3-18 aufgeführt. Arten mit mehr als 1 dm<sup>2</sup> Fläche werden doppelt gewertet. Pro Baum wurden zwischen 0 und 15 derart gezählter Vorkommen bestimmt, was dem NIW des Baumes entspricht. Die daraus berechneten mittleren NIW der Rasterquadrate reichen von 4,0 bis 11,3 (Abbildung 3-18). Sie überspannen somit den gesamten Bereich der für die Gebiete Brabant und Gelderse Vallei in den Niederlanden ermittelten Werte und sind höher als die Werte für Friesland (VAN HERK 1999). Für Gütersloh ergeben sich mit  $[NIW]=0,2574x+0,8199$  ( $x=NH_3$ -Konzentration in  $\mu g/m^3$ ) Ammoniak-Konzentrationen in der Luft von 12 bis 40  $\mu g NH_3/m^3$ , **im eigentlichen Stadtgebiet 30 und 40  $\mu g NH_3/m^3$** . Die niedrigsten Werte wurden für Niehorst und ein Rasterquadrat am Flughafen ermittelt, während die Rasterquadrate mit den höchsten mittleren NIW im Westen, Südwesten und Nordosten der Stadt liegen sowie in Spexard. Seit 2004 ist der mittlere NIW über alle in beiden Untersuchungen mit jeweils mindestens sechs Bäumen untersuchten Rasterquadrate sogar geringfügig von 9,0 auf 9,3 angestiegen (siehe Tabelle 3-9 im folgenden Kapitel).

Auf die Eutrophierungsbelastung und den Nitrophytenindex im Vergleich zu anderen Studien und die Stickstoffhintergrundbelastung wird im folgenden Kapitel eingegangen.

**Tabelle 3-5: Einfluss der Nachttemperatur, der subjektiv bestimmten Verkehrsbelastung und der Bebauungsdichte auf die Diversität epiphytischer Moos- und Flechtenartengruppen.**

mRNT=mittlere relative Nachttemperatur auf Grundlage der Temperaturmessfahrt am 13. August 2001, 3:45 bis 5:30 Uhr, Basiswert: 14,3 Grad C (die Daten wurden nicht selbst erhoben, sondern von der Stadtverwaltung Gütersloh als PDF bereitgestellt; Autor & Urheber: Büro für Umweltmeteorologie, Paderborn).

Spearman's Rangkorrelation. Daten: mRNT-Werte und die in drei Klassen erhobene Verkehrsbelastung bzw. Bebauungsdichte (siehe Kapitel 2.1) an den Baumstandorten sowie die Epiphytendaten, also Vorkommen epiphytischer Moose und Flechten an den Stämmen von Standardbäumen oder deren Frequenz in Zählrahmen. Durch rote Farbe und kursiven Fettdruck markierte Korrelationen sind statistisch signifikant ab  $p < 0,05$ .

Variable	mRNT (K)	Verkehr	Bebauung
Relative Nachttemperatur am Baumstandort	1,00	<b>0,24</b>	<b>0,33</b>
Verkehrsbelastung, subjektiv in drei Kategorien	<b>0,24</b>	1,00	0,10
Bebauungsdichte, subjektiv in drei Kategorien	<b>0,33</b>	0,10	1,00
Anzahl der Moos- und Flechtenarten	<b>0,24</b>	<b>-0,20</b>	0,00
Anzahl der Flechtenarten	<b>0,19</b>	<b>-0,20</b>	-0,03
Anzahl der Moosarten	<b>0,24</b>	-0,09	<b>0,16</b>
Frequenzsumme der Moose und Flechten	0,04	-0,10	0,03
Frequenzsumme der Flechten	0,02	-0,07	0,01
Frequenzsumme der Moose	<b>0,16</b>	-0,11	<b>0,15</b>
Anzahl der Klimawandelindikatoren	<b>0,14</b>	<b>-0,13</b>	0,01
Frequenzsumme der Klimawandelindikatoren	0,01	<b>-0,17</b>	0,01
Anzahl der Klimawandelzeiger nach NL-SL	<b>0,15</b>	<b>-0,14</b>	-0,03
Frequenzsumme der Klimawandelzeiger nach NL-SL	-0,02	<b>-0,15</b>	-0,04
Frequenzsumme von <i>Phaeophyscia</i> -Arten	<b>0,23</b>	<b>0,32</b>	<b>0,22</b>
Anteil der <i>Phaeophyscia</i> -Arten an der Frequenzsumme der Flechten	<b>0,26</b>	<b>0,35</b>	<b>0,22</b>
Anzahl der Eutrophierungszeiger gemäß VDI (2005)	<b>0,18</b>	0,07	0,02
Frequenz der Eutrophierungszeiger (VDI 2005)	0,08	<b>0,22</b>	0,09
Anzahl der Referenzarten gemäß VDI (2005)	<b>0,14</b>	<b>-0,24</b>	-0,02
Frequenz der Referenzarten gemäß VDI (2005)	-0,06	<b>-0,32</b>	-0,08

**Tabelle 3-6: Einfluss der Temperatur, der subjektiv bestimmten Verkehrsbelastung und der Bebauungsdichte auf die Frequenz ausgewählter epiphytischer Moose und Flechten.**

Spearman's Rangkorrelation. Durch rote Farbe und kursiven Fettdruck markierte Korrelationen sind statistisch signifikant ab  $p < 0,05$ . mRNT. Weitere Informationen siehe Legende zu Tabelle 3-5. Zum Vergleich ist die Häufigkeit jeder Art als Anzahl der davon besiedelten Bäume angegeben, Moose sind grün hinterlegt.

Häufigkeit der Moos oder Flechtenart (Anzahl der Bäume)	Variable, Flechtenart ( <b>Frequenz</b> )	mRNT (K)	Verkehr	Bebauung
	mRNT (K)	1,00	<b>0,25</b>	<b>0,33</b>
	Verkehr	<b>0,25</b>	1,00	0,10
	Bebauung	<b>0,33</b>	0,10	1,00
41	<i>Dicranoweisia cirrata</i>	-0,04	-0,02	0,13
46	<i>Grimmia pulvinata</i>	0,14	-0,06	0,26
86	<i>Hypnum cupressiforme</i>	0,02	-0,13	0,03
152	<i>Orthotrichum affine</i>	-0,09	-0,10	-0,11
63	<i>Orthotrichum diaphanum</i>	-0,02	-0,03	-0,01
35	<i>Tortula papillosa</i>	0,16	-0,06	0,01
213	<i>Amandinea punctata</i>	<b>-0,22</b>	<b>-0,14</b>	<b>-0,28</b>
251	<i>Candelaria concolor</i>	-0,09	0,00	<b>0,12</b>
265	<i>Candelariella reflexa</i>	0,08	-0,07	0,03
3	<i>Candelariella viae-lacteeae</i>	0,87	0,87	
12	<i>Candelariella vitellina</i>	-0,13	<b>0,68</b>	-0,15
75	<i>Candelariella xanthostigma</i>	0,03	0,22	0,21
81	<i>Evernia prunastri</i>	-0,16	-0,06	-0,07
31	<i>Flavoparmelia caperata</i>	-0,03	-0,06	0,11
14	<i>Flavoparmelia soledians</i>	-0,12	-0,21	0,14
38	<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	<b>-0,55</b>	0,10	0,02
53	<i>Hypogymnia physodes</i>	0,06	0,01	0,26
23	<i>Hypogymnia tubulosa</i>	0,31	-0,07	0,16
11	<i>Hypotrachyna afrorevoluta</i>	-0,46	<b>-0,84</b>	
11	<i>Lecanora carpinea</i>	-0,36	0,42	
24	<i>Lecanora chlarotera</i>	-0,13	-0,29	0,17
8	<i>Lecanora compallens</i>	0,12	-0,26	
34	<i>Lecanora dispersa</i>	-0,25	<b>0,38</b>	-0,26
34	<i>Lecanora expallens</i>	-0,17	-0,17	0,14
15	<i>Lecanora hagenii</i>	0,35	0,27	
28	<i>Lecidella elaeochroma</i>	0,04	0,11	
83	<i>Lepraria incana</i>	-0,10	<b>-0,29</b>	-0,01
93	<i>Melanelixia subaurifera</i>	-0,06	-0,08	-0,13
17	<i>Melanohalea elegantula</i>	0,19	-0,03	0,30
30	<i>Melanohalea exasperatula</i>	-0,10	-0,10	-0,12
180	<i>Parmelia sulcata</i>	-0,06	-0,09	-0,11
19	<i>Parmotrema perlatum</i>	-0,32	-0,23	0,10
59	<i>Phaeophyscia nigricans</i>	0,15	<b>0,32</b>	0,17
248	<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	<b>0,20</b>	<b>0,29</b>	<b>0,20</b>
213	<i>Physcia adscendens</i>	0,07	<b>0,18</b>	-0,07
141	<i>Physcia caesia</i>	-0,01	-0,03	0,03
25	<i>Physcia dubia</i>	0,09	0,08	-0,03
283	<i>Physcia tenella</i>	-0,09	<b>-0,17</b>	-0,03
41	<i>Physconia grisea</i>	0,07	0,03	0,16
22	<i>Punctelia borrieri</i>	0,01	-0,41	-0,19
79	<i>Punctelia jeckeri</i>	-0,07	0,02	0,04
133	<i>Punctelia subrudecta</i>	-0,11	-0,07	-0,08
27	<i>Ramalina farinacea</i>	-0,02	0,04	-0,05
16	<i>Strangospora pinicola</i>	0,10	0,12	0,43
58	<i>Xanthoria candelaria</i>	0,02	-0,05	0,13
265	<i>Xanthoria parietina</i>	<b>-0,20</b>	0,07	-0,04
85	<i>Xanthoria polycarpa</i>	<b>-0,24</b>	0,11	-0,18
17	<i>Xanthoria ucrainica</i>	-0,23	0,05	-0,21



**Tabelle 3-7: Begleitartenzahl der Flechtenarten 2016, ihre Indikatoreigenschaften und die mittlere relative Nachttemperatur an den Baumstandorten mit Vorkommen der jeweiligen Art.**

Legende siehe folgende Seite

Artname	R-Zahl	N-Zahl	Nitro VDI	Klima-wand-zeiger	BIOM-Zone NL-SL	Häufig-keit	mRNT	UTW	
						(Bäume)	(K)	MW	SF
<i>Lecanora hagenii</i>	8	7	N			15	-0,40	10,6	0,9
<i>Xanthoria parietina</i>	7	8	N			265	-0,78	11,0	0,2
<i>Physcia tenella</i>	6	8	N			283	-0,77	11,0	0,2
<b>Phaeophyscia orbicularis</b>	7	9	N			248	-0,72	11,0	0,2
<i>Lecanora carpinea</i>	5	4				11	-1,27	11,1	1,0
<i>Candelaria concolor</i>	6	7				251	-0,75	11,2	0,2
<i>Physcia adscendens</i>	7	8	N			213	-0,67	11,2	0,2
<i>Lecidella elaeochroma</i>	6	5				28	-1,02	11,3	0,5
<i>Candelariella reflexa</i>	5	7				265	-0,75	11,3	0,2
<b>Phaeophyscia nigricans</b>	8	9	N			59	-0,39	11,3	0,4
<i>Amandinea punctata</i>	5	7				213	-0,87	11,4	0,3
<i>Bacidia adastrata</i>						5	-0,40	11,4	2,2
<i>Xanthoria polycarpa</i>	7	8	N			85	-1,02	11,5	0,4
<i>Lecanora dispersa</i>	8	8	N			34	-0,79	11,7	0,5
<b>Hyperphyscia adglutinata</b>	7	7			gme	38	-0,71	11,8	0,6
<i>Lecanora chlorotera</i>	6	5				24	-0,94	12,0	0,6
<i>Parmelia sulcata</i>	5	7				180	-0,72	12,0	0,2
<b>Physcia caesia</b>	8	9	N			141	-0,72	12,1	0,3
<i>Pleurosticta acetabulum</i>	7	5			gme	3	-1,00	12,3	0,7
<i>Lepraria incana</i>	3	5				83	-0,75	12,3	0,5
<i>Candelariella xanthostigma</i>	5	5				75	-0,71	12,3	0,4
<i>Physcia dubia</i>	7	8	N			25	-0,72	12,4	0,6
<i>Punctelia subrudecta</i>	4	5		W	gme	133	-0,75	12,6	0,3
<i>Melanelixia subaurifera</i>	6	5				93	-0,76	12,9	0,3
<i>Melanelixia glabrata</i>	3	4				7	-0,71	13,0	1,2
<b>Physconia grisea</b>	6	8	N		gme	41	-0,57	13,0	0,6
<i>Xanthoria candelaria</i>	6	8	N			58	-0,78	13,1	0,5
<i>Xanthoria ucrainica</i>	6	8	N			17	-0,76	13,2	0,8
<i>Strangospora pinicola</i>	3	5				16	-0,81	13,3	1,1
<i>Melanohalea exasperatula</i>	5	6				30	-0,77	13,3	0,5
<i>Evermia prunastri</i>	3	4				81	-0,73	13,3	0,3
<i>Physcia aipolia</i>	7	5				4	-0,63	13,3	0,6
<i>Punctelia jeckeri</i>	4	6		W		79	-0,58	13,4	0,4
<i>Candelariella vitellina</i>	5	8				12	-0,42	13,4	1,2
<i>Phlyctis argena</i>	4	5				4	-1,63	13,5	1,2
<i>Parmotrema perlatum</i>	5	4		W	gme	19	-0,74	13,6	1,0
<i>Lecanora compallens</i>						8	-0,63	13,6	1,7
<i>Ramalina farinacea</i>	5	4				27	-0,70	13,7	0,8
<i>Flavoparmelia caperata</i>	5	4		W	gme	31	-0,58	13,7	0,7
<i>Lecanora expallens</i>	4	5				34	-0,68	13,9	0,7
<i>Parmelina tiliacea</i>	5	6				9	-1,00	14,0	1,2
<i>Candelaria pacifica</i>						9	-1,00	14,0	1,7
<b>Punctelia borrieri</b>	5	6		W	ssg	22	-0,61	14,0	0,6
<i>Hypogymnia physodes</i>	3	3				53	-0,73	14,2	0,5
<i>Lepraria lobifcans</i>	6	3				3	-0,50	14,3	0,9
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	5	4				23	-0,39	14,3	0,7
<i>Cladonia spp.</i>	3	3				8	-1,19	14,9	1,7
<i>Flavoparmelia soledians</i>	6	5		W	ssg	14	-0,64	15,1	1,2
<i>Hypotrachyna afrorevoluta</i>	4	4		W	ssg	11	-0,45	15,1	0,8
<i>Hypotrachyna revoluta</i>	5	4		W	gme	3	-0,33	15,3	1,3
<i>Cladonia fimbriata</i>	4	3				7	-0,14	15,3	0,9
<i>Candelariella viae-lacteeae</i>	7	7				3	-0,17	15,7	2,3
<i>Melanohalea elegantula</i>	4	5		W		17	-0,56	15,9	0,8
<i>Lecanora barkmaniana</i>					ssg	3	-0,33	18,3	2,8

**Legende zu Tabelle 3-7:** R-Zahl, N-Zahl, Reaktionszahl und Nährstoffzahl nach Wirth (2010); Nitro VDI, Eutrophierungszeiger gemäß VDI 3957 Blatt 13; Klimawandelzeiger gemäß VDI 3957 Blatt 20; Biom-Zone, Verbreitungsgebiet in Europa gemäß niederländischer Standardliste der Flechten (BLWG 2011), gekennzeichnet sind warmgemäßigte Arten („gme“) und südliche Arten (ssg, „submediterransubatlantisch-gemäßigt“); Häufigkeit, Anzahl der Bäume mit Vorkommen der jeweiligen Art; mRNT (K), Mittlere relative Nachttemperatur auf Grundlage der Temperaturmessfahrt am 13. August 2001, 3:45 bis 5:30 Uhr, Basiswert: 14,3 Grad C. (Daten nicht selbst erhoben); UTW, Anzahl der Begleitarten, Mittelwerte (Sortierungskriterium); SF, Standardfehler der Mittelwerte.

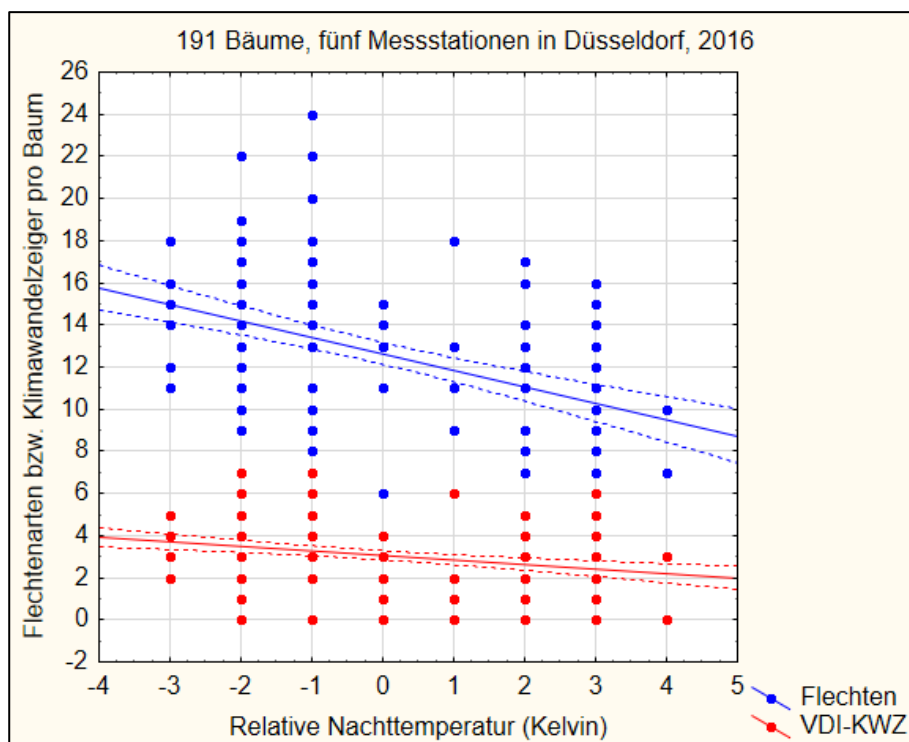
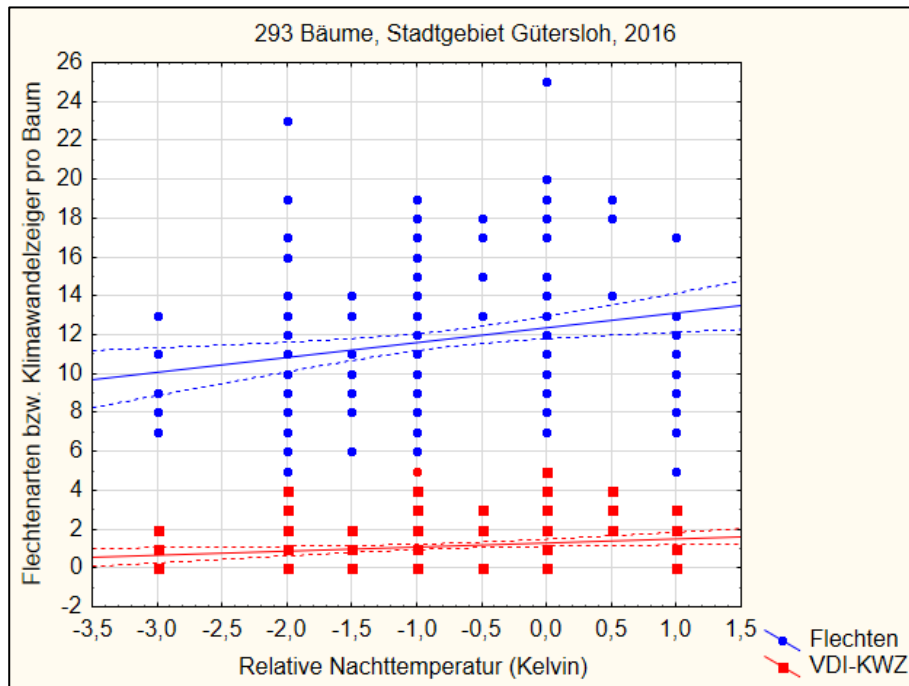
**Tabelle 3-8: Zusammenhang zwischen der Überwärmung der Baumstandorte und der Häufigkeit von Flechten und ihren Begleitarten.**

Zur Bezeichnung der Variablen siehe Tabelle 3-7. Spearmans Rangkorrelation. Durch rote Farbe und kursiven Fettdruck markierte Korrelationen sind statistisch signifikant ab  $p < 0,05$ .

Variable	R-Zahl	N-Zahl	Häufigkeit (Bäume)	mRNT (K)	UTW
R-Zahl	1,00	<b><i>0,66</i></b>	0,16	0,04	<b><i>-0,50</i></b>
N-Zahl	<b><i>0,66</i></b>	1,00	<b><i>0,51</i></b>	-0,09	<b><i>-0,59</i></b>
Häufigkeit (Bäume)	0,16	<b><i>0,51</i></b>	1,00	-0,26	<b><i>-0,62</i></b>
mRNT (K)	0,04	-0,09	-0,26	1,00	<b><i>0,39</i></b>
UTW	<b><i>-0,50</i></b>	<b><i>-0,59</i></b>	<b><i>-0,62</i></b>	<b><i>0,39</i></b>	1,00

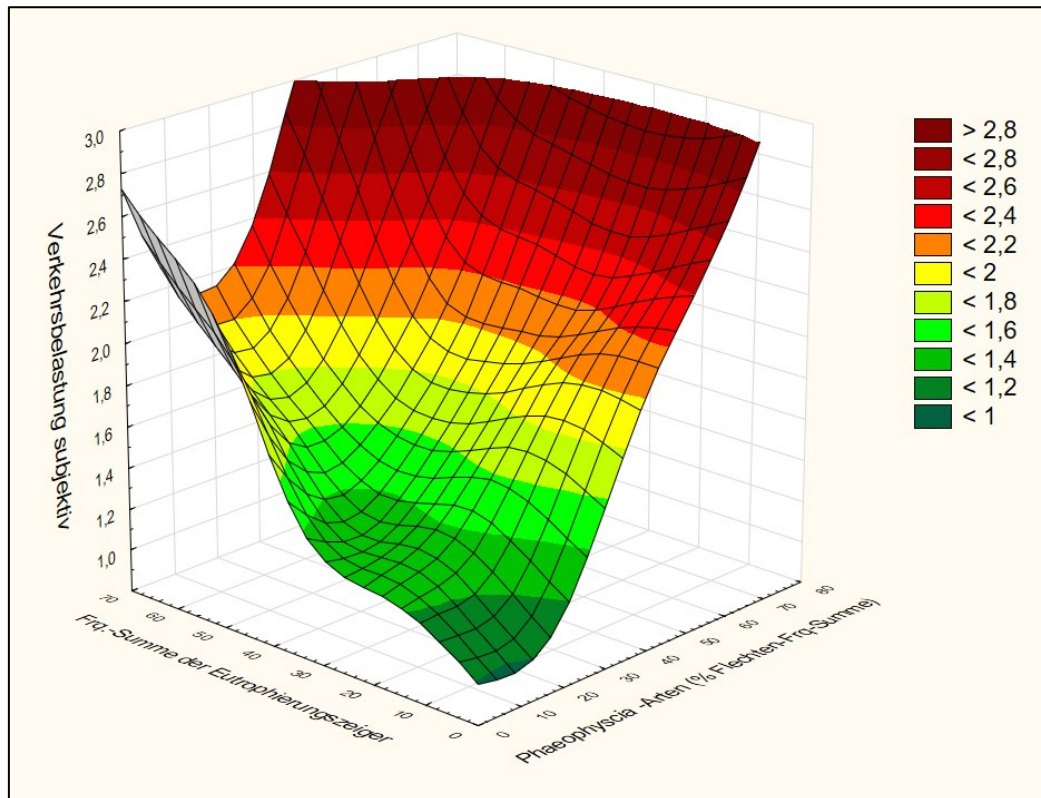
**Abbildung 3-10: Zusammenhang zwischen der Anzahl epiphytischer Flechtenarten bzw. Klimawandelzeiger pro Baum und der relativen Nachttemperatur an den Baumstandorten in Gütersloh und Düsseldorf.**

VDI-KWZ=Klimawandelzeiger gemäß VDI-Richtlinie 3957 Blatt 20 (VDI 2017). Datengrundlage: Flechtenvorkommen an 293 Bäumen in Gütersloh bzw. an 191 Bäumen an fünf Messstationen zu je 4 km<sup>2</sup> Fläche im Herbst 2016. Relative Temperatur auf Grundlage einer Messfahrt durch Gütersloh (siehe Legende zu [Tabelle 3-5](#)) bzw. aus STADT DÜSSELDORF (1995, 2012). Die gestrichelten Linien geben den 5%-Konfidenzbereich an. **Die jeweiligen Bezugstemperaturen sind nicht identisch!** Spearmans Rangkorrelation für Flechten vs. RNT:  $R_s = +0,19$  (Gütersloh) bzw.  $-0,42$  (Düsseldorf) und für VDI-KWZ vs. RNT:  $R_s = +0,14$  bzw.  $-0,28$ ; alle Korrelationen statistisch signifikant  $p < 0,05$ .



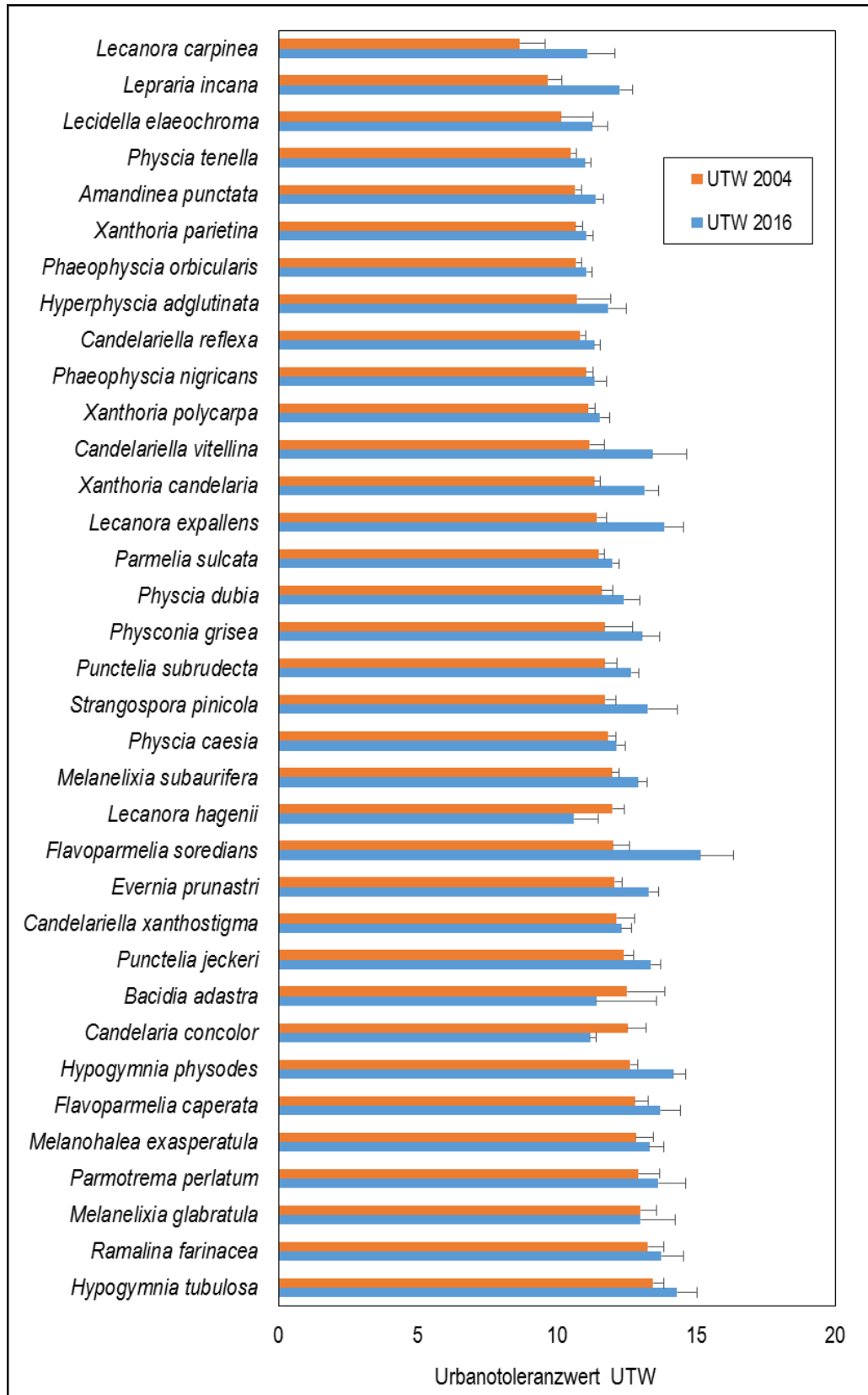
**Abbildung 3-11: Zusammenhang zwischen der subjektiv bestimmten Verkehrsbelastung und der Häufigkeit von Eutrophierungszeigern und der relativen Häufigkeit von *Phaeophyscia*-Arten.**

Datengrundlage: Flechtenfrequenzen, Erhebung an 293 Standard-Trägerbäumen in Gütersloh 2016. Eutrophierungszeiger gemäß VDI 3957 Blatt 13. Die *Phaeophyscia*-Arten sind *P. nigricans* und *P. orbicularis*, angegeben ist ihr Anteil an der Summe der Flechtenfrequenz (Frq.-Summe) eines Trägerbaumes. Die Verkehrsbelastung wurde subjektiv in drei Kategorien bestimmt.



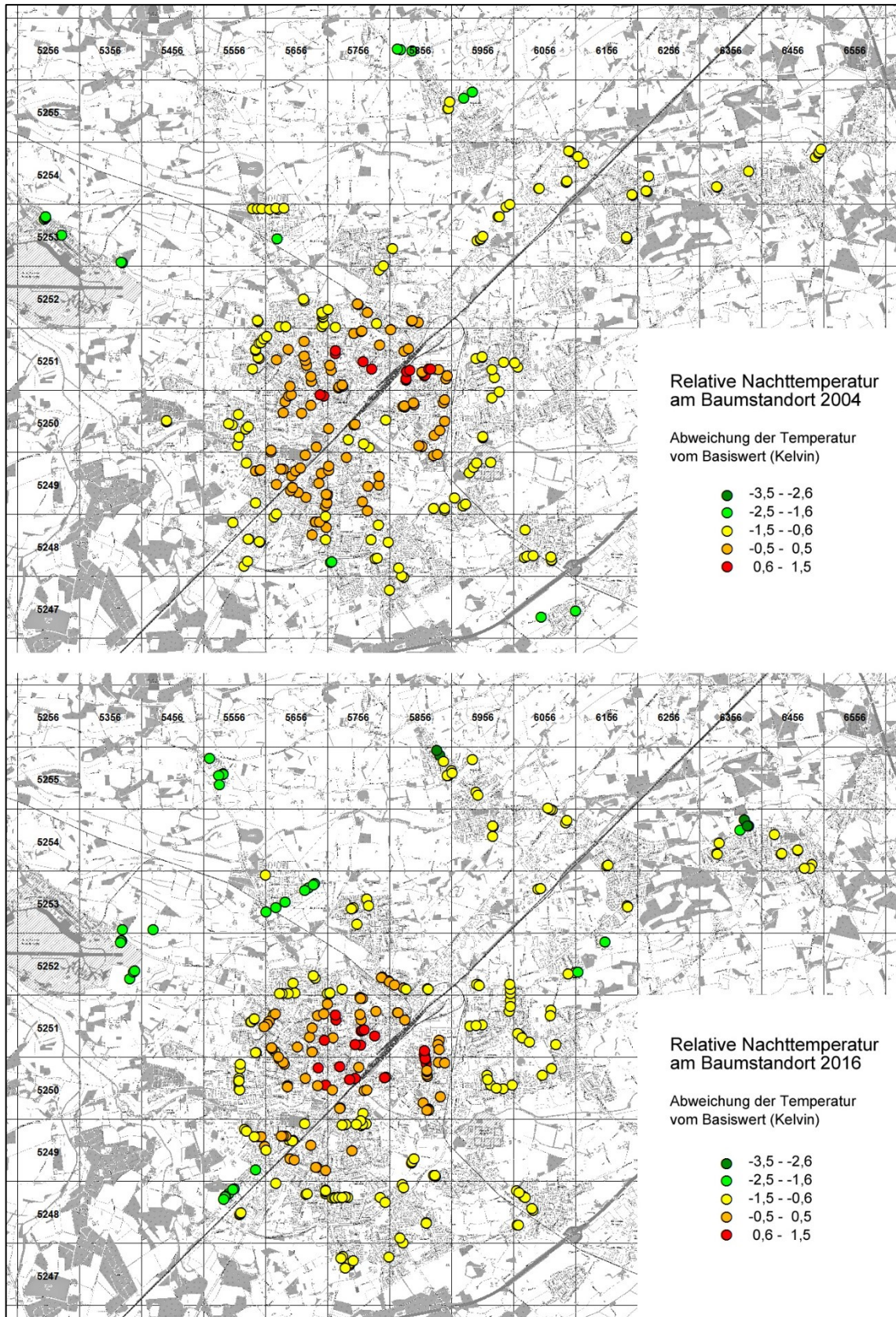
**Abbildung 3-12: Veränderung der mittleren Begleitartenzahl der Flechten seit 2004.**

Datengrundlage: Vorkommen von Flechtenarten an mindestens drei Bäumen in der jeweiligen Untersuchung. Mittelwerte mit Standardfehler des Mittelwertes.



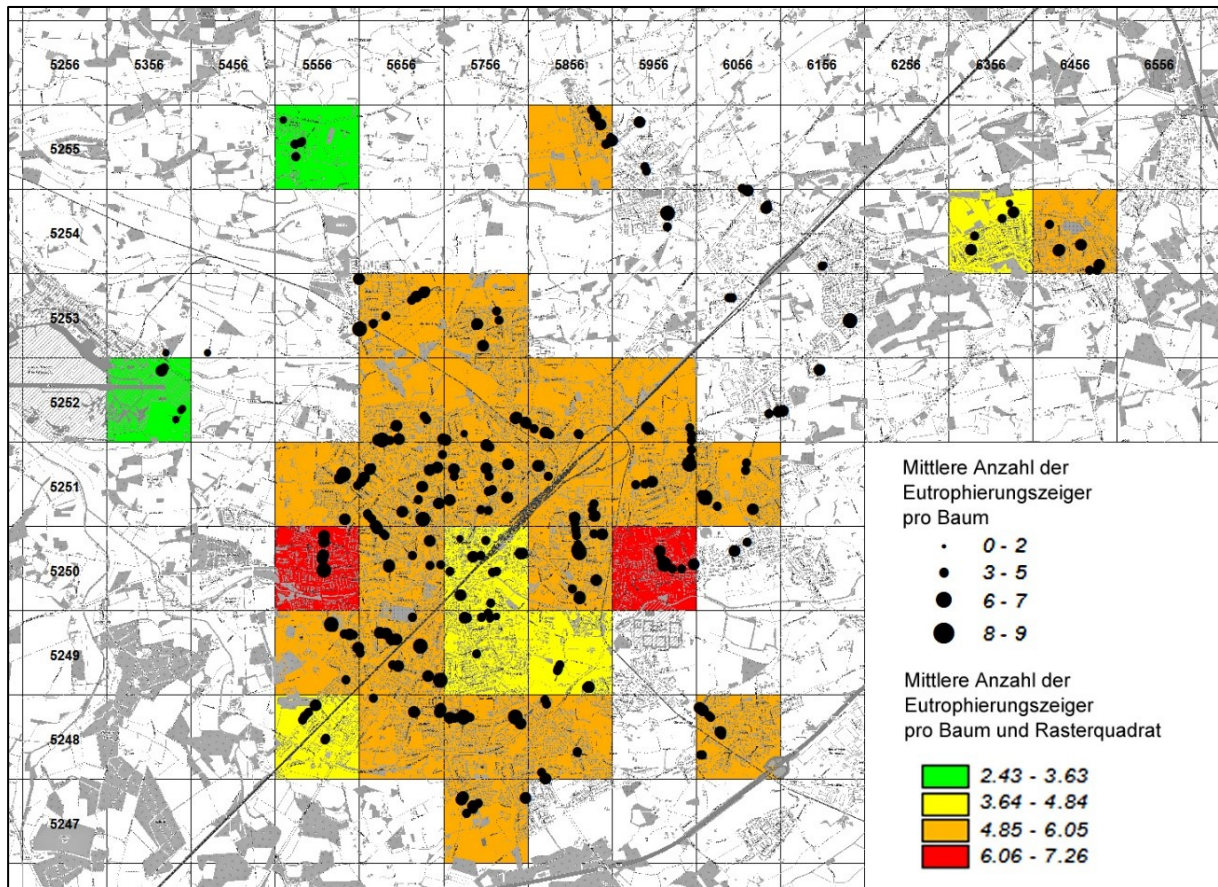
**Abbildung 3-13: Relative Nachttemperatur an den Baumstandorten 2004 und 2016.**

Die relative Temperatur an den Baumstandorten beruht auf den Ergebnissen einer Temperaturmessfahrt vom 13.08 2001, 3:45 bis 5:30 Uhr, Basiswert: 14,3 Grad C (siehe auch Legende zu Tabelle 3-5).



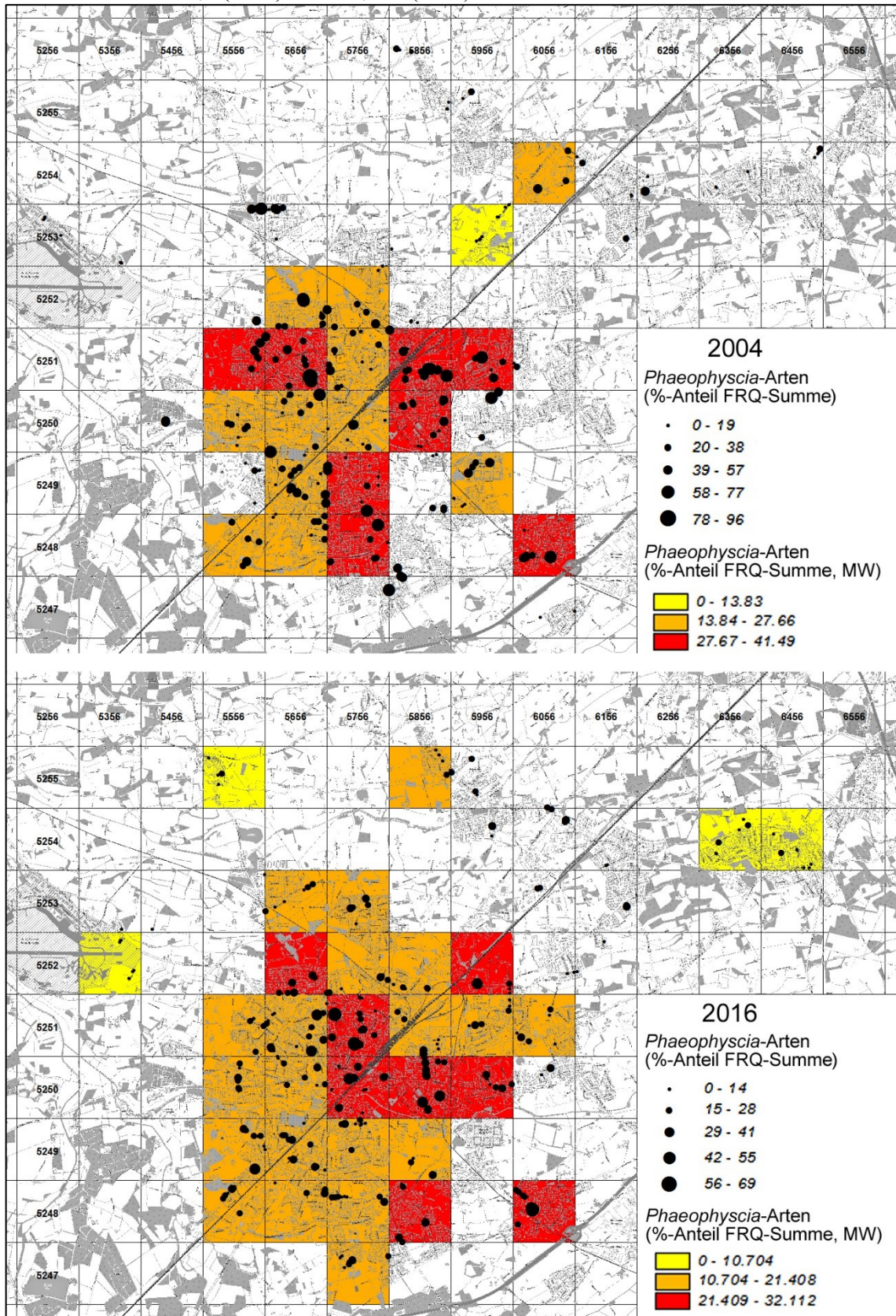
**Abbildung 3-14: Räumliche Variabilität der Artendiversität von Eutrophierungszeigern gemäß VDI 3957 Blatt 13 in Gütersloh 2016.**

Datengrundlage: Vorkommen epiphytischer Flechtenarten an den Stämmen von Standardbäumen. Mittelwerte ab sechs Bäumen pro Rasterquadrat. Die Klassenbreite der Artenzahlen pro Baum beträgt 1,21.



**Abbildung 3-15: Verkehrsbezogene Luftgütekarte 2004 und 2016: Anteil der *Phaeophyscia*-Arten an der Flechtenfrequenzsumme.**

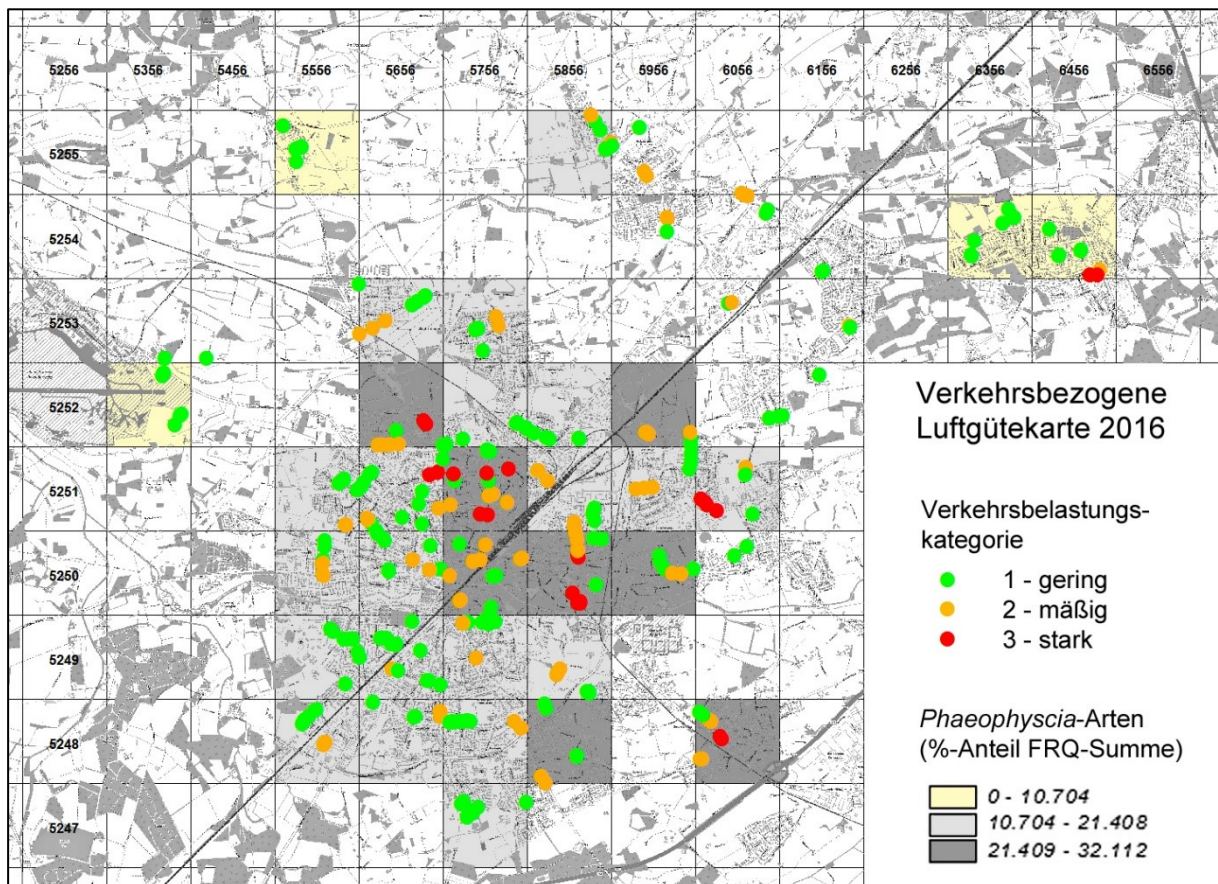
Datengrundlage: Flechtenfrequenzen an Standardbäumen, Mittelwerte ab sechs Bäumen pro Rasterquadrat. Klassenbreiten 13,8 (2004) bzw. 10,7 % (2016). Punkte: Baumstandorte.





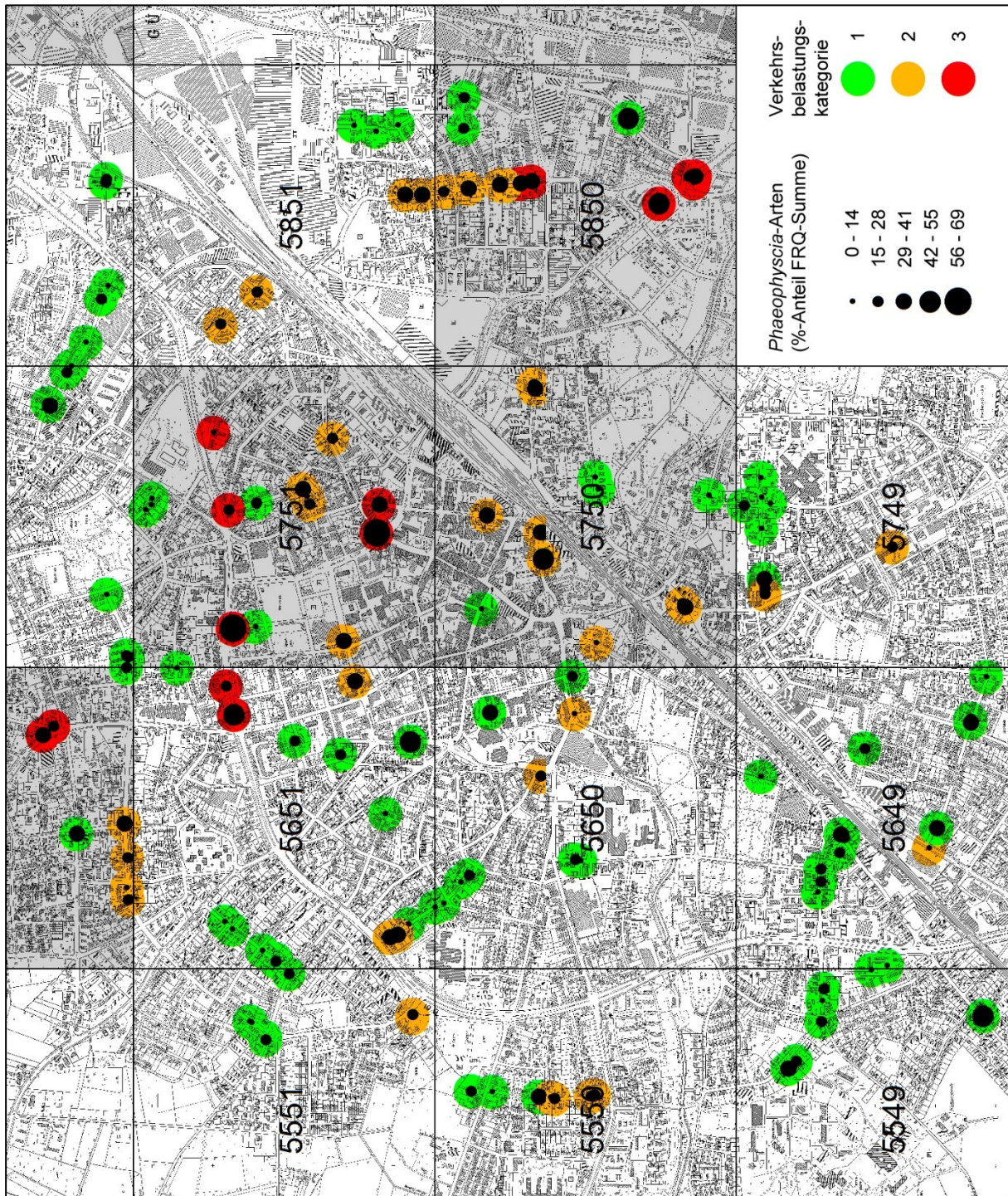
**Abbildung 3-16: Verkehrsbezogene Luftgütekarte von Gütersloh 2016 - Verkehrsbelastungskategorie und prozentualer Anteil der *Phaeophyscia*-Arten an der Flechtenfrequenzsumme.**

Datengrundlage: Subjektiv bestimmte Verkehrsbelastung in drei Stufen und Flechtenfrequenzen an Standardbäumen. Punkte: Baumstandorte in der Farbe der jeweiligen, subjektiv bestimmten Verkehrsbelastungskategorie. Schwarze Zahlen: Rasterquadratnummern. Hintergrundfarbe der Rasterquadrate: Prozentualer Anteil der *Phaeophyscia*-Flechtenarten an der Frequenzsumme der Flechten, Mittelwerte von Rasterquadraten mit mindestens sechs Bäumen, benachbarte Klassen sind nicht statistisch signifikant verschieden, Klassenbreite 10,7 %. Daten wie in Abbildung 3-15, jedoch Hintergrundfarben verändert, um die drei Verkehrsbelastungskategorien farblich darstellen zu können.



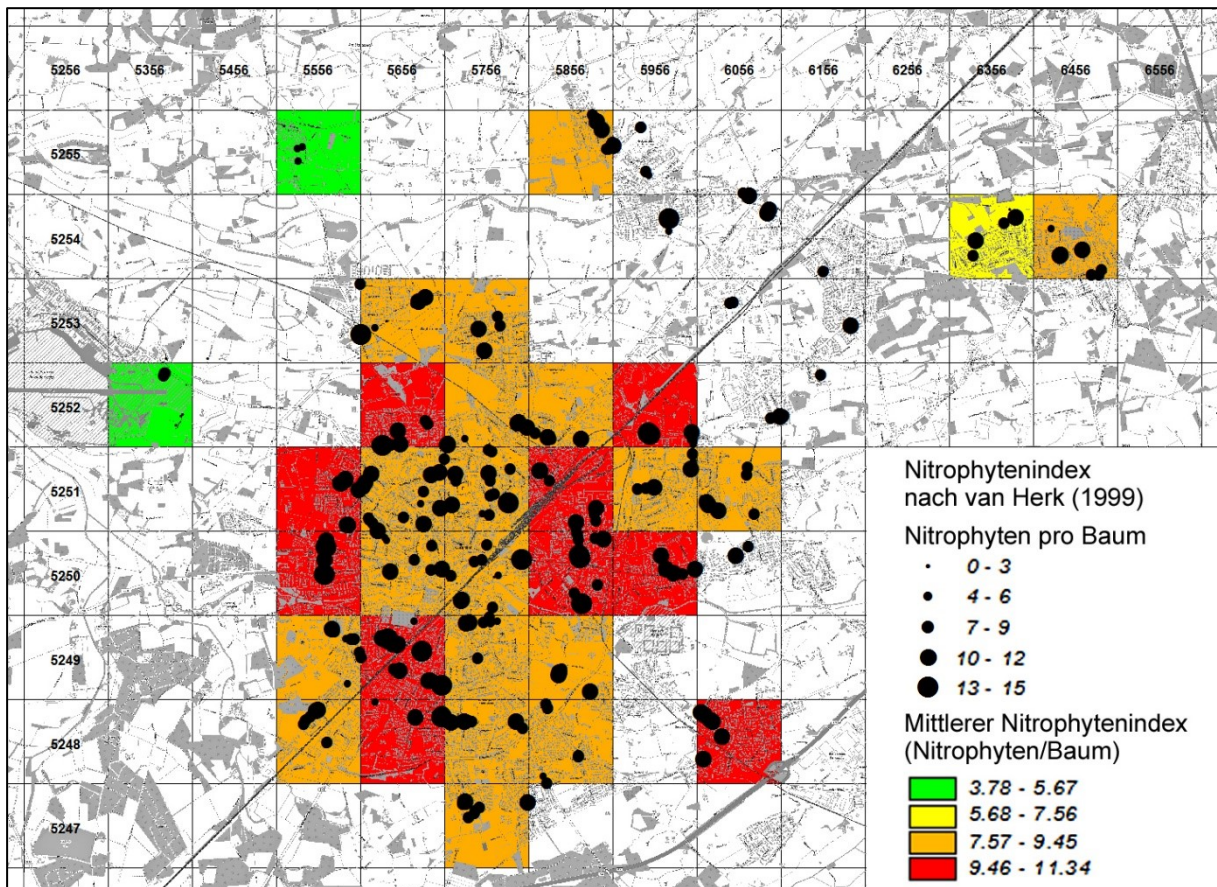
**Abbildung 3-17: Ausschnitt aus der verkehrsbezogenen Luftgütekarte 2016.**

Datengrundlage: Subjektiv bestimmte Verkehrsbelastung in drei Stufen und Flechtenfrequenzen an Standardbäumen. Kreise: Baumstandorte, Verkehrsbelastung und *Phaeophyscia*-Anteil an der Flechtenfrequenzsumme. Je dunkler der rote Kreis, desto höher die subjektiv bestimmte Verkehrsbelastung (drei Kategorien 1-gering, 2-mäßig, 3-stark), und je größer der darin liegende schwarze Kreis, desto höher der prozentuale Anteil der *Phaeophyscia*-Arten an der Flechtenfrequenzsumme des Trägerbaums. Der Farbcode der Rasterquadrate (mittlerer prozentualer Anteil der *Phaeophyscia*-Arten) entspricht Abbildung 3-16, jedoch wird hier nur die höchste Kategorie (21,4 bis 32,1 %) in grau wiedergegeben (alle anderen dargestellten Quadrate unter 21,4 % *Phaeophyscia*-Anteil). Die schwarzen Zahlen sind die Nummern der Rasterquadrate. Kartenhintergrund: Deutsche Grundkarte.



**Abbildung 3-18: Räumliche Variabilität des Nitrophytenindex nach VAN HERK (1999).**

Datengrundlage: Anzahl der Vorkommen bestimmter nitrophytischer Flechten pro Trägerbaum im Herbst 2016, wobei Vorkommen von mehr als 1 dm<sup>2</sup> Fläche doppelt gewertet werden. Bei diesen Arten handelt es sich um *Caloplaca holocarpa*, *Candelariella reflexa*, *C. vitellina*, *C. xanthostigma*, *Lecanora dispersa*, *L. hagenii*, *L. muralis*, *Phaeophyscia nigricans*, *P. orbicularis*, *Physcia adscendens*, *P. caesia*, *P. dubia*, *P. tenella*, *Rinodina oleae*, *Xanthoria candelaria*, *X. parietina* und *X. polycarpa*. *Xanthoria ucrainica*, die in den Niederlanden nicht von *X. candelaria* separat erfasst wird, wurde hinzugenommen. Punkt- und Rasterdarstellung des Nitrophytenindex für jeden Baum und als Mittelwerte für jedes Rasterquadrat mit mindestens sechs Standardbäumen. Die Klassenbreite zur Darstellung des mittleren NIW beträgt 1,89.



### 3.4. Luftgüte 2004 und 2016 gemäß VDI 3957 Blatt 13

Die Luftgütekarte nach VDI 3957 Blatt 13 (VDI 2005) berücksichtigt sämtliche im Gebiet vorkommenden Flechtenarten, unterscheidet aber zur Bewertung der Luftgüte zwischen so genannten Referenzarten und bestimmten Nitrophyten, also durch düngende Luftschadstoffe geförderten Flechtenarten. Während der Nitrophytenindex (NIW; [Abbildung 3-18](#)) von VAN HERK (1999) auf die Ammoniakimmission zielt, integriert die Luftgütekarte gemäß VDI (2005) die Häufigkeit von Nitrophyten und so genannten Referenzarten und nimmt in Form des **Luftgüteindex** eine Gesamtbewertung der Luftgüte und des Eutrophierungseinflusses im Untersuchungsgebiet vor.

Die Luftgütekarten von 2004 und 2016 sind beide in [Abbildung 3-19](#) dargestellt. Die Karte für 2004 wurde neu berechnet, da die Richtlinie zum Zeitpunkt der Berichterstattung 2004 noch nicht in der endgültigen Fassung vorgelegen hatte. Entsprechende Karten zur Häufigkeit der Nitrophyten und der Referenzarten zeigen [Abbildung 3-20](#) und [Abbildung 3-21](#). Eine Zusammenfassung der Daten der 2004 und 2016 untersuchten Rasterquadrate gibt [Tabelle 3-9](#). Folgende Veränderungen seit 2004 sind festzustellen:

- **Mäßige Luftgüte** lautet auch 2016 die häufigste Bewertung in Gütersloh.
- Wie schon 2004 herrschen die Farben Gelb und (wenig) Braun der Luftgüteklassen 3 und 2 entsprechend mäßiger und geringer Luftgüte vor. 2016 treten drei grüne Rasterquadrate hinzu, die Gebiete mit hoher Luftgüte (Klasse 4) kennzeichnen. Zwei davon liegen im Südwestlichen Rand der Stadt (5549, u. a. Herrmann-Simon-Straße, Diekstraße) und im Süden der Innenstadt (5749, Hochstraße, Schalückstraße, Brockweg, Klinik/Stadtpark), das dritte am Ostende des Flughafens (5352 s.u.).
- **Positive Veränderungen** seit 2004 hinsichtlich der Luftgüteklassen betreffen die Rasterquadrate 5752 und 5851 im Nordwesten von Klasse 2 nach 3 entsprechend geringer hin zu mäßiger Luftgüte und Rasterquadrat 5749 (siehe oben) von mäßiger hin zu hoher Luftgüte.
- **Negative Veränderungen** betreffen die Rasterquadrate 5652 (Brockhäger Straße, Schillstraße, Haegestraße) und 5550 (westlicher Stadtrand, Pavenstädter Weg, Melanchthonstraße) im Norden und Westen der Stadt, die von Klasse 3 zu 2 rückgestuft wurden entsprechend einer Verschlechterung der Luftgüte von mäßig zu gering.
- Bis auf Rasterquadrat 5750 (südliches Stadtzentrum) hat in allen jeweils untersuchten Rasterquadraten der **Eutrophierungseinfluss zugenommen**.
- Die negativen Veränderungen in den Rasterquadraten 5550 und 5652 zeigen sich auch in geringen Diversitätswerten (= Frequenzsummen) der Referenzarten, die in Quadrat 5652 sogar abgenommen hat ([Tabelle 3-9](#)). Da die Standardbäume in den beiden Untersuchungen und jeweiligen Quadraten ähnlich verteilt sind, ist mit hoher Wahrscheinlichkeit von einer Verschlechterung der Luftgüte auszugehen. Auch hinsichtlich des Nitrophytenindex und der daraus abgeleiteten Ammoniak-Belastung weisen die beiden Quadrate die höchsten und damit ungünstigsten Werte auf (vergl. [Abbildung 3-18](#), [Abbildung 3-20](#) und [Tabelle 3-9](#)).
- Ein Vergleich aktueller Flechtendaten von Düsseldorf und Gütersloh ([Tabelle 3-10](#)) zeigt, dass der Nitrophytenindex und die daraus errechnete Ammoniakkonzentration in der Luft in Gütersloh 50 % höher ist als an den Stationen in der Großstadt Düsseldorf. Die mittlere Anzahl verschiedener Flechtenarten pro Baum ist in Gütersloh geringer als in Düsseldorf.
- Unterstützt wird diese Aussage dadurch, dass die **modellierte Hintergrundbelastung** mit reaktiven Stickstoffverbindungen (UBA 2017) in Gütersloh höher ist als in Düsseldorf, wobei dieser Unterschied beim Vergleich der Daten für "bebautes Gebiet" (umfasst wahrscheinlich nicht nur "Siedlungsgebiet"; in UBA 2017 und den dort verlinkten Dokumenten nicht näher definiert) besonders groß ausfällt ([Tabelle 3-10](#)).

- Die Variablen (u.a. NIW, Quotient aus Frequenzsummen von Nitrophyten und Referenzarten), die in einer vorangegangenen Studie (STAPPER et al. 2013) zur Abschätzung der Stickstoffgesamtdeposition im Hafengebiet von Saarlouis und Dillingen herangezogen wurden (Ergebnis: 13 kg N pro Hektar und Jahr für 2007), waren erheblich geringer als in Gütersloh. Da die lichenologischen Bezugsdaten aufgrund der stark erhaltenen Flechtenvegetation inzwischen aber als veraltet zu betrachten sind, wird hier keine Abschätzung der N-Deposition vorgenommen.
- Rasterquadrat 5352 weist zwar hohe Luftgüte auf, aber die dort untersuchten, wahrscheinlich gleichaltrigen Eichen sind sehr unterschiedlich bewachsen. Drei stehen an einer Zuwegung zum Flughafen und tragen 19 bis 24 verschiedene Epiphyten mit Frequenzsummen 51 bis 68, während die anderen drei nahe von Ackerflächen stehen und nur 1 bis 3 toxische Flechtenarten tragen (*Amandinea punctata*, *Lepraria incana* und *Xanthoria parietina*) mit Frequenzsummen von 15 bis 25. Als Erklärung für diesen Unterschied bieten sich Belastungen durch z. B. **verblasenen Staub, verspritzte Gülle oder Agrarchemikalien** an.

**Tabelle 3-9: Bioindikation von Luftgüte und Eutrophierungseinfluss 2004 und 2016.**

Angegeben sind sie Daten für Rasterquadrate, in denen 2004 und 2016 jeweils mindestens sechs Standardbäume untersucht wurden. Bezeichnungen der Spalten: Frequenzsummen der Referenzarten und der Nitrophyten sowie der Luftgüteindex gemäß VDI 3957 Blatt 13 (VDI 2005), Hintergrundfarbe entsprechend der in Abbildung 2-2 vorgegebenen und in der Luftgütekarte verwendeten Farbe, Veränderung von Luftgüteklasse und Eutrophierungseinfluss seit 2004. NIW, Nitrophytenindex nach VAN HERK (1999) und die auf dessen Grundlage ermittelte Konzentration von Ammoniak für 2016. Dabei gilt:  $[NIW]=0,2574x+0,8199$  mit  $x=NH_3$ -Konzentration in  $\mu g/m^3$ . Die Hintergrundfarben der NIW-Mittelwerte geben die Zugehörigkeit zur Klasse der NIW-Mittelwerte an, deren Breiten 2004 bzw. 2016 sich zu 2,25 und 1,89 berechneten (siehe Abbildung 3-18).

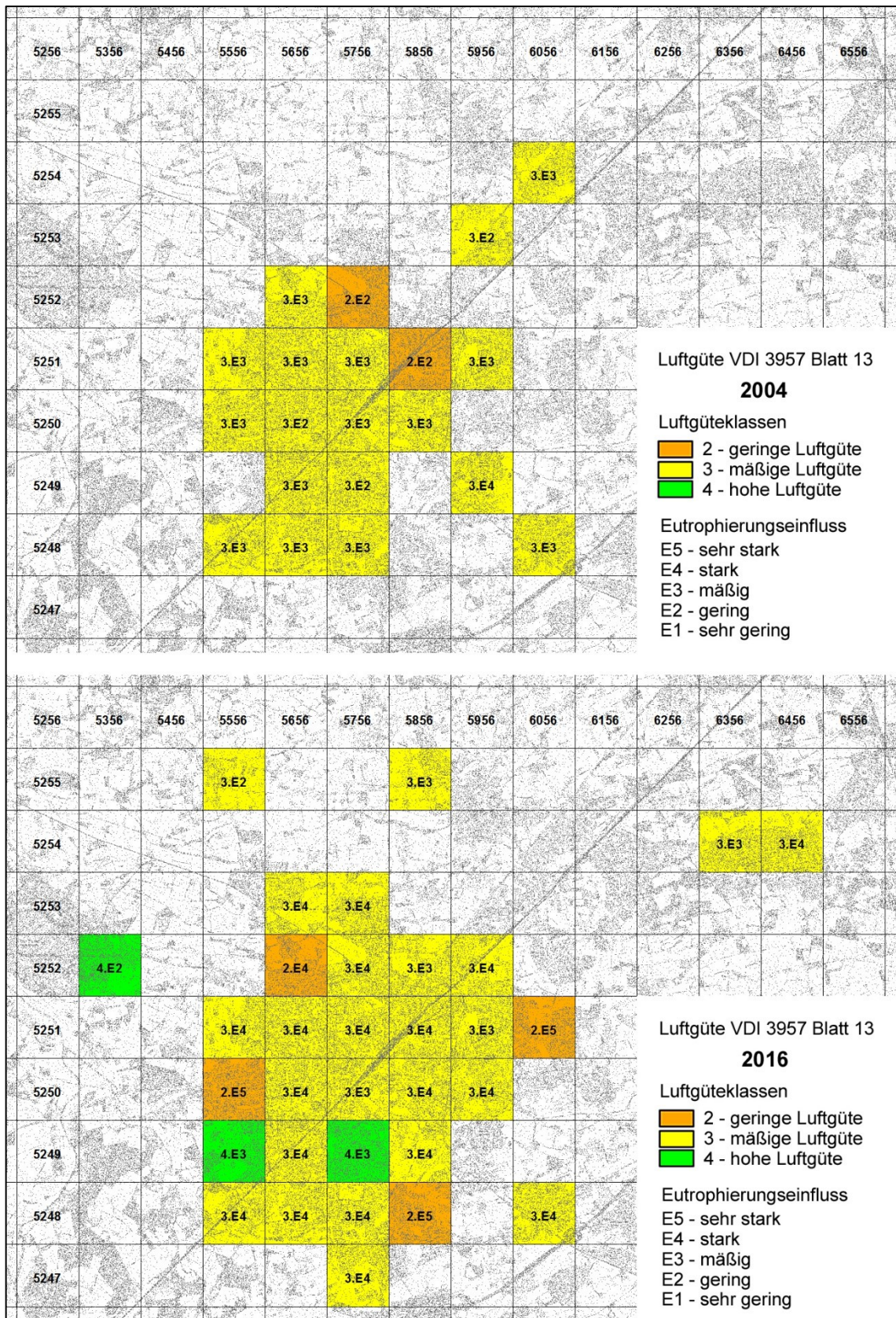
Raster- quadrat	Frequenzsumme Referenzarten (Mittelwert)		Frequenzsumme Nitrophyten (Mittelwert)		Luftgüte-Index		Veränderung der Luftgüte	Veränderung des Eutro- phierungs- einflusses	NIW (Mittelwert)		Ammoniak- Konzentration 2016 ( $\mu g/m^3$ )
	2004	2016	2004	2016	2004	2016			2004	2016	
5548	9	23	23,6	34,2	3.E3	3.E4	keine	zugenommen	8,7	7,7	27
5550	11,7	19,4	23,7	41,3	3.E3	2.E5	verschlechtert	zugenommen	8,9	11,3	41
5551	5,9	31,1	25,3	32,4	3.E3	3.E4	keine	zugenommen	8,1	10,7	38
5648	13,9	28,3	28,9	35,9	3.E3	3.E4	keine	zugenommen	10,4	9,7	35
5649	10,7	26,5	23,7	33,1	3.E3	3.E4	keine	zugenommen	8,2	10,4	37
5650	9,8	21,3	18,6	31,5	3.E2	3.E4	keine	zugenommen	6,7	8,6	30
5651	10,2	25,8	29,3	34,6	3.E3	3.E4	keine	zugenommen	9,2	9,4	33
5652	14,8	10,3	26,4	38,9	3.E3	2.E4	verschlechtert	zugenommen	8,5	10,3	37
5748	7,1	24,2	27,0	37,1	3.E3	3.E4	keine	zugenommen	9,3	9,3	33
5749	10,3	32,4	19,9	27,8	3.E2	4.E3	verbessert	zugenommen	8,4	7,7	27
5750	10,9	16,7	21,6	29,5	3.E3	3.E3	keine	keine	8,4	8,3	29
5751	13,3	21,5	23,6	30,3	3.E3	3.E4	keine	zugenommen	8,4	8,5	30
5752	13,8	28,3	30,1	31,1	2.E2	3.E4	verbessert	zugenommen	10,6	9,4	33
5850	13,9	17,9	27,4	36,1	3.E3	3.E4	keine	zugenommen	9,3	9,7	35
5851	8,3	24,3	31,2	31,4	2.E2	3.E4	verbessert	zugenommen	9,9	9,6	34
5951	10,7	20,8	25,0	29,0	3.E3	3.E3	keine	zugenommen	10,5	8,5	30
6048	6	20,5	29,6	38,8	3.E3	3.E4	keine	zugenommen	9,3	9,8	35
<i>Mittelwert</i>	10,6	23,1	25,6	33,7					9,0	9,3	33

**Tabelle 3-10: Eutrophierungseinfluss: Vergleich der Daten von Gütersloh und Düsseldorf.**

Datengrundlage: 266 Standardbäume in Gütersloh und 191 in Düsseldorf, an denen in übereinstimmender Weise die Flechtenvorkommen erhoben wurden, in Gütersloh von Oktober bis November und in Düsseldorf im Dezember 2016. **mRNT**, mittlere Relative Nachttemperatur an den Baumstandorten, Mittelwerte der Rasterquadrate bzw. der Stationen, Grundlage: Auswertung einer frühmorgendlichen Temperaturfahrt in Gütersloh (vergleiche Tabelle 3-5 und Abbildung 3-13) und Klimaanalyse der Stadt Düsseldorf (STADT DÜSSELDORF 1995, 2012). **Nitrophyten (VAN HERK 1999)**, verbreitete nitrophytische Flechtenarten (siehe z. B. Legende zu Abbildung 3-18). **Nitrophytenindex** nach VAN HERK (1999), entspricht der mittleren Anzahl der Nitrophyten pro Baum, wobei Vorkommen größer 1 dm<sup>2</sup> doppelt gewertet werden. **Konzentration von Ammoniak** berechnet nach van Herk (1999), wobei gilt:  $[NIW]=0,2574x+0,8199$  mit  $x$ = Ammoniak-Konzentration in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . **N-Deposition 2009**: Hintergrundbelastungsdaten Stickstoff, Bezugsjahr 2009 (UBA 2017), angegeben in kg Stickstoff pro Hektar und Jahr für bebautes Gebiet (BG; Definition gemäß UBA 2017) und Wiesen und Weiden (WW).

Anzahl der Rasterquadrate bzw. Stationsname	mRNT (Kelvin)	Anzahl untersuchter Bäume	Flechtenarten pro Baum (MW)	Nitrophyten (VAN HERK 1999) pro Baum (MW)	Nitrophytenindex NIW (MW)	Ammoniak-Konzentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	N-Deposition 2009 (UBA 2017) (kg N/ha/a)
Gütersloh, Rasterquadrate mit mindestens sechs Bäumen							
7	-2 bis -1	49	10,3	5,1	6,8	23,4	BG: 24 – 27 WW: 18
20	-1 bis <0	158	12,2	6,5	9,3	32,8	
5	>0	59	12,2	6,2	8,9	31,6	
Düsseldorf, vier Stationen mit jeweils vier Quadratkilometer Fläche							
Nord	-2,2	48	14,7	4,4	6,0	20,3	BG: 18 – 20 WW: 15 – 16
Volmerswerth	-1,7	22	13,3	4,8	7,0	23,8	
Süd/Garath	-1,3	39	14,7	4,4	6,0	20,0	
City	+2,7	40	11,0	4,4	6,1	20,5	
Hafen	+1,8	42	9,8	4,1	5,8	19,4	

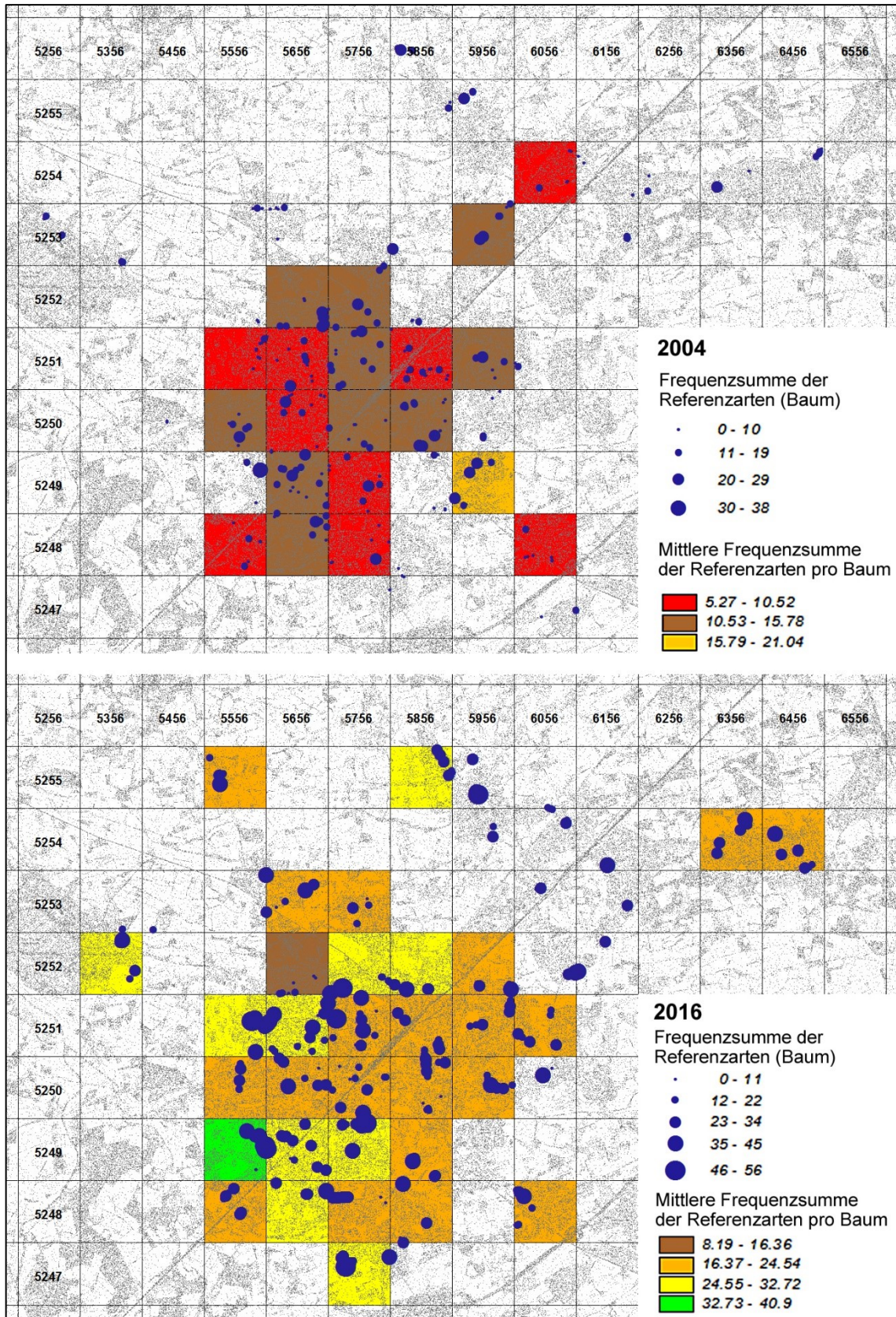
**Abbildung 3-19: Luftgütekarte von Gütersloh 2004 und 2016 gemäß VDI 3957 Blatt 13.**  
 Datengrundlage: Flechtenfrequenzen an Standardbäumen, mindestens 6 Bäume pro Rasterquadrat. Beschriftung der eingefärbten Rasterquadrate: Luftgüte-Index. Schwarze Zahlen: Rasterquadratnummer.



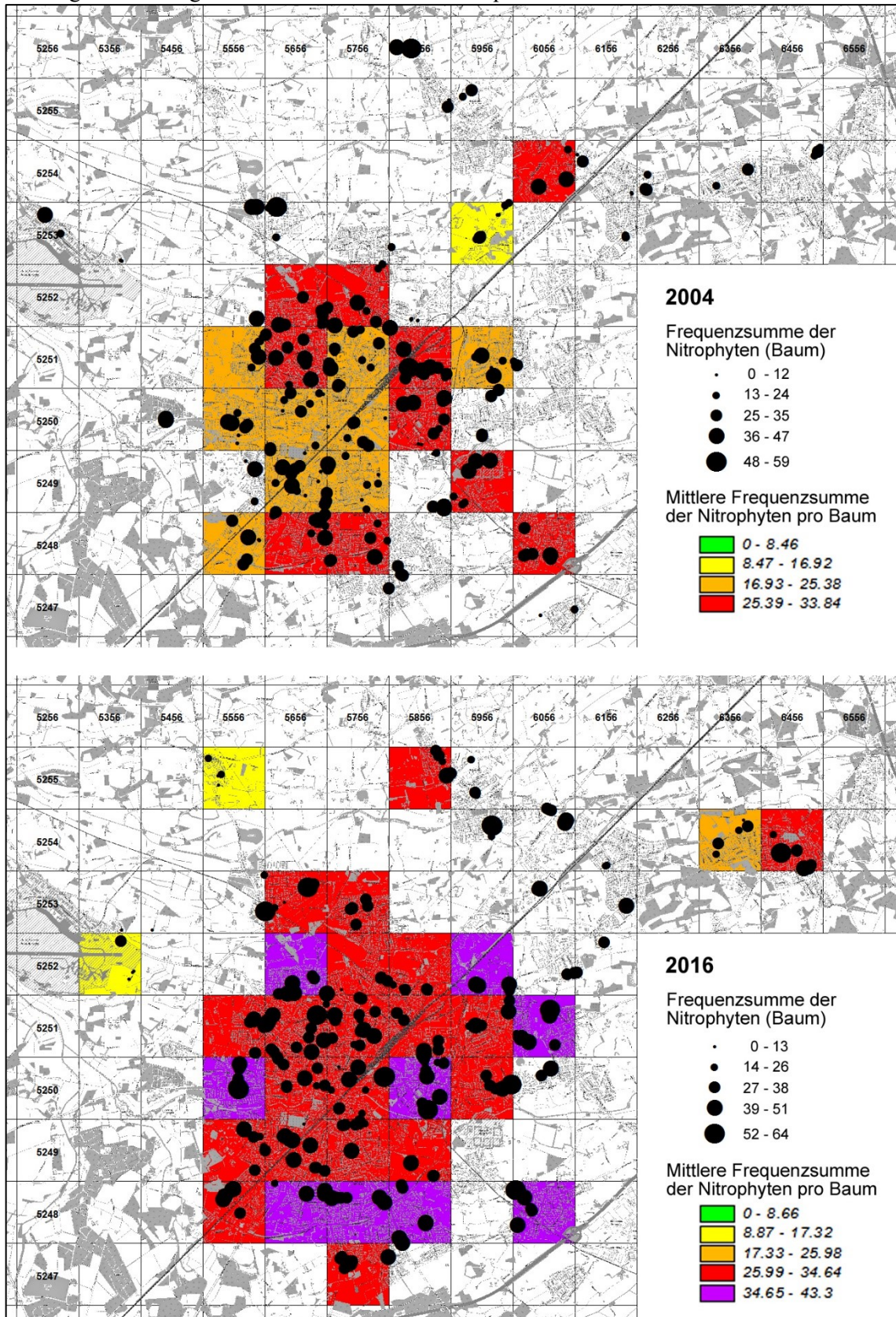


**Abbildung 3-20: Mittlere Frequenz der Referenzarten gemäß VDI 3957 Blatt 13.**

Datengrundlage: Flechtenfrequenzen an Standardbäumen 2004 und 2016. Mittelwerte ab 6 Bäumen pro Rasterquadrat. Klassenbreiten: 5,26 (2004) und 8,18 (2016). Schwarze Zahlen: Rasterquadratnummer.



**Abbildung 3-21: Mittlere Frequenz der Eutrophierungszeiger gemäß VDI 3957 Blatt 13.**  
 Datengrundlage: Flechtenfrequenzen an Standardbäumen 2004 und 2016. Mittelwerte ab 6 Bäumen pro Rasterquadrat. Klassenbreiten: 8,46 (2004) und 8,66 (2016). Die geringste Klasse (grün) wurde in beiden Erhebungen nicht vergeben. Schwarze Zahlen: Rasterquadratnummer.



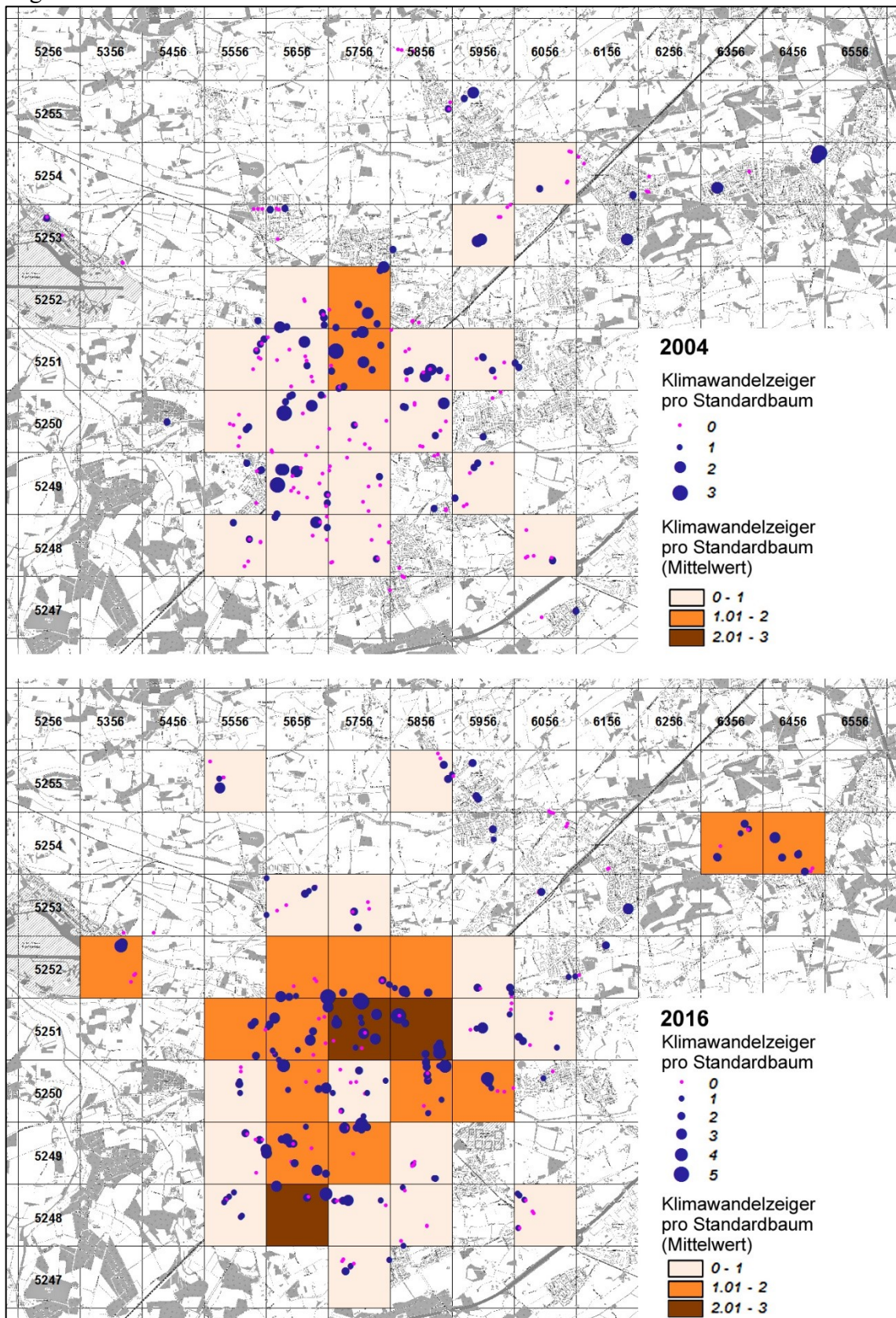
### 3.5. Bioindikation von Klimawirkungen gemäß VDI 3957 Blatt 20

Die im Sommer 2017 in ihrer endgültigen Fassung erscheinende Richtlinie zur Ermittlung lokaler Wirkungen des Klimawandels mit Hilfe epiphytischer Flechten VDI 3957 Blatt 20 (VDI 2017) spezifiziert 45 Flechtenarten als Klimawandelindikatoren für Deutschland. Die meisten dieser Arten gelten in Europa als gemäßigt-mediteran oder subatlantisch-mediteran verbreitet. Seit der Erhebung von BORGSTEDT (1988) ist die Anzahl dieser Arten in Gütersloh kontinuierlich von null über vier bzw. sechs in den Jahren 2001 bzw. 2004 auf inzwischen zehn angestiegen (Abbildung 3-1). 2004 wurden nur für zwei Rasterquadrate im Norden von Gütersloh im Mittel wenig mehr als eine Klimawandelzeigerart pro Baum registriert, die restlichen 18 Quadrate wiesen maximal eine Art auf. 2016 hat sich das Bild gewandelt, nur noch die Hälfte von 32 Rasterquadraten mit mindestens sechs Trägerbäumen weist maximal eine Art pro Baum auf, und drei Quadrate schon mehr als zwei Klimawandelindikatoren (Abbildung 3-22).

Zur Berechnung des **Klimawandelzeigerindex (KWI; VDI 2017)** wurden die 17 Rasterquadrate zusammengefasst, in denen sowohl 2004 als auch 2016 mindestens sechs Trägerbäume untersucht wurden. Der Klimawandelzeigerindex entspricht der mittleren Anzahl der Klimawandelindikatoren pro Baum. Er ist in Gütersloh seit 2004 von 0,54 auf inzwischen 1,30 angestiegen (Abbildung 3-23). Damit sind **Klimawandelwirkungen auf die Vegetation auch in Gütersloh feststellbar**, die Unterschiede zwischen 2004 und 2016 sind statistisch hochsignifikant (Abbildung 3-23). Doch dieser Klimawandelzeigerindex von 1,30 liegt immer noch unter dem für Düsseldorf im Jahr 2008, wo er damals schon 1,61 betrug (0,85 bis 2,92; STAPPER 2017). Im Herbst 2016 lag er dort bei 2,94 (2,50 bis 4,08), das heißt, es wurden dort im Mittel 2,3mal so viele Klimawandelindikatoren pro Baum registriert wie in Gütersloh. Auch wenn die Richtlinie den (gepaarten) Vergleich unterschiedlicher Zeitpunkte am gleichen Ort einem räumlichen Vergleich vorzieht, entsprechen die Daten voll der Erwartung angesichts der veröffentlichten Klimadaten von Nordrhein-Westfalen, wonach beispielsweise die mittlere Jahrestemperatur in Gütersloh 1,1 Kelvin geringer ist als in Düsseldorf (Deutscher Wetterdienst 2017). Abbildung 3-23 zeigt in Form von Box-Whisker-Diagrammen auch die Zunahme jener Flechtenarten pro Baum, die aufgrund ihrer in der niederländischen Flechtencheckliste angegebenen Verbreitung in Europa als Klimawandelindikatoren geeignet erscheinen. Der Unterschied zur Liste der VDI-Richtlinie besteht u.a. darin, dass auch zwei eutrophierungstolerante Arten aufgeführt sind, die in der VDI-Richtlinie zur Vermeidung von Crossover durch Eutrophierung ausgeschlossen wurden. Auch diese Klimawandelzeiger sind signifikant häufiger geworden. Alternativ zum Klimawandelzeigerindex kann auf Grundlage der Flechtenfrequenzen auch die Frequenzsumme der Klimawandelindikatoren bestimmt werden. Auch in dem Fall (siehe Abbildung 3-23) sind die Veränderungen übereinstimmend, lediglich die Streuungen der Datenpunkte und die Anzahl der Ausreißer ist etwas höher.

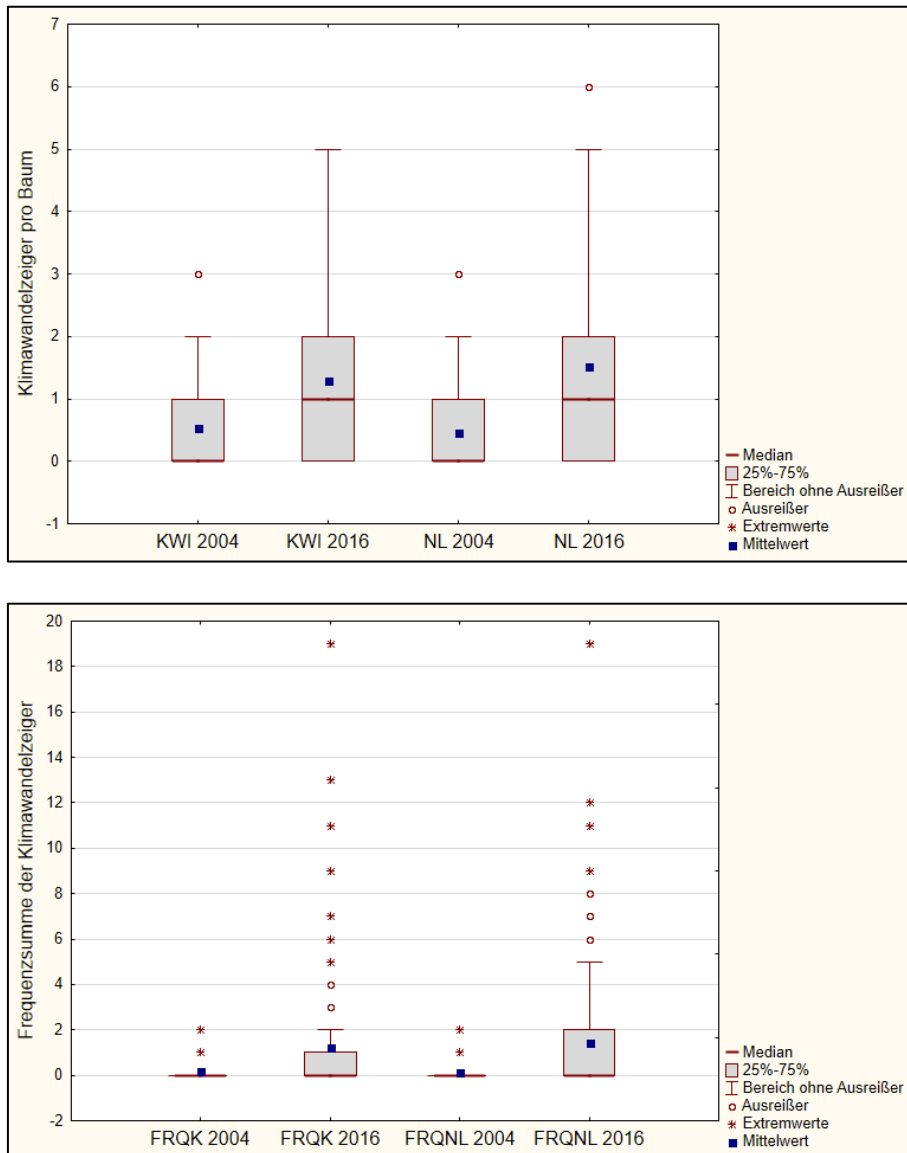
**Abbildung 3-22: Räumliche Variabilität der Häufigkeit von Klimawandelindikatoren nach VDI 3957 Blatt 20 in Gütersloh 2004 und 2016.**

Markierte Rasterquadrate mit mindestens sechs Bäumen. Die Breite der Klassen wurde willkürlich gewählt.



**Abbildung 3-23: Veränderung der Anzahl und der Frequenz von Klimawandelindikatoren in Gütersloh 2004 bis 2016.**

Datengrundlage: Flechtenvorkommen und Frequenzwerte an 164 bzw. 166 Standardbäumen in 17 Rasterquadrate mit jeweils mindestens sechs Bäumen in beiden Untersuchungen. Dargestellt sind jeweils für die Jahre 2004 und 2016 die Mediane, Quartile und Mittelwerte der Klimawandelzeigerarten pro Baum (oberes Diagramm) und deren Frequenzsumme pro Baum (unteres Diagramm). Die Abkürzungen lauten KWI = Klimawandelzeiger-Index gemäß VDI 3957 Blatt 20, jeweils mit Jahresangabe; NL = als Klimawandelzeiger geeignete Flechtenarten aufgrund der Verbreitungsangaben in der niederländischen Flechten-Checkliste (für die jeweiligen Flechtenarten siehe [Tabelle 3-1](#)); FRQK, FRQNL = Frequenzsumme der Klimawandelzeiger nach VDI-Richtlinie bzw. niederländischer Checkliste. Die Unterschiede zwischen 2004 und 2016 sind für alle abgebildeten Werte statistisch hochsignifikant ( $p < 0.0001$ ; Mann-Whitney U-Test).



#### 4. Zusammenfassende Interpretation der Ergebnisse

Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Erfassung der räumlichen Variabilität von Umweltwirkungen auf epiphytische Moose und Flechten als empfindliche Monitororganismen und ein Vergleich mit den Ergebnissen einer entsprechenden Erhebung in Gütersloh von 2004 (STAPPER 2004). Zur quantitativen Erfassung der Moos- und Flechtenarten an den Trägerbäumen wurden **anerkannte aktuelle Standardmethoden** verwendet (VDI 2005, 2017; VAN HERK 1999), die von der untersuchenden Person unabhängige Ergebnisse ermöglichen.

Von den zahlreichen in dieser Arbeit abgebildeten Karten sind die beiden **Luftgütekarten** (Abbildung 3-19) zweifellos die wichtigsten, nicht zuletzt weil die zugrundeliegende Methodik ein Einspruchsverfahren durchlaufen hat, in dem fachkundige Personen u.a. aus zuständigen Behörden auf Bundes- und Landesebene angehört werden (VDI 2005, 2017). Das Verfahren von VAN HERK (1999) ist seit Jahren ein fester Bestandteil in niederländischen Monitoringprogrammen und inzwischen vielfach zitiert und angewendet worden. Die anderen Karten, etwa zur räumlichen Variabilität der Artenhäufigkeit, flankieren Luftgütekarte und helfen, diese zu interpretieren oder auch Punktbelastungsquellen zu erkennen. In den breiten und willkürlich fixierten Luftgüteklassen – das Verfahren soll schließlich in der gesamten Bundesrepublik anwendbar sein – gehen die kleinräumige Variabilität oder flache Gradienten innerhalb eines kleinen Untersuchungsgebietes wie Gütersloh unter.

Die neuerliche Zunahme der **Artendiversität** epiphytischer Flechten folgt dem allgemeinen Trend in Nordrhein-Westfalen und kann am ehesten mit der noch andauernden Erholung der Flechtenvegetation infolge verminderter Belastung der Luft durch saure Schadstoffe erklärt werden. Starke Säurezeiger, wie die 1988 noch dominierende und selbst 2004 in Gütersloh noch vorhandene Krustenflechte *Lecanora conizaeoides* wurden 2016 nicht mehr angetroffen. Eine entsprechende zeitliche Entwicklung ist auch entlang der Rheinschiene dokumentiert (SCHMITZ et al. 2017). Auffallend ist die starke Zunahme nitrophytischer Flechtenarten, die schon 2004 zahlreich vertreten waren und stärker gewordene Wirkungen eutrophierender Luftschadstoffe andeuten. Zugenommen hat auch die Anzahl solcher Flechten, die aufgrund einer Ausdehnung ihres bisher üblichen Areals in Europa als Zeigerarten für die Folgen des Klimawandels spezifiziert werden (VDI 2017). Ebenfalls auffallend ist die Stagnation bei der Entwicklung der Moosartendiversität. Im Gegensatz zu den Flechten hat, gegenüber 2004, die im Mittel pro Baum registrierte Anzahl verschiedener Moosarten statistisch hochsignifikant abgenommen. Da flächig ausgedehnte Überzüge mit epiphytischen Moosen tendenziell kühlere Stadtgebiete kennzeichnen (STAPPER & KRICKE 2004b), könnte man den landesweiten Anstieg der mittleren Jahrestemperatur (DWD 2017) als eine mögliche Ursache dafür heranziehen. Die einzigen häufiger gewordenen Moose sind *Tortula muralis* und *Tortula papillosa*, von denen erstere Mauern (Name!) und eutrophierte Sekundärstandorte besiedelt, während die andere eher epiphytisch und vorzugsweise im Süden und Westen Deutschlands vorkommt und sich derzeit ausbreitet (MEINUNGER & SCHRÖDER 2007), seit 2003 auch an städtisch überwärmten Standorten in Düsseldorf (STAPPER & KRICKE, 2004). Damit stehen klimatische, aber letztlich auch eutrophierungsbedingte Veränderungen als Gründe zur Diskussion.

In einem nächsten Schritt wurde die Artendiversität mit der **städtischen Überwärmung** und der subjektiv bestimmten **Verkehrsbelastung** in Bezug gebracht, um einerseits Zusammenhänge zwischen der Häufigkeit einzelner Arten und der Überwärmung bzw. Verkehrsintensität herauszufinden und andererseits räumliche Unterschiede der Artendiversität zu verstehen. Ge-

nerell steigen in einer Stadt die relative Temperatur und infolgedessen die relative Lufttrockenheit von der Peripherie zum Zentrum hin an, weshalb die Anzahl der Flechtenarten in gleicher Richtung abnimmt. Dieses Phänomen ist lange bekannt und gut dokumentiert (z. B. STEINER & SCHULZE-HORN 1955) und erst infolge der allgemein gestiegenen Artendiversität wieder sichtbar geworden (STAPPER & JOHN 2013). Parallel zur abnehmenden Luftfeuchte steigt zum Stadtzentrum hin generell auch die Belastung durch gas- und partikelförmige Emissionen aus Verkehr, Produktionsprozessen und dem Hausbrand, die ihrerseits die Artendiversität mindern bzw. nitrophytische Arten fördern, da z. B. Autoabgase im Nahbereich der Emission deponiertes Ammoniak und Stickstoffoxide enthalten (CAPE et al 2004) und verkehrsbedingte Stäube reich an düngenden Substanzen sind (DÄMMGEN 2010).

Die von der Stadtverwaltung Gütersloh zur Verfügung gestellten Daten einer frühmorgendlichen Temperaturfahrt wurden auf die nächstgelegenen Baumstandorte übertragen. Die so erhaltene Karte der relativen Nachttemperatur an den Baumstandorten (Abbildung 3-13) zeigt eine städtische Wärmeinsel, deren Temperaturdifferenz mit rund drei Kelvin im Vergleich zu einer Großstadt (STADT DÜSSELDORF 1995, 2012) allerdings gering ist. Dies könnte u.a. auch durch den von Südosten her in die Stadt reichenden **Grünzug** und Mohns Park im Norden der Innenstadt mitverursacht werden, die gemeinsam die insgesamt moderate städtische Überwärmung und deren negative Wirkungen mildern oder sogar kompensieren.

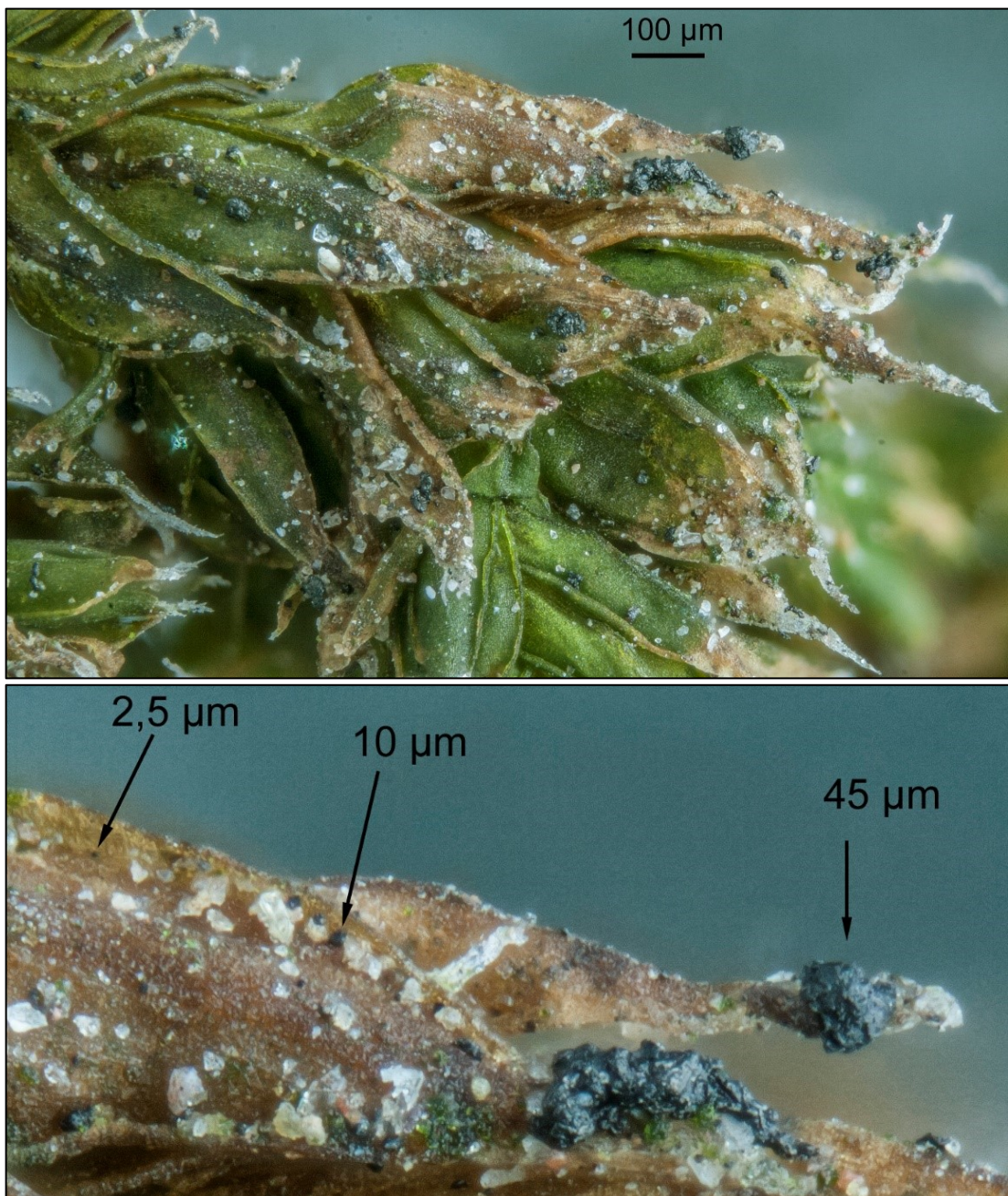
Entgegen der andernorts üblichen Verhältnisse steigt in Gütersloh die Diversität der Moose und Flechten von der Peripherie der Stadt hin zum Zentrum leicht an! Dies wurde auch schon 2004 beobachtet (STAPPER 2004: S. 23). Und die Diagramme in Abbildung 3-10 zeigen, wie, im Gegensatz zu Düsseldorf, die Anzahl der Flechtenarten pro Baum in Gütersloh mit steigender relativer Nachttemperatur an den Baumstandorten signifikant zunimmt. Nun ist nicht davon auszugehen, dass in Gütersloh stadttypische Immissionen und/oder die städtische Überwärmung sich tatsächlich positiv auf die Diversität epiphytischer Artvorkommen auswirken. Vielmehr muss man annehmen, dass es einen gegenläufigen Gradienten gibt, also eine vom Umland zur Stadtmitte hin abnehmende Wirkung. Betrachtet man die Karten zur räumlichen Variabilität der Artenvielfalt nitrophytischer Flechten gemäß VDI 3957 Blatt 13 (Abbildung 3-14: größte Artenvielfalt in den Randgebieten) und der Frequenzsummen dieser Arten (Abbildung 3-21: alle violett gefärbten Rasterquadrate = höchste Werte liegen in den Randgebieten der Stadt), dann kommt der Verdacht auf, **dass sich in den stadtrandnahen Siedlungsgebieten eutrophierende Wirkungen aus dem Umland (Landwirtschaft) und dem Verkehrssektor (Innenstadt, Autobahn) addieren.**

Auch dass Flechtenarten mit hoher Begleitartenzahl oder Klimawandelindikatoren an den überwärmten Standorten häufiger sind, widerspricht den Beobachtungen andernorts (SCHMITZ et al. 2017). Denn auch die Klimawandelindikatoren "erleben" relative Trockenheit als Stress, selbst wenn man sie, mit Blick auf das indizierte Phänomen Klimawandel und die damit assoziierte Erwärmung spontan eher an den überwärmten Standorten erwartet. Aus genau diesem Grund wurde für diese Flechtenarten, die sich in Westdeutschland an der Grenze ihres Areals befinden, der Begriff "Klimawandelzeiger" anstatt "Wärmezeiger" eingeführt (STAPPER 2012; VDI 2017).

**Abbildung 4-1: Sprossspitze des Moooses *Racomitrium canescens* mit verkehrsbedingten Staubablagerungen.**

Das Moos ist vital und stammt aus einem Experiment an der Autobahn 61 in Rheinland-Pfalz (STAPPER 2017a). Das untere Bild zeigt einen Ausschnitt aus dem oberen. Die grünen Blattanteile sind vital, die braunen Anteile sind abgestorben. Die gezähnten Blattspitzen sind bei dieser Art immer farblos.

Man erkennt zahlreiche Staubteilchen: weißlich-amorphe und gläsern-durchsichtige (u.a. Betonfahrbahn-Abrieb, verblasene Fracht, aufgewirbelter Erdboden) oder kohlig-schwarze, teilweise bizarr geformte Teilchen (u.a. Ruß, Brems- und Reifenabrieb) mit Partikelgrößen bis über 100  $\mu\text{m}$ . Ältere Sprossabschnitte wenige Millimeter unterhalb der Sprossspitze sind abgestorben und mit einem vitalen Algenfilm überzogen (nicht gezeigt). Auflicht-Mikrofoto (10x-Objektiv, fusionierte Fokussierse, 25  $\mu\text{m}$  Schritttiefe). [Anmerkung: An verkehrsfernen, naturnahen Standorten beobachtet man an Moosen z. B. Staubkörnchen von verblasenem Erdboden (inkl. Staubbiederschlag aus Sandstürmen), Pollenkörner, Soredien und Pilzsporen sowie Exkremete von Tieren, allerdings meist nur in geringer Zahl.]





Im Gegensatz zur Überwärmung entspricht die "Reaktion" der Flechten auf den Faktor Verkehrsbelastung der Erwartung. So ist die Frequenzsumme von *Phaeophyscia nigricans* und *P. orbicularis* stärker mit der **Verkehrsbelastung** korreliert als die der Nitrophyten gemäß VDI 3957 Blatt 13 (VDI 2005). Noch stärker ist die Korrelation des Anteils von *Phaeophyscia* spp. an der Frequenzsumme aller Flechtenarten. Diese Korrelation zwischen *Phaeophyscia* spp. und Verkehr, und dass die Wirkung vom Fahrbahnrand weg schnell abnimmt, ist bereits länger bekannt (FRANZEN et al. 2002; VORBECK & WINDISCH 2002; MARMOR & RANDLANE 2007). Eine schnelle Wirkungsabnahme auf diese eutrophierungstoleranten Arten spricht für Ammoniak und Stickstoffoxide als wesentliche Wirkstoffe (CAPE et al. 2004; DAVIES et al. 2007), was hier insgesamt die Verwendung der relativen *Phaeophyscia*-Frequenzsumme für eine verkehrsbezogene Luftgütekarte rechtfertigt. VOGT (2017) berichtete kürzlich, dass die Konzentration von Stickstoffoxiden innerhalb von rund 50 m Distanz von der Fahrbahn auf Hintergrundwerte abnimmt. Die chemische oder physikalische Natur der verkehrsspezifischen Belastung, ob staub- oder gasförmig, ist hier letztlich jedoch unerheblich, denn **Bioindikation dokumentiert lokale Abweichungen von der natürlichen Norm** und ersetzt keine technische Messung, kann diese aber begründen bzw. auslösen. Die Wirkung von "Verkehr" auf die Epiphytenvegetation ist im vorliegenden Fall statistisch signifikant, das lokale Zusammentreffen einer hohen relativen Frequenzsumme von *Phaeophyscia* spp. an Bäumen nahe subjektiv stark verkehrsbelasteter Standorte offensichtlich und nachgerade selbsterklärend (Abbildung 3-17). Aufgrund ihrer raschen Abnahme auf den Hintergrund des Rasterquadrates verlangt die Bioindikation von Verkehrsbelastungen sogar eine punktgenaue Darstellung! Es handelt sich auch nicht um Windartefakte, also die Folge einer beschleunigten Abtrocknung der Borken durch Fahrtwind, da Bäume mit hoher relativer *Phaeophyscia*-Frequenzsumme oft an Kreuzungen oder Einfahrten in Wohngebiete stehen, während Bäume mit geringen Anteilen in den Wohngebieten stehen, wo die Fahrzeuge nach erfolgter Beschleunigung vorbeifahren. Bäume mit sehr hohen relativen *Phaeophyscia*-Frequenzen befinden sich z. B. an der Bundesstraße 61 (Nordring) oder entlang der Verler Straße zwischen Gütersloh und Spexard auf dem Weg zur Autobahn. Zur **Überprüfung** der Ergebnisse könnten Staubmessungen oder Substanzmessungen mit Absorbern durchgeführt werden, z. B. für Stickstoffoxide oder Ammoniak (FRAHM 2006), oder auch der Stickstoffgehalt in Proben der Blattflechte *Parmelia sulcata* bestimmt werden, der an Standorten mit intensivem Kraftfahrzeugverkehr hoch ist (VDI 3957 Blatt 18 [VDI 2015]; STAPPER et al. 2005, 2013). Die enorme Staubbelastung im Nahfeld einer vierspurigen Autobahn verdeutlicht Abbildung 4-1 am Beispiel von Moospflänzchen aus einem Experiment an der vierspurigen Autobahn 61 in Rheinland Pfalz (STAPPER 2017a). Zahlreiche Staubteilchen unterschiedlicher Art und Herkunft mit einem sehr breiten Größenspektrum von weniger als 1 bis zu rund 100 Mikrometer maximaler Ausdehnung haben sich auf den Moospflänzchen abgesetzt. Derart hohe Belastungen liegen innerhalb von Gütersloh wahrscheinlich nicht vor. Für Innenstadtstraßen mit schluchtartigem Profil, vielen motorisierten Fahrzeugen und häufigen Beschleunigungs- und Bremsvorgängen sollte man aber sehr wohl von einer hohen Belastung mit insbesondere Rußpartikeln sowie Reifen- und Bremsabrieb ausgehen. Allein den Bremsabrieb von Fahrzeugen (PKW und LKW) beziffert SCHNEIDER (2017) verschiedenen Quellen zufolge auf 6 bis 7 mg/km und Fahrzeug.

Die **Luftgütekarte** nach VDI 3957 Blatt 13 (VDI 2005) weist Gütersloh als ein Gebiet mit überwiegend **mäßiger Luftgüte** und mäßigem bis sehr starkem Eutrophierungseinfluss aus. Damit hat sich die Bewertung seit 2004 kaum verändert, nur wenige Rasterquadrate wurden schlechter oder besser bewertet (Tabelle 3-9). Vergleicht man die Frequenzsumme der Referenzarten (Abbildung 3-20), dann erkennt man zwar die signifikante Zunahme dieser Arten seit 2004, deren (positiver) Beitrag zur abschließenden Beurteilung der Luftgüte jedoch durch die

ebenfalls häufigeren Eutrophierungszeiger wieder kompensiert wird. Die Datenauswertung gemäß VAN HERK (1999) bestätigt nicht nur die mit der VDI-Luftgütekarte dargestellte Bewertung, sie weist Gütersloh sogar als stärker mit eutrophierenden Luftschadstoffen belastet aus als die Großstadt Düsseldorf. Der Nitrophytenindex NIW ist in den (kühlen) Außenbereichen von Gütersloh vergleichbar mit dem von Düsseldorf, während das (wärmere) bebauten Stadtgebiet von Gütersloh höhere Werte entsprechend einer 50 % höheren Ammoniakkonzentration in der Luft aufweist. Der Vergleich offenbart zusätzlich, dass an den Bäumen in Düsseldorf im Mittel sogar mehr Flechten registriert wurden. Bestätigt werden diese Befunde durch die Ergebnisse der modellierten Stickstoff-Hintergrundbelastung durch das Umweltbundesamt (UBA 2017), das für Gütersloh 25 und für Düsseldorf im Mittel 19 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr als Depositionswert über bebautem Gebiet ausweist.

Es ist nicht auszuschließen, dass auch windverblasene Agrarwirkstoffe einschließlich **Gülle** bzw. deren Ausgasungen nach erfolgter Gülleapplikation die Flechtenvegetation im ländlichen Außenbereich der Stadt beeinträchtigen. An den Stellen auf Baumstämmen, die direkt von verspritzter Gülle getroffen werden, sterben die Flechten rasch ab (BENFIELD 1994). Die Wirkung von **Fungiziden** auf Flechten als Lebensgemeinschaften aus Pilzen und Algen ist bekannt, weshalb beispielsweise Bäume aus mit Fungiziden behandelten Obstbaumkulturen nicht für immisionsbezogene Flechtenkartierungen verwendet werden dürfen (VDI 2005). An alten Obstbäumen, die nur wenige Meter neben fachgerecht mit Fungiziden behandelten Obstplantagenbäumen stehen, wurde eine standorttypische Flechtenvegetation mit vielen, teils sehr große Exemplaren verschiedenster Flechtenarten beobachtet (STAPPER 2017b). Je nach Wirkstoff und Applikationsmethode sind dennoch Effekte verwehter Substanzen auf die Flechten nicht auszuschließen. Die Beobachtung an den Eichen nahe des Gütersloher Flughafens (siehe letzter Spiegelpunkt in Kapitel 3.4) ist im Gebiet eine Einzelbeobachtung ohne sichere Erklärungsmöglichkeit.

Die statistisch hochsignifikante Zunahme der Klimawandelindikatoren auf den Gütersloher Bäumen darf als Beleg für **Wirkungen des Klimawandels** auf die Natur gewertet werden. Auch wenn ein regionaler Vergleich grundsätzlich mit Unwägbarkeiten behaftet ist, liegt Gütersloh im Vergleich zur bislang konstanten Entwicklung dieser Zeigerarten zehn Jahre hinter dem wärmeren Düsseldorf zurück (SCHMITZ et al. 2017; STAPPER 2017). Die negativen Folgen von städtischer Überwärmung sind in Gütersloh im Vergleich zur Großstadt weniger stark ausgeprägt, aber namentlich im Sommer unmittelbar erlebbar, und sie werden sich – als eine Konsequenz des Klimawandels - in Form häufiger werdender tropischer Nächte zukünftig verschärfen.

## **5. Handlungsempfehlungen**

Das vorliegende Gutachten weist auf bestimmte Belastungen hin, deren Wirkungen sich mit Handlungen vor Ort wahrscheinlich mindern lassen. Viele geeignete Handlungsmöglichkeiten wurden in Gütersloh bereits diskutiert, und der Gutachter hebt hier nur einige hervor, die er als besonders zielführend erachtet.

Wenn hier als wesentliche Wirkung auf die Flechtenvegetation die Lufteutrophierung festgestellt wird, die in Gütersloh sogar stärker ist als in der Großstadt Düsseldorf, dann wird man zunächst die Frage stellen, ob das für den Menschen überhaupt von **Relevanz** ist. Die Antwort ist ein klares ja, da zum einen die andauernde Überdüngung der Umwelt mittel- bis langfristig

zu einer Verarmung der Biodiversität führt und die Belastung des Grundwassers und von Brunnen mit düngenden Substanzen problematisch ist (BMUB & BMEL 2017). Zum anderen sind Lokalisationen mit hoher verkehrsbedingter Lufteutrophierung auch reich an organischen und anorganischen Aerosolen und Feinstäuben, die je nach Partikelgröße tief in die Lunge gelangen und teilweise dort verbleiben und Entzündungsprozesse auslösen oder solche fördern können (KREYLING et al. 2006), worüber inzwischen auch in allgemein zugänglichen Medien berichtet wird (ZIMMERMANN 2017). Verkehrsbedingte Stäube resultieren z. B. aus Materialabrieb (u.a. toxische Metalle aus Bremsabrieb) oder dem Verbrennungsprozess, wobei z. B. Dieselruß nicht nur aus Kohlenstoff besteht, sondern eine Oberflächenschicht aus bekannten Toxinen (polyzyklische Kohlenwasserstoffe) aufweist (BIRMLI et al. 2006). Stäube aus Abrieb sind letztlich nicht auf Autos mit Verbrennungsmotoren begrenzt.

Welche **Handlungsempfehlungen** lassen sich angesichts der nur mäßigen Luftgüte in Gütersloh mit deutlich erkennbaren Wirkungen des motorisierten Straßenverkehrs sowie der bereits erkennbaren Wirkungen des Klimawandels geben?

- 1) **Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs (MIV).** Motorisierten Durchgangsverkehr auf möglichst breite, gut durchlüftete Straßen begrenzen. Schleichfahrten durch Wohngebiete unterbinden oder (besser) unattraktiv gestalten, weil dann die grundsätzliche Durchgängigkeit erhalten bleibt; weitere Geschwindigkeitsreduktion in Wohngebieten und ggf. Zufahrtsbegrenzung für Anwohner oder Anlieger; Verflüssigung des (Sammel-)Verkehrs durch straßengestalterische Maßnahmen; **Förderung des Fahrradverkehrs** durch Fahrradstraßen, Entschärfung von Gefahrenpunkten und mehr sichere Abstellanlagen für Fahrräder im öffentlichen Raum (Förderprogramme?); Umwandlung von PKW-Parkraum in (ggf. umbaute) Abstellanlagen für Fahrräder mit Lademöglichkeit für Pedelecs; Fahrrad-Parkhaus; Öffentlichkeitsarbeit: Werbung für "Bewegung aus eigener Kraft", Kampagne "fahrradfreundlicher Arbeitgeber". Umwandlung von Flächen des MIV in öffentlich nutzbaren urbanen Raum für zu Fuß Gehende; Förderung des Öffentlichen Personen-Nahverkehrs.
- 2) **Förderung von Maßnahmen zur Minderung negativer Effekte des Stadtklimas.** Unbedingter Erhalt bestehender Grünanlagen und Grünzüge, deren Ausbau und Vernetzung anstreben; Flächenentsiegelung, Innenhofentsiegelung, Dach- und Fassadenbegrünung (Förderprogramme?), Erhalt und Pflege der Stadtbäume; im Falle unzureichender öffentlicher Baumstandorte: Baumpflegepartnerschaft (Flächenbesitzer beschafft und pflanzt den Baum, Grünflächenamt übernimmt Verkehrssicherungspflicht); Beibehaltung der Baumschutzsatzung und Öffentlichkeitsarbeit mit Blick auf Baumpflege und Baumerhalt.
- 3) **Maßnahmen zur Minderung der Folgen des Klimawandels.** Alle Maßnahmen unter (2), zusätzlich: Erhalt und Neuschaffung von stadtklimawirksamen Gehölzflächen (Klimaoasen) mit Aufenthaltsqualität; Erhalt von Frischluftschneisen zur Innenstadtbelüftung; Entwicklung einer Klimaanpassungsstrategie – in Zusammenarbeit mit anderen Kommunen/Städten bzw. durch Teilnahme an überregionalen Programmen, um Synergien zu nutzen (Ziele: räumliche und funktionale Analyse, in welchem Ausmaß die Stadt Gütersloh betroffen ist, Modellierung der Oberflächen-Abflüsse/Fließwege/Überflutungsrisiken, Bevölkerungsschutz bei Extremwetterlagen/Hitze/Sturm/klimawandelbedingter Ansiedlung von Insekten/Krankheiten; Sicherung von Trinkwasser/gutem Grundwasser; Klimawandel(folgen)monitoring); Anpassung der Stadtnatur an künftige Klimabedingungen: Auswahl zukünftig standortklimatisch geeigneter Baumarten anlässlich Ersatzpflanzung von Alleebäumen; Pflanzung von Schattenbäumen; Schaffung begrünter Wegebeziehungen für zu Fuß Gehende; strategische Planung von Trinkwasserschutzzonen; Anpassung der Regenwasserbewirtschaftung zwecks Förderung des Grundwasserkörpers.

- 4) **Einflussnahme auf übergeordnete Behörden** mit dem Ziel, landwirtschaftliche Immissionen zu mindern, z. B. Fortführung der Grundwasserkooperation zur Verringerung des Stickstoffeintrags.

Diese Empfehlungen verstehen sich nicht losgelöst voneinander. Wenn beispielsweise zur Bedienung des Wunsches nach mehr Wohnraum hinterliegende große Gartengrundstücke bebaut werden (Stichwort "innerstädtische Nachverdichtung"), steigt der Versiegelungsgrad und als Konsequenz die städtische Überwärmung, weil die aus der Evaporation resultierende Kühlung verlorengelht. Werden von der pro Fläche gestiegenen Zahl der dort Wohnenden weiterhin alle Wege mit dem Auto zurückgelegt, steigt zusätzlich die lokale Verkehrsbelastung. Im Gegensatz dazu scheint eine Überplanung des Bestandes (ggf. unter Berücksichtigung von Denkmalschutzinteressen), die Verwendung von wärmetechnisch und energetisch geeigneten Baustoffen (Ziel: geringe Wärmespeicherung) für den neuen, voluminöseren Baukörper, die Sicherung der bislang unversiegelten Bodenfläche und die Nutzung eines öffentlichen Verkehrssystems (ÖPNV, Car-Sharing) zur Mobilität mit Blick auf Stadtklima und Klimawandelfolgenanpassung die langfristig zielführendere Lösung zu sein.

## 6. Zusammenfassung

Im Auftrag der Stadtverwaltung Gütersloh wurde im Herbst 2016 eine standardisierte Kartierung von epiphytischen Moosen und Flechten im Stadtgebiet von Gütersloh durchgeführt. Ziel war die Ermittlung der Luftgüte anhand der räumlichen Variabilität der Diversität dieser empfindlichen Monitororganismen und ein Vergleich mit den Ergebnissen einer entsprechenden Erhebung im Jahr 2004.

Das Artenspektrum der an den nach strengen Kriterien ausgewählten Bäumen nachgewiesenen Moose und Flechten ist seit 2004 zwar reichhaltiger geworden, aber erheblich von eutrophierungstoleranten Arten geprägt. Die Erholung der Flechtenvegetation und auch die Zunahme von Flechtenarten, die vom aktuellen Klimawandel profitieren, folgen dem landesweiten Trend.

Die Luftgütekarte nach VDI 3957 Blatt 13 weist Gütersloh als ein Gebiet mit überwiegend mäßiger Luftgüte (Gütekategorie 3) und mäßigem bis sehr starkem Eutrophierungseinfluss aus. Die signifikante Zunahme der Referenzarten wird hinsichtlich ihres Beitrags zur Luftgütebewertung durch die ebenfalls häufiger gewordenen Eutrophierungszeiger kompensiert. Damit hat sich die Gesamtbewertung seit 2004 kaum verändert. Der Eutrophierungseinfluss gemäß VDI 3957 Blatt 13 ist sogar gestiegen. Beim Vergleich der Ergebnisse mit der einer fast gleichzeitigen Flechtenerhebung in Düsseldorf wird erkennbar, dass der Eutrophierungseinfluss auf die Natur in Gütersloh sogar stärker ist als in der Großstadt am Rhein. Diese Beobachtung wird durch die punktgenau modellierten Daten des Umweltbundesamtes zur Stickstoff-Hintergrundbelastung in Deutschland bestätigt.

Verkehrsreiche Standorte sind arm an epiphytischen Flechten. Eine verkehrsbezogene Luftgütekarte auf Grundlage der Häufigkeit von *Phaeophyscia*-Flechtenarten zeigt die Wirkungen des Verkehrs auf die Flechtenvegetation im unmittelbaren Nahbereich der Straße.

Gütersloh weist zwar eine schwach ausgeprägte zentrale Wärmeinsel mit einer Temperaturdifferenz von rund 2,5 bis 3 Kelvin auf, doch die Häufigkeitsverteilung der Arten folgt nicht dem andernorts üblichen Muster, nach dem diese zum relativ trockenen Stadtzentrum hin seltener werden müssten. Stattdessen befinden sich die UTM-Rasterquadrate mit den meisten Moos- und Flechtenarten innerhalb des Stadtgebietes, und auch die Häufigkeit der Arten mit hoher Begleitartenzahl ist positiv mit der relativen Nachttemperatur korreliert. Aufgrund der räumlichen Verteilung der Artenvielfalt und Frequenzsumme eutrophierungstoleranter Flechten wird als Erklärung für diese Beobachtung angenommen, dass sich in den Siedlungsgebieten um die Stadtmitte herum die negativen Wirkungen eutrophierender Luftschadstoffe aus dem Umland (Landwirtschaft) und dem Verkehrssektor (Innenstadt, Autobahn) addieren.

Sowohl die Anzahl als auch die Häufigkeit so genannter Klimawandelzeigerarten gemäß VDI 3957 Blatt 20 hat seit 2004 statistisch hochsignifikant zugenommen und gilt als ein Beleg für Wirkungen des aktuellen Klimawandels auf die Natur in Gütersloh.

Die Handlungsempfehlungen beinhalten Maßnahmen zur Reduktion der Wirkungen des motorisierten Verkehrs und zur Minderung negativer Wirkungen auf das Stadtklima sowie zur langfristigen Anpassung der Stadt bzw. der Stadtnatur an das sich ändernde Klima.

## 7. Zitierte Literatur

- APTROOT, A. & SPARRIUS, L., 2009: Europese verspreiding en internationale betekenis van Nederlandse korstmossen. *Buxbaumiella* 83: 1-12.
- APTROOT, A., STAPPER, N.J., KOŠUTHOVÁ, A., CÁCERES, M.E.S., 2016: Lichens. - *In*: Letcher, T.M. (Ed.), *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth*, Elsevier, 2016, pp. 295–307.
- BENFIELD, B., 1994: Impact of Agriculture on Epiphytic Lichens at Plymtree, East Devon. – *Lichenologist* 26/1, 91-94.
- BIRMLI, W., TUCH, T., FRANCK, U., BRÜGGEMANN, E., GNAUK, T., 2006: Umweltpartikel in städtischen Atmosphären: Eigenschaften und zukünftiger Bedarf an Messmethoden. S. 29 – 34 in: Umweltbundesamt [Hrsg.], *Experten-Workshop "Verkehrsbedingte Feinstäube in der Stadt"*. – Dessau, 2006. - Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.umweltbundesamt.de> verfügbar.
- BLWG 2011: Bryologische en Lichenologische Werkgroep (BLWG): Standaardlijst van Nederlandse korstmossen. *Verspreidingsatlas Korstmossen online*. - [www.verspreidingsatlas.nl/korstmossen](http://www.verspreidingsatlas.nl/korstmossen) [letzter Zugriff: 31. März 2017].
- BMUB & BMEL (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) 2017: Nitratbericht 2016. – Bonn, 141 S.
- BORGSTEDT, M., 1988: Untersuchungen zu Luftverunreinigungen im Stadtgebiet von Gütersloh mit Hilfe epiphytischer Flechten als Bioindikatoren. – Schriftliche Hausarbeit, Staatsprüfung, Universität Bielefeld.
- BÜLTMANN, H., GUDERLEY, E. & ZIMMERMANN, D.G., 2011: Rote Liste und Artenverzeichnis der Flechten – Lichenes – in Nordrhein-Westfalen. 2. Fassung, Stand Oktober 2011. – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (Hrsg.). Recklinghausen, 34 S. elektronisch erhältlich über [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/natur/arten/rote\\_liste/pdf/RLNW11-Flechten-it-endst.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/natur/arten/rote_liste/pdf/RLNW11-Flechten-it-endst.pdf) [letzter Aufruf 31. März 2017].
- 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 (2004), S. 469-478.
- DÄMMGEN, U.; GRÜNHAGE, L.; DÖRGER, G.; HANEWALD, K., 2010: Beiträge zur Erstellung einer atmosphärischen Stickstoff-Bilanz für Hessen. 1. Bulk-Deposition von reaktivem Stickstoff. - Hrsg.: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLNUG). Wiesbaden 2010.
- 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.
- DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST) 2017: Climate Data Center CDC, öffentlich zugängliche Sammlung von Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes, erreichbar unter [http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc\\_node.html](http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html) [letzter Zugriff 31. März 2017].
- DÜLL, R., 2001: Zeigerwerte von Laub- und Lebermoosen. - *In*: ELLENBERG, H., WEBER, H.E., DÜLL, R., WIRTH, V., WERNER, W., PAULIBEN, D. 2001: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. - *Scripta Geobotanica* 18, 3. Auflage, S. 175-220.
- FRAHM, J.-P., 2006: Der Einfluss von Ammoniak auf Stickstoff liebende Flechten in verkehrsbelasteten Gebieten. *Immissionsschutz* 4/2006, S. 164-176.
- FRAHM, J.-P., STAPPER, N.J., FRANZEN-REUTER, I., 2007: Epiphytische Moose als Umweltgütezeiger. Ein illustrierter Bestimmungsschlüssel. - Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Schriftenreihe Band 40. Verein Deutscher Ingenieure (VDI). Düsseldorf, 152 S.
- FRAHM, J.-P., KLAUS, D., 1997: Moose als Indikatoren von Klimafluktuationen in Mitteleuropa. *Erdkunde* 51: 181–190.
- 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. 41 S.

- HAMMER, Ø., HARPER, D.A.T., RYAN, P.D., 2001: PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. - *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.
- 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.
- HIJMANS, R.J., GUARINO, L. & MATHUR, P., 2012: DIVA-GIS Version 7.5. – im Internet frei erhältlich unter [www.diva-gis.org](http://www.diva-gis.org) [letzter Zugriff 31. März 2017].
- HODGETTS, N.G., 2015: Checklist and country status of European bryophytes – towards a new Red List for Europe. *Irish Wildlife Manuals*, No. 84. National Parks and Wildlife Service, Department of Arts, Heritage and the Gaeltacht, Ireland.
- 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.
- VAN HERK, C.M., 1999: Mapping of ammonia pollution with epiphytic lichens in the Netherlands. *Lichenologist* 31: 9-20.
- VAN HERK, C. M., APTROOT, A., DOBBEN, H.F. VAN, 2002: Long-term monitoring in the Netherlands suggests that lichens respond to global warming. *Lichenologist*, 34 (2): 141-154.
- KREYLING, W. G., SEMMLER, M., MÖLLER, W., 2006: Ultrafeine Partikel und ihre Wirkungen auf die menschliche Gesundheit S. 19-27 in: Umweltbundesamt [Hrsg.], Experten-Workshop "Verkehrsbedingte Feinstäube in der Stadt". – Dessau, 2006. - Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.umweltbundesamt.de> verfügbar.
- KRICKE, R., 2000: Untersuchung der Luft- und Klimasituation im Stadtgebiet von Ratingen mit Hilfe von Flechten als Bioindikatoren. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Stadt Ratingen.
- KRICKE, R., 2002: Untersuchungen zur epiphytischen Flechtenvegetation in urbanen Gebieten, dargestellt an der Rückkehr der Flechten in das Ruhrgebiet und ausgewählter Nachbargebiete. Dissertation, Universität Essen. 208 p.
- 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.
- KUTTLER, W., 1998: Stadtklima. - In: SUKOPP, H. & WITTIG, R. (Hrsg.): *Stadtökologie*. 2. Aufl., Fischer, Stuttgart: 125–167.
- MARMOR, L., RANDLANE, T., 2007: Effects of road traffic on bark pH and epiphytic lichens in Tallinn. - *Folia Cryptog. Estonica*, Fasc. 43: 23–37.
- MEINUNGER, L., SCHRÖDER, W., 2007: Verbreitungsatlas der Moose Deutschlands. – 3 Bd., 636 + 699 + 709 S., Regensburgische Botanische Gesellschaft, Regensburg.
- NYLANDER, W., 1866: Les lichens du Jardin du Luxembourg. – *Bull. Soc. Bot. France* 13: 364 - 372.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM 2009: QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. URL <http://qgis.osgeo.org> [31. März 2017].
- ROSE, F., 1976: Lichenological indicators of age and environmental continuity in woodlands. - In: D. H. Brown, D. L. Hawksworth & R. H. Bailey (eds.): *Lichenology: Progress and Problems*. Academic Press, London, pp. 279-307.
- SCHMIDT, C., ABTS, U.W., GEYER, H.J., PREUBING, M., 2011a: Rote Liste und Artenverzeichnis der Laubmoose - Bryophyta - in Nordrhein-Westfalen. – 3. Fassung, Stand August 2011. – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (Hrsg.). Recklinghausen, 22. S. – elektronisch erhältlich über [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/natur/arten/rote\\_liste/pdf/RL-NW11-MOOSE/RL-NW11-2-Laubmoose-Bryophyta-endst.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/natur/arten/rote_liste/pdf/RL-NW11-MOOSE/RL-NW11-2-Laubmoose-Bryophyta-endst.pdf) [letzter Aufruf 31. März 2017].
- SCHMIDT, C., 2011b: Rote Liste und Artenverzeichnis der Leber- und Hornmoose - Hepaticophyta et Anthocerotophyta - in Nordrhein-Westfalen. - 3. Fassung, Stand August 2011 – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (Hrsg.). Recklinghausen, 7. S. - elektronisch erhältlich über [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/natur/arten/rote\\_liste/pdf/RL-NW11-MOOSE/RL-NW11-Leber-u-Hornmoose-Hepaticophyta%20et%20Anthocerotophyta-endst.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/natur/arten/rote_liste/pdf/RL-NW11-MOOSE/RL-NW11-Leber-u-Hornmoose-Hepaticophyta%20et%20Anthocerotophyta-endst.pdf) [letzter Aufruf 31. März 2017].
- SCHMITZ, U., STAPPER, N., STEVENS, M., WIROOKS, L. & LEISTEN, A., 2017: Klimafolgenmonitoring Landeshauptstadt Düsseldorf 2016 – Untersuchungen der Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Grup-

- pen 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, 186 S.
- SCHNEIDER, F., 2017: Freisetzung feiner und ultrafeiner Partikel durch Bremsanlagen bei Kraftfahrzeugen - wo stehen wir? - Herausforderung an Bremsen- und Messgerätehersteller. - Vortrag, Kolloquium Luftqualität an Straßen 2017 der Bundesanstalt für Straßenwesen. Link: <http://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Publikationen/Veranstaltungen/V3-Luft-2017/luftqualitaet.html> [letzter Aufruf 19. Mai 2017].
- SIEBEL, H.N. 1993: Indicatiegetallen van blad- en levermossen. Rapport IBN-DLO, Wageningen. Im Internet verfügbar über die Adresse: <http://www.blwg.nl/mossen/standaardlijst/mosindicatie.xls> [letzter Zugriff: 25. Januar 2016].
- SÖDERSTRÖM, L., HAGBORG, A., VON KONRAT, M., BARTHOLOMEW-BEGAN, S., BELL, D., BRISCOE, L., BROWN, E., CARGILL, D. C., COSTA, D. P., CRANDALL-STOTLER, B. J., COOPER, E. D., DAUPHIN, G., ENGEL, J. J., FELDBERG, K., GLENNY, D., GRADSTEIN, S. R., HE, X., HEINRICHS, J., HENTSCHEL, J., ILKIU-BORGES, A. L., KATAGIRI, T., KONSTANTINOVA, N. A., LARRAÍN, J., LONG, D. G., NEBEL, M., PÓCS, T., PUCHE, F., REINER-DREHWALD, E., RENNER, M. A., SASS-GYARMATI, A., SCHÄFER-VERWIMP, A., MORAGUES, J. S., STOTLER, R. E., SUKKHARAK, P., THIERS, B. M., URIBE, J., VÁÑA, J., VILLARREAL, J. C., WIGGINTON, M., ZHANG, L., & ZHU, R., 2016: World Checklist of Hornworts and Liverworts. - *PhytoKeys*, 59, 1-828. <http://dx.doi.org/10.3897/phytokeys.59.6261>.
- STADT DÜSSELDORF 1995: Klimaanalyse für die Landeshauptstadt Düsseldorf. Herausgeber: Landeshauptstadt Düsseldorf, Umweltamt, QUANTE, W., DIEHL, H., 238 S.
- STADT DÜSSELDORF 2012: Klimaanalyse für die Landeshauptstadt Düsseldorf. Herausgeber: Landeshauptstadt Düsseldorf, Umweltamt, STEINRÜCKE, M., EGGENSTEIN, J., GRUDZIELANEK, M., AHLEMANN, D., MERSMANN, M., 288 S.
- STAPPER, N. J., 2004: Luftbelastung in Gütersloh 2004 ermittelt mit epiphytischen Flechten und Moosen als Bioindikatoren. Gutachten im Auftrag der Stadtverwaltung Gütersloh. 50 S.
- STAPPER, N. J., 2012a: Baumflechten in Düsseldorf unter dem Einfluss von Luftverunreinigungen, Stadtklima und Klimawandel. - In: KÄRNEFELT, I., OTT, S., SEAWARD, M.R.D. & THELL, A. (eds.): *Lichenological Contributions in Honour of Hans Martin Jahns*. - *Bibliotheca Lichenologica* 108: 221-240.
- STAPPER, N., 2012b: Illustrierte Bestimmungshilfe zur Unterscheidung von *Candelaria concolor* und *Candelaria pacifica*. *Archive for Lichenology* 7: 1-12.
- STAPPER, N.J., 2017: Anwendung der neuen Flechtenkartierungsrichtlinie VDI 3957 Blatt 20 im Klimawandel-folgenmonitoring der Stadt Düsseldorf. - *Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft* 4/2017: 113-116.
- STAPPER, N.J., 2017a: Moosmatten-Immissionsschutzwand. - Posterbeitrag, Kolloquium Luftqualität an Straßen 2017 der Bundesanstalt für Straßenwesen. Link: <http://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Publikationen/Veranstaltungen/V3-Luft-2017/luftqualitaet.html> [letzter Aufruf 19. Mai 2017].
- STAPPER, N.J., 2017b: Erfassung und Bestimmung von Flechten in Obstanlagen. – Unveröffentlichtes Gutachten für die Universität Bonn. – 12 S.
- STAPPER, N.J., KRICKE, R., 2004a: Luftbelastung in Düsseldorf 2003 ermittelt mit epiphytischen Flechten und Moosen als Bioindikatoren. - Unveröffentlichtes Gutachten im der Landeshauptstadt Düsseldorf, Der Oberbürgermeister, Umweltamt. - 68 S.
- STAPPER, N.J., KRICKE, R., 2004b: Epiphytische Moose und Flechten als Bioindikatoren von städtischer Überwärmung, Standorteutrophierung und verkehrsbedingten Immissionen. - *Limprichtia* (Bonn) **24**, 187 - 208.
- STAPPER, N.J., FRANZEN-REUTER, I., FRAHM, J.-P., 2005: Stickstoffgehalte in der Blattflechte *Parmelia sulcata* als Indikator atmosphärischer Stickstoffeinträge in einer Großstadt am Beispiel Düsseldorf. - *Immissionsschutz*, 10 (3): 84-89.
- STAPPER, N.J. & V. JOHN, 2013: Stadtklima, Klimawandel und Immissionen: epiphytische Flechten als Bioindikatoren geeigneter denn je. - *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft* 4/2013, 167-168.
- STAPPER N.J., FRAHM J.-P., FRANZEN-REUTER I., 2013: Die Bestimmung der Stickstoff-Depositionsrates mit Hilfe von epiphytischen Flechten [The determination of the nitrogen-deposition rate with the aid of epiphytic lichens]. *Immissionsschutz*, 2013/1, 8-15.



- STAPPER, N.J., JOHN, V., 2015: Monitoring climate change with lichens as bioindicators. - Suivi du changement climatique à l'aide des lichens comme bioindicateurs. - Pollution atmosphérique 226, [online verfügbar als PDF-Dokument](http://lodel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/index.php?id=4936) über <http://lodel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/index.php?id=4936> [letzter Aufruf 31. März 2017].
- STATSOFT (2014): STATISTICA für Windows (Software-System für Datenanalyse), Version 12.0.
- STEINER, M., SCHULZE-HORN, D., 1955: Über die Verbreitung und Expositionsabhängigkeit der Rindenepiphyten im Stadtgebiet von Bonn. – Decheniana 108: 1-16.
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) 2017: Hintergrundbelastungsdaten Stickstoff. Bezugsjahr 2009. – Online abrufbar unter <http://gis.uba.de/website/depo1/index.html> [letzter Zugriff 31. März 2017].
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure [Hrsg.]), 1995: VDI-Richtlinie 3799, Blatt 1: Messen von Immissionswirkungen, Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten. Flechtenkartierung zur Ermittlung des Luftgütwertes (LGW). Beuth, Düsseldorf, 24 S.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure [Hrsg.]) 2005: VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13, 2005: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Flechten (Bioindikation). - Kartierung der Diversität epiphytischer Flechten als Indikator der Luftgüte. - Beuth, Berlin, 27 S.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure [Hrsg.]) 2006: VDI 3957 Blatt 12 Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen (Bioindikation) - Kartierung der Diversität epiphytischer Moose als Indikatoren für die Luftqualität. - Beuth, Berlin, 23 S. plus Datenträger.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure [Hrsg.]) 2015: VDI-Richtlinie: VDI 3957 Blatt 18 Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen (Biomonitoring) - Erfassen von Stickstoffanreicherungen in der Blatflechte *Parmelia sulcata* zum Nachweis von Immissionswirkungen. – Beuth, Berlin, 16 S.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure [Hrsg.]) 2017: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Umweltveränderungen (Biomonitoring) - Kartierung von Flechten zur Ermittlung der Wirkung von lokalen Klimaveränderungen. - VDI 3957 Blatt 20 (Weißdruck soll im Juli 2017 erscheinen). – Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
- VOGT, U., 2017: Räumliche und zeitliche Variabilität von NO<sub>2</sub> und Partikeln entlang einer verkehrsreichen Bundesstraße in Stuttgart –Ergebnisse von Fahrradmessungen und Passivsammler-Messungen. - Vortrag, Kolloquium Luftqualität an Straßen 2017 der Bundesanstalt für Straßenwesen. Link: <http://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Publikationen/Veranstaltungen/V3-Luft-2017/luftqualitaet.html> [letzter Aufruf 19. Mai 2017].
- VORBECK, A. & WINDISCH, U., 2002: Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Flechtenkartierung München – Eignung von Flechten als Bioindikatoren für verkehrsbedingte Immissionen. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU). Materialien Umwelt und Entwicklung 173. München, 174 S.
- WESTBERG, M., & CLERK, P., 2012: Five species of *Candelaria* and *Candelariella* (Ascomycota, Candelariales) new to Switzerland. MycoKeys 3: 1-12.
- WIRTH, V., 1992: Zeigerwerte von Flechten. – In: ELLENBERG, H., WEBER, H. E., DÜLL, R., WIRTH, V., WERNER, W., PAULIBEN, D. 1992: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. – Scripta Geobotanica 18(2), 215–237.
- WIRTH, V., 2010: Ökologische Zeigerwerte von Flechten - erweiterte und aktualisierte Fassung. - Herzogia 23(2): 229-248.
- WIRTH, V., HAUCK, M., SCHULTZ, M., 2013: Die Flechten Deutschlands. – Ulmer, Stuttgart, 1244 S.
- ZHAO, X., LEAVITT, S.D., ZHAO, Z.T., ZHANG, L.L., ARUP, U., GRUBE, M., PÉREZ-ORTEGA, S., PRINTZEN, C., ŚLIWA, L., KRAICHAK, E., DIVAKAR, P.K., CRESPO, A. & LUMBSCH, H.T., 2015: Towards a revised generic classification of lecanoroid lichens (Lecanoraceae, Ascomycota) based on molecular, morphological and chemical evidence. – Fungal Diversity: 10.1007/s13225-015-0354-5.
- ZIMMERMANN, F., 2017: Die unsichtbare Gefahr. – Die Zeit (Hamburg), 18: 13-15.

## 8. Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen

DG	Deckungsgrad von Moosen oder Flechten in Prozent der betrachteten Stammoberfläche.
KWI	Klimawandelzeiger-Index nach VDI 3957 Blatt 20; entspricht der mittleren Anzahl der Klimawandelindikatoren pro Baum in einem Untersuchungsgebiet oder Teilen davon.
KWZ	Klimawandelzeiger; nach VDI 3957 Blatt 20 handelt es sich dabei um Flechtenarten, die derzeit infolge der Veränderungen durch den Klimawandel ihr Areal in Deutschland nach Norden und Osten ausdehnen.
KWZ	Klimawandelzeiger, verwendet für Flechtenarten, die durch den aktuellen Klimawandel gefördert werden und ihr Areal in Deutschland nach Norden und Osten hin ausdehnen.
L, T, K, F, R, N	Ökologische Zeigerwerte in neun Stufen für Licht (L), Temperatur (T), Kontinentalität (K), Feuchte (F), Reaktion (R; bezeichnet den Säuregrad des Substrates), Nährstoffbedarf/toleranz (N) nach WIRTH (2010) oder DÜLL (2001).
LDV	Lichen Diversity Value = Flechtendiversitätswert gemäß VDI 3957 Blatt 13; dieser Wert ist die mit vier 10x50 cm großen Zählgittern mit insgesamt 20 quadratischen Feldern bestimmte Frequenz der Flechten (und ggf. Moose) an einem Baum.
LDVN	Flechtendiversitätswert der Nitrophyten gemäß VDI 3957 Blatt 13.
LDVR	Flechtendiversitätswert der Referenzarten gemäß VDI 3957 Blatt 13; Referenzarten sind alle Flechten, die nicht als Nitrophyt eingestuft sind.
LGW	Luftgütwert eines Rasterquadrates, entspricht der mittleren Frequenzsumme aller Flechten an den kartierten Bäumen innerhalb des Rasterquadrates; ein Wert aus der alten VDI-Richtlinie 3799 Blatt 1, dessen Berechnungsmethode im vorliegenden Text zur Bestimmung von Klassenbreiten verwendet wurde.
med	einer Größe vorangestellt z.B. als "medL" oder "medN" bezeichnet den Median, hier für die Lichtzahl L oder die Nährstoffzahl N.
MW	arithmetischer Mittelwert.
mRNT	mittlere relative Nachttemperatur eines Rasterquadrates oder eines anders definierten Geländeabschnittes.
NIW	" <i>Nitrofile Indicatie Waarde</i> ", Nitrophytenindex nach VAN HERK (1999), gibt die Häufigkeit ausgewählter nitrophytischer Flechten an den Stämmen von Standardbäumen an, ermöglicht eine Aussage über die Ammoniakkonzentration in der Luft am Baumstandort.
RNT	relative Nachttemperatur; hier die Temperaturabweichung von einem willkürlich gewählten Basiswert zu Beginn einer Temperaturmessfahrt zur Dokumentation von Temperaturunterschieden innerhalb einer Stadt oder im Vergleich zum Umland.
UTW	Urbanotoleranzwert; projektspezifische Größe; entspricht der Anzahl der Begleitarten einer Flechtenart; wird hier verwendet als Maß für die artspezifische Empfindlichkeit gegenüber Luftschadstoffen und als Maß für die Widerstandsfähigkeit gegenüber den Einflüssen der urbanen Umwelt insgesamt.