

# Dauerbeobachtung von Flechten in Hessen

## Immissionsbezogene Flechtenkartierungen am Flughafen Frankfurt (Main) (1992 – 2012)



Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Dez. I 1 – Luftreinhaltung, Kataster, Planung, Abfall  
Betreuung: Sonja Singer-Posern  
Rheingastr. 186  
65203 Wiesbaden

Gemeinnützige Umwelthaus GmbH  
Rüsselsheimer Str. 100  
65451 Kelsterbach

### **Bearbeitung:**



*Fraxinus GbR*  
Prof. Dr. rer. nat. Ute Windisch  
Alexander Vorbeck, Dipl.-Ing. Umweltschutz  
Am Weidenborn 11, 35625 Hüttenberg  
Tel.: 06441 - 2008198

### **Kartierung:**

*Bürogemeinschaft Angewandte Ökologie*  
Marion Eichler, Dipl.-Biologin  
Rainer Cezanne, Dipl.-Biologe  
Kaupstraße 43  
64289 Darmstadt

Hüttenberg, November 2012



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Aufgabenstellung</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Methoden</b> .....	<b>7</b>
	3.1 Messnetz und Untersuchungsintervall.....	7
	3.1 Trägerbäume.....	8
	3.2 Erfassung der Flechten.....	10
	3.3 Berechnung der Luftgüteindizes (LGI).....	10
<b>4</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b> .....	<b>13</b>
	4.1 Statistische Daten.....	13
	4.2 Entwicklung der Luftgüte.....	14
<b>5</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>28</b>

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verfügbarkeit von Daten im Rahmen der Flechten-Dauerbeobachtung.....	7
Tabelle 2: Baumartengruppe nach VDI-Richtlinie 3957, Blatt 13.....	9
Tabelle 3: Liste der Eutrophierungszeiger nach VDI-RICHTLINIE 3957, Blatt 13.....	11
Tabelle 4: Baumartenspektrum DBF Flughafen.....	13
Tabelle 5: Statistische Daten.....	13

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Dauerbeobachtungsfläche Flughafen Frankfurt mit Messflächen.....	8
Abbildung 2: Feldrechner Trimble Juno SB .....	9
Abbildung 3: Flechtenaufnahmegitter am Baum (nach VDI 3957 Blatt 13, Anhang A) .....	10
Abbildung 4: Bewertungsmatrix zur Ermittlung des Luftgüteindex anhand der Kombination der Diversitätswerte der Eutrophierungszeiger und der übrigen Arten .....	12
Abbildung 5: Erläuterung der Bewertungsmatrix.....	12
Abbildung 6: Entwicklung der Flechten-Artenzahl sowie der Diversitätswerte von Eutrophierungszeigern und Referenzarten .....	14
Abbildung 7: Zeitliche Entwicklung der Frequenz häufiger Eutrophierungszeiger .....	15
Abbildung 8: Die Blattflechten <i>Phaeophyscia orbicularis</i> (links) und <i>Xanthoria parietina</i> (rechts) haben am Flughafen deutlich zugenommen. Beide sind Bioindikatoren eines übermäßigen Nährstoffangebotes in der Luft (Fotos: Kirschbaum).....	16
Abbildung 9: Zeitliche Entwicklung der Frequenz häufiger Referenzarten .....	17
Abbildung 10: Der Anstieg der Referenzarten <i>Candelariella reflexa</i> (links) und <i>Parmelia sulcata</i> (rechts) zeigt die langjährige Verbesserung der Luftgüte in der Umgebung des Flughafens an (Fotos: Kirschbaum). .....	17
Abbildung 11: Zeitliche Entwicklung der durch die Flechten ermittelten Luftgütekategorien .....	18
Abbildung 12: Zeitliche Entwicklung der Luftgüteindizes im Umfeld des Flughafens Frankfurt .	19
Abbildung 13: Zeitliche Entwicklung des Einflusses eutrophierender Luftschadstoffe.....	20
Abbildung 14: Jahresmittelwerte der SO <sub>2</sub> -Konzentration im Raum Frankfurt von 1980-1995 (Stadt Frankfurt am Main) .....	21
Abbildung 15: Jahresmittelwerte der SO <sub>2</sub> -Konzentration in Raunheim .....	22
Abbildung 16: Jahresmittelwerte der NO <sub>2</sub> -Konzentration in Raunheim .....	23
Abbildung 17: Entwicklung der Ammoniakkonzentrationen in verschiedenen Gebieten Deutschlands (Dämmgen et al. 2012/2013).....	24
Abbildung 18: Jahresmittelwerte der PM <sub>10</sub> -Konzentration in Raunheim.....	25

# 1 Zusammenfassung

Im Jahr 2012 wurde in der Umgebung des Flughafens Frankfurt/Main eine immissionsbezogene Flechtenkartierung nach den Vorgaben der VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13 durchgeführt. Die aktuelle Kartierung stellt nach 1992 und 2007 die dritte Untersuchung eines langfristigen Biomonitorings dar.

Flechten sind seit langem als empfindliche Bioindikatoren bekannt. Sie ermöglichen eine Aussage über die lufthygienische Situation eines Untersuchungsgebietes (Rabe und Beckelmann 1987; Cislighi und Nimis 1997).

Die Ergebnisse lassen sich, wie folgt, zusammenfassen:

- Bei den Flechten zeigte sich zum Zeitpunkt der ersten Untersuchung in 1992 am Flughafen Frankfurt/Main sowie in weiten Teilen Hessens eine starke Verarmung der Flechtenflora. Dies wurde auf die hohe allgemeine Immissionsbelastung zurückgeführt.
- Mit zunehmender Verbesserung der lufthygienischen Verhältnisse innerhalb des Untersuchungszeitraumes – hervorgerufen durch verminderte Immissionen – stieg am Flughafen die Artenzahl der Flechten bis 2012 stetig an.
- Kamen zunächst nur toxtolerante Arten zurück, so ist inzwischen auch eine Rekolonisation durch empfindliche Spezies zu beobachten.
- Der Vergleich der Flechtenvegetation zwischen 1992 und 2012 zeigt darüber hinaus einen deutlichen Anstieg von Arten, die durch eutrophierende Luftschadstoffe begünstigt werden. Die von 1992 bis 2007 festgestellte Entwicklung hat sich bis 2012 weiter fortgesetzt.
- Eine Beeinträchtigung der durch die Flechten nachweisbaren versauernden und eutrophierenden Luftschadstoffkomponenten durch den Flughafen konnte nicht festgestellt werden. Ein Vergleich mit anderen Untersuchungsgebieten in Hessen kann nach Abschluss des landesweiten Monitoringprogramms in 2013 gezogen werden.

**Schlagnworte:** Wirkungen von Immissionen, Biomonitoring, VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13, Flechtenkartierung, Flughafen, Frankfurt

## 2 Aufgabenstellung

Im Rahmen des landesweiten Biomonitoringprogramms „Flechten-Dauerbeobachtung Hessen“ untersucht das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie seit 1992 die Flechtenbestände an Bäumen ausgewählter Untersuchungsgebiete. Das Vorhaben findet in Kooperation mit der Technischen Hochschule Mittelhessen und dem Büro *Fraxinus GbR* statt.

Nach der ersten, flächendeckenden Untersuchung im Jahr 1992 wurden Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet, die im Abstand von 5 Jahren wiederholt untersucht werden. Seit 2007 ist die Dauerbeobachtungsfläche Flughafen in das Programm aufgenommen. Im Jahr 2012 sollte eine erneute Untersuchung durchgeführt werden. Ziele der Flechtenkartierung sind

- die langfristige Dokumentation der Flechten an freistehenden Trägerbäumen,
- die Interpretation der Flechtenvorkommen hinsichtlich der Immissionswirkungen
- und die Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Immissionswirkungen seit 1992.

Für alle Untersuchungen wird ein standardisiertes Verfahren des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) zur Flechtenkartierung verwendet. Flechten reagieren auf den Gesamtkomplex biologisch wirksamer Immissionen, wobei säurebildende und eutrophierende Luftschadstoffe im Vordergrund stehen.

So beschreibt die vorliegende Arbeit die Ergebnisse der Flechtenkartierung an Bäumen im Umfeld des Frankfurter Flughafens in 2012. Ein Vergleich zu den Untersuchungen in 1992 und 2007 wird gezogen.

## 3 Methoden

Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse innerhalb der Zeitreihe soll gewährleistet bleiben. Daher ist die Vorgehensweise weitgehend identisch mit der der bisherigen Untersuchungen. Sie entspricht der aktuellen VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13, Anhang A.

### 3.1 Messnetz und Untersuchungsintervall

In der ersten, landesweit flächendeckenden, Flechtenkartierung Hessens von 1992 wurden auch am Flughafen Daten zum Flechtenvorkommen nach einer standardisierten Methode erhoben (Kirschbaum und Windisch 1995). Es folgte die Ersteinrichtung von landesweiten Flechten-Dauerbeobachtungsflächen (DBF) für ein Langzeitmonitoring. In einem 5-jährigen Turnus findet eine Flechtenkartierung an den DBF statt.

Die Umgebung des Flughafens wurde 2007 in das Monitoringprogramm aufgenommen. Es zeigte sich, dass die übliche Größe einer Dauerbeobachtungsfläche von 10 x 10 km nicht ausreichte, um eine aussagekräftige Anzahl von Untersuchungspunkten zu erzielen. Für die immisionsbezogene Flechtenkartierung werden freistehende Laubbäume benötigt, die aufgrund der ausgedehnten Waldgebiete und des Betriebsgeländes rund um den Flughafen nicht überall verfügbar sind. So wurde für die Dauerbeobachtungsfläche Flughafen eine Größe von 14 x 14 km gewählt (Kirschbaum und Hanewald 1998). Auf dieser Fläche wurden im Jahr 1992 insgesamt 20 Untersuchungspunkte (Messflächen) auf Flechten untersucht. Seit 2007 findet die Kartierung an 24 Messflächen statt (Tabelle 1). Die Lage der Messflächen ist in Abbildung 2 dargestellt.

Tabelle 1: Verfügbarkeit von Daten im Rahmen der Flechten-Dauerbeobachtung

Untersuchungsjahr	1992	1997	2002	2007	2012
Anzahl Messflächen DBF Flughafen	20	-	-	24	24

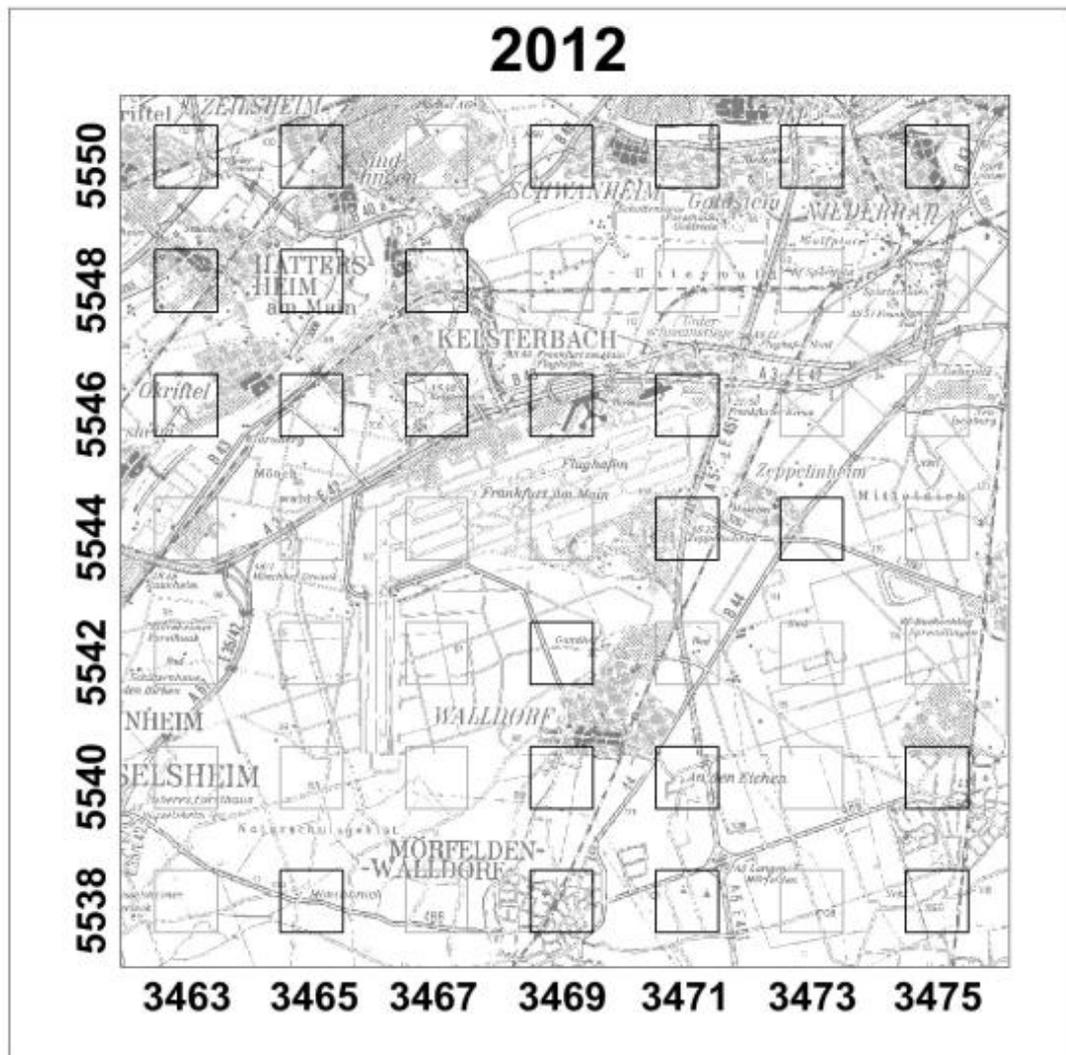


Abbildung 2: Lage der Dauerbeobachtungsfläche Flughafen Frankfurt mit Messflächen (Kartengrundlage TK 100: Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation)

### 3.1 Trägerbäume

An jeder Messfläche wird an 6-12 geeigneten Bäumen der Flechtenbewuchs erfasst. Nach Möglichkeit werden die Trägerbäume der letzten Kartierung wieder kartiert. Sind diese Bäume nicht mehr geeignet (z. B. wegen Überalterung) bzw. nicht mehr vorhanden (z. B. Fällung, Windwurf), so wird Ersatz gesucht.

Es werden solche Trägerbäume ausgewählt, die die Anforderungen der VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13, erfüllen. Die Richtlinie gibt eine weitgehende Standardisierung der Bäume hinsichtlich der Baumart, des Umfanges, der Beschattung, der Einflüsse der Umgebung, etc. vor. Die Baumarten werden entsprechend ihres Borken-pH-Wertes in Gruppen eingeteilt. Bäume innerhalb einer Gruppe gelten als vergleichbar. In der vorliegenden Arbeit werden die Baumarten der Gruppe 1 gewählt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Baumartengruppe 1 nach VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13, mit zulässigem Baumumfang in cm

Gruppe 1 Baumrinden unter natürlichen Verhältnissen subneutral
Spitzahorn ( <i>Acer platanoides</i> ) (70 bis 280)
Esche ( <i>Fraxinus excelsior</i> ) (70 bis 280)
Ulme ( <i>Ulmus</i> spp.) (70 bis 280)
Walnussbaum ( <i>Juglans regia</i> ) (70 bis 280)
Manna-Esche ( <i>Fraxinus ornus</i> ) (70 bis 280)
Hybrid-Pappel ( <i>Populus x canadensis</i> agg.) (70 bis 280)
Bergahorn ( <i>Acer pseudoplatanus</i> ) (70 bis 280)
Apfelbaum ( <i>Malus domestica</i> ) (70 bis 160)
Birnbaum ( <i>Pyrus communis</i> ) (70 bis 160)
Winterlinde ( <i>Tilia cordata</i> ) (100 bis 280)
Sommerlinde ( <i>Tilia platyphyllos</i> ) (100 bis 280)

Zur Dokumentation der Baumstandorte im Gelände wird ein Feldrechner Trimble Juno SC (Abbildung 3) mit integriertem GPS und der Software Arcpad 8.0 verwendet. Die Position der Trägerbäume konnte durch die GPS-Anzeige direkt in ein hinterlegtes Luftbild eingetragen werden. Außerdem wurden in diesem Zuge auch sämtliche Standortdaten digital erfasst. So ist sichergestellt, dass bei einer Wiederholungsuntersuchung – sofern noch vorhanden – dieselben Bäume untersucht werden.

Um die Position des Messgitters am Baum dauerhaft zu markieren, wird in der Mitte der Messgitter-Oberkante (in 1,5 m Höhe) ein Edelstahlstift eingeschlagen.

Abbildung 3: Feldrechner Trimble Juno SC



## 3.2 Erfassung der Flechten

Zur Erfassung der Flechten wird ein Gitter mit 10 Gitterfeldern (je 10 x 10 cm) an der am stärksten mit Flechten bewachsenen Stammseite angelegt (VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13, Anhang A). Es werden alle Flechtenarten im Messgitter aufgenommen. Für jede vorgefundene Art wird notiert, in wie vielen der 10 Felder des Gitters die Art vorkommt (Frequenz). Ist eine Identifikation der Flechten vor Ort nicht sicher möglich, werden unter Schonung des Bestandes – möglichst außerhalb der Messgitterfläche – Proben genommen und im Labor bestimmt. Als Bestimmungsliteratur dienen Wirth et al. (1995) und diverse gattungsspezifische Flechtenpublikationen.

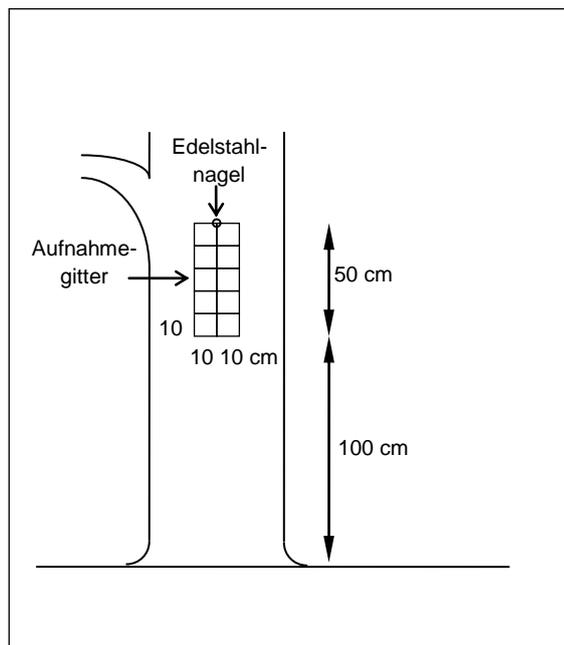


Abbildung 4: Flechtaufnahmegerät am Baum (nach VDI 3957 Blatt 13, Anhang A)

## 3.3 Berechnung der Luftgüteindizes (LGI)

Das Datenmaterial wird in eine MS Access-Datenbank eingegeben und nach den Vorgaben der VDI-Richtlinie (VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13) ausgewertet.

Aus der Anzahl der im Aufnahmegerät vorhandenen Arten und deren Häufigkeit werden zunächst Flechten-Diversitätswerte (FDW) errechnet. Die FDW werden für die Eutrophierung anzeigenden Arten (Eutrophierungszeiger) und für die übrigen Arten (Referenzarten) getrennt berechnet. Eutrophierungszeiger sind die in Tabelle 3 genannten Arten. Die Einschätzung der Arten als Eutrophierungszeiger basiert auf den Zeigerwerten für Flechten nach WIRTH (2001). In einer neunstufigen Skala werden dabei die Ansprüche der Arten gegenüber wichtigen ökologischen Faktoren wie Temperatur, Feuchte, Nährstoffangebot und pH-Wert ausgedrückt.

Tabelle 3: Liste der Eutrophierungszeiger nach VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13, Stand: 2005

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

Für die ermittelten FDW können in der Bewertungsmatrix (Abbildung 5) die entsprechenden Luftgüteindizes (LGI), zum Beispiel „4 E2“, ausgelesen werden. Für jede Messfläche wurde ein LGI ermittelt. Die Bewertung des LGI ist in Abbildung 6 erläutert. Der Luftgüteindex repräsentiert die Belastung durch saure und eutrophierende Luftverunreinigungen. Er setzt sich aus zwei Ziffern zusammen, die durch einen Punkt getrennt sind. Die erste Ziffer des Indexes entspricht der Luftgüte und ist mit einer Farbe gekoppelt, die zweite Ziffer symbolisiert das Vorkommen von Eutrophierungszeigern. Dabei wird die Luftgüte verbal mit „sehr hoch - hoch - mäßig - gering - sehr gering“ bewertet und mit der entsprechenden Farbe in der Luftgütekarte gekennzeichnet.

Die Grunddaten der bisherigen Untersuchungen wurden nach derselben Methode ausgewertet.

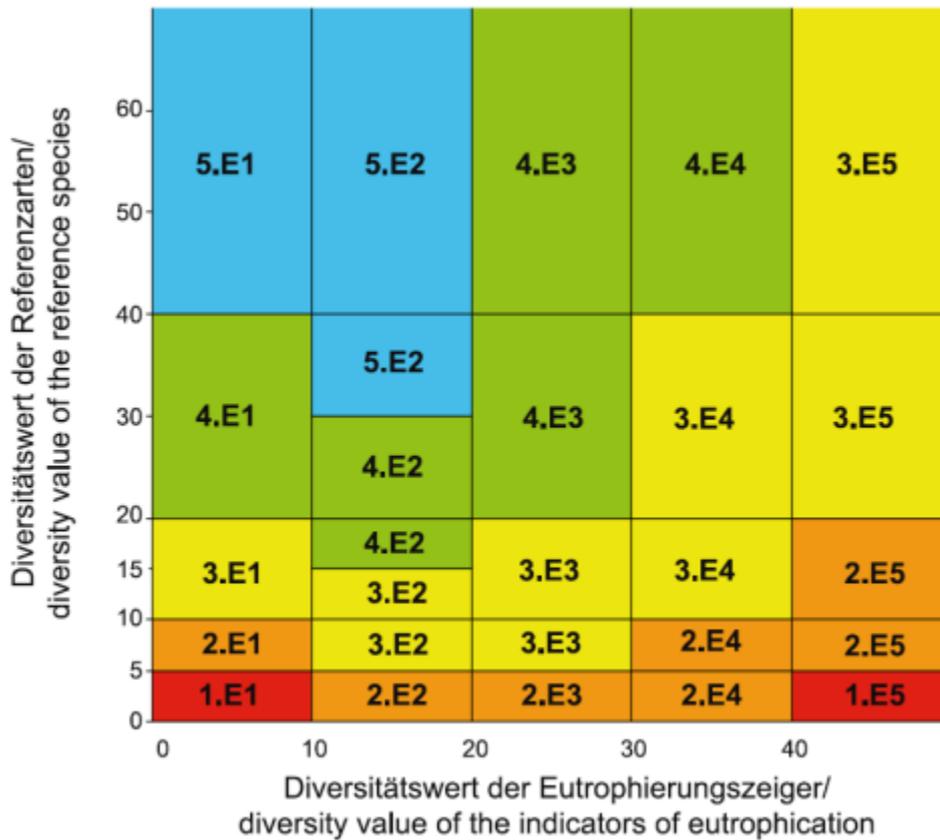


Abbildung 5: Bewertungsmatrix zur Ermittlung des Luftgüteindex anhand der Kombination der Diversitätswerte der Eutrophierungszeiger und der übrigen Arten (Datenerhebung mit dem Aufnahmegitter der VDI 3799), nach VDI 3957 Blatt 13, Anhang A

Bewertung der Luftgüte/Evaluation of air quality	Indexwert (erste Ziffer) und Farbe/Index value (first digit) and colour
sehr hohe Luftgüte/very high air quality	5
hohe Luftgüte/high air quality	4
mäßige Luftgüte/moderate air quality	3
geringe Luftgüte/low air quality	2
sehr geringe Luftgüte/very low air quality	1

Diversitätswerte der Eutrophierungszeiger/ diversity values of the indicators for eutrophication	Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen/ influence of eutrophication substances	Indexwert (zweite Ziffer)/ Index value (second digit)
sehr hoch/very high	sehr stark/very strong	E5
hoch/high	stark/strong	E4
mäßig/moderate	mäßig/moderate	E3
niedrig/low	gering/low	E2
sehr niedrig/very low	sehr gering/very low	E1

Abbildung 6: Erläuterung der Bewertungsmatrix, nach VDI 3957 Blatt 13, Anhang A

## 4 Ergebnisse und Diskussion

An den 24 untersuchten Messflächen wurden 2012 insgesamt 216 Bäume auf ihren Flechtenbewuchs untersucht. Es wurde überwiegend an Spitzahornen und Linden kartiert (Tabelle 4).

Tabelle 4: Baumartenspektrum DBF Flughafen

Baumart	Anzahl Bäume
Spitzahorn ( <i>Acer platanoides</i> )	71
Linde ( <i>Tilia cordata/T. platyphyllos</i> )	63
Bergahorn ( <i>Acer pseudoplatanus</i> )	25
Apfelbaum ( <i>Malus domestica</i> )	18
Esche ( <i>Fraxinus excelsior</i> )	14
Pappel ( <i>Populus</i> spp.)	9
Sonstige	16

### 4.1 Statistische Daten

Die statistischen Daten des Projektes sind in Tabelle 5 dargestellt. An den 216 untersuchten Bäumen wurden 74 Flechtenarten kartiert. Als Beifunde wurden 8 Arten der lichenicolen (flechtenbewohnende) Pilze notiert. Die Artenliste befindet sich im Anhang.

Tabelle 5: Statistische Daten

Untersuchungsgebiet	DBF Flughafen
Jahr	2012
Anzahl der untersuchten Messflächen	24
Summe kartierter standardisierter Trägerbäume	216
mittlere Anzahl kartierter Bäume pro Messfläche	9
Summe der Flechtenarten an standardisierten Trägerbäumen	74
mittlere Flechtenartenzahl pro Messfläche	23,5
mittlerer Flechten-Diversitätswert (FDW) der Eutrophierungszeiger	26,3
mittlerer Flechten-Diversitätswert (FDW) der Referenzarten	18,4

## 4.2 Entwicklung der Luftgüte

Die vorliegende Flechtenkartierung belegt die Verbesserung der lufthygienischen Verhältnisse an der Dauerbeobachtungsfläche (DBF) Flughafen Frankfurt/Main von 1992 bis heute.

Die meisten Flechtenarten reagieren extrem empfindlich gegenüber Belastungen aus der Umwelt, insbesondere Luftverschmutzung, übermäßige Nährstoffanreicherung und Klimaänderungen (VDI 3957 Blatt 13 2005). Daher ist bereits der Anstieg der Flechten-Artenzahl (Abbildung 7) ein Hinweis auf eine verbesserte Luftgüte. Die Artenzahl hat sich im Untersuchungsgebiet Flughafen von 1992 bis 2007 mehr als verdoppelt und stieg bis 2012 auf 74 Arten an. Auch die mittlere Anzahl von Flechtenarten pro Messfläche ist im Vergleichszeitraum massiv angestiegen.

Betrachtet man allerdings den mittleren Diversitätswert der Eutrophierungszeiger, so ist zu erkennen, dass auch diese Artengruppe stark zugenommen hat. Die Steigerung zeigt den Anstieg der Wirkungen luftgetragener Nährstoffe (z.B. Ammoniak, partikelgebundene Ammoniumsalze, etc.) an. Diese Stoffgruppe ist wegen ihrer eutrophierenden Wirkung auf Ökosysteme als kritisch zu betrachten. Da dieses Phänomen jedoch seit einiger Zeit in allen hessischen Flechten-Dauerbeobachtungsflächen auftritt, ist hier keine Zuordnung zu flughafenspezifischen Emissionen zu treffen. Andererseits kann man auch erkennen, dass der Diversitätswert der Referenzarten, die eine Verbesserung der lufthygienischen Bedingungen anzeigen, ebenfalls angestiegen ist.

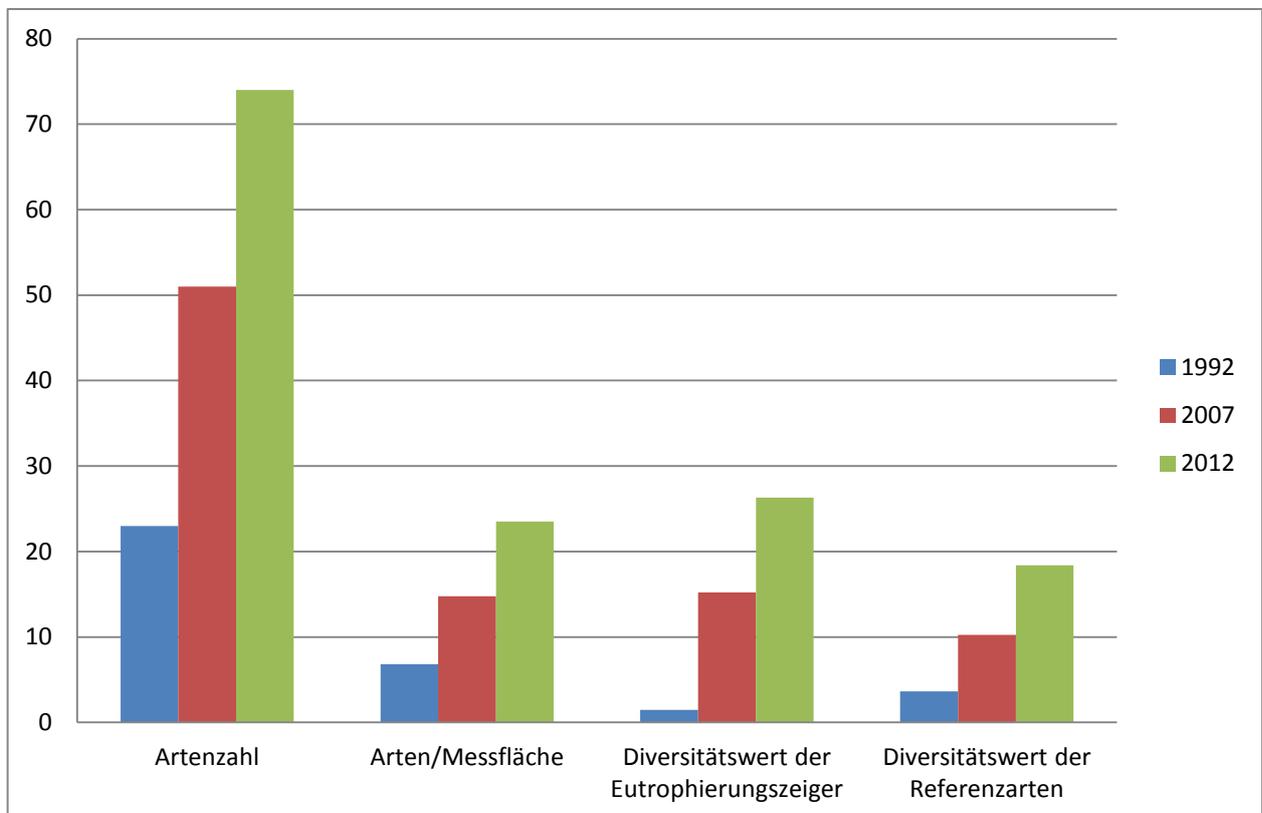


Abbildung 7: Entwicklung der Flechten-Artenzahl sowie der Diversitätswerte von Eutrophierungszeigern und Referenzarten

Bei einer detaillierteren Betrachtung der zeitlichen Entwicklung einzelner Flechtenarten werden häufige Eutrophierungszeiger und Referenzarten getrennt dargestellt.

Die Häufigkeit (mittlere Frequenz im Messgitter) ausgewählter Eutrophierungszeiger vermittelt Abbildung 8. Die Artengruppe *Physcia adscendens/tenella* kam bereits 1992 am Flughafen vor und ist in den Jahren 2007 und 2012 die häufigste Gruppe. Die Blattflechte *Phaeophyscia orbicularis* war in 1992 noch selten anzutreffen, ist aber mittlerweile an allen untersuchten Bäumen in durchschnittlich 7 Feldern des Messgitters vorhanden. In den letzten 5 Jahren hat die Art weiter zugenommen. Bei den übrigen dargestellten Eutrophierungszeigern ist ebenfalls ein deutlicher Anstieg in den letzten 5 Jahren zu verzeichnen. Darunter sind drei Vertreter der Gattung *Xanthoria*, die heute wegen ihrer auffallend gelben Farbe selbst flechtenkundlichen Laien überall ins Auge fallen.

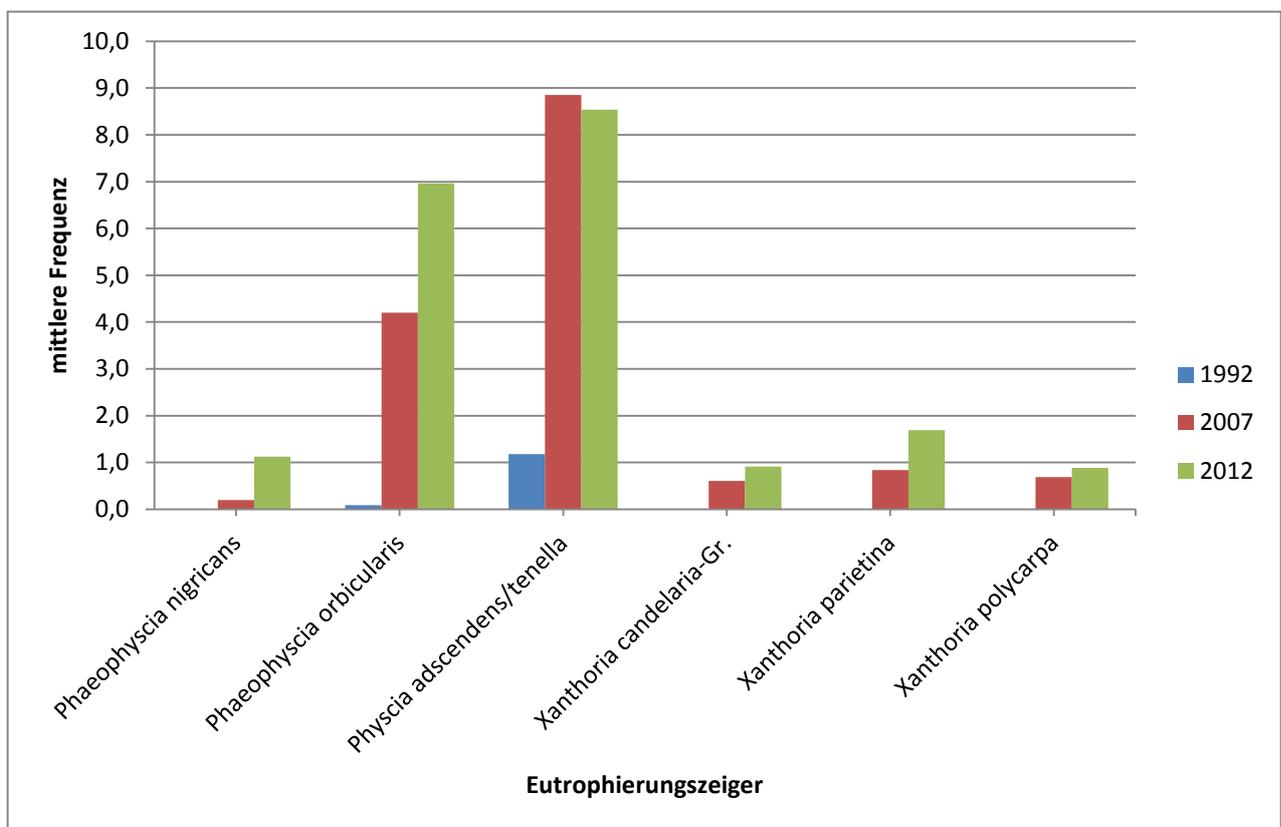


Abbildung 8: Zeitliche Entwicklung der Frequenz häufiger Eutrophierungszeiger



Abbildung 9: Die Blattflechten *Phaeophyscia orbicularis* (links) und *Xanthoria parietina* (rechts) haben am Flughafen deutlich zugenommen. Beide Arten sind Bioindikatoren für einen übermäßigen Nährstoffeintrag aus der Luft (Fotos: Kirschbaum).

Die zeitliche Entwicklung der Häufigkeit der Referenzarten (Abbildung 10) ist nicht so einheitlich, wie dies bei den Eutrophierungszeigern der Fall ist. Die Flechtengruppe *Candelariella reflexa/xanthostigma* und die Blattflechte *Parmelia sulcata* zeigen zwar einen starken Frequenz-Zuwachs, die meisten übrigen Arten sind jedoch nur geringfügig häufiger geworden. Die Krustenflechte *Candelariella reflexa* gehört in der Gruppe der Referenzarten zu den nährstofftoleranteren Vertretern. Bei einigen Arten, darunter *Lecanora expallens* und *L. saligna* (nicht abgebildet), sind die Bestände rückläufig.

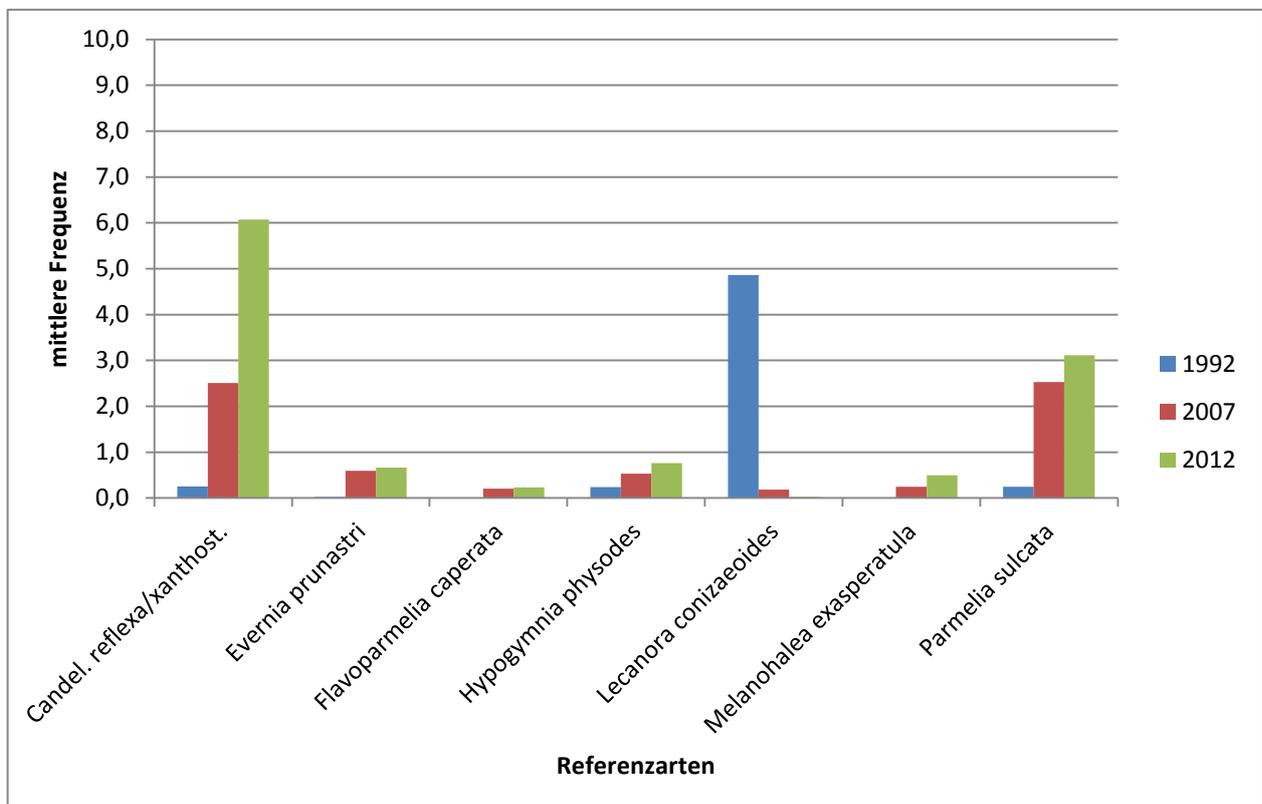


Abbildung 10: Zeitliche Entwicklung der Frequenz häufiger Referenzarten

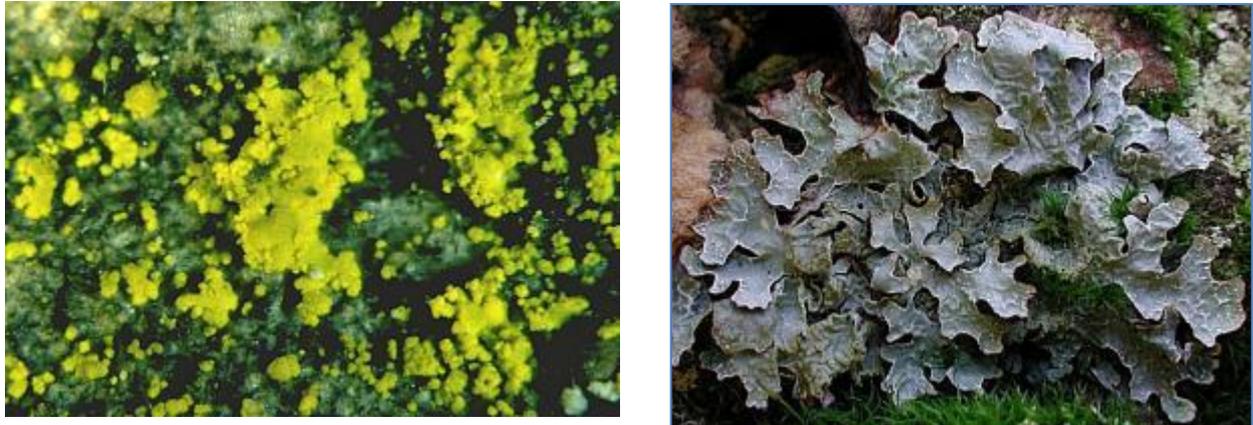


Abbildung 11: Der Anstieg der Referenzarten *Candelariella reflexa* (links) und *Parmelia sulcata* (rechts) zeigt die langjährige Verbesserung der Luftgüte in der Umgebung des Flughafens an (Fotos: Kirschbaum).

Einen Sonderfall stellt die – saure Substrate bevorzugende – Krustenflechte *Lecanora conizaeoides* dar. Kam sie 1992 noch mit einer Frequenz von 4,9 vor, so ist sie heute extrem selten geworden (Frequenz: 0,023). Die Art gilt als extrem acidophytisch (säureliebend) und wird durch immissionsbedingte Säureinträge bis zu einem gewissen Grad gefördert. Ihr Rückgang lässt sich mit der Verminderung saurer Immissionen (Schwefeldioxid) seit Mitte der 1980er Jahre erklären.

In Abbildung 12 ist die Entwicklung der Luftgüte im Umfeld des Frankfurter Flughafens zwischen 1992 und 2012 dargestellt. In der ersten Untersuchung im Jahr 1992 gehörten 75 % der damals untersuchten 20 Messstellen der schlechtesten Kategorie an (sehr geringe Luftgüte). 15 % der Messstellen besaßen eine geringe Luftgüte und nur 10 % im Süden des Untersuchungsgebietes hatten eine mittlere Luftgüte. Bis 2007 haben sich die Verhältnisse grundlegend gewandelt. Es ergab sich ein deutlich günstigeres Bild – eine Entwicklung, die sich bis heute fortgesetzt hat. So sind aktuell 50 % der untersuchten Flächen einer mittleren Luftgüte zuzuordnen und 41,7 % erhalten nach der Flechtenkartierung sogar die Bewertung „hohe Luftgüte“. Eine „sehr hohe Luftgüte“ konnte bisher keine der untersuchten Flächen im Umland des Frankfurter Flughafens erreichen.

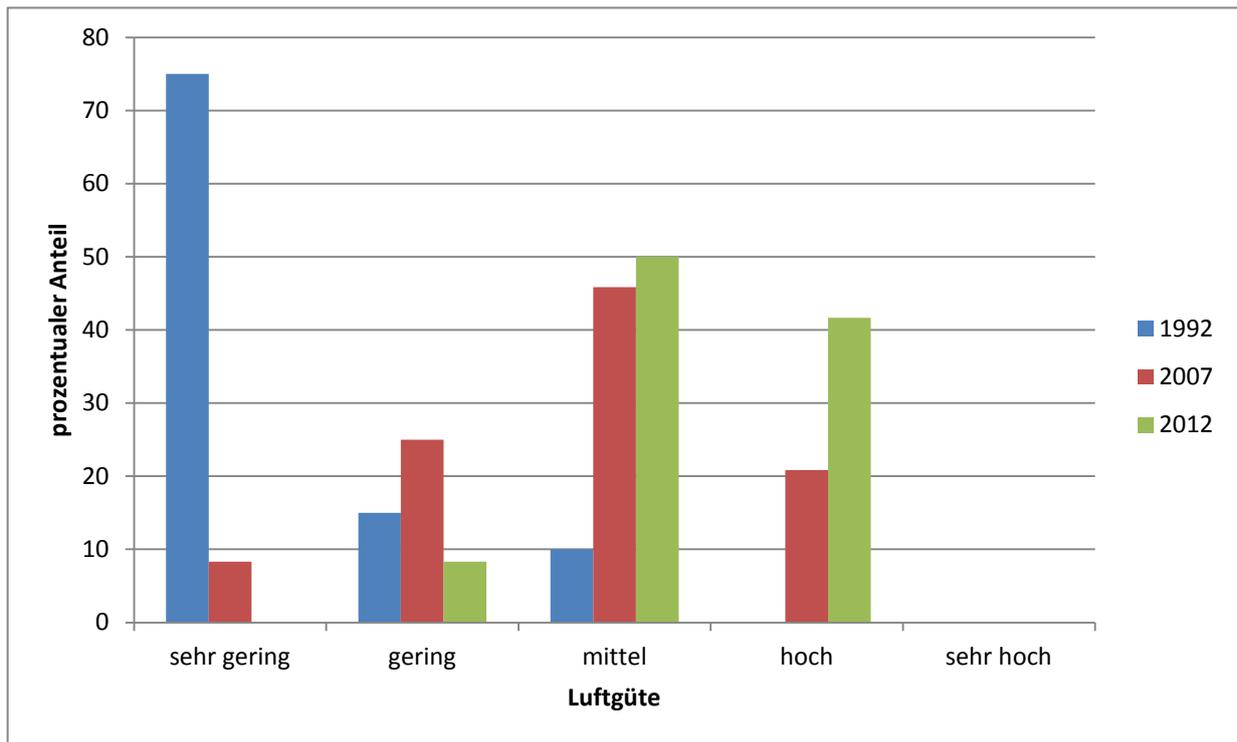


Abbildung 12: Zeitliche Entwicklung der durch die Flechten ermittelten Luftgütekategorien

Aus Abbildung 13 ergibt sich die räumliche Verteilung der Messflächen unterschiedlicher Luftgüte im Untersuchungszeitraum. Weder für die Untersuchungen von 1992 und 2007 noch für die aktuelle Arbeit lässt sich eine räumliche Abstufung der Flechten-Indizes nachweisen, die einen Bezug zum Flughafen erkennen lässt. Während die Kartierung von 1992 eine insgesamt relativ einheitliche Verteilung der Luftgüte auf niedrigem Niveau aufzeigt, ergibt sich für die Jahre 2007 und 2012 ein kleinräumig differenziertes Bild.

So stellen sich in 2012 sowohl der Nordwesten als auch der Südosten des Gebietes überwiegend günstig dar. Der Flechtenbewuchs an den Bäumen der Messflächen in Kriftel, Hattersheim, dem Südwesten Okriftels, Sindlingen und Langen belegen eine **hohe Luftgüte (grün)**.

Eine nur **geringe Luftgüte (orange)** ergibt sich im Nordwesten, westlich von Kelsterbach (3465/5548). Aus methodischen Gründen wird die Bewertung als zu ungünstig beurteilt. Vor Ort wurden Apfelbäume kartiert. In den letzten Jahren hat sich jedoch herausgestellt, dass die Flechten auf Apfelbäumen nicht in dem Maße zunehmen wie auf anderen Baumarten. Grund hierfür ist die abblätternde Borke, die nur raschwüchsigen Arten auf Dauer eine Besiedelung ermöglicht. Als Konsequenz aus dieser Beobachtung werden die Apfelbäume kontinuierlich durch andere Baumarten ersetzt. Auf der Messfläche westlich Kelsterbachs sind keine anderen geeigneten Trägerbäume vorhanden. Auch in Walldorf-Südost (3471/5540) wird eine nur geringe Luftgüte (orange) erreicht – hier scheinen jedoch keine methodischen Ursachen vorzuliegen.

Der überwiegende Teil der Messflächen weist eine **mittlere Luftgüte (gelb)** auf. Dazu gehören beispielsweise Schwanheim, das Gebiet östlich des Flughafengeländes bei Zeppelinheim und der Raum Mörfelden.

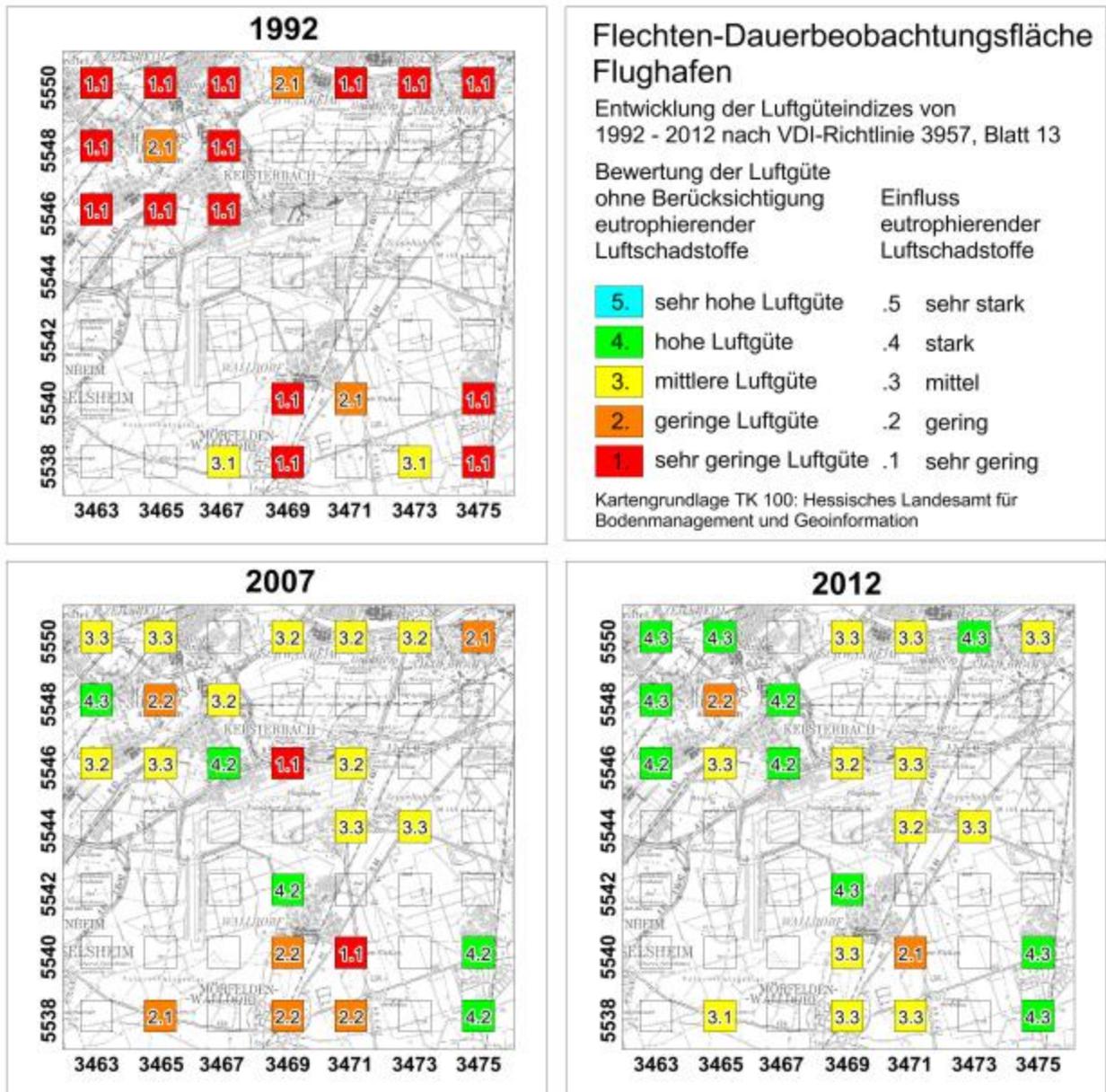


Abbildung 13: Zeitliche Entwicklung der Luftgüteindizes im Umfeld des Flughafens Frankfurt

Die zweite Ziffer hinter dem Punkt (siehe Messflächen in Abbildung 13) gibt Auskunft über den Einfluss eutrophierender Luftschadstoffe. Zur besseren Lesbarkeit wird hier der zweiten Ziffer kein „E“ vorangestellt.

Zu Beginn des langfristigen Monitorings in 1992 war noch kein nennenswerter Einfluss eutrophierender Luftschadstoffe durch die Flechten nachweisbar („sehr gering“, Abbildung 14). Dies änderte sich bis 2007 deutlich, wo bei den meisten Messflächen ein geringer bis mittlerer Einfluss zu verzeichnen war. Wie die deutliche Zunahme der Eutrophierung anzeigenden Flechtenarten seit 2007 bereits vermuten lässt, sind die Eutrophierungsindizes in den letzten 5 Jahren noch weiter angestiegen, so dass heute rund 67 % der Messflächen unter einem mittelhohen Einfluss stehen.

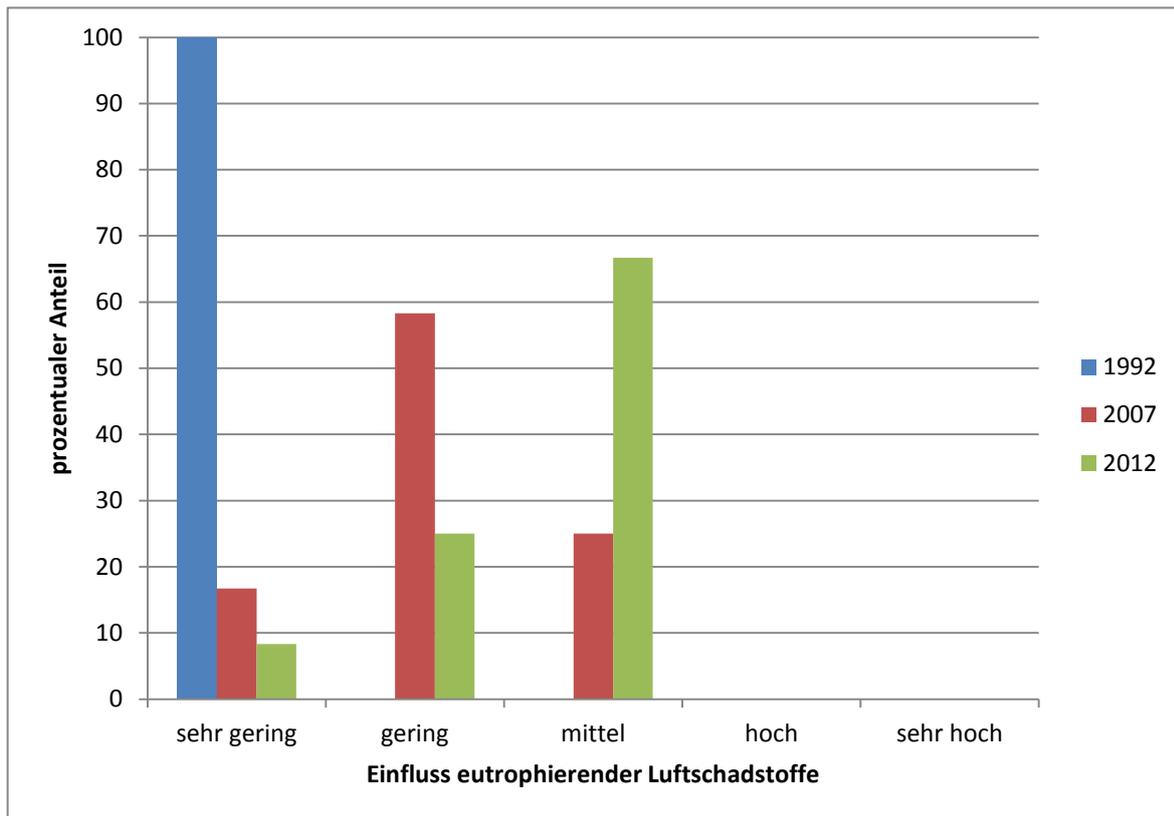


Abbildung 14: Zeitliche Entwicklung des Einflusses eutrophierender Luftschadstoffe

Die Dauerbeobachtungsfläche Flughafen ist das erste ausgewertete Untersuchungsgebiet des landesweiten Monitoringprojektes 2012/2013. Daher kann noch kein Vergleich mit den anderen hessischen Regionen gezogen werden. Jedoch liegen Ergebnisse aus einer kürzlich abgeschlossenen, nach der gleichen Methodik durchgeführten, immissionsbezogenen Flechtenkartierung Gießens und Wetzlars vor (Kirschbaum et al. 2012). Hier nimmt im Zeitraum 2005 bis 2010 die durch die Flechten angezeigte Luftgüte ebenfalls zu. Die meisten der untersuchten Messflächen gehören der Klasse „mittlere“ und „hohe“ Luftgüte“ an. In Gießen wird jedoch auch erstmals eine Fläche mit sehr hoher Luftgüte ausgezeichnet.

In beiden Städten sind von 2005 bis 2010 auch die Eutrophierungsindizes angestiegen. Das Gros der Messflächen erreicht 2010 die Eutrophierungsstufe „mittel“, an zwei Messflächen wird die Stufe „hoch“ erreicht. Am Flughafen als auch in den mittelhessischen Städten Gießen und Wetzlar hat sich eine ähnliche Entwicklung abgespielt, was den Schluss nahe legt, dass weder die Verbesserung der lufthygienischen Situation noch die Zunahme der Eutrophierungszeiger ein flughafenspezifisches Phänomen sind. Die Auswertung der übrigen hessischen Dauerbeobachtungsflächen wird weitere Erkenntnisse liefern.

Der Luftgüteindex (LGI) setzt sich aus zwei Ziffern zusammen. Die erste Ziffer erlaubt eine Aussage zur Luftgüte, mit Schwerpunkt auf dem Komplex der sauren Luftverunreinigungen (Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, etc.). Diese können miteinander und zusammen mit anderen Luftschadstoffen synergistische oder antagonistische Wirkungen bei den Flechten verursachen. Die zweite Ziffer des LGI gibt den Einfluss eutrophierender Luftschadstoffe wieder. Zu diesen

Schadstoffen gehören luftgetragene Stickstoffverbindungen, die gasförmig oder an Partikel gebunden auf die Flechten gelangen können.

Luftschadstoffgruppen, deren Wirkungen mit der hier angewendeten Methode der Flechtenkartierung nicht gezielt erfasst werden können, aber im Umfeld eines Flughafens relevant sein können, sind Schwermetalle oder Organika. Hier stehen andere Methoden des Biomonitorings zur Verfügung, wie die Weidelgras- oder Grünkohlexposition sowie die *Sphagnum*-bag-technique (VDI 3957 Blatt 2, 3 und 17).

Im Folgenden soll auf die Entwicklung ausgewählter Immissionskomponenten im Untersuchungsgebiet eingegangen werden, die in Bezug zu den Ergebnissen der Flechtenkartierung stehen. Noch zu Beginn der 1980er Jahre war der Einfluss der Schwefeldioxidimmissionen auf die Flechtenbestände so groß, dass weite Teile des Rhein-Main-Gebietes kaum von Flechten besiedelt werden konnten (Steubing und Kirschbaum 1982). Durch erfolgreiche emissionsmindernde Maßnahmen sank die Schwefeldioxid-Konzentration seit Mitte der 1980er Jahre deutlich ab (Abbildung 15).

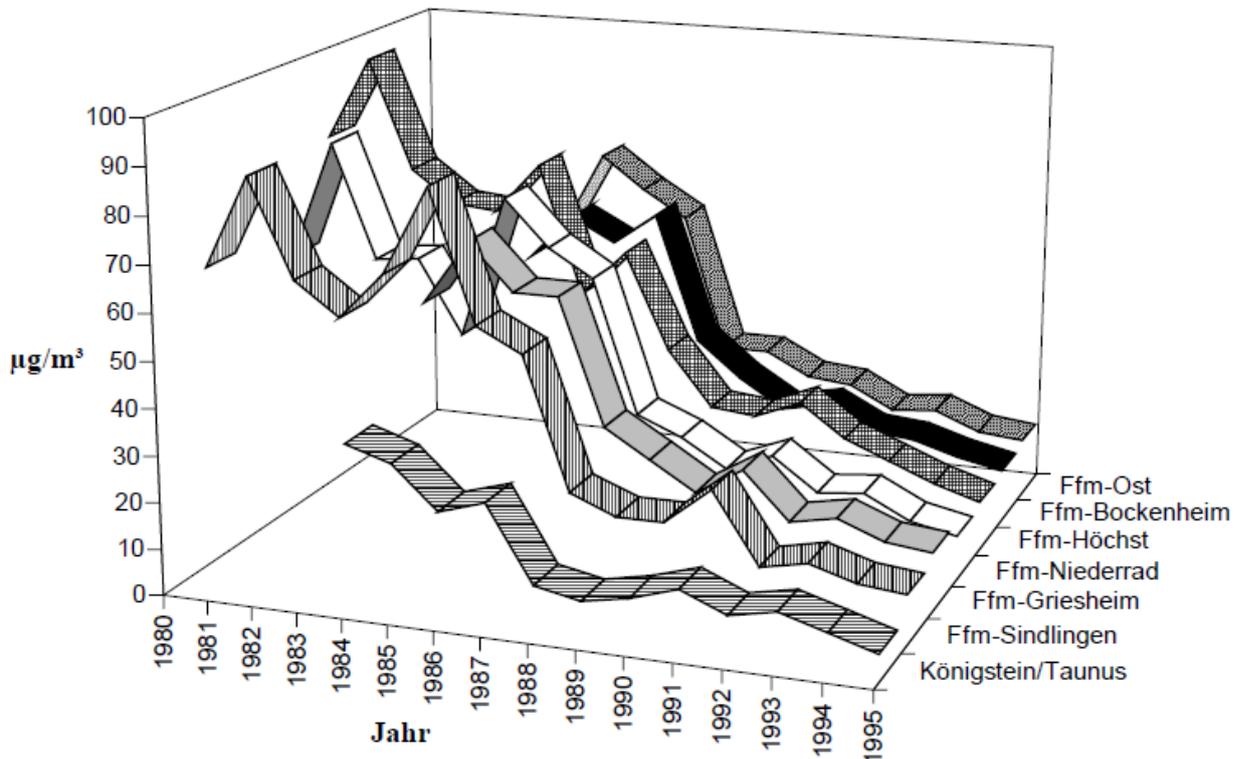


Abbildung 15: Jahresmittelwerte der SO<sub>2</sub>-Konzentration im Raum Frankfurt von 1980–1995 (Stadt Frankfurt am Main)

Die Messstation Frankfurt-Sindlingen liegt im Norden des hier betrachteten Untersuchungsgebietes. Waren die SO<sub>2</sub>-Werte 1992 bereits deutlich niedriger als Mitte der 1980er Jahre, so wirkte das SO<sub>2</sub> – zusammen mit weiteren Luftschadstoffen – noch 1992 dezimierend auf die Flechten, wie Abbildung 10 und Abbildung 13 erkennen lassen. Eine Rolle für die verzögerte Erholung der Flechtenbestände spielte auch die durch saure Immissionen noch lange angesäuerten Baumborken. Im Laufe der Jahrzehnte stiegen die pH-Werte der Borken wieder an und ermöglichten eine Wiederbesiedelung mit Flechten, wie dies in Gießen und Wetzlar belegt werden konnte (Kirschbaum et al. 2012).

In den letzten 10 Jahren lagen die  $\text{SO}_2$ -Jahresmittelwerte mit unter  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Abbildung 16) in einem für die meisten Flechtenarten unschädlichen Bereich.

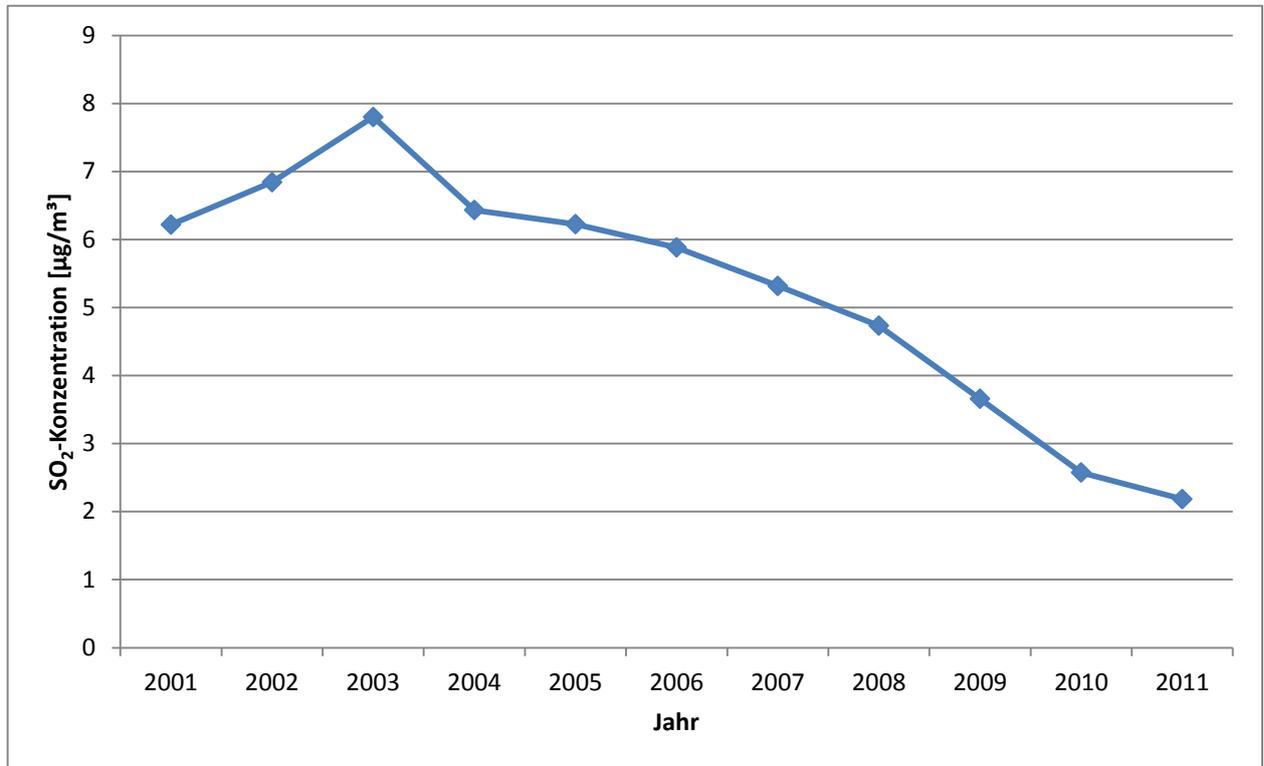


Abbildung 16: Jahresmittelwerte der  $\text{SO}_2$ -Konzentration in Raunheim (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie 2002-2012)

Auch die gasförmigen Stickstoffoxide ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ) gehören zu den sauren Luftschadstoffen, da sie mit Wasser zu Salpetersäure reagieren. Die Entwicklung der Stickstoffdioxid-Konzentration in Raunheim zeigt für die vergangenen 10 Jahre keine wesentliche Veränderung (Abbildung 17), das gleiche gilt für Stickstoffmonoxid.

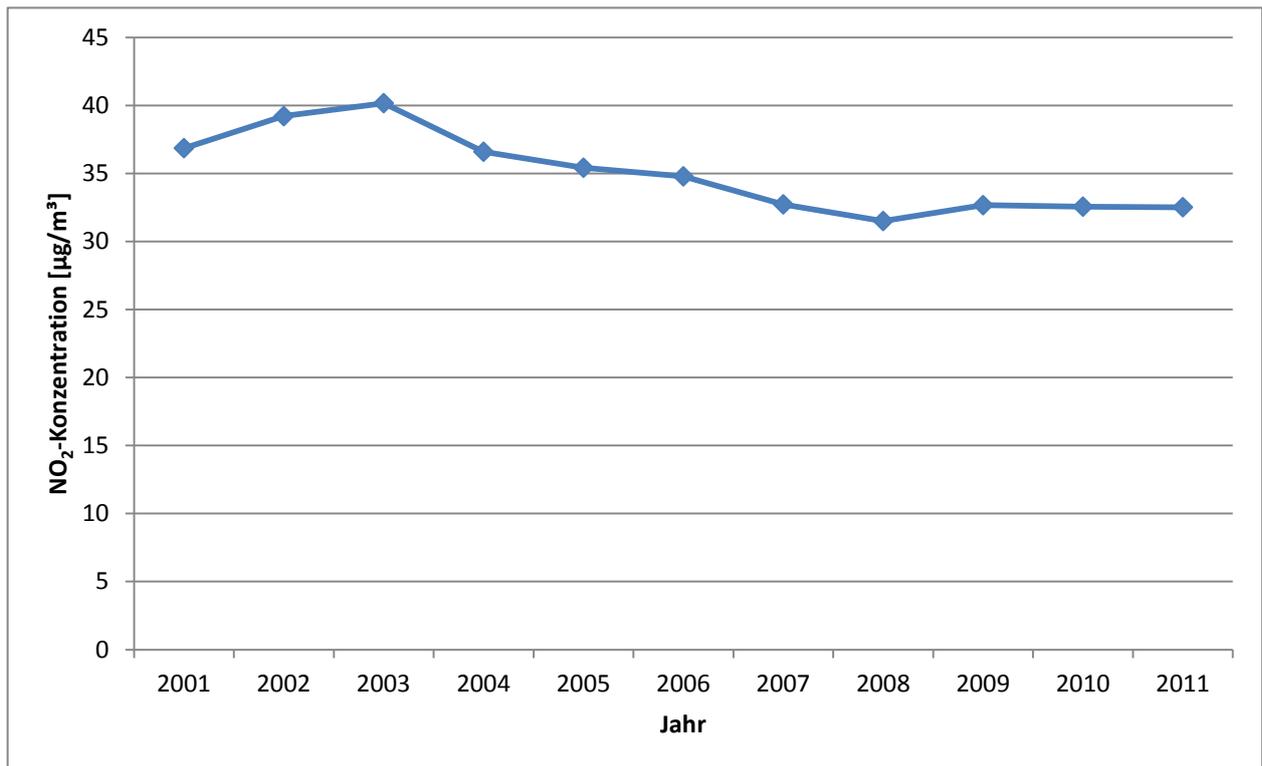


Abbildung 17: Jahresmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Konzentration in Raunheim (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie 2002-2012)

Luftgetragene Stickstoffverbindungen kommen zwar als Ursache der beobachteten Eutrophierungserscheinungen in Frage, dies muss aber insofern eingeschränkt werden, als der in NO und NO<sub>2</sub> enthaltene Stickstoff nicht direkt pflanzenverfügbar ist. Flechten nutzen als Stickstoffquellen vor allem Nitrat (NO<sub>3</sub>) und Ammoniak/Ammonium (NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub>) (van Dobben 1996; van Dobben und de Bakker 1996; van Herk 1999; Franzen-Reuter 2004; Hauck 2011). Diese Stickstoffverbindungen werden aber wegen messtechnischer Probleme nur in geringem Umfang erfasst. Die in Mitteleuropa durch Ammoniak emittierte Menge an Stickstoff liegt etwa in der gleichen Größenordnung wie die Gesamtemission von NO und NO<sub>2</sub> (LfU 2004). Ammoniak entstammt hauptsächlich landwirtschaftlichen Quellen (Tierhaltung; Gülleausbringung). Es wird innerhalb weniger Stunden zu Ammonium oder Ammoniumsalzen abgebaut. Deshalb werden nur in unmittelbarer Nähe von Quellen erhöhte Ammoniakkonzentrationen gemessen. Die Abbauprodukte (Ammonium bzw. Ammoniumsalze) können dagegen als Aerosole über weite Strecken verfrachtet werden. Wegen des Transportes muss davon ausgegangen werden, dass diese Verbindungen flächendeckend vorhanden sind (LfU 2004). Während man bisher angenommen hat, dass die NH<sub>3</sub>-Emission aus Autoabgasen eher unbedeutend ist, gehen neuere Untersuchungen von beträchtlichen Ammoniakkonzentrationen aus den Abgasen belegter, kalter oder gealterter Katalysatoren aus (Frahm 2006, LUBW 2008; Bartholmeß et al. 2011). Nach Angaben des Umweltbundesamtes (2004) emittieren die benzinbetriebenen Kraftfahrzeuge je nach Katalysatortyp und Verkehrsfluss zwischen 20 und 50 mg Ammoniak je Kilometer.

Diese Feststellungen würden auch erklären, warum in den Städten – trotz fehlender landwirtschaftlicher Emissionen –, und dort vornehmlich in der Nähe stark befahrener Straßen, die N-

Anreicherung in Flechten besonders hoch ist (Stapper et al. 2005; van Herk 2009). Weiterhin wird beschrieben, dass die Diversität nitrophytischer Flechten, von den Rändern der Straßen ausgehend, allmählich wieder abnimmt (Vorbeck und Windisch 2002). All dies spricht für eine wesentliche Rolle des Ammoniaks (bzw. seines Reaktionsproduktes Ammonium) bei den Wirkungen von N-Verbindungen auf Flechten (und Höhere Pflanzen).

Seit Kurzem gibt es nun auch einen messtechnischen Hinweis auf den Anstieg des Ammoniaks in Hessen (Abbildung 8). Wie Dämmgen et al. (2012/2013) nachweisen konnten, steigen die  $\text{NH}_3$ -Werte seit 2000 an verschiedenen Messstationen Deutschlands (darunter auch in Hessen) an. Diese Ergebnisse liefern eine plausible Erklärung für den oben gezeigten Anstieg der Eutrophierungszeiger ab 2007 (Abbildung 8). Die Abbildung 10 lässt zwar einen Anstieg der Referenzarten erkennen, was für eine allgemeine Verbesserung der lufthygienischen Verhältnisse spricht. Der gleichzeitige – und sogar stärkere – Anstieg bei den Eutrophierungszeigern weist allerdings auch auf eine erhebliche Belastung mit Fremdstoffen mit düngender Wirkung hin.

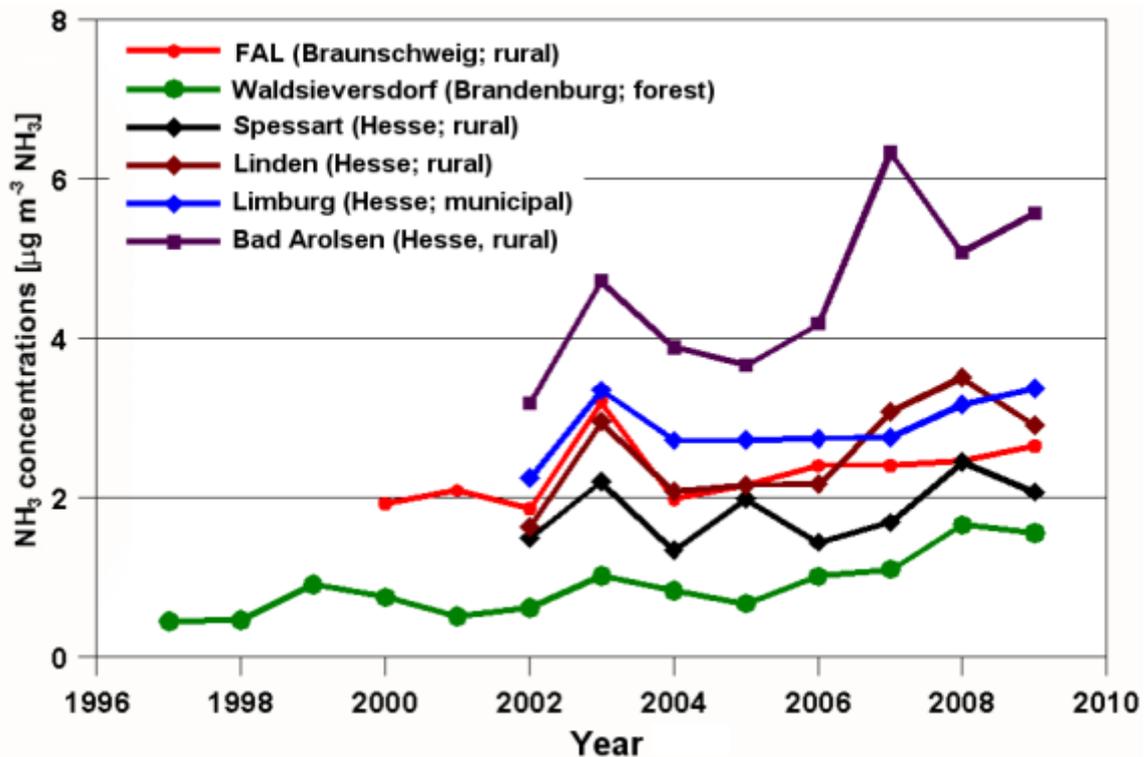


Abbildung 18: Entwicklung der Ammoniakkonzentrationen in verschiedenen Gebieten Deutschlands (Dämmgen et al. 2012/2013)

Eutrophierende Luftschadstoffe können partikelgebunden vorliegen (LfU 2004). Die Feinstaubkonzentration an der dem Flughafen nahen Messstation in Raunheim ist in den vergangenen 10 Jahren jedoch rückläufig (Abbildung 19), was gegen eine deutliche Rolle des Feinstaubes als Beitrag zur Eutrophierung spricht.

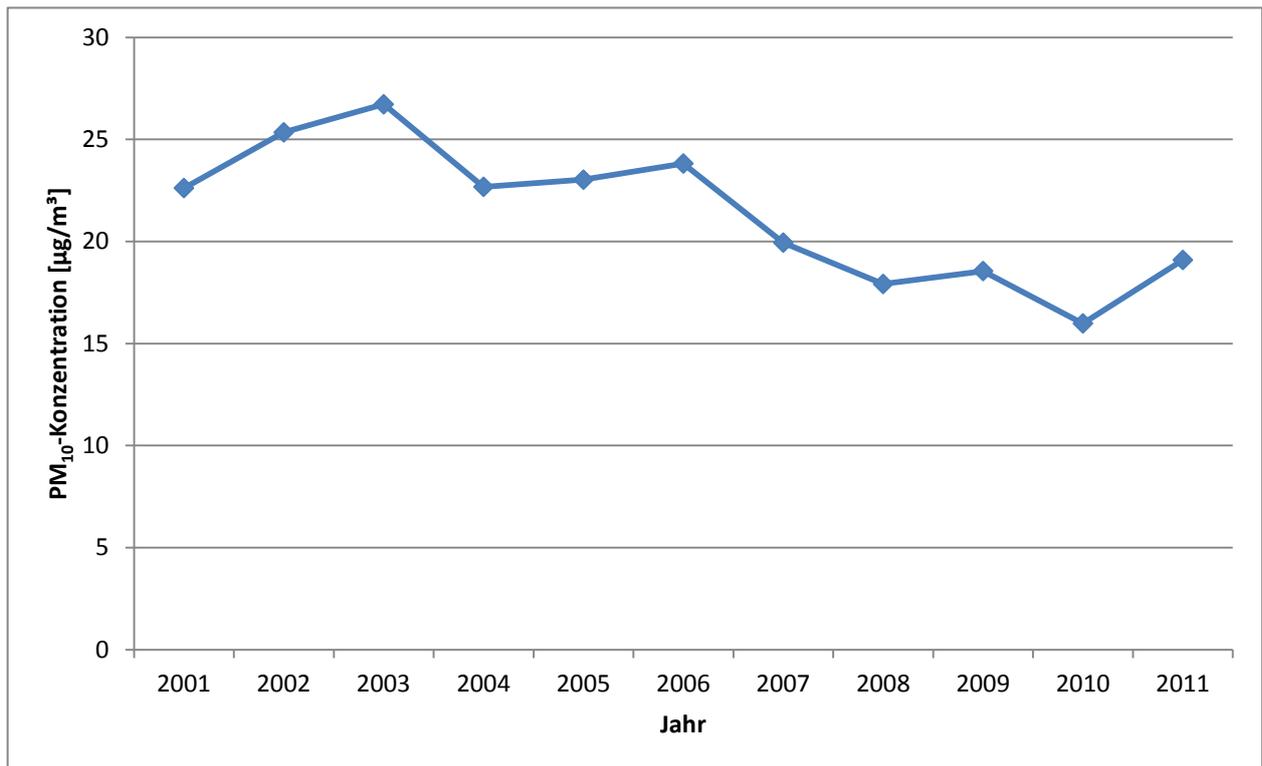


Abbildung 19: Jahresmittelwerte der PM<sub>10</sub>-Konzentration in Raunheim (HLUG 2002-2012)

Zusammenfassend ist zu sagen, dass der Anteil der eutrophierenden Verbindungen an der Gesamtheit der Immissionen eine deutliche Wirkung auf die Zusammensetzung und Häufigkeit der Flechtenvorkommen zeigt. Welchen Beitrag Straßenverkehr, Flugverkehr, Industrie oder Ferntransport von Schadstoffen leisten, kann an dieser Stelle nicht geklärt werden.

Eutrophierende Wirkungen auf die Umwelt sind negativ zu bewerten: Nitrophytische Arten dringen in Ökosysteme ein und verdrängen dort solche Pflanzen, die nährstoffarme Böden bevorzugen; eine Verringerung der Diversität innerhalb der Lebensgemeinschaften ist die Folge (Bundesamt für Umwelt 2005). Des Weiteren kommt es zu Versauerungserscheinungen im Boden, wenn bei der Umwandlung von  $\text{NH}_4^+$  zu  $\text{NO}_3^-$  Protonen freigesetzt werden. Wenn auch andere Luftfremdstoffe ähnliche Wirkung ausüben (z.B.  $\text{NO}_x$  und  $\text{SO}_2$ ), so gilt doch Ammoniak als ein Hauptverursacher der Bodenversauerung (Beitrag ca. 40 %). Eine Erniedrigung des pH-Wertes im Boden erhöht u.a. die Bioverfügbarkeit von Nährstoffen und toxischen Metallkomplexen (Ionenaustausch), was wiederum die Eutrophierung ansteigen lässt und gleichzeitig – bei hohen Konzentrationen – zu toxischen Erscheinungen führen kann (LfU 2004). Im humiden mitteleuropäischen Klima, wird ein Teil der infolge der Versauerung mobilisierten Ionen ausgewaschen und dem Grundwasser zugeführt – und somit dem Pflanzenwachstum entzogen. Andererseits führt eine erhöhte Stickstoffzufuhr bei Pflanzen zu übermäßigem Wachstum und – damit einhergehend – zu verminderter Trocken- und Frostresistenz sowie zu geringeren Abwehrkräften gegenüber Schaderregern.

## 5 Literatur

Bartholmeß, H.; Schlottmann, K.; Nobel W. (2011): Immissionsmessungen mit Passivsammlern und Flechtenkartierungen im Zusammenhang mit dem Eintrag von Stickstoff in die Umwelt. In: *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* 71: 165–172.

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2005): Stickstoffhaltige Luftschadstoffe in der Schweiz. Status-Bericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene 384, S. 172.

Cislaghi, C.; Nimis, P. L. (1997): Lichens, air pollution and lung cancer. In: *Nature* 387, S. 463.

Dämmgen, U.; Matschullat, J.; Zimmermann, F.; Strogies, M.; Grünhage, L.; Scheler, B.; Conrad, J. (2012/2013, submitted): Emission reduction effects on bulk and wet-only deposition in Germany - evidence from long-term observations. Part 3. Sulphur and nitrogen compounds. Outlook and future requirements. In: *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*.

Frahm, J.-P. (2006): Der Einfluss von Ammoniak auf Stickstoff liebende Flechten in verkehrsbelasteten Gebieten. In: *Immissionsschutz* 4: 164–167.

Franzen-Reuter, I. (2004): Untersuchung zu den Auswirkungen atmosphärischer Stickstoffeinträge auf epiphytische Flechten und Moose im Hinblick auf die Bioindikation. Dissertation. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.

Hauck, M. (2011): Ammonium and nitrate tolerance in lichens. In: *Environmental Pollution* 158: 1127–1133.

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2002-2012): Lufthygienische Jahresberichte 2001-2011.

Kirschbaum, U.; Hanewald, K. (1998): Immissionsbezogene Flechtenkartierungen in hessischen Dauerbeobachtungsflächen. In: *Angewandte Botanik* 72: 212–227.

Kirschbaum, U.; Windisch, U. (1995): Beurteilung der lufthygienischen Situation Hessens mittels epiphytischer Flechten. Wiesbaden: Hess. Landesanst. für Umwelt.

Kirschbaum, U.; Cezanne, R.; Eichler, M.; Hanewald, K.; Windisch, U. (2012): Long-term monitoring of environmental change in German towns through the use of lichens as biological indicators: comparison between the surveys of 1970, 1980, 1985, 1995, 2005 and 2010 in Wetzlar and Giessen. In: *Environ Sci Eur* 24 (19): 1-43.

LfU- Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (2004): Ammoniak und Ammonium.

LUBW-Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2008): Ammoniak in der Umwelt. Messprogramme und Messergebnisse 2003-2007.

Rabe, R.; Beckelmann, U. (1987): Zusammenhänge zwischen der durch Flechten angezeigten Gesamtverunreinigung der Luft und Gesundheitsbeeinträchtigungen beim Menschen. In: *VDI-Berichte* 609: 729–753.

Stadt Frankfurt am Main: Umweltbericht Nr. 1/II. Luft- und Lärmbelastung in Frankfurt am Main.

Stapper, N.; Franzen-Reuter, I.; Frahm, J.-P. (2005): Stickstoffgehalte in der Blattflechte *Parmelia sulcata* als Indikator atmosphärischer Stickstoffeinträge in einer Großstadt am Beispiel Düsseldorf. In: *Immissionsschutz* 3: 84-89.

Steubing, L.; Kirschbaum, U. (1982): Bioindikation von Luftschadstoffen im Ballungsraum Frankfurt/M. mittels Flechten und höherer Pflanzen. In: *Staub - Reinhaltung der Luft* 42: 273-279.

Umweltbundesamt (Hrsg. ) (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs in Österreich. 2.1. Bd. 107, 02/2004. Wien.

- van Dobben, H.F. (1996): Decline and recovery of epiphytic lichens in an agricultural area in The Netherlands (1900-1988). In: *Nova Hedwigia* 62(3-4): 477-485.
- van Dobben, H.F.; de Bakker, A.J. (1996): Re-mapping epiphytic lichen biodiversity in the Netherlands: effect of decreasing SO<sub>2</sub> and increasing NH<sub>3</sub>. In: *Acta Botanica Neerlandica* 45(1): 55-71.
- van Herk, C.M. (1999): Mapping of ammonia pollution with epiphytic lichens in the Netherlands. In: *Lichenologist* 31 (1): 9–20.
- van Herk, C.M. (2009): Climate change and ammonia from cars as notable recent factors influencing epiphytic lichens in Zeeland, Netherlands. Biodiversity and ecology of lichens. In: *Bibliotheca Lichenologica* 99: 205–224.
- VDI 3957 Blatt 2 (2003): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation). Verfahren der standardisierten Graskultur. In: *VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft* 1a.
- VDI 3957 Blatt 3 (2008): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation). Verfahren der standardisierten Exposition von Grünkohl. In: *VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft* 1a.
- VDI 3957 Blatt 13 (2005): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen mit Flechten (Bioindikation). Kartierung der Diversität epiphytischer Flechten als Indikator für Luftgüte. In: *VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft* 1a.
- VDI 3957 Blatt 17 (2009): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen (Bioindikation). Aktives Monitoring der Schwermetallbelastung mit Torfmoosen (Sphagnum-bag-technique). In: *VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft* 1a.
- Vorbeck, A.; Windisch, U. (2002): Flechtenkartierung München - Eignung von Flechten als Bioindikatoren für verkehrsbedingte Immissionen. In: *Materialien des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU)*, 142 S..
- Wirth, V. (1995): Die Flechten Baden-Württembergs. 2. Aufl., Teil 1 und Teil 2, 1006 S. Stuttgart.
- Wirth, V. (2001): Zeigerwerte von Flechten. In: Ellenberg, H. et al. (Hrsg.): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18: 221–243. Göttingen: Goltze.

## Danksagung

Vielen Dank an Frau Sonja Singer-Posern vom HLUg für die engagierte Betreuung des Projektes. Herrn David Schardt danken wir für die kritische Durchsicht.

# 6 Anhang

A1: Artenliste der Flechten und lichenicolen Pilze

A2: Luftgütebewertung der Messflächen

Daten CD mit:

Text:

1. Bericht DBF Flughafen 2012.docx
2. Bericht DBF Flughafen 2012.pdf

Shape-Dateien:

3. DBF\_Flu\_GK3\_region.shp
4. DBF\_Flu\_UTM32\_region.shp

MapInfo-Dateien:

5. DBF\_Flu\_GK3.tab
6. DBF\_Flu\_UTM32.tab

## A1: Artenliste der Flechten und lichenicolen Pilze

Gattung	Art	Autor	lichenicoler Pilz
<i>Abrothallus</i>	<i>parmeliarum</i>	(Sommerf.) Arnold	x
<i>Amandinea</i>	<i>punctata</i>	(Hoffm.) Coppins & Scheid.	
<i>Arthonia</i>	<i>didyma</i>	Körb.	
<i>Arthonia</i>	<i>phaeophysciae</i>	Grube & Matzer	x
<i>Athelia</i>	<i>arachnoidea</i>	(Berk.) Jülich	x
<i>Bacidina</i>	<i>delicata</i>	(Larbal. ex Leight.) V. Wirth & Vězda	
<i>Buelliella</i>	<i>physciicola</i>	Poelt & Hafellner	x
<i>Caloplaca</i>	<i>cerinella/cerinelloides</i>		
<i>Caloplaca</i>	<i>flavocitrina</i>	(Nyl.) H. Olivier	
<i>Caloplaca</i>	<i>oasis</i>	(A. Massal.) Szatala	
<i>Caloplaca</i>	<i>obscurella</i>	(J. Lahm ex Körb.) Th. Fr.	
<i>Caloplaca</i>	<i>pyracea</i>	(Ach.) Th. Fr.	
<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i>	(Dicks.) Stein	
<i>Candelaria</i>	<i>pacifica</i>	M. Westb. & Arup.	
<i>Candelariella</i>	<i>aurella</i> var. <i>aurella</i>	(Hoffm.) Zahlbr.	
<i>Candelariella</i>	<i>reflexa</i>	(Nyl.) Lettau	
<i>Candelariella</i>	<i>vitellina</i>	(Hoffm.) Müll. Arg.	
<i>Candelariella</i>	<i>xanthostigma</i>	(Pers. ex Ach.) Lettau	
<i>Catillaria</i>	<i>nigroclavata</i>	(Nyl.) Schuler	
<i>Cladonia</i>	<i>coniocraea</i>	(Flörke) Spreng.	
<i>Cladonia</i>	<i>pyxidata</i> agg.		
<i>Cladonia</i>	<i>spec.</i>		
<i>Diploicia</i>	<i>canescens</i>	(Dicks.) A. Massal.	
<i>Evernia</i>	<i>prunastri</i>	(L.) Ach.	
<i>Flavoparmelia</i>	<i>caperata</i>	(L.) Hale	
<i>Flavoparmelia</i>	<i>soredians</i>	(Nyl.) Hale	
<i>Hyperphyscia</i>	<i>adglutinata</i>	(Flörke) H. Mayrhofer & Poelt	
<i>Hypocenomyce</i>	<i>scalaris</i>	(Ach. ex Lilj.) M. Choisy	
<i>Hypogymnia</i>	<i>physodes</i>	(L.) Nyl.	
<i>Hypogymnia</i>	<i>tubulosa</i>	(Schaer.) Hav.	
<i>Hypotrachyna</i>	<i>afrorevoluta</i>	(Krog & Swinscow) Krog & Swinscow	
<i>Illosporopsis</i>	<i>christiansenii</i>	(B. L. Brady & D. Hawksw.) D. Hawksw.	x
<i>Lecania</i>	<i>cyrtella</i>	(Ach.) Th. Fr.	
<i>Lecania</i>	<i>naegelii</i>	(Hepp) Diederich & van den Boom	
<i>Lecanora</i>	<i>carpineae</i>	(L.) Vain.	
<i>Lecanora</i>	<i>chlarotera</i>	Nyl.	
<i>Lecanora</i>	<i>conizaecoides</i>	Nyl. ex Cromb.	
<i>Lecanora</i>	<i>dispersa</i>	(Pers.) Röhl.	

Gattung	Art	Autor	lichenicoler Pilz
<i>Lecanora</i>	<i>dispersa</i> s.l.		
<i>Lecanora</i>	<i>expallens</i>	Ach.	
<i>Lecanora</i>	<i>hagenii</i>	(Ach.) Ach.	
<i>Lecanora</i>	<i>persimilis</i>	Th. Fr.	
<i>Lecanora</i>	<i>saligna</i>	(Schrader) Zahlbr.	
<i>Lecidella</i>	<i>elaeochroma</i>	(Ach.) M. Choisy	
<i>Lepraria</i>	<i>incana</i>	(L.) Ach.	
<i>Marchandiobasidium</i>	<i>aurantiacum</i>	(Lasch) Diederich & Schultheis	x
<i>Melanelixia</i>	<i>glabratula</i>	(Lamy) Sandler & Arup	
<i>Melanelixia</i>	<i>subaurifera</i>	(Nyl.) O. Blanco et al.	
<i>Melanohalea</i>	<i>elegantula</i>	(Zahlbr.) O. Blanco et al.	
<i>Melanohalea</i>	<i>exasperatula</i>	(Nyl.) O. Blanco et al.	
<i>Micarea</i>	<i>prasina</i>	Fr.	
<i>Opegrapha</i>	<i>rufescens</i>	Pers.	
<i>Paranectria</i>	<i>oropensis</i>	(Ces. ex Rabenh.) D. Hawksw. & Piroz.	x
<i>Parmelia</i>	<i>ernstiae</i>	Feuerer & A. Thell	
<i>Parmelia</i>	<i>sulcata</i>	Taylor	
<i>Parmelina</i>	<i>tiliacea</i>	(Hoffm.) Hale	
<i>Parmotrema</i>	<i>perlatum</i>	(Huds.) M. Choisy	
<i>Phaeophyscia</i>	<i>orbicularis</i>	(Necker) Moberg	
<i>Phaeophyscia</i>	<i>nigricans</i>	(Flörke) Moberg	
<i>Phlyctis</i>	<i>argena</i>	(Sprengel) Flotow	
<i>Physcia</i>	<i>adscendens</i>	H. Olivier	
<i>Physcia</i>	<i>caesia</i>	(Hoffm.) Fürnr.	
<i>Physcia</i>	<i>dubia</i>	(Hoffm.) Lettau	
<i>Physcia</i>	<i>stellaris</i>	(L.) Nyl.	
<i>Physcia</i>	<i>tenella</i> ssp. <i>tenella</i>	(Scop.) DC.	
<i>Physconia</i>	<i>grisea</i>	(Lam.) Poelt	
<i>Piccolia</i>	<i>ochrophora</i>	(Nyl.) Hafellner	
<i>Pseudevernia</i>	<i>furfuracea</i>	(L.) Zopf	
<i>Punctelia</i>	<i>borreri</i>	(Sm.) Krog	
<i>Punctelia</i>	<i>jeckeri</i>	(Roum.) Kalb	
<i>Punctelia</i>	<i>subrudecta</i>	(Nyl.) Krog	
<i>Ramalina</i>	<i>farinacea</i>	(L.) Ach.	
<i>Raphidicyrtis</i>	<i>trichosporella</i>	(Nyl.) Vainio	
<i>Rinodina</i>	<i>oleae</i>	Bagl.	
<i>Rinodina</i>	<i>pityrea</i>	Ropin & H. Mayrhofer	
<i>Strangospora</i>	<i>pinicola</i>	(A. Massal.) Körber	
<i>Taeniolella</i>	<i>phaeophysciae</i>	D. Hawksw.	x
<i>Usnea</i>	<i>hirta</i>	(L.) Weber ex F. H. Wigg.	

---

Gattung	Art	Autor	lichenicoler Pilz
<i>Usnea</i>	<i>spec.</i>		
<i>Xanthoria</i>	<i>candelaria-Gr.</i>		
<i>Xanthoria</i>	<i>parietina</i>	(L.) Th. Fr.	
<i>Xanthoria</i>	<i>polycarpa</i>	(Hoffm.) Rieber	

## A2: Luftgütebewertung der Messflächen

Messfl. nr.	GK- Rechts	GK- Hoch	UTM Koordinaten			Ort	LGI 1992	LGI 2007	LGI 2012
11	3463000	5550000	32U	462941	5548221	Kriftel-Ost	1.1	3.3	4.3
12	3465000	5550000	32U	464940	5548220	Sindlingen	1.1	3.3	4.3
13	3467000	5550000	32U	466939	5548220	östlich Sind- lingen	1.1		
14	3469000	5550000	32U	468938	5548220	Schwan- heim-West	2.1	3.2	3.3
15	3471000	5550000	32U	470938	5548220	östlich Schwanheim (Goldstein)	1.1	3.2	3.3
16	3473000	5550000	32U	472937	5548220	Niederrad	1.1	3.2	4.3
17	3475000	5550000	32U	474936	5548220	östlich Nie- derrad	1.1	2.1	3.3
21	3463000	5548000	32U	462941	5546221	Hattersheim- Südwest	1.1	4.3	4.3
22	3465000	5548000	32U	464940	5546221	westlich Kelsterbach	2.1	2.2	2.2
23	3467000	5548000	32U	466939	5546221	Kelsterbach- Ost	1.1	3.2	4.2
31	3463000	5546000	32U	462941	5544222	südwestlich Okriftel	1.1	3.2	4.2
32	3465000	5546000	32U	464940	5544222	südöstlich Okriftel	1.1	3.3	3.3
33	3467000	5546000	32U	466939	5544222	südöstlich Kelsterbach	1.1	4.2	4.2
34	3469000	5546000	32U	468938	5544222	Flughafen Terminal 1		1.1	3.2
35	3471000	5546000	32U	470937	5544222	Flughafen, westlich Frankfurter Kreuz		3.2	3.3
45	3471000	5544000	32U	470937	5542223	Cargo-City- Süd		3.3	3.2
46	3473000	5544000	32U	472937	5542223	Zeppelinheim		3.3	3.3
54	3469000	5542000	32U	468938	5540224	Walldorf- Nordwest		4.2	4.3

Messfl. nr.	GK- Rechts	GK- Hoch	UTM Koordinaten			Ort	LGI 1992	LGI 2007	LGI 2012
64	3469000	5540000	32U	468938	5538224	Walldorf- Südwest	1.1	2.2	3.3
65	3471000	5540000	32U	470937	5538224	Walldorf- Südost	2.1	1.1	2.1
67	3475000	5540000	32U	474936	5538224	Langen-West	1.1	4.2	4.3
72	3465000	5538000	32U	464940	5536225	Mönchbruch		2.1	3.1
73	3467000	5538000	32U	466939	5536225	westlich Mör- felden	3.1		
74	3469000	5538000	32U	468938	5536225	Mörfelden	1.1	2.2	3.3
75	3471000	5538000	32U	470937	5536225	Mörfelden- Ost		2.2	3.3
76	3473000	5538000	32U	472937	5536225	Langen- Wolfsgarten	3.1		
77	3475000	5538000	32U	474936	5536225	nördlich Egelsbach	1.1	4.2	4.3