



Bayerisches Landesamt für
Umwelt



Untersuchung der Wirkung des Klimawandels auf biotische Systeme in Bayern mittels Flechtenkartierung

Abschlussbericht
überarbeitete Fassung vom Januar 2012





Bayerisches Landesamt für
Umwelt



Untersuchung der Wirkung des Klimawandels auf biotische Systeme in Bayern mittels Flechtenkartierung

**Abschlussbericht 2011
überarbeitete Fassung vom Januar 2012**

Impressum

Untersuchung der Wirkung des Klimawandels auf biotische Systeme in Bayern mittels Flechtenkartierung
Abschlussbericht 2011, überarbeitete Fassung vom Januar 2012

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Telefon (0821) 9071-0
Telefax (0821) 9071-5556
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung/Text/Konzept:

Fraxinus GbR
Prof. Dr. rer. nat. Ute Windisch
Alexander Vorbeck, Dipl.-Ing. Umweltschutz
Heimbach 8, 63776 Mömbris
Telefon (06029) 995644

Kartierung:

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

Redaktion:

LFU, Referat 16, Dr. Peter Miehle, Dr. Ludwig Peichl

Bildnachweis:

Fraxinus GbR
Prof. Dr. rer. nat. Ute Windisch
Alexander Vorbeck, Dipl.-Ing. Umweltschutz
Heimbach 8, 63776 Mömbris
Telefon (06029) 995644

Alle Bilder Fraxinus GbR, außer
Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2009, www.geodaten.bayern.de: Abb. 3-7, 18, 19
M. Eichler/R. Cezanne: Abb. 8, Abb. 12, Abb. 13, Abb. 14, Abb. 15, Abb. 16, Abb. 25, Abb. 26
U. Kirschbaum: Abb. 24
LFU: Abb. 28, Abb. 29

Stand:

Januar 2012

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	7
2	Projektziele	10
3	Klimawandel	11
3.1	Globaler Klimawandel	11
3.2	Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität	11
3.3	Klimawandel und Flechten	11
3.4	Biomonitoring des Klimawandels mit Flechten	12
4	Datenbestand zu Flechten in Bayern	13
4.1	Flechtenfloristische Daten	13
4.2	Daten aus immissionsbezogenen Arbeiten	15
5	Methoden	16
5.1	Messflächen	16
5.1.1	Kriterien zur Auswahl der Messflächen	16
5.1.2	Ergebnis der Messflächenauswahl	18
5.2	Untersuchte Substrate	21
5.2.1	Standardisierte Trägerbäume nach VDI 3957, Blatt 13	22
5.2.1.1	Auswahl der Trägerbäume	22
5.2.1.2	Anzahl der Trägerbäume	23
5.2.1.3	Dokumentation	23
5.2.1.4	Erfassung der Flechten	23
5.2.1.5	Berechnung der Luftgüteindizes (LGI)	24
5.2.1.6	Bewertung der Luftgüteindizes (LGI)	25
5.2.2	„Klimabäume“ nach VDI 3957, Blatt 20	26
5.2.2.1	Auswahl der „Klimabäume“	26
5.2.2.2	Anzahl der „Klimabäume“	27
5.2.2.3	Erfassung der Flechten	27
5.2.3	„Mauern“ nach VDI 3957, Blatt 20	28
5.2.3.1	Auswahl der Mauern	28
5.2.3.2	Anzahl der Mauern	28

5.2.3.3	Erfassung der Flechten	28
5.3	Geländeerhebung und Dokumentation	29
5.3.1	Dokumentation der Standortdaten	29
5.3.2	Dokumentation der Flechtendaten	31
5.4	Klimarelevante Flechtenindizes	31
5.4.1	Zeigerwerte	31
5.4.2	„Wärmezeiger“ (WZ)	32
5.4.3	„Klimaökologische Ozeanität“ (KO) nach WIRTH (2010)	33
5.4.4	„Klimawert“ (KW) und „Klimaindex“ (KI) nach KIRSCHBAUM & WIRTH (2010)	33
5.4.5	„Klimawandelzeiger“ (KWZ)	33
5.4.6	Wichtungsfaktoren	34
5.5	Klimadaten	34
5.6	Korrelationsberechnungen	36
6	Ergebnisse	37
6.1	Statistische Daten	37
6.2	Arten	39
6.3	Zusammenhänge zwischen Flechtenverbreitung und Klimaparametern	41
6.4	Entwicklung in einem Zeitraum von 15 Jahren	46
6.4.1	Entwicklung der Flechtenbestände und klimarelevanter Parameter	46
6.4.2	Entwicklung der Immissionssituation	48
6.4.3	Entwicklung der Luftgüte nach VDI 3957, Blatt 13	50
7	Diskussion der Methoden für ein Monitoring von Klimawirkungen	52
7.1	Entfernung der Flechtenstandorte zu den Klimamessstationen	52
7.2	Statistische Methoden	53
7.3	Substrate	53
7.4	Anzahl der zu kartierenden Bäume	55
7.5	Vergleich der Ergebnisse mit der aktuellen Literatur	55
8	Empfehlung für ein Klimawandel-Biomonitoring mit Flechten in Bayern	57
8.1	Messflächen	57
8.2	Substrate	57

8.3	Monitoringzeiträume	58
8.4	Klimakennzahlen	58
9	Literatur	59
10	Danksagung	63
11	Anhang	64

1 Zusammenfassung

Der globale Klimawandel führt nicht nur zu atmosphärischen Veränderungen wie dem Anstieg der Jahresmitteltemperaturen oder zu einer Umverteilung des Niederschlagsmusters, sondern er kann auch zu einem Rückgang der Biodiversität führen. Es wird erwartet, dass die negativen Konsequenzen für die Biodiversität arktisch-alpiner Arten vergleichsweise früh deutlich werden. Der Länderarbeitskreis Bioindikation/Wirkungsermittlung hat das Thema Klima-Biomonitoring aufgegriffen und empfiehlt, die Auswirkungen des Klimawandels auf die belebte Umwelt zu dokumentieren.

Das vorliegende Projekt wurde vom Bayerischen Landesamt für Umwelt initiiert. Gegenstand der Untersuchung ist die Entwicklung eines Biomonitoringkonzeptes für Bayern mit Fokus auf den Wirkungen des Klimawandels. Aufbauend auf bewährte Biomonitoring-Methoden von Luftverunreinigungen sollten Flechten als erprobte, sensitive Indikatoren bezüglich Veränderungen in der Atmosphäre verwendet werden. Aufgabe war es, neue Methoden für die vorliegende Fragestellung zu entwickeln. Zusätzlich sollten Aussagen zur Entwicklung der Luftgüte seit 1996 sowie zur Biodiversität getroffen werden.

Nach 8 Kriterien wurden unter Verwendung eines Geografischen Informationssystems landesweit 25 Messflächen ausgewählt. Wichtige Punkte waren ein deutlicher Klimagradient, das Vorhandensein einer Klimamessstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und die Verfügbarkeit von Flechtendaten aus der landesweiten Flechtenkartierung von 1996. Die am niedrigsten gelegene Messfläche liegt in Kahl am Main mit 107 m ü. NN, die höchste am Wendelstein mit 1.832 m ü. NN. Alle Flächen sind ländlich geprägt mit Ausnahme zweier Stadtgebiete (München, Nürnberg).

Bei der Geländekartierung wurden Flechten inklusive der flechtenbewohnenden Pilze erfasst. Es wurden pro Messfläche folgende Objekte untersucht:

- ein Ausschnitt am Mittelstamm 10 standardisierter Bäume unter Verwendung eines Messgitters nach VDI 3957, Blatt 13 („VDI-Bäume“)
- 20 weitere Bäume vom Stammfuß bis in eine Höhe von 2 m, die hinsichtlich der Baumarten und weiterer Eigenschaften möglichst vielfältige Standortfaktoren bieten sollten („Klimabäume“)
- bis zu 25 möglichst extensiv genutzte Mauern aus verschiedenen Materialien („Mauern“)

An 1.275 Objekten wurden insgesamt 354 Flechten- und 40 flechtenbewohnende Pilzarten erfasst. Mit dem Datenmaterial wurden verschiedene, auf Flechten-Zeigerwerten basierende, klimarelevante Indizes errechnet. Diese wurden mit Klimadaten der jeweils räumlich nahe gelegenen Klimamessstationen korreliert.

Es resultierten deutliche Zusammenhänge zwischen den mittleren Temperaturzeigerwerten der Baumflechten („VDI-Bäume“ und „Klimabäume“) und den Mitteltemperaturen der Jahre 1996 bis 2010. Abhängig vom Auswertemodus lagen die Korrelationskoeffizienten (r) zwischen 0,79 und 0,89. Die mittleren Feuchtezeigerwerte der Baumflechten zeigten einen stark positiven Zusammenhang zu Klimadaten, hier den langjährigen Niederschlagssummen ($r = 0,57 - 0,77$). Weitere Korrelationen wurden dargestellt und interpretiert. Unerwartet schwach fielen die Korrelationen der Mauerflechten zu Klimadaten aus. Vor Ort war es häufig schwierig, geeignete, d.h. möglichst unbeeinflusste Mauern zu finden, was zu diesem Ergebnis beigetragen haben könnte.

Insgesamt zeigten die Indizes von Flechten auf „Klimabäumen“ den stärksten Zusammenhang zu Klimadaten (Abb. 1), so dass sie sich als besonders geeignet erwiesen, die Klimagradienten im Untersuchungsgebiet widerzuspiegeln. Es wird erwartet, dass künftig unter regelmäßiger Wiederholung der Untersuchung die Auswirkungen von Temperatur- und Niederschlagsänderungen durch baumbewohnende Flechten nachgewiesen werden können.

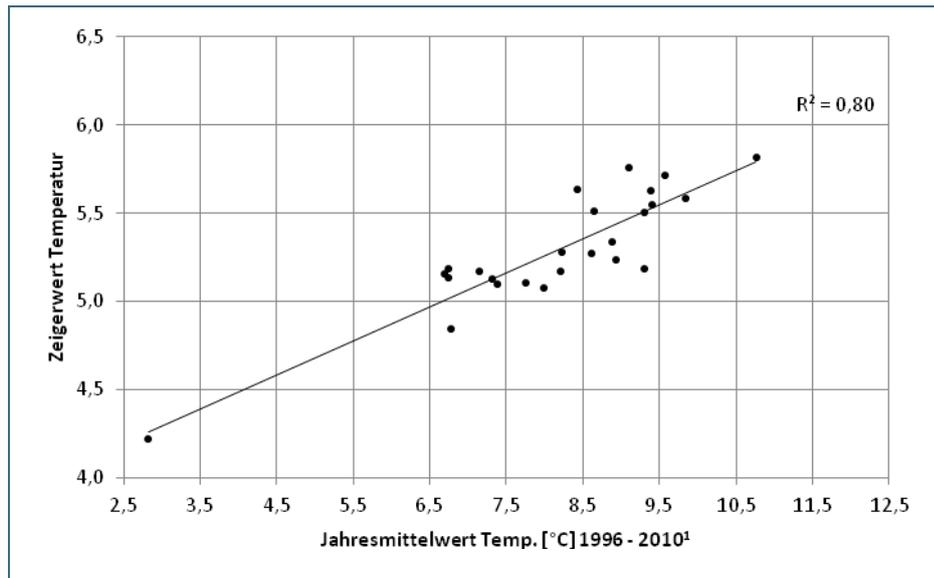


Abb. 1:
Korrelation der
Jahresmitteltemperatur
mit dem gewichteten
Flechten-Zeigerwert
Temperatur für „Klima-
bäume“

Es wurden Daten aus der landesweiten immissionsbezogenen Flechtenkartierung Bayern aus dem Jahre 1996 neu ausgewertet, um die Entwicklung der Flechtenbestände und klimarelevanter Parameter in den vergangenen 15 Jahren zu verfolgen. Ein Zusammenhang von Flechten-Temperaturzeigerwerten mit den Temperaturänderungen im betrachteten Zeitraum ist zwar nicht statistisch belastbar, aber es konnte ein Anstieg der Artenzahl wärmeanzeigender Arten in den wärmebegünstigten Regionen (Unterfranken, Bodenseegebiet) von 1996 bis 2011 gefunden werden.

Die Entwicklung der Luftgüte durch Erhebungen nach VDI-Richtlinie 3957, Blatt 13 in den Jahren 1996 und 2011 konnte dargestellt werden (Abbildung 2). Für den Großteil der Messflächen resultiert sowohl 1996 als auch 2011 eine mäßige oder hohe Luftgüte. Mit einer sehr hohen Luftgüte konnten in 1996 noch 5 der 21 in beiden Untersuchungs Jahren kartierten Messflächen ausgezeichnet werden, in 2011 ist es nur noch eine Messfläche im Osten des Freistaates (172 Saldenburg-Entschenreuth). Auffällig ist, dass sich der Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen seit 1996 für die meisten Messflächen verstärkt hat.

Von 1996 bis 2010 stieg die Zahl der gefundenen Flechtenarten auf „VDI-Bäumen“ von 64 auf 128 an. Aufgrund des umfangreichen Datenmaterials für insgesamt 354 Flechtenarten sowie 40 flechtenbewohnende Pilzarten werden weitere flechtenfloristische Auswertungen empfohlen.

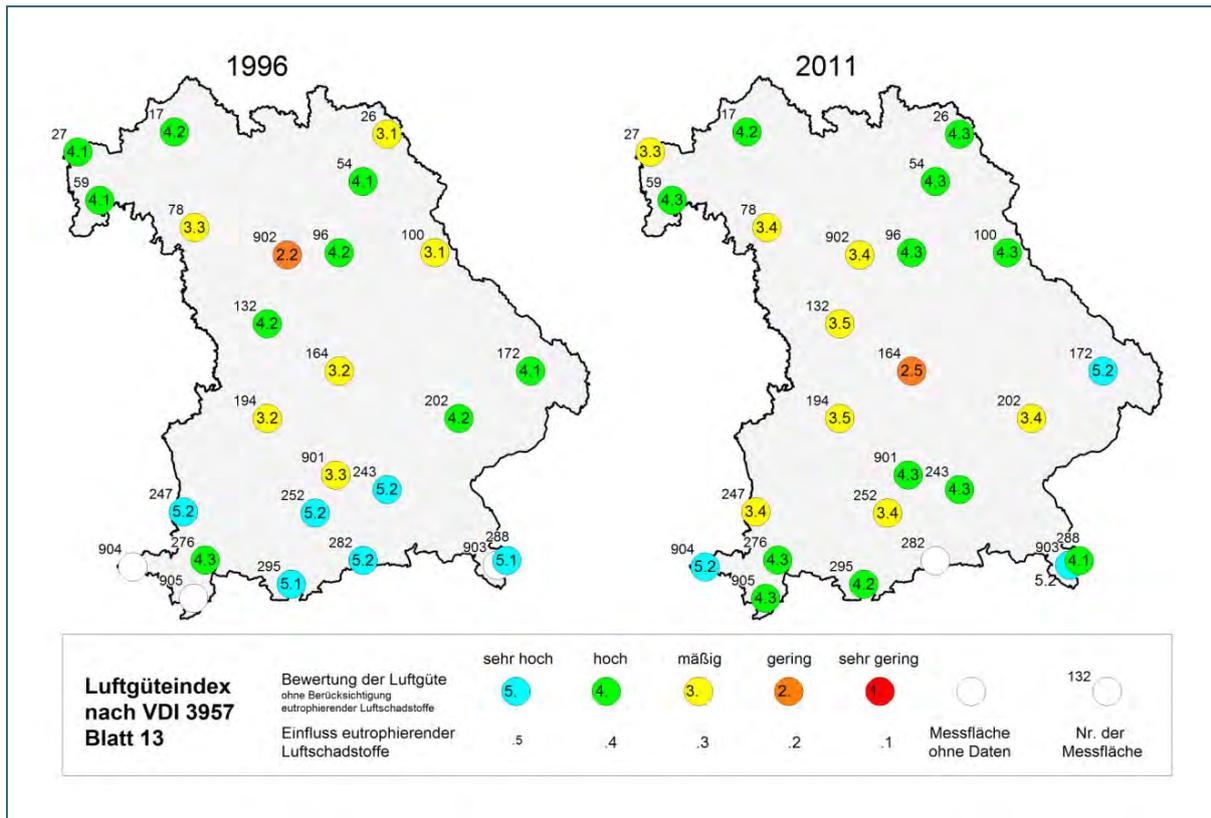


Abb. 2: Entwicklung und räumliche Verteilung der Luftgüteindizes von 1996-2011

Die kritische Diskussion der Methoden, z. B. hinsichtlich der Aussagekraft der verschiedenen Substrate, mündete in ein Konzept für ein Klimawandelmonitoring. Es wird empfohlen, die Kartierung im Abstand von fünf Jahren zu wiederholen. Dabei sollen insbesondere „VDI-Bäume“ und „Klimabäume“ untersucht werden. Ob die Mauern in künftigen Untersuchungen berücksichtigt werden, muss zu gegebener Zeit nach dem dann aktuellen Forschungsstand beurteilt werden.

2 Projektziele

Das Bayerische Landesamt für Umwelt beauftragte im Juni 2010 das Büro *Fraxinus* GbR mit der Untersuchung der Wirkung des Klimawandels auf biotische Systeme mittels Flechtenkartierung. Folgende Ziele wurden definiert:

Die Nutzung des Bioindikators Flechte zum Nachweis von Wirkungen des Klimawandels in Bayern soll erprobt und ein langfristiges Biomonitoringkonzept dafür erarbeitet werden.

Die Flechtenerhebungen sollen so erfolgen, dass

- Aussagen zur Flechtendiversität getroffen werden können.
- die Vergleichbarkeit mit Flechtenkartierungen in Bayern nach VDI 3957, Blatt 13 gegeben ist.
- bisherige immissionsökologische Flechtenkartierungen in Bayern berücksichtigt werden.
- Aussagen zur Entwicklung der Luftgüte seit 1996 möglich sind.

3 Klimawandel

3.1 Globaler Klimawandel

Der globale Klimawandel wird durch Änderungen der atmosphärischen Konzentration von Treibhausgasen und Aerosolen, der Sonneneinstrahlung und der Beschaffenheit der Landoberfläche beeinflusst.

Der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen nennt die Folgen [1]:

- Anstieg der durchschnittlichen Temperaturen:
Von 1906-2005 stieg die globale Temperatur um 0,74 °C an, mit weiter steigender Tendenz. Für Europa liegt die Erwärmung seit 1900 mit 0,95 °C über dem globalen Durchschnitt [2]. Die Erwärmung betrifft sowohl die Winter- als auch die Sommermonate.
- Die Niederschläge zeigen für viele großräumige Regionen langfristige Trends und schwanken räumlich und zeitlich sehr stark. Für Nordeuropa wurde für den Zeitraum 1900-2000 ein Anstieg der Niederschlagsmenge um 10-40 % festgestellt [2]. Dabei nahmen Starkniederschlagsereignisse zu.
- Anstieg des durchschnittlichen atmosphärischen Wasserdampfgehaltes seit den 1980er Jahren über dem Land und den Ozeanen als auch in der oberen Troposphäre.
- Anstieg des Meeresspiegels durch die Ausdehnung des Wassers mit zunehmender Temperatur und das globale Abschmelzen der Schnee- und Eismassen.

3.2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität

Der Klimawandel stellt hohe Anforderungen an das Anpassungsvermögen von Lebewesen. Diejenigen, die sich nicht anpassen können, werden aussterben oder abwandern. So ergeben sich neue räumliche Verteilungen und Zusammensetzungen der natürlichen Lebensgemeinschaften [3] [4] [5] [6] [7]. Für die überwiegende Mehrheit von Organismen und Ökosystemen wird sich eine Anpassung an den Klimawandel als schwierig erweisen. Dies betrifft insbesondere montane, alpine und polare Arten sowie solche der Insel- und Küstengemeinschaften.

Bei einer Temperaturerhöhung um 1 °C wird eine Verschiebung der Vegetationszonen um etwa 200-300 km polarwärts beziehungsweise um bis zu 200 Höhenmeter angenommen [7] [8]. Erscheint diese Erhöhung zunächst als gering, so muss doch davon ausgegangen werden, dass sie zumindest gebietsweise das Aussterben arktisch-alpiner Arten sowie von Glazialrelikten bedeutet. Insbesondere bei alpinen Arten ist die Migration in höhere Lagen nur begrenzt möglich. Hinzu kommt, dass als Folge der Erwärmung eine Arealerweiterung oder Zuwanderung auch gebietsfremder Arten beobachtet wird. Diese Arten können zwar die Artenvielfalt in alpinen Gebieten kurzfristig erhöhen, führen aber langfristig zu einer Auslöschung endemischer Arten [2] [7] [9] [10] [11].

3.3 Klimawandel und Flechten

Flechten reagieren ausgesprochen sensitiv auf sich ändernde Umweltbedingungen. Als wechselfeuchte Organismen nehmen sie Wasser und darin gelöste Stoffe über ihre gesamte Oberfläche auf. Nur bei ausreichender Wasserversorgung betreiben sie Stoffwechsel. Es ist anzunehmen, dass der mit dem Klimawandel einhergehende Anstieg der Niederschläge und des atmosphärischen Wasserdampfgehaltes bei steigenden Temperaturen und zunehmendem CO₂-Gehalt der Atmosphäre auf eine Reihe von Flechtenarten einen positiven Effekt ausüben kann. Flechten werden durch die prognostizierte Sommertrockenheit nicht in dem Maße geschädigt wie Höhere Pflanzen, da sie schadlos eine vorübergehende Austrocknung ertragen können.

Die Bioindikation mit Flechten hat eine lange Tradition. In zahllosen Arbeiten wurden sie erfolgreich als Indikatoren für die Wirkungen von Luftverunreinigungen eingesetzt. Ein langjähriges Monitoringprogramm existiert in Hessen [12]. Anfang dieses Jahrhunderts beschäftigten sich die ersten Studien mit den Effekten des Klimawandels auf Flechten [13] [14]. In jüngerer Zeit mehren sich Beobachtungen, wonach sich die Artenzusammensetzung der Flechtenbestände in Westeuropa – unabhängig von der Immissionssituation – kontinuierlich verändert. So berichtet APTROOT, dass im Zeitraum 1979-2005 eine Reihe von südlichen und wärmeliebenden Arten in die Niederlande eingewandert ist. Unter den Profiteuren waren insbesondere Flechten mit *Trentepohlia*-Algen [15]. In weiteren Regionen wird die Ausbreitung wärmeliebender Arten beobachtet, so in Dänemark [16], Niedersachsen [17], Nordrhein-Westfalen (Düsseldorf) [18] und Hessen [13].

3.4 Biomonitoring des Klimawandels mit Flechten

Der Länderarbeitskreis Bioindikation/Wirkungsermittlung hat das Thema Klima-Biomonitoring als Arbeitsschwerpunkt aufgegriffen. Es wird vorgeschlagen, Biomonitoring-Verfahren zu verwenden, um Auswirkungen des Klimawandels auf die belebte Umwelt zu erkennen, zu bewerten und zu dokumentieren [10]. Gerade für besonders empfindliche Gebiete in Deutschland sollen die Folgen des Klimawandels auf Lebensräume, Lebensgemeinschaften und Arten darstellbar werden. In der Arbeit werden die Vorteile des Klima-Biomonitorings gegenüber den bisherigen Verfahren des Klimamonitorings mittels Messung von Klimaparametern genannt. Flechten werden als Bioindikatoren klimainduzierter Wirkungen empfohlen, dabei wird die Auswertung von Zeigerwerten (Temperatur, Kontinentalität, Feuchte) vorgeschlagen [19].

Obwohl bekannt ist, dass Flechten für die Bioindikation von Klimawirkungen geeignet sind, existieren noch keine standardisierten Methoden und langfristigen Konzepte für Untersuchungsprogramme. Um diese Lücke zu schließen, entwickelt der VDI-Arbeitskreis „Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Umweltveränderungen (Bioindikation)“ derzeit eine Richtlinie zur Ermittlung der Wirkung von lokalen Klimaänderungen. Es soll insbesondere erarbeitet werden, wie die langfristige Entwicklung von Klimawirkungen auf Flechten dargestellt werden kann [21].

Dabei ist es nicht zielführend, die Flechtenaufnahme nach VDI 3957, Blatt 13 [20] vorzunehmen. Dort ist eine relativ kleine Erfassungsfläche von 0,2 m² pro Substrateinheit (z. B. ein Baum) festgelegt. Möglicherweise neu einwandernde Flechtenarten, die anfangs noch mit wenigen Individuen vorkommen, könnten so evtl. nicht erfasst werden. Vielmehr ist es zum einen notwendig, ein breites Spektrum an Substraten zu untersuchen. Dies soll erreicht werden, indem sowohl Epiphyten als auch Gesteinsflechten in die Untersuchung mit einbezogen werden. Zum anderen soll durch eine ausreichende Zahl von Erfassungsflächen sichergestellt werden, dass klimawandelrelevante Arten zu einem frühen Zeitpunkt nachgewiesen werden können. Der Entwurf der Flechten-Klima-Richtlinie schreibt demzufolge eine Anzahl von mindestens 20 Bäumen und mindestens 30 Mauerabschnitten pro Messfläche vor.

Ein Pilotprojekt für die Richtlinienarbeit stellt die Untersuchung in Hessen im Jahr 2006 dar. Ergänzend zum Flechten-Dauerbeobachtungsprogramm wurden Mauern auf ihren Flechtenbewuchs geprüft und diese Daten mit Klimadaten korreliert [22]. Es resultierten hohe Korrelationen der Wärmezeiger-vorkommen mit Temperatur- und Niederschlagsdaten. Weiterhin wurde ein Beitrag zur Identifizierung geeigneter Wärmezeigerarten geleistet, der in Kapitel 7 diskutiert wird.

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Methode leisten.

4 Datenbestand zu Flechten in Bayern

4.1 Flechtenfloristische Daten

Seit den Pionierarbeiten von ARNOLD Ende des 19. Jahrhunderts wurden einige flechtenfloristische und – vor allem in jüngerer Zeit – naturschutzfachliche Arbeiten veröffentlicht, die Beiträge zur Kenntnis der Flechtenflora in Bayern leisten (Tab. 1).

Einen Vergleich zum Wissen über die Flechtenflora Bayerns mit dem der Moosflora zieht BRACKEL [23]:

„Bei der Flechtenflora ist die aktuelle Datenlage viel dünner, insbesondere über die gesteinsbewohnenden Arten in den Hochlagen ist so gut wie nichts bekannt, wie es bei der Neufassung der Roten Liste der Flechten Deutschlands sehr deutlich wurde. Eine intensive Untersuchung im Nationalpark Berchtesgaden durch TÜRK & WUNDER [24] deckt nur einen kleinen Teil der Bayerischen Alpen ab. Weitere Untersuchungen laufen ferner in den Allgäuer Alpen durch WIRTH und DORNES. Eine Intensivierung der Inventarisierung der Moose und Flechten der Hochlagen ist dringend geboten, da sich Bayern innerhalb Deutschlands durch den Alpenanteil auszeichnet. Bayern ist das einzige Bundesland, in dem keine Rote Liste gefährdeter Flechten vorliegt. Dies liegt zum großen Teil daran, dass über den Alpenanteil zu geringe Informationen vorliegen. Aber auch aus den anderen Landesteilen liegen, abgesehen von der Flechtenflora von Regensburg [25], Informationen nur über kleine Gebiete oder punktuell vor, insbesondere was die nicht-epiphytischen Arten betrifft.“

Tab. 1: Auswahl flechtenfloristischer Arbeiten in Bayern

Region	Titel	Quelle
Nordostbayern	Neue Funde seltener Moos- und Flechtenarten im nordöstlichen Bayern	WURZEL (2009) [26]
Fichtelgebirge	Beitrag zur Kenntnis der Flechtenbiota des Fichtelgebirges	WIRTH & HERTEL (2007) [27]
landesweit	Inventarisierung von Flechten in Kiefern-Naturwaldreservaten	BRACKEL 2007 [28]
Nordostbayern	Zur Flechtenflora der Serpentinifelsen in Nordostbayern	BRACKEL 2007 [29]
Bayerischer Wald	<i>Cetraria nivalis</i> und <i>Thamnolia vermicularis</i> am Großen Arber (Bayerischer Wald) wiedergefunden	DIEWALD 2007 [30]
landesweit	Einige für Bayern neue oder bemerkenswerte Flechten und flechtenähnliche Pilze	BRACKEL 2006 [31]
Landkreis Lindau (Bodensee)	Epiphytische Flechten in den Tannenwäldern am Taubenberg	BRACKEL 2006 [32]
Landkreis Bamberg	Flechten, flechtenbewohnende Pilze und Moose im NSG Sandgrasheide Pettstadt	BRACKEL 2005 [33]
Landkreis Kelheim	Wald und Halbtrockenrasen auf der Flur "Der Berg" am Sippenauer Moor	SCHMIDT 2006 [34]
Erlangen	Flechten in Erlangen	FLEISCHMANN-SCHIEBER 2004 [35]

Fortsetzung Tab. 1:

Region	Titel	Quelle
Regensburg	Die Flechtenflora von Regensburg	DÜRHAMMER 2003 [25]
Donauregion	Bedeutung verschiedener Baumarten für epiphytische Flechten: Untersuchungen am Beispiel von drei Auwäldern an der bayerischen Donau	ENGEL 2003 [36]
Bayerischer Wald	New and interesting lichen records from old-growth forest stands in the German National Park Bayerischer Wald	PRINTZEN 2002 [37]
Landkreis Erlangen-Höchstädt	Moos- und Flechtengesellschaften im NSG Tennenloher Forst	BRACKEL 2000 [38]
Landkreis Bamberg	Moos- und Flechtenvorkommen in der Umgebung von Ebrach im Steigerwald	BRACKEL 1998/99 [39]
Landkreis Forchheim	Epiphytische Moos- und Flechten-Gesellschaften auf der Ehrenbürg bei Forchheim	BRACKEL 1994 [40]
Nationalpark Bayerischer Wald	Epiphytische Flechten im Nationalpark Bayerischer Wald	MACHER 1992 [41]
landesweit	Zur Veränderung der Flechtenflora in Bayern. Forderungen und Möglichkeiten des Artenschutzes	WIRTH 1980 [42]
Nordwestbayern	Verbreitung und Soziologie epiphytischer Flechten in Nordwestbayern	RITSCHER 1977 [43]
landesweit	Flechten aus Bayern	KALB 1975 [44]
Nordalpenraum	Ozeanische Flechten im Nordalpenraum	SCHAUER 1965 [45]
Spessart	Die Flechten des Spessarts	BEHR 1957/58 [46]
Stadt München	Zur Lichenflora von München	ARNOLD 1891 [47]
landesweit	Lichenen-Flora Bayerns	KREMPELHUBER 1861 [48]
Fränkischer Jura	Die Lichenen des Fränkischen Jura	ARNOLD 1858-1885 [49]

Von den in Bayern ca. 1.600 bekannten Flechtenarten sind 184 (= 12 %) in der Kategorie 1 der Roten Liste Flechten der BRD und 74 (= 5 %) in der Kategorie R [50] [51]. Darin enthalten sind auch sechs Arten bzw. neun Taxa mit einer z. T. niedrigeren Gefährdungseinstufung, die im Anhang V der FFH-Richtlinie verzeichnet sind (Arten der Sect. *Cladina* der Gattung *Cladonia*).

4.2 Daten aus immissionsbezogenen Arbeiten

Es liegt eine Reihe von immissionsbezogenen Flechtenkartierungen für Bayern vor. Eine großräumige Untersuchung von Flechten an Eichen im Raum München-Ingolstadt veröffentlichte JÜRGING [52], es folgte eine immissionsbezogene Arbeit im Bayerischen Wald [53], dabei wurden jeweils unterschiedliche Methoden verwendet.

Im Jahr 1996 fand mit der ersten Richtlinie des VDI zur Flechtenkartierung eine Standardisierung der Kartierungsmethode statt [54]. Die landesweite Flechtenkartierung Bayerns nach dieser Methode wurde 1997 veröffentlicht [52]. Dabei wurden landesweit 190 Messflächen mit einer Größe von 4 x 4 km ausgewiesen. Die epiphytischen Flechten an insgesamt 2.185 Bäumen wurden erfasst. Die Positionierung der Messflächen erfolgte nach den vorhandenen landesweiten immissionsökologischen Messnetzen des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz. In der vorliegenden Arbeit soll auf dieses Messnetz zurückgegriffen werden, um Daten aus der genannten Kartierung für aktuelle Aussagen heranziehen zu können.

Es folgten Erhebungen weiterer Städte und Gemeinden nach VDI-Richtlinie (Tab. 2); in Aschaffenburg und Coburg wurden die Untersuchungen bereits wiederholt, um die zeitliche Entwicklung der Immissionsituation nachvollziehen zu können. Kartierungen nach 2005 wurden nach der Nachfolgerichtlinie VDI 3957, Blatt 13 durchgeführt. Die Daten beider Richtlinien sind miteinander kompatibel.

Tab. 2: Immissionsbezogene Flechtenkartierungen in Bayern nach VDI 3799, Blatt 1 oder Nachfolgerichtlinie 3957, Blatt 13

Region	Titel, Erfassungsjahr	Quelle
Stadt Aschaffenburg	Immissionsbezogene Flechtenkartierung Aschaffenburg unter besonderer Berücksichtigung des Straßenverkehrs. Wiederholungsuntersuchung, 2008/09	VORBECK ET AL. 2009 [56]
Stadt Coburg und Umgebung	Flechtenkartierung zur Beurteilung der Luftqualität in Coburg und Umgebung. Wiederholungsuntersuchung, 2007	WINDISCH & VORBECK 2007 [57]
Gemeinde Ortenburg	Flechtenkartierung Ortenburg. Beurteilung der lufthygienischen Situation anhand der epiphytischen Flechtenvegetation, 2003	WINDISCH & VORBECK 2003 [58]
Stadt Aschaffenburg	Immissionsbezogene Flechtenkartierung Aschaffenburg unter besonderer Berücksichtigung des Straßenverkehrs, 2002	WINDISCH & VORBECK 2002 [59]
Stadt München	Flechtenkartierung München - Eignung von Flechten als Bioindikatoren für verkehrsbedingte Immissionen, 2000	VORBECK & WINDISCH 2000 [60]
Stadt Coburg und Umgebung	Kartierung der epiphytischen Flechtenvegetation zur Beurteilung der Luftqualität in Coburg und Umgebung, 1999	WINDISCH & VORBECK 1999 [61]
Stadt Bamberg	Kartierung der epiphytischen Flechtenvegetation in Bamberg, 1999	VORBECK & WINDISCH 1999 [62]
Stadt Nürnberg	Kartierung der epiphytischen Flechtenvegetation zur Beurteilung der Luftqualität in Nürnberg, 1998	WINDISCH & VORBECK 1998 [63]
landesweit	Landesweite immissionsbezogene Flechtenkartierung in Bayern, 1996	VORBECK & WINDISCH 1997 [55]

5 Methoden

5.1 Messflächen

Um die Wirkungen des Klimawandels auf biotische Systeme (Flechten) langfristig beobachten zu können, sollten landesweit 25 Messflächen ausgewiesen werden. Auf diesen Flächen sollen Bäume und Mauern auf ihren Flechtenbewuchs untersucht werden.

5.1.1 Kriterien zur Auswahl der Messflächen

Folgende Anforderungen und Kriterien wurden zur Auswahl der Messflächen herangezogen:

1. Bestehende Messnetze

Die Lage der Messflächen orientiert sich, soweit möglich, am Messnetz der immissionsökologischen Flechtenkartierung des LfU von 1996 [55]. Damals wurden 192 Messflächen mit einer Größe von 4 x 4 km untersucht.

2. Ergänzung des Messnetzes

Zur Ergänzung des Messnetzes standen Daten aus anderen immissionsökologischen Untersuchungen mit vergleichbarer Aufnahmemethode und Datenbestand zur Verfügung (vgl. Tab. 2). Unter Hinzunahme eines Teils dieser Daten wurde das Messnetz in München und Nürnberg um je eine Messfläche erweitert.

3. Verfügbare Klimadaten des DWD

Die Messflächen sollen in der Nähe von Klimamessstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) mit verfügbaren Daten ausgewiesen werden. Dazu wurden alle 81 DWD-Stationen in Bayern ausgewählt, die seit 1996 bis 2010 durchgängig Klimadaten erfasst haben.

4. Entfernung der Messfläche zur Klimamessstation des DWD

Die Messflächen sollen möglichst nahe an der Klimamessstation liegen. Sie sollen maximal innerhalb eines Umkreises von 10 km um die Klimamessstation liegen (Abb. 3). Dabei soll der Standort der Klimamessstation und der Flechtenstandort klimatisch vergleichbar sein (z. B. Höhenunterschiede max. 100 m, beide in Tallage, etc.).

5. Gleichmäßige Verteilung

In jedem Naturraum Bayerns sollte mindestens eine Messfläche ausgewiesen werden. Besonderer Wert liegt auf einer Positionierung von Messflächen im Alpenraum.

6. Klimagradient

Die Messflächen sollen einen Gradienten bezüglich klimarelevanter Parameter (Höhenlage, Jahresmitteltemperaturen usw.) aufweisen, um die Ergebnisse der Flechtenkartierung mit unterschiedlichen klimatischen Gegebenheiten korrelieren zu können.

7. Verfügbarkeit der Substrate

Der Untergrund, auf dem Flechten wachsen (Substrat), muss in ausreichender Menge verfügbar sein. Dazu wurden im Vorfeld bisherige Flechtenkartierungen in Bayern und Luftbilder in Bezug auf das Vorkommen geeigneter Bäume und Mauern ausgewertet.

8. Lage im ländlichen Raum

Die Messflächen sollen in ländlichen Gebieten liegen, möglichst unbeeinflusst von Stadtklimaefekten und größeren Immissionsquellen (Autobahn usw.). Einige Vergleichsstandorte sollen in Ballungsräumen (München, Nürnberg) ausgewiesen werden.

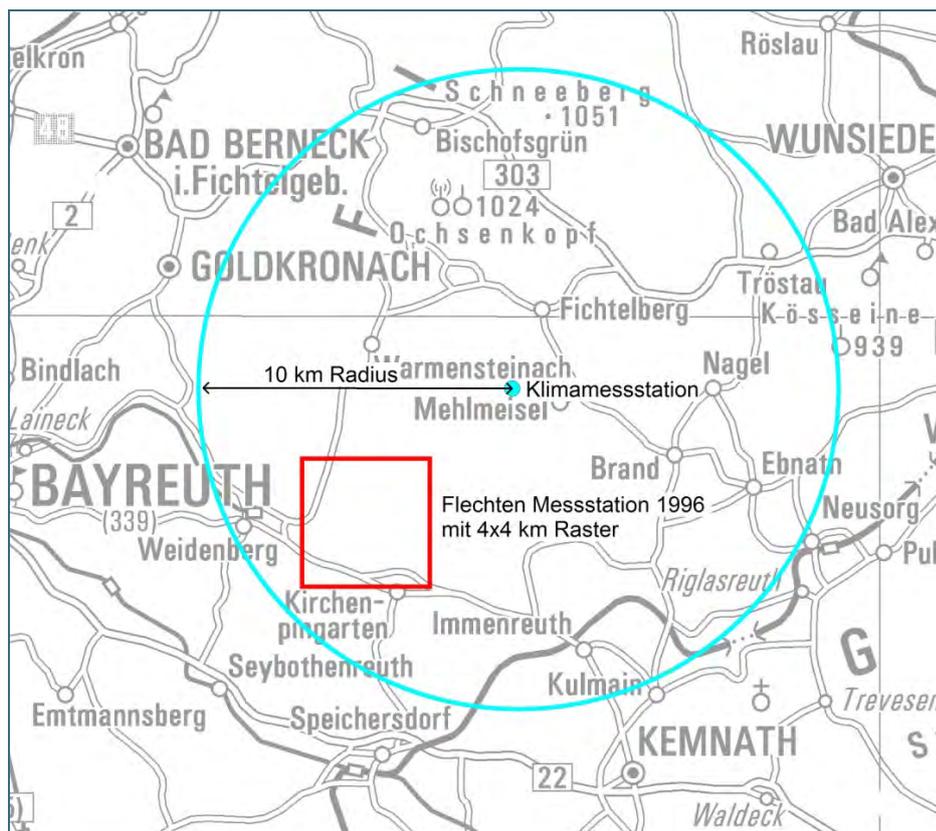


Abb. 3:
Flechtenmessstation
1996 in max. 10 km
Entfernung der DWD
Klimamessstation

5.1.2 Ergebnis der Messflächenauswahl

Von den 192 Messstationen, die 1996 kartiert wurden, wurden jene 52 ausgewählt, welche im Umkreis von max. 10 km um eine Klimamessstation liegen (Abb. 4).

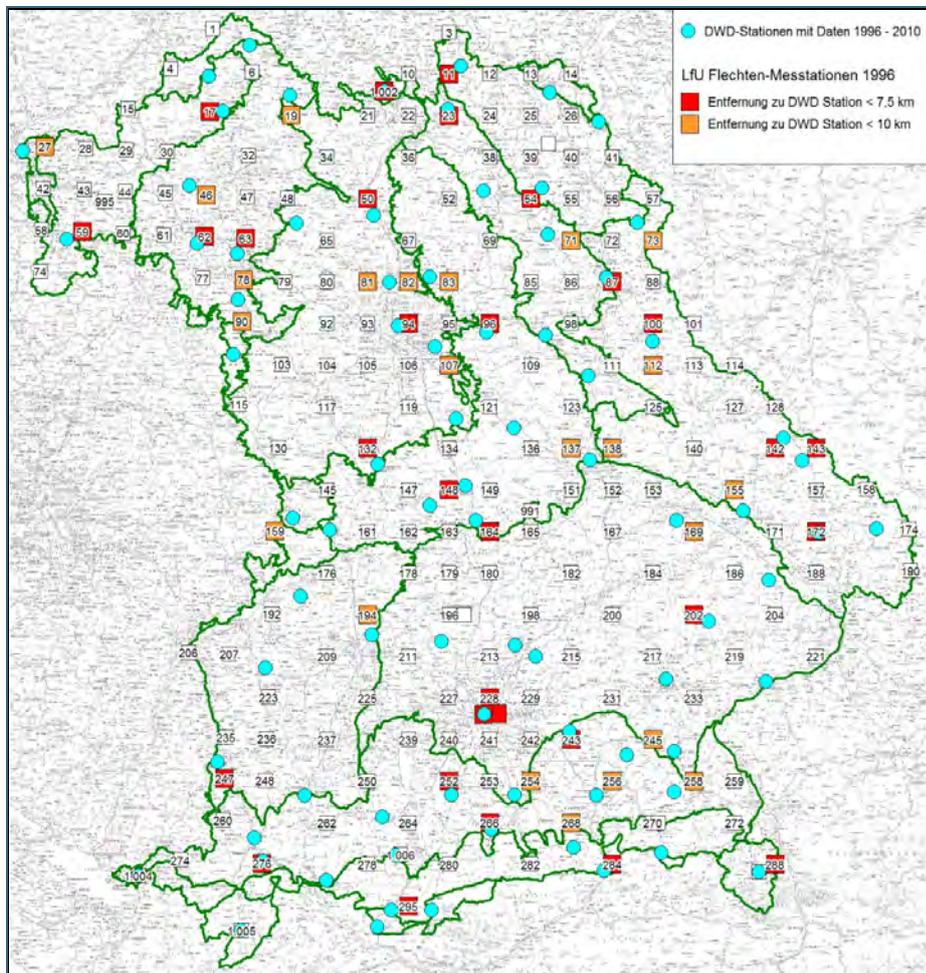


Abb. 4:
Stationen im Umkreis
von max. 10 km um die
Klimamessstationen

Entsprechend der oben genannten Kriterien wurden aus den vorselektierten 52 Stationen 20 Messflächen ausgewählt.

Um den formulierten Anforderungen gerecht zu werden, wurden zusätzlich 5 Messflächen neu eingerichtet:

- Eine Messfläche wurde im Stadtgebiet von München positioniert (901, Abb. 5), um eine Referenzmessfläche in einer Großstadt aufweisen zu können. Zum Vergleich liegen die Daten aus der Flechtenkartierung München aus dem Jahr 2000 vor [60].
- Ebenso wurde am Flughafen in Nürnberg eine weitere Messfläche eingerichtet (902, Abb. 6). Als Datengrundlage dazu dient die Flechtenkartierung Nürnberg aus 1998 [63].
- Eine neue Messfläche wurde in Berchtesgaden (903) eingerichtet, um den östlichen Alpenraum abzudecken und um einen Vergleich zu der benachbarten höher gelegenen, alpinen Messfläche 288 am Obersalzberg zu haben.
- Eine Messfläche (904) wurde in Sigmarszell in Nähe des Bodensees ausgewiesen, da im milden Bodenseeklima das Zuwandern von atlantischen Flechtenarten am ehesten zu erwarten ist.
- Eine weitere neue Messfläche wurde in Oberstdorf (905) eingerichtet, um den Höhenbereich zwischen 700 und 900 m besser abzudecken.

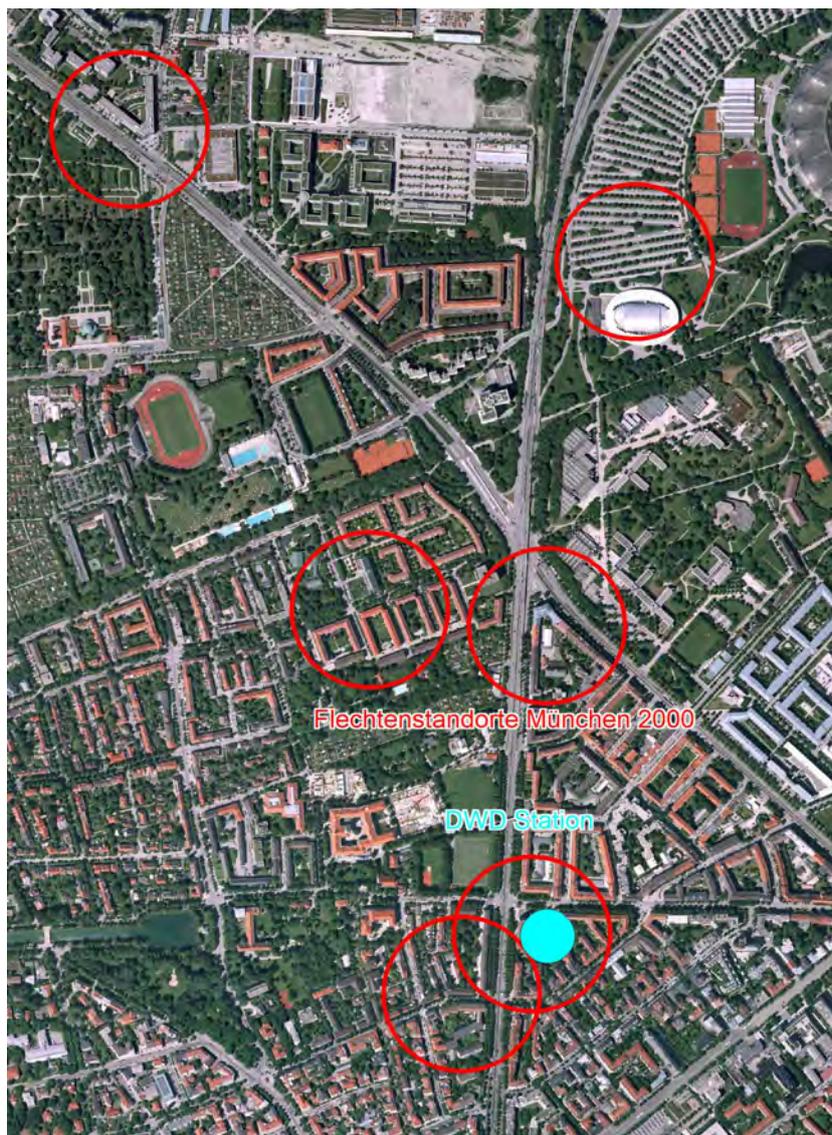


Abb. 5:
Messfläche 901 in
München mit Flech-
tenstandorten aus der
Münchenkartierung
2000



Abb. 6:
Neue Messfläche 902
am Flughafen in Nürn-
berg mit Bäumen aus
der Kartierung 1998

Daraus ergeben sich die folgenden 25 Messflächen (Abb. 7 und Tab. 3):

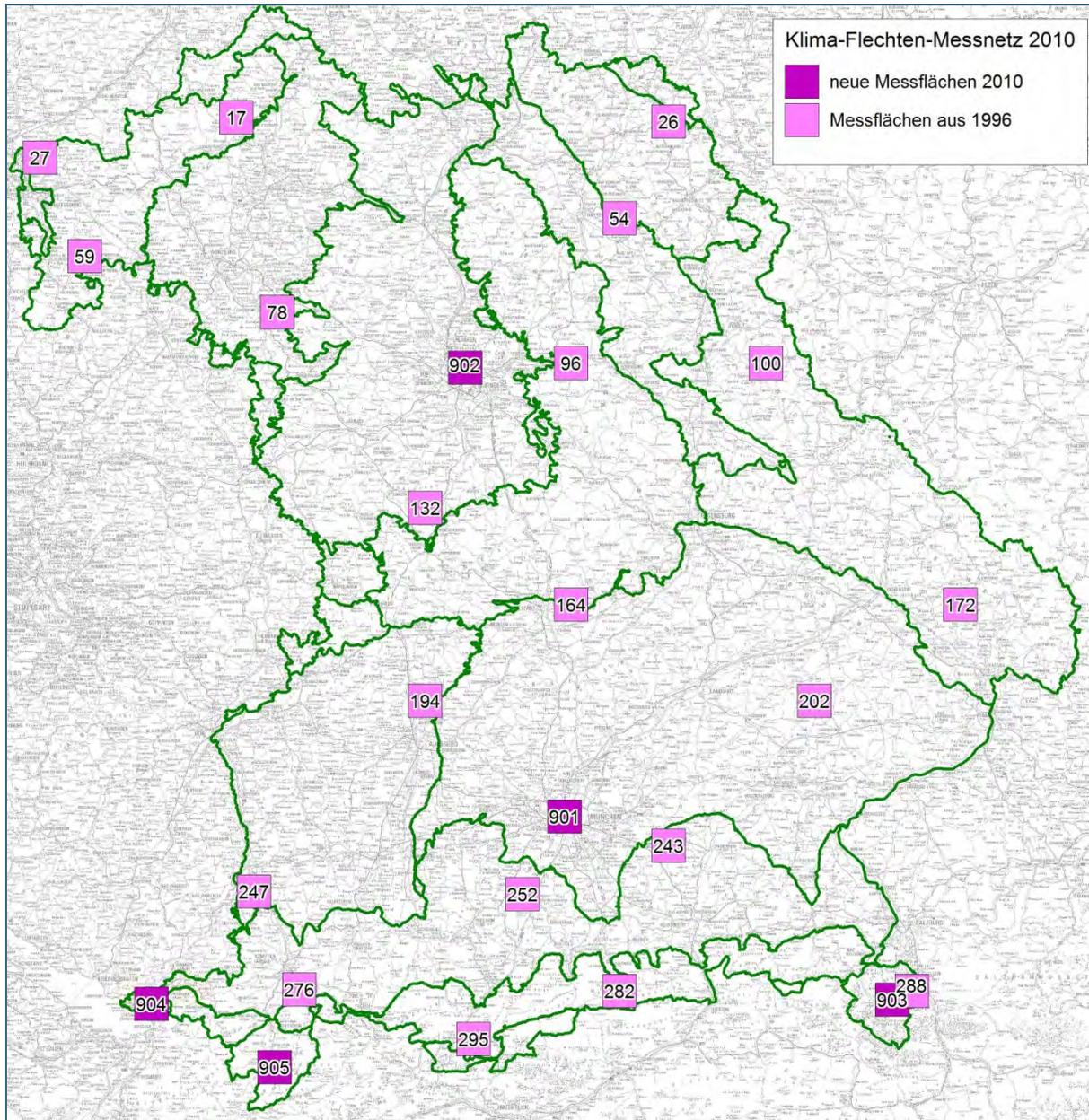


Abb. 7: Ausgewählte Messflächen für das Klima-Flechten-Messnetz 2010 mit DWD-Stationen

Tab. 3: Liste der Messflächen für das Klima-Flechten-Messnetz 2010

Nr.	Name	Nr. DWD-Station	mittlere Höhe in m ü. NN
17	Bad Kissingen	2597	282
26	Selb/Oberfranken-Lauterbach	4548	609
27	Kahl am Main	2480	107
54	Fichtelberg/Oberfr.-Hüttstadl	1357	657
59	Röllbach	3319	239
78	Gollhofen	5149	308
96	Pommelsbrunn-Mittelburg	3975	522
100	Oberviechtach	3739	596
132	Weißenburg	5440	422
164	Kösching	2700	417
172	Saldenburg-Entschenreuth	4354	456
194	Augsburg	232	416
202	Falkenberg, Kr. Rottal-Inn	1332	472
243	Ebersberg-Halbing	1103	592
247	Memmingen	3244	615
252	Attenkam	217	672
276	Oy-Mittelberg-Petersthal	3857	872
282	Wendelstein	5467	1832
288	Berchtesgaden/Obersalzberg	110	950
295	Mittenwald-Buckelwiesen	3307	981
901	München-Stadt	3379	515
902	Nürnberg	3668	314
903	Schönau am Königssee	361	616
904	Sigmarszell-Zeisertweiler	4704	507
905	Oberstdorf	3730	806

5.2 Untersuchte Substrate

In bisherigen Flechten-Untersuchungen in Bayern stand die Wirkung von Luftverunreinigungen im Vordergrund. Zur Erfassung kam die VDI-Richtlinie 3799, Blatt 1 zum Einsatz, die 2005 von der VDI-Richtlinie 3957, Blatt 13 abgelöst wurde. Die Methode soll in der vorliegenden Arbeit angewandt werden, um auch den zeitlichen Verlauf von Immissionswirkungen zu erkennen.

In der vorliegenden Fragestellung nach den Wirkungen des Klimawandels müssen neue Wege beschritten werden, weil möglicherweise sich neu ausbreitende Arten auf der kleinen standardisierten Erfassungsfläche mit der bisherigen Methode nicht erfasst werden können. Zielführend ist hier vielmehr eine Methode, bei der auf großen Flächen auf möglichst vielen Bäumen und Mauern nach klimaanzeigenden Flechtenarten gesucht wird.

Daher werden insgesamt drei Substrattypen untersucht, die im Folgenden näher beschrieben werden sollen. Da die verschiedenen Substrate innerhalb der Messfläche unter vergleichbaren Klima- und Immissionsbedingungen stehen, eröffnet sich auch der methodische Vergleich der Substrate.

5.2.1 Standardisierte Trägerbäume nach VDI 3957, Blatt 13

Standardisierte Trägerbäume sind erprobte Substrate der immissionsbedingten Flechtenkartierung. Für Bayern liegen umfangreiche Daten solcher Kartierungen vor. Es wird ein Messgitter an den Mittelstamm der freistehenden Bäume angelegt, das Vorkommen und die Häufigkeit (Frequenz) der Flechten im Messgitter werden notiert. Sollen die Wirkungen von Luftverunreinigungen untersucht werden, wird ein Luftgüteindex berechnet. In der vorliegenden Arbeit soll die Methode für den Nachweis von Klimawirkungen evaluiert werden.

5.2.1.1 Auswahl der Trägerbäume

Sowohl die Auswahl der standardisierten Trägerbäume als auch die Erfassung der Flechten erfolgt nach VDI 3957, Blatt 13 [20]. Die Standardisierung betrifft Baumart, Umfang, Beschattung, Einflüsse der Umgebung, etc. 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 (Tab. 4).

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 spec.</i>) (70 bis 280)
Winterlinde (<i>Tilia cordata</i>) (100 bis 280)
Sommerlinde (<i>Tilia platyphyllos</i>) (100 bis 280)
Bergahorn (<i>Acer pseudoplatanus</i>) (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>) (70 bis 280)
Birnbaum (<i>Pyrus communis</i>) (70 bis 160)
Apfelbaum (<i>Malus spec.</i>) (70 bis 160)

Tab. 4:
Baumartengruppe nach VDI 3957,
Blatt 13 mit Spanne des Baumum-
fangs in cm

Über die VDI-Richtlinie hinaus sollten folgende Anforderungen eingehalten werden:

- maximale Versiegelung im Umkreis von 20 m beträgt 50 %
- Hauptverkehrsstraßen meiden
- kein Standort mit „Stadtklima“-Effekt (außer auf Stadtmessflächen)
- bevorzugt die noch geeigneten Bäume aus 1996 kartieren
- weitere Bäume möglichst nahe an der DWD-Station hinzunehmen (max. 10 km)
- Der Baumstandort soll klimatisch dem Standort der Klimamessstationen entsprechen (homogene Geländeeinheiten)

- bei der Baumauswahl sollen zusätzlich folgende Kriterien beachtet werden:
 - der Baumumfang sollte eher im unteren Bereich liegen (70 -100 cm, Eignung für Nachkartierungen)
 - Baumarten Spitzahorn, Esche, Ulme, Linde und Bergahorn bevorzugen
 - Baumart Apfelbaum möglichst vermeiden
 - Es sollen mindestens 2 verschiedene Baumarten kartiert werden

5.2.1.2 Anzahl der Trägerbäume

Pro Messfläche werden mindestens 6, wenn möglich 12 Bäume ausgewählt. Die Bäume sollen an mindestens 2 verschiedenen Standorten innerhalb der Messfläche kartiert werden.

5.2.1.3 Dokumentation

Zur Dokumentation der Baumstandorte werden diese in ein mobiles GPS-Gerät mit Luftbild eingetragen und der Umfang der Bäume notiert. In der Mitte der Messgitter-Oberkante (in ca. 1,50 m Höhe) wird ein Edelstahlstift dauerhaft eingeschlagen.

5.2.1.4 Erfassung der Flechten

Um die Daten mit denen der Kartierung 1996 vergleichen zu können, kommt das damals verwendete Aufnahmegitter zum Einsatz (VDI-Richtlinie 3957, Blatt 13, Anhang A).

Zur Erfassung der Flechten wird das Gitter mit 10 Gitterfeldern (je 10 x 10 cm) an der am stärksten bewachsenen Stammseite angelegt (Abb. 8 und Abb. 9). Es werden alle Flechtenarten 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 Proben genommen und im Labor bestimmt. Als Bestimmungsliteratur dienen SMITH ET AL. [64] und diverse gattungsspezifische Flechtenwerke.



Abb. 8:
„VDI-Baum“ mit Messgitter

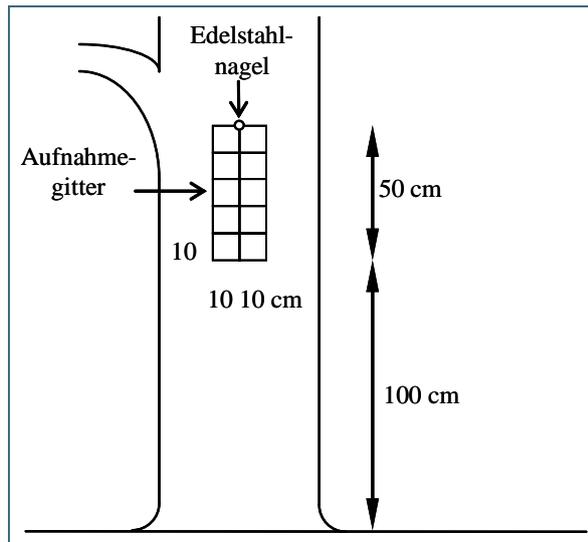


Abb. 9:
Flechtenaufnahmegitter
am Baum (nach VDI 3957,
Blatt 13, Anhang A)

5.2.1.5 Berechnung der Luftgüteindizes (LGI)

Das Datenmaterial wurde in eine MS Access-Datenbank eingegeben. Aus der Anzahl der im Aufnahmegitter vorhandenen Arten und deren Häufigkeit wurden zunächst Flechten-Diversitätswerte (FDW) errechnet. Die FDW wurden für die Eutrophierung anzeigenden Arten (Eutrophierungszeiger) und für die übrigen Arten (Referenzarten) getrennt berechnet. Eutrophierungszeiger sind die in Tab. 5 genannten Arten. Die Einschätzung der Arten als Eutrophierungszeiger basiert auf den Zeigerwerten für Pflanzen 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.

Dazu ist zu bemerken, dass seit 2010 eine aktualisierte Liste [65] existiert. Die entsprechenden Änderungen sind in der VDI-Richtlinie 3957, Blatt 13 (Stand 2005) aber bislang nicht umgesetzt.

Flechtenart
<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 spp.</i>
<i>Xanthoria candelaria</i>
<i>Xanthoria parietina</i>
<i>Xanthoria polycarpa</i>

Tab. 5:
Liste der Eutrophierungszeiger nach
VDI-Richtlinie 3957, Blatt 13, Stand:
2005

Für die ermittelten FDW können in der Bewertungsmatrix (Abb. 10) die entsprechenden Luftgüteindizes (LGI), zum Beispiel „4.2“, ausgelesen werden. Für jede Messfläche wurde ein LGI ermittelt.

Um die zeitliche Entwicklung der Luftgüte darzustellen, wurden zusätzlich zu den aktuellen Luftgüteindizes auch die LGI für frühere Arbeiten neu berechnet. Es erfolgte eine Auswertung der Daten aus der landesweiten Kartierung von 1996 für die aktuell untersuchten Messflächen [55]. Für die Messfläche 902 (Nürnberg) wurden Daten aus der Flechtenkartierung Nürnberg von 1998 verwendet [63], für die Messfläche 901 (München) Daten aus der Münchener Flechtenkartierung 2000 [60] herangezogen. Die Grunddaten der genannten Kartierungen wurden nach der aktuell gültigen VDI-Richtlinie 3957, Blatt 13 (Anhang 1) neu ausgewertet. Die Einstufung der Luftgüte kann sich für einzelne Messflächen im Vergleich zu damaligen Luftgütekarten ändern. Zum Beispiel ging 1996 nach der damals gültigen Flechtenkartierungsrichtlinie VDI 3799, Blatt 1 die Borkenversauerung anzeigende Flechte *Lecanora conizaeoides* nicht in die Berechnung des Luftgütewertes ein [54]. Heute hat die Art keine Bedeutung mehr, weil die sauren Immissionen bundesweit deutlich zurückgegangen sind. Nach der aktuellen VDI-Richtlinie geht die – mittlerweile an standardisierten Trägerbäumen selten gewordene – Art wieder mit in die Berechnung ein. Dafür wird ein übermäßiges Vorkommen einer anderen Gruppe von Arten, den Eutrophierungszeigern, bei der Berechnung des Luftgüteindexes gütემindernd gewertet.

5.2.1.6 Bewertung der Luftgüteindizes (LGI)

Die Bewertung des LGI ist in den Abb. 10 und Abb. 11 erläutert. Der Luftgüteindex repräsentiert die Belastung durch saure und eutrophierende Luftverunreinigungen. Der Index 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.

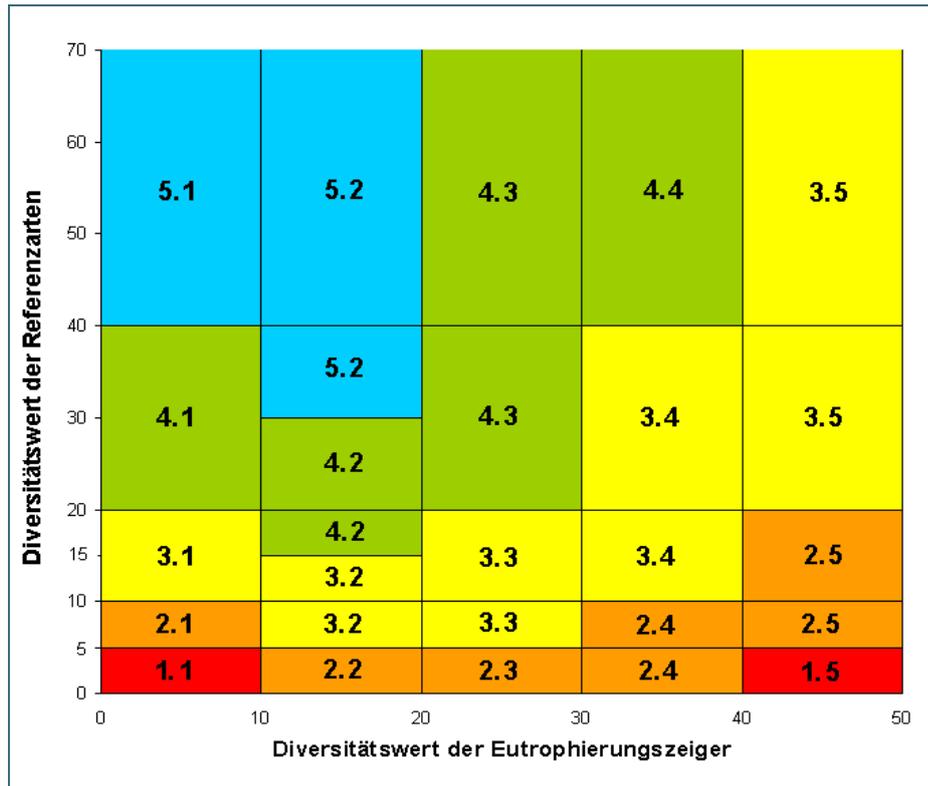


Abb. 10: Bewertungsmatrix zur Ermittlung des Luftgüteindex anhand der Kombination der Diversitätswerte der Eutrophierungszeiger und der übrigen Arten (Datenerhebung mit dem Aufnahmegerät der VDI 3799)

Bewertung der Luftgüte ohne Berücksichtigung eutrophierender Luftschadstoffe		Bewertung eutrophierender Luftschadstoffe	
5	sehr gute Luftgüte	5	sehr starker Einfluss eutrophierender Verbindungen
4	hohe Luftgüte	4	starker Einfluss eutrophierender Verbindungen
3	mittlere Luftgüte	3	mittlerer Einfluss eutrophierender Verbindungen
2	geringe Luftgüte	2	geringer Einfluss eutrophierender Verbindungen
1	sehr geringe Luftgüte	1	sehr geringer Einfluss eutrophierender Verbindungen

Folgende Beispiele erläutern die verbale Beschreibung des Luftgüteindex:

- Luftgüteindex 1.1: Sehr geringe Luftgüte bei sehr geringem Einfluss eutrophierender Verbindungen
- Luftgüteindex 1.5: Sehr geringe Luftgüte bei sehr starkem Einfluss eutrophierender Verbindungen
- Luftgüteindex 5.1: Sehr hohe Luftgüte bei sehr geringem Einfluss eutrophierender Verbindungen.

Abb. 11: Erläuterung der Bewertungsmatrix

5.2.2 „Klimabäume“ nach VDI 3957, Blatt 20

5.2.2.1 Auswahl der „Klimabäume“

Die Auswahl der Baumarten richtet sich nach dem im Untersuchungsgebiet vorhandenen Spektrum, wobei ein wesentliches Kriterium die Einschätzung der Dauerhaftigkeit des Klimabaums ist, um eine Reproduzierbarkeit bei der Wiederholungskartierung zu gewährleisten.

Auf jeder Messfläche werden zusätzlich zu den „VDI-Bäumen“ weitere 20 freistehende Bäume untersucht.

Folgende Kriterien sollen eingehalten werden:

- Die Bäume sollen möglichst nahe an der Klimamessstation stehen.
- Der Baumstandort soll klimatisch dem Standort der Klimamessstationen entsprechen (homogene Geländeeinheiten)
- Es werden mindestens 3 verschiedene Baumarten berücksichtigt, vorzugsweise auch mit unterschiedlichen Borken-pH-Werten. Auch hinsichtlich des Alters der Bäume, der Neigung und sonstiger äußerer Einflussfaktoren ist Vielfalt erwünscht.
- Der Durchmesser der Baumstämme in einer Höhe von 1,5 m über dem Boden sollte mindestens 10 cm betragen.

5.2.2.2 Anzahl der „Klimabäume“

Es werden nach Möglichkeit mindestens 30 Bäume erfasst (inkl. „VDI-Bäume“). Die „VDI-Bäume“ werden ebenfalls als „Klimabäume“ untersucht, indem außer den Flechten innerhalb des Messgitters zusätzlich die übrigen Arten am Baum notiert und ausgewertet wurden.

5.2.2.3 Erfassung der Flechten

Es wird jeweils der gesamte Baumstamm, einschließlich der Äste bis in 2 m Höhe über dem Boden nach Flechten abgesucht (Abb. 12 und Abb. 13). Das Vorkommen aller Arten pro Baum wird notiert.



Abb. 12:
„Klimabaum“, Lärche mit
der braunen Bartflechte
Bryoria fuscescens



Abb. 13:
Erfassung der Flechten-
vegetation an einem
„Klimabaum“

5.2.3 „Mauern“ nach VDI 3957, Blatt 20

5.2.3.1 Auswahl der Mauern

Analog zu der Untersuchung von Bäumen werden bis zu 25 Mauerabschnitte pro Messfläche kartiert. Folgende Kriterien sollen eingehalten werden:

- Bei langen Mauern (z. B. Friedhöfe, Burganlagen) müssen die Mauerabschnitte mindestens 20 m voneinander entfernt sein, außer bei unterschiedlichem Substrat und unterschiedlicher Neigung. In diesem Fall kann der Abstand auch geringer sein oder zwei Flächen können direkt aneinander schließen.
- Es werden gezielt verschiedene Materialien (Silikatgestein, Kalkgestein, Mauerfugen, ...) untersucht (Abb. 14, Abb. 15 und Abb. 16).
- Ein Mauerabschnitt muss eine Mindestgröße von 2 m² aufweisen und stellt die Aufnahmefläche dar.
- Ungeeignet sind Mauern, die einer starken Beeinträchtigung unterliegen. Dazu gehören Störungen in Verkehrsbereichen und auf Privatgrundstücken, übermäßige Beschattung, Ausbesserung und Reinigung der kompletten Mauer, Neuverputzung oder Neuerrichtung der Mauer.

5.2.3.2 Anzahl der Mauern

Die Mauern werden auf den Horizontal- und/oder Vertikalflächen nach Flechten abgesucht. Das Abbruchkriterium ist erreicht, wenn mindestens 20 Flächen kartiert wurden und in den letzten drei bearbeiteten Flächen keine zusätzlichen Flechtenarten mehr gefunden wurden, spätestens mit der Erfassung von 25 Mauerabschnitten.

5.2.3.3 Erfassung der Flechten

Auf den untersuchten Mauerstücken wurden alle Arten erfasst. Auf eine Markierung der untersuchten Mauerabschnitte wurde verzichtet.



Abb. 14:
Betonmauer



Abb. 15:
Kalksteinmauer

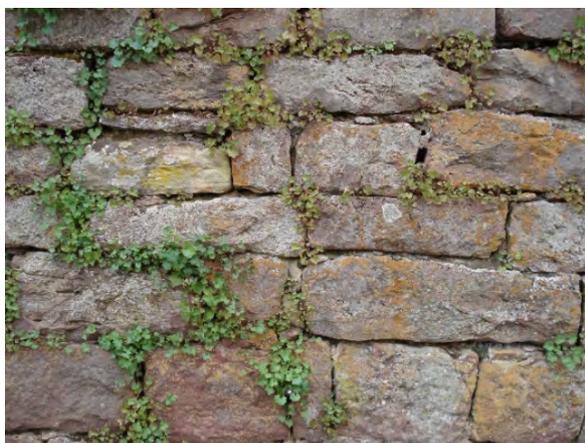


Abb. 16:
Sandsteinmauer

5.3 Geländeerhebung und Dokumentation

5.3.1 Dokumentation der Standortdaten

Zur Erfassung der Objektstandorte im Gelände wurde ein Feldrechner Trimble Juno SB mit integriertem GPS verwendet (Abb. 17). Es wurde mit der Software Arcpad 8.0 gearbeitet. Die Lage der Objekte („VDI-Bäume“, „Klimabäume“ und „Mauern“) konnte dadurch direkt in ein hinterlegtes Luftbild mit GPS-Anzeige eingetragen werden (Abb. 18 und Abb. 19). Außerdem wurden in diesem Zuge auch sämtliche Standortdaten digital erfasst. Die Standortdaten sind als Shape-Datei in der beigefügten CD enthalten.

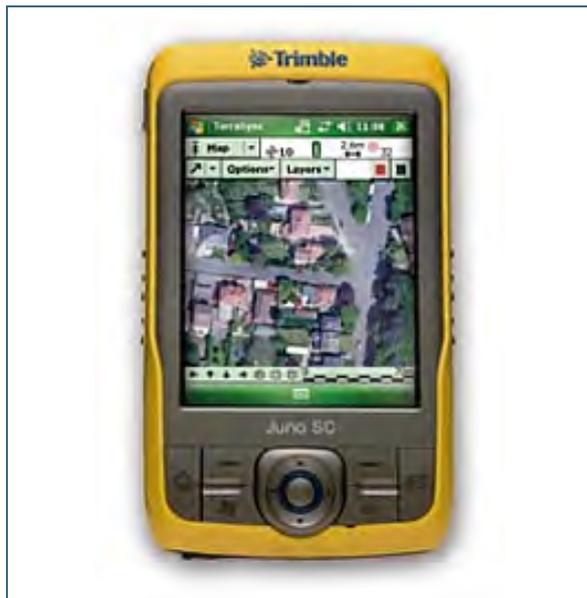


Abb. 17:
Feldrechner Trimble
Juno SB

So ist sichergestellt, dass bei einer Wiederholungsuntersuchung dieselben Bäume und Mauern untersucht werden können.

Bei den „VDI-Bäumen“ wurde zusätzlich in der Mitte der Messgitter-Oberkante ein Edelstahlstift eingeschlagen, um die Lage des Messgitters dauerhaft zu markieren.



Abb. 18: Luftbildausschnitt mit kartierten Flechtenobjekten in Kahl am Main (Messfläche 27)



Abb. 19: Luftbildausschnitt mit kartierten Flechtenobjekten am Wendelstein (Messfläche 282)

5.3.2 Dokumentation der Flechtendaten

Die Flechtendaten wurden direkt in einen Aufnahmebogen eingetragen und im Büro in eine Access-Datenbank überführt. Die Aufnahmebögen finden sich im Anhang 1-3.

5.4 Klimarelevante Flechtenindizes

5.4.1 Zeigerwerte

Ökologische Zeigerwerte für Flechten wurden im Jahre 1991 erstmalig veröffentlicht, eine Aktualisierung und Erweiterung auf 516 Flechtenarten erfolgte 2010 [19] [65] [66]. Insbesondere die Zeigerwerte für Temperatur, Kontinentalität und Feuchte sind relevant für die vorliegende Fragestellung.

Die **Temperaturzahl (T)** beschreibt das Vorkommen der Flechten im Wärmegefälle von der nivalen Stufe bis in die wärmsten Tieflagen Mitteleuropas.

Die **Feuchtezahl (F)** wird für Flechten anders definiert als für Höhere Pflanzen, weil Flechten als poikilohydre Organismen hinsichtlich ihres Wasserhaushaltes weitgehend von den atmosphärischen Feuchtebedingungen abhängig sind. So beschreibt die Feuchtezahl das Vorkommen der Flechten von trockensten Bereichen bis hin zu niederschlagsreichen Gebieten (über 1400 mm), an denen Flechten nur kurzfristig austrocknen.

Die **Kontinentalitätszahl (K)** deckt das Kontinentalitätsgefälle von der Atlantikküste bis ins Innere Eurasiens im Hinblick auf die Temperaturschwankungen ab.

Ergänzend wurden **Eutrophierungszahl** und **Reaktionszahl** ausgewertet. Die Eutrophierungszahl ersetzt die frühere „Nährstoffzahl“ und gewichtet das Maß der übermäßigen Nährstoffanreicherung durch Einflüsse von außen, beispielsweise durch Staubanflug oder Tierexkremete. Die Reaktionszahl gibt Aufschluss über die pH-Verhältnisse der Flechtenstandorte.

5.4.2 „Wärmezeiger“ (WZ)

Es wurde eine Liste von Flechtenarten erstellt, die als Wärmezeiger (WZ) bezeichnet werden sollen. In die Liste gingen alle Arten ein, die nach WIRTH (2010) [65] eine Temperaturzahl zwischen 7 und 9 haben. Diese Vorgehensweise orientiert sich, unter Berücksichtigung der Aktualisierung der Zeigerwerte in 2010, an der in der landesweiten Kartierung in Hessen verwendeten Liste [22]. Aus der Gesamtheit der 516 Arten, für die Temperaturzeigerwerte vorliegen, resultieren 29 Wärmezeigerarten (Tab. 6).

Gattung	Art	Temperaturzahl
<i>Caloplaca</i>	<i>albolutescens</i>	9
<i>Candelariella</i>	<i>medians</i>	9
<i>Candelariella</i>	<i>plumbea</i>	9
<i>Candelariella</i>	<i>viae-lacteeae</i>	9
<i>Flavoparmelia</i>	<i>soredians</i>	9
<i>Hyperphyscia</i>	<i>adglutinata</i>	9
<i>Physciella</i>	<i>chloantha</i>	9
<i>Caloplaca</i>	<i>dalmatica</i>	8
<i>Caloplaca</i>	<i>lactea</i>	8
<i>Caloplaca</i>	<i>teicholyta</i>	8
<i>Flavopunctelia</i>	<i>flaventior</i>	8
<i>Lecanora</i>	<i>pannonica</i>	8
<i>Opegrapha</i>	<i>vermicellifera</i>	8
<i>Punctelia</i>	<i>borreri</i>	8
<i>Xanthomendoza</i>	<i>fallax</i>	8
<i>Caloplaca</i>	<i>flavescens</i>	7
<i>Diploicia</i>	<i>canescens</i>	7
<i>Flavoparmelia</i>	<i>caperata</i>	7
<i>Hypotrachyna</i>	<i>revoluta</i>	7
<i>Hypotrachyna</i>	<i>afrorevoluta</i>	7
<i>Lobothallia</i>	<i>radiosa</i>	7
<i>Melanohalea</i>	<i>elegantula</i>	7
<i>Melanohalea</i>	<i>laciniatula</i>	7
<i>Ochrolechia</i>	<i>parella</i>	7
<i>Parmotrema</i>	<i>perlatum</i>	7
<i>Physconia</i>	<i>grisea</i>	7
<i>Protoparmelia</i>	<i>hypotremella</i>	7
<i>Punctelia</i>	<i>jeckeri</i>	7
<i>Punctelia</i>	<i>subrudecta</i>	7
<i>Pyrenula</i>	<i>nitida</i>	7
<i>Schismatomma</i>	<i>decolorans</i>	7

Tab. 6:
Wärmezeigerarten

5.4.3 „Klimaökologische Ozeanität“ (KO) nach WIRTH (2010)

Mit der Neuauflage der Flechten-Zeigerwerte eröffnete WIRTH die Möglichkeit, den Flechten Zeigerwerte für die klimaökologische Ozeanität zuzuordnen [65]. Eine ozeanische Art besiedelt Habitate, die durch hohe Feuchte und geringe Amplituden der Temperatur im Jahreslauf charakterisiert sind, also durch ein mild-feuchtes Klima ohne starke Extreme der Sommer- bzw. Wintertemperaturen.

Der Wert errechnet sich aus der Kontinentalitätszahl und der Feuchtezahl:

$$KO = \frac{(10 - K + F)}{2}$$

Aus dem Berechnungsbeispiel (Tab. 7) geht hervor, dass anstelle des Zeigerwerts x (indifferent) ein mittlerer Wert von 5 eingesetzt wird. Werte über 6 kennzeichnen Arten, die für deutlich bis sehr stark ozeanisch getönte Standorte stehen, Werte unter 5 für klimaökologisch gering ozeanische bzw. kontinental getönte Habitate.

Flechtenart	KO	K	F
<i>Lobaria amplissima</i>	8,5	2	9
<i>Flavoparmelia caperata</i>	5,5	3	4
<i>Xanthoria parietina</i>	4	x	3

Tab. 7:
Beispiele für den Zeigerwert „Klima-
ökologische Ozeanität“ (KO)

5.4.4 „Klimawert“ (KW) und „Klimaindex“ (KI) nach KIRSCHBAUM & WIRTH (2010)

Auch der Klimawert nach KIRSCHBAUM & WIRTH soll die klimatische Situation quantifizieren, wobei der Schwerpunkt im Gegensatz zum feuchtebetonten KO mehr auf den Temperaturzeigerwerten liegt. Der „Klimawert“ (KW) ist ein Kombinationswert aus dem Temperatur- und dem Kontinentalitätszeigerwert und integriert somit die ökologischen Aussagen beider Werte. Auch hier werden zugunsten einer breiten Datenbasis indifferente Zeigerwerte (x) durch die Zahl 5 ersetzt.

$$KW = \frac{(10 - K + T)}{2}$$

Die Klimawerte der Flechten einer Messfläche können gemittelt und daraus ein Klimaindex (KI) errechnet werden [67].

5.4.5 „Klimawandelzeiger“ (KWZ)

Der VDI-Arbeitskreis „Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Umweltveränderungen (Bioindikation)“ entwarf im Februar 2011 eine neue Vorgehensweise zur Auswahl von Flechten als Klimawandelzeiger, die in der vorliegenden Arbeit bewertet werden soll: Basierend auf den Zeigerwerten nach [65] und [67] werden Flechtenarten selektiert, die hier als „Klimawandelzeiger“ bezeichnet werden sollen. Im ersten Schritt werden jene Arten ausgewählt, die einen Klimawert $KW \geq 6,5$ haben (Abb. 20). Nach [67] haben Arten mit $KW > 6,5$ ihren Verbreitungsschwerpunkt in subatlantisch-submediterranen Regionen mit mildfeuchten Wintern. Durch diese Eingrenzung werden nur Arten berücksichtigt, die bisher in Deutschland in ihrer Verbreitung klimatisch begrenzt oder nicht bekannt waren. Im zweiten Schritt werden Arten mit einer hohen Eutrophietoleranz (Eutrophierungszahl: N-Zahl > 6) aufgrund möglicher Interferenzen ausgeschlossen. Im dritten Schritt werden Arten mit einem $KW = 6,5$ geprüft. Es werden nur solche Species mit aufgenommen, die eine Feuchtezahl (F) von mindestens 7 haben, um den hygrischen Einfluss des Klimawandels zu berücksichtigen. Von den 516 Arten, für die Zeigerwerte vorliegen, erwiesen sich 52 Arten als Klimawandelzeiger.

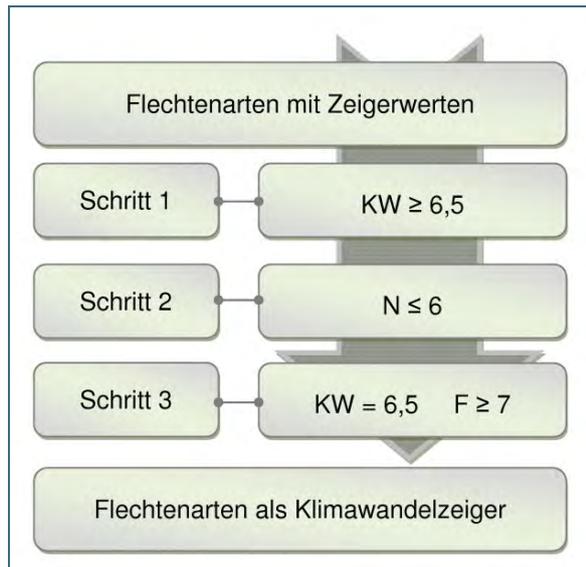


Abb. 20:
Schema der Selektion
von Klimawandelzei-
gern

5.4.6 Wichtungsfaktoren

Es wurden mittlere ungewichtete und gewichtete Flechten-Zeigerwerte pro Messfläche berechnet. Für die ungewichteten Werte wurden die Zeigerwerte einer Flechtenspecies unabhängig von ihrer Häufigkeit verwendet (Tab. 8, Beispiel 1). Ungewichtete Werte basieren auf der Artenzahl pro Messfläche. Vorteil ist, dass sich neu einwandernde, möglicherweise noch nicht etablierte Arten stärker auf die Zeigerwerte auswirken. In die gewichteten Zeigerwerte geht die Anzahl der von der Art besiedelten Objekte (Mauern, Bäume) ein. Hier erhalten häufig vorkommende Arten ein im Verhältnis zu seltener vorkommenden Arten stärkeres Gewicht.

Tab. 8: Berechnungsbeispiele für mittlere Zeigerwerte einer Messfläche mit 4 untersuchten Bäumen und drei Flechtenarten

Beispiel 1: ungewichtet		Beispiel 2: gewichtet	
Art 1	Temperaturzahl 7	Art 1 (an Baum 1)	Temperaturzahl 7
Art 2	Temperaturzahl 6	Art 1 (an Baum 2)	Temperaturzahl 7
Art 3	Temperaturzahl 5	Art 1 (an Baum 3)	Temperaturzahl 7
		Art 1 (an Baum 4)	Temperaturzahl 7
		Art 2 (an Baum 1)	Temperaturzahl 6
		Art 3 (an Baum 1)	Temperaturzahl 5
		Art 3 (an Baum 4)	Temperaturzahl 5
mittlere ungewichtete Temperaturzahl 6,0		mittlere gewichtete Temperaturzahl 6,3	

Die klimarelevanten Flechtenindizes (WZ, KO, KW, KWZ) wurden analog ausgewertet.

5.5 Klimadaten

Es wurden langjährige Klimadaten der untersuchten Messflächen durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) zur Verfügung gestellt. Die Klimadaten der Messfläche 288 lieferte die Nationalparkverwaltung Berchtesgaden (NPB). Das vorliegende Datenmaterial wurde in Tab. 9 zusammengestellt. Abhängig von der Fragestellung wurden Mittelwertbildungen für bestimmte Zeiträume vorgenommen.

Tab. 9: Verfügbare Klimadaten des DWD mit Mittelwerten für den angegebenen Zeitraum

Nr.	Name	DWD-Nr.	Daten verfügbar für Zeitraum	Mittelwerte 1996 - 2010		
				Mitteltemperatur in °C	Niederschlags-summe in l/m ²	Relative Luftfeuchtigkeit in %
17	Bad Kissingen	2597	1990-2010	9,31	683,5	78,74
26	Selb/Oberfr. Lauterbach	4548	2008-2010	6,74	789,3	83,31
27	Kahl am Main	2480	1990-2008, 2010	10,76	713,5	72,56
54	Fichtelberg/Oberfr.-Hüttstadt	1357	1990-2010	6,74	1220,6	82,78
59	Röllbach	3319	2007-2010	9,57	739,9	78,44
78	Gollhofen	5149	1990, 2005-2010	9,41	692,8	78,48
96	Pommelsbrunn-Mittelburg	3975	1994-2002, 2006-2010	8,20	952,1	76,87
100	Oberviechtach	3739	1990-2010	7,75	764,8	79,95
132	Weißenburg	5440	1990-2010	9,30	706,7	74,35
164	Kösching	2700	1990-2010	8,89	734,4	81,92
172	Saldenburg-Entschenreuth	4354	1990-2010	7,99	1159,9	83,92
194	Augsburg	232	1990-2010	8,64	769,5	79,74
202	Falkenberg, Kr.Rottal-Inn	1332	1990-1997, 2000-2010	8,94	838,5	77,19
243	Ebersberg-Halbing	1103	1990-2005, 2007-2010	8,61	1068,9	79,21
247	Memmingen	3244	1990-1999, 2001-2010	8,22	978,1	80,19
252	Attenkam	217	1990-2010	8,43	1172,7	78,13
276	Oy-Mittelberg-Petersthal	3857	1994-2010	7,14	1609,2	78,01
282	Wendelstein	5467	1990-2010	2,82	1772,7	75,82
288	Obersalzberg/Jenner	110	1999-2010	6,78	-	-
295	Mittenwald-Buckelwiesen	3307	1990-2010	7,32	1415,6	76,80
901	München-Stadt	3379	1990-2010	9,84	945,7	73,97
902	Nürnberg	3668	1990-2010	9,38	612,5	76,91
903	Schönau am Königssee	361	1992-1997	7,38	1578,9	82,26
904	Sigmarszell-Zeisertweiler	4704	1990-2010	9,10	1533,9	78,8
905	Oberstdorf	3730	1990-2010	6,70	1712,5	81,2

5.6 Korrelationsberechnungen

Die Korrelationsberechnungen wurden durchgeführt, um vermutete Zusammenhänge zwischen den Flechtendaten und den Klimagradierten im Untersuchungsgebiet zu prüfen. Dazu wurden die Flechtendaten mit den nach Tab. 9 vorhandenen Klimadaten korreliert.

Für die Messfläche 288 (Berchtesgaden/Obersalzberg) ist die nächste verfügbare Klimastation die Mittelstation des Jenner auf 1.185 m. Die Bäume und Mauern der Messfläche befinden sich aber, in Anlehnung an die Kartierung 1996, auf einer Höhe zwischen 750 und 1.100 m. Für die Korrelationsberechnungen wurden daher nur die Daten von 5 „Klimabäumen“ verwendet, die auf einer vergleichbaren Höhe (1.100 m) stehen.

6 Ergebnisse

Auf den 25 untersuchten Messflächen wurden insgesamt 1.275 Objekte (Bäume und Mauern) auf ihren Flechtenbewuchs untersucht (Tab. 10). Bei den standardisierten Trägerbäumen („VDI-Bäume“) wurden überwiegend Eschen und Linden kartiert (Tab. 11), bei den „Klimabäumen“ ergab sich methodisch bedingt eine größere Vielfalt der untersuchten Baumarten (Tab. 12). Bezüglich der Mauern wurden vorwiegend Beton- und Kalksteinsubstrate vorgefunden (Tab. 13).

6.1 Statistische Daten

Die statistischen Daten des Projektes sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tab. 10: Statistische Daten des Projektes

Gesamtprojekt	
Untersuchungsgebiet	Bayern
Anzahl der untersuchten Messflächen	25
Summe kartierter Objekte (Bäume, Mauern)	1.275
Mittlere Anzahl kartierter Objekte pro Messfläche	51
Anzahl gefundener Flechtenarten	354
Anzahl gefundener lichenicoler Pilzarten	40
„VDI-Bäume“	
Anzahl der kartierten Bäume nach VDI-Richtlinie 3957, Blatt 13	255
Mittlere Anzahl kartierter VDI-Bäume pro Messfläche	10,2
Aufnahmefläche pro Baum in m ²	0,1
Summe Flechtenarten	128
mittlere Artenzahl pro Aufnahmefläche	11,8
„Klimabäume“	
Anzahl der kartierten „Klimabäume“ (502 „Klimabäume“ + 255 „VDI-Bäume“)	757
Mittlere Anzahl von „Klimabäumen“ pro Messfläche	30,3
Aufnahmefläche pro Baum in m ²	variabel (0,22-9,96)
Summe Flechtenarten	228
mittlere Artenzahl pro Aufnahmefläche	14,9
Mauern	
Anzahl der kartierten Mauern	518
Mittlere Anzahl von Mauern pro Messfläche	20,7
Aufnahmefläche pro Mauer in m ²	2
Summe Flechtenarten	166
mittlere Artenzahl pro Aufnahmefläche	10,5

Für die Kartierung nach VDI-Richtlinie 3957, Blatt 13 wurden Baumarten mit unter natürlichen Verhältnissen subneutralen Baumrinden (vgl. Tab. 4) verwendet. Es ergibt sich folgendes Spektrum:

Baumart	Anzahl Bäume
<i>Fraxinus excelsior</i>	70
<i>Tilia cordata/platyphyllos</i>	63
<i>Acer pseudoplatanus</i>	53
<i>Acer platanoides</i>	51
<i>Populus spp.</i>	9
<i>Juglans regia</i>	8
<i>Ulmus minor/glabra</i>	1

Tab. 11:
Baumartenspektrum der „VDI-Bäume“

Zur Erfassung der Flechten an „Klimabäumen“ wurde Wert auf Vielfalt bei der Baumartenwahl gelegt, was sich im Baumartenspektrum bemerkbar macht (Tab. 12).

Baumart	Anzahl Bäume
<i>Tilia cordata/platyphyllos</i>	110
<i>Fraxinus excelsior</i>	105
<i>Acer pseudoplatanus</i>	101
<i>Acer platanoides</i>	84
<i>Quercus spp.</i>	48
<i>Betula pendula</i>	47
<i>Juglans regia</i>	31
<i>Malus domestica.</i>	28
<i>Populus spec.</i>	24
<i>Prunus domestica</i>	29
<i>Carpinus betulus</i>	18
<i>Aesculus hippocastanum</i>	15
<i>Sorbus aucuparia</i>	13
<i>Pyrus communis</i>	12
<i>Picea abies</i>	11
<i>Salix spec.</i>	16
<i>Pinus mugo ssp. mugo</i>	6
<i>Acer campestre</i>	6
<i>Ulmus carpifolia/glabra</i>	6
<i>Populus tremula</i>	5
<i>Robinia pseudoacacia</i>	5
<i>Sorbus aria</i>	4
<i>Sorbus spec.</i>	4
<i>Larix decidua</i>	2
weitere 12 Baumarten	14

Tab. 12:
Baumartenspektrum der „Klimabäume“

Bei der Kartierung der Mauern wurden folgende Substrate untersucht:

Mauersubstrat	Anzahl der Mauerabschnitte
Beton	218
Kalkstein	108
Sandstein	59
Granit	46
Ziegelstein	26
verputzte Oberfläche	24
sonstige Natursteine	20
Waschbeton	6
Feldstein	4
Silikatgestein	3
Schiefer	1
Kunststein	1
Kalkkonglomerat	1

Tab. 13:
Substratspektrum der Mauern

6.2 Arten

An den 1.275 untersuchten Objekten wurden insgesamt 354 Flechtenarten und 40 lichenicole Pilzarten kartiert (vgl. Artenliste Anhang 5). 128 Flechtenarten wurden an „VDI-Bäumen“, 228 Arten an „Klimabäumen“ und 166 Arten an Mauern gefunden. Der vergleichsweise große Flechtenartenreichtum der „Klimabäume“ ist durch die große Zahl der untersuchten Bäume und die Vielfalt an untersuchten Baumarten begründet.

Im Vergleich zur VDI-Kartierung 1996 wurden aktuell auf „VDI-Bäumen“ deutlich mehr Arten gefunden. Im Jahr 1996 waren es 84 Arten, bis 2011 erhöhte sich die Zahl um rund 50 % auf 128 Arten. Dabei war die Anzahl der untersuchten Bäume vergleichbar (1996: 263 Bäume, 2011: 255 Bäume).

Die Anzahl der Klimawandelzeiger (vgl. Kapitel 5.4.5) ist auf den Mauern deutlich kleiner als an den untersuchten Bäumen (Tab. 14-16). Der geringere Anteil an Mauern ist jedoch nicht mit einer geringeren Artenzahl an den Mauern, sondern vielmehr mit der geringeren Kenntnis der Ökologie gesteinsbewohnender Flechten begründet. So stehen bei Gesteinsflechten für 30 % der Arten deutlich weniger Zeigerwerte zur Verfügung als für Baumflechten (50 % der Arten), was dazu führt, dass weniger Arten als potentielle Klimawandelzeiger in Frage kommen. Im Bereich des VDI-Messgitters ist das zur Klima-Bioindikation nutzbare Artenspektrum aufgrund der kleineren Aufnahme­fläche am Baum kleiner als an den „Klimabäumen“.

Tab. 14: Klimawandelzeiger auf „VDI-Bäumen“

Gattung	Art	Anzahl Datensätze	T-Zahl	K-Zahl	F-Zahl	N-Zahl	KW-Zahl
<i>Punctelia</i>	<i>jeckeri</i>	41	7	3	3	6	7
<i>Punctelia</i>	<i>subrudecta</i>	16	7	3	3	5	7
<i>Flavoparmelia</i>	<i>caperata</i>	14	7	3	4	3	7
<i>Melanohalea</i>	<i>elegantula</i>	10	7	3	5	5	7
<i>Bacidina</i>	<i>neosquamulosa</i>	4	6	2	5	6	7
<i>Hypotrachyna</i>	<i>afrorevoluta</i>	2	7	2	5	4	7,5
<i>Collema</i>	<i>fasciculare</i>	1	5	2	9	1	6,5
<i>Flavoparmelia</i>	<i>soredians</i>	1	9	1	2	5	9
<i>Parmotrema</i>	<i>perlatum</i>	1	7	2	6	4	7,5
<i>Punctelia</i>	<i>borreri</i>	1	8	2	5	6	8

Tab. 15: Klimawandelzeiger auf „Klimabäumen“

Gattung	Art	Anzahl Datensätze	T-Zahl	K-Zahl	F-Zahl	N-Zahl	KW-Zahl
<i>Punctelia</i>	<i>jeckeri</i>	170	7	3	3	6	7
<i>Punctelia</i>	<i>subrudecta</i>	57	7	3	3	5	7
<i>Flavoparmelia</i>	<i>caperata</i>	52	7	3	4	3	7
<i>Melanohalea</i>	<i>elegantula</i>	38	7	3	5	5	7
<i>Bacidina</i>	<i>neosquamulosa</i>	15	6	2	5	6	7
<i>Hypotrachyna</i>	<i>afrorevoluta</i>	11	7	2	5	4	7,5
<i>Flavoparmelia</i>	<i>soredians</i>	5	9	1	2	5	9
<i>Schismatomma</i>	<i>decolorans</i>	4	7	2	2	6	7,5
<i>Hypotrachyna</i>	<i>revoluta</i>	2	7	2	6	4	7,5
<i>Ropalospora</i>	<i>viridis</i>	2	6	2	6	3	7
<i>Collema</i>	<i>fasciculare</i>	1	5	2	9	1	6,5
<i>Melanohalea</i>	<i>laciniatula</i>	1	7	2	6	5	7,5
<i>Opegrapha</i>	<i>vermicellifera</i>	1	8	2	6	5	5
<i>Parmelia</i>	<i>submontana</i>	1	5	2	7	4	6,5
<i>Parmotrema</i>	<i>perlatum</i>	1	7	2	6	4	7,5
<i>Punctelia</i>	<i>borreri</i>	1	8	2	5	6	8
<i>Pyrenula</i>	<i>nitida</i>	1	7	3	4	2	7
<i>Schismatomma</i>	<i>decolorans</i>	1	7	2	2	6	7,5

Tab. 16: Klimawandelzeiger auf Mauern

Gattung	Art	Anzahl Datensätze	T-Zahl	K-Zahl	F-Zahl	N-Zahl	KW-Zahl
<i>Diploicia</i>	<i>canescens</i>	1	7	2	5	6	7,5
<i>Ochrolechia</i>	<i>parella</i>	1	7	2	5	3	7,5
<i>Punctelia</i>	<i>subrudecta</i>	1	7	3	3	5	7

In der vorliegenden Arbeit steht der Fokus der Datenauswertung auf dem Klima-Biomonitoring. Eine weitere Auswertung der Flechtendaten in Hinblick auf die Belange des Artenschutzes wird empfohlen. Dies gilt auch für die lichenicole Pilze, deren Vorkommen mit aufgenommen, aber noch nicht ausgewertet wurde.

6.3 Zusammenhänge zwischen Flechtenverbreitung und Klimaparametern

In Tab. 17 sind die Korrelationen der Klimadaten (Jahresmittelwerte 1996-2010 soweit vorhanden, vgl. Tab. 9) mit den Flechtenzeigerwerten dargestellt. Die Definitionen der Zeigerwerte finden sich in Kapitel 5.4, die Korrelationsgrafiken liefern die Anhänge A6 bis A17.

Die Korrelationen der Flechten-Zeigerwerte auf „**VDI-Bäumen**“ mit den Klimaparametern Temperatur und Niederschlagssumme sind deutlich. Allerdings sind die Korrelationen nicht so hoch wie bei den „Klimabäumen“. Dies lässt sich mit dem wesentlich größeren Probenumfang bei „Klimabäumen“ erklären. Hier wurden 30 Bäume kartiert, bei den „VDI-Bäumen“ nur 10. Auch die Aufnahmefläche ist bei den „Klimabäumen“ größer. Außerdem wurde bei den „Klimabäumen“ eine große Variabilität der Substrate angestrebt, während die „VDI-Bäume“ stark standardisiert sind. Daher kommen an den „Klimabäumen“ mehr Flechtenarten vor, deren Zeigerwerte ausgewertet werden können. Ein weiterer Grund könnte sein, dass die „VDI-Bäume“ oft aus der Erstkartierung 1996 übernommen wurden. Diese können zum Teil weiter entfernt von der Klimmessstation sein, als die „Klimabäume“.

Die besten Korrelationen mit den Klimadaten weisen die Zeigerwerte der Flechten an „**Klimabäumen**“ auf. Sowohl Temperaturzahl und Feuchtezahl, aber auch Reaktionszahl und Nährstoffzahl stehen in Zusammenhang mit den Klimadaten des DWD.

Für die **Mauern** ergeben sich fast durchweg keine oder nur schwache Zusammenhänge von Klimadaten und Flechtenparametern. Lediglich die ungewichtete klimaökologische Ozeanität (KO) ($r = 0,65$) weist eine schwache Beziehung zur Niederschlagssumme auf. Ein Grund für die schlechten Korrelationsergebnisse könnte die eingeschränkte Anzahl von Arten an Mauern sein, für die Zeigerwerte verfügbar sind (vgl. Kapitel 6.2). Gleichzeitig wurden Mauern meist innerhalb von Siedlungen kartiert und sind vielfältigen anthropogenen Einflüssen ausgesetzt. Störend kann sich auch auswirken, dass die erfassten Mauerflächen, abhängig von der Exposition, starken mikroklimatischen Schwankungen unterliegen.

Die **Relative Luftfeuchtigkeit** weist über alle Substrate hinweg keine oder nur sehr schwache Korrelationen mit den Flechten-Zeigerwerten auf. Allenfalls bei den „VDI-Bäumen“ weist die Temperaturzahl ($r = -0,53$ ungewichtet; $r = -0,49$ gewichtet) und die Nährstoffzahl ($r = -0,53$ ungewichtet; $r = -0,39$ gewichtet) eine schwach negative Beziehung zur Relativen Luftfeuchte auf. Die geringen Korrelationen sind nicht verwunderlich, da sich die Relative Luftfeuchte kleinräumig und über den Tagesverlauf sehr schnell verändern kann. Bei Abständen der Flechtenstandorte zu den Klimamessstationen von z.T. einigen Kilometern ist ein Zusammenhang der Flechtenparameter mit der Relativen Luftfeuchte nicht zu erwarten.

Die beste Korrelation weist mit $r = 0,89$ ($R^2 = 0,79$) der Zusammenhang der gewichteten **Temperaturzahl** an „Klimabäumen“ mit der Jahresmitteltemperatur auf (Abb. 21 und Abb. 22). Auch die Korrelation für die ungewichtete Temperaturzahl ist hier mit $r = 0,84$ sehr hoch. Für die „VDI-Bäume“ ist die Beziehung zwischen Temperatur und Temperaturzahl mit $r = 0,80$ ebenfalls sehr stark. Im Gegensatz zu diesen stark positiven Beziehungen zeigen die Temperaturzahlen für Mauern keinen Zusammenhang mit der Temperatur.

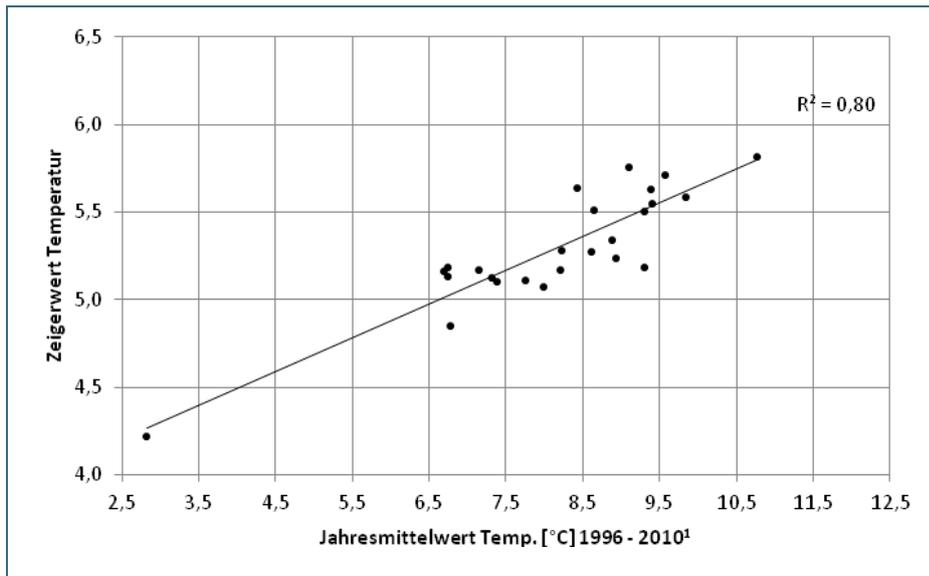


Abb. 21:
Korrelation der Jahresmitteltemperatur mit dem gewichteten Flechten-Zeigerwert Temperatur für „Klimabäume“

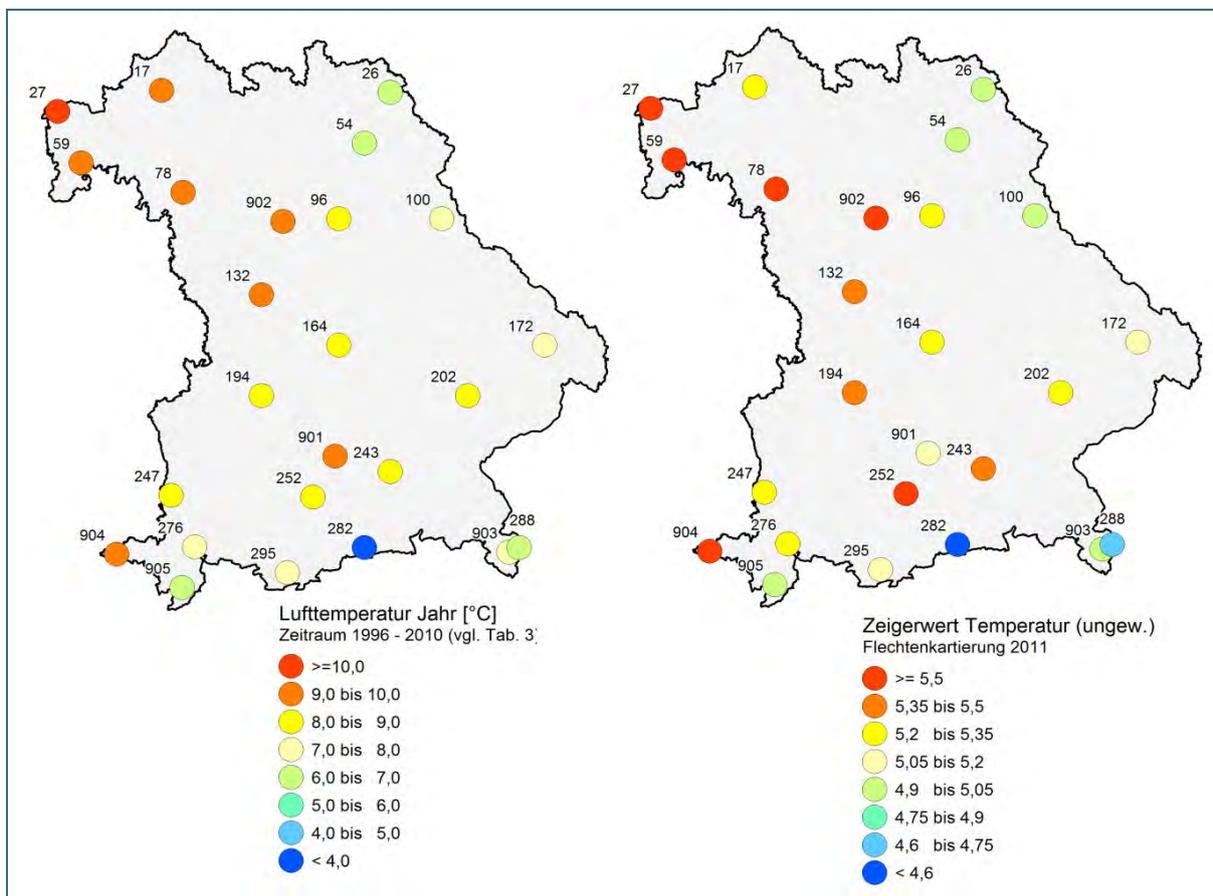


Abb. 22: Räumliche Darstellung der Lufttemperatur und der Flechten-Zeigerwerte für Temperatur an „Klimabäumen“

Der Zusammenhang zwischen der **Feuchtezahl** und der Niederschlagssumme ist sowohl für „VDI-Bäume“ als auch für „Klimabäume“ (Abb. 23) sehr hoch, wobei auch hier die „Klimabäume“ mit $r = 0,77$ für die ungewichtete Luft Feuchtezahl die höchste Korrelation aufweisen.

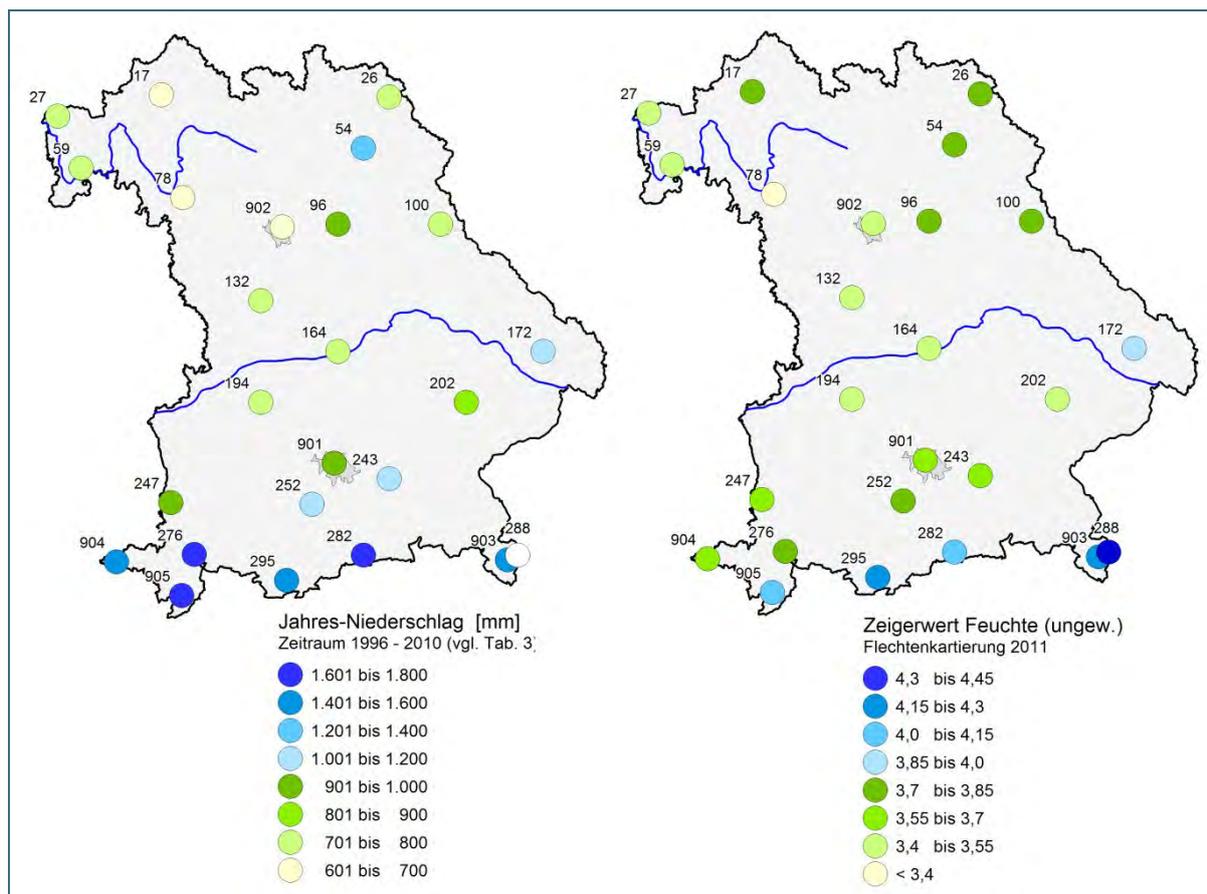


Abb. 23: Räumliche Darstellung der Jahres-Niederschläge und der ungewichteten Flechten-Zeigerwerte für Flechte an „Klimabäumen“

Gleichzeitig ist die Feuchtezahl für „Klimabäume“ mit $r = -0,68$ (ungewichtet) und $r = -0,71$ (gewichtet) stark negativ mit der Temperatur korreliert. Bei den „VDI-Bäumen“ erreicht nur die Korrelation der ungewichteten Feuchtezahl mit der Temperatur diese Größenordnung. Auch bei den Feuchtezahlen liefern die Flechtendaten der Mauern keinerlei Beziehung zu den Klimadaten.

Die **Reaktionszahl** zeigt nur für die Flechten an „Klimabäumen“ mit $r = 0,63$ (ungewichtet) und $r = 0,73$ (gewichtet) einen starken positiven Zusammenhang mit der Temperatur. Eine mögliche Erklärung ist, dass die höheren Temperaturen der Messflächen in Nordwestbayern (Abb. 22) eine stärkere Landnutzung begünstigen und damit eine höhere Staubentwicklung vorliegen kann. Stäube erhöhen den pH-Wert besonders an der Stammbasis von Bäumen, die bei den „Klimabäumen“ mit untersucht wird.

Gleichzeitig ist bei den Klimabäumen auch die Korrelation zwischen der **Nährstoffzahl** und der Temperatur sehr hoch ($r = 0,75$ ungewichtet, $r = 0,81$ gewichtet). Die Korrelation zwischen Nährstoffzahl und Niederschlagssumme ist negativ ($r = -0,68$ ungewichtet; $r = -0,70$ gewichtet). Auch die gewichtete Nährstoffzahl der Mauern zeigt mit $r = -0,76$ einen stark negativen Zusammenhang mit den Niederschlägen. Dies hängt wohl damit zusammen, dass in den niedrigen, wärmeren Lagen mit mittleren Niederschlägen die anthropogenen Aktivitäten wie Landwirtschaft, Straßenverkehr usw. wesentlich stärker sind als in den höheren, niederschlagsreichen Lagen. Gleichzeitig führen höhere Niederschläge auch zu einer stärkeren Auswaschung der Nährstoffe.

Die **Kontinentalitätszahl** weist für keines der Substrate eine signifikante Korrelation mit den Klimadaten auf.

Die **Klimaökologische Ozeanität** ist für alle drei Substrate nur schwach negativ mit der Temperatur korreliert. Gleichzeitig ist der Zusammenhang mit der Niederschlagssumme für die drei Substrate schwach positiv, für den ungewichteten Wert an „Klimabäumen“ mit $r = 0,71$ sogar stark positiv. D.h. mit zunehmend milderem und feuchterem Klima steigt der Wert für die Klimaökologische Ozeanität, was der Definition der Kennzahl nach WIRTH [65] entspricht. In die Klimaökologische Ozeanität gehen Kontinentalitäts- und Feuchtezahl ein. Somit spiegeln sich hier wohl die guten Korrelationen mit der Feuchtezahl wider.

In den **Klimaindex** gehen Temperaturzahl und Kontinentalitätszahl ein. Dementsprechend weist der Klimaindex für „VDI-Bäume“ und für „Klimabäume“ schwache bis starke Korrelationen mit der Jahresmitteltemperatur auf. An Mauern kann kein Zusammenhang dargestellt werden.

Die **mittlere Anzahl der Wärmezeiger** (WZ) korreliert bei den „VDI-Bäumen“ deutlich positiv mit der Temperatur ($r = 0,55$ ungewichtet; $r = 0,71$ gewichtet). Die Korrelationen bei den „Klimabäumen“ sind schwächer. Ein Grund dafür, dass die Flechten im Messgitter am Mittelstamm standardisierter „VDI-Bäume“ die Temperaturdaten besser widerspiegeln als die Flechten an den „Klimabäumen“, kann sein, dass auf „Klimabäumen“ stärkere mikroklimatische Gradienten herrschen, die zu uneinheitlichen Standortbedingungen (Stammfuß, Mittelstamm, Krone) führen. Allerdings weist der mittlere Temperaturzeigerwert bei „Klimabäumen“ eine deutlich bessere Korrelation auf als der der Flechten an „VDI-Bäumen“.

Die **Klimawandelzeiger** (KWZ) weisen durchweg etwas schwächere Korrelationen zu den Temperaturdaten auf als die Wärmezeiger. Auch dies ist nachvollziehbar, weil in den KWZ-Wert neben der Temperatur auch Kontinentalitäts- und Feuchtezeigerwerte eingehen. Dementsprechend sind die Beziehungen zu den Niederschlagssummen beim KWZ-Wert etwas höher als beim WZ-Wert.

Tab. 17: Pearsonsche Maßkorrelationskoeffizienten für die Korrelationsberechnungen der Klimadaten (Jahresmittelwerte 1996-2010, Tab. 9)
 vgl. mit den Flechtenzeigerwerten (Definition der Zeigerwerte, vgl. Kapitel 5.4). Hervorgehoben sind die Werte: $r = 0,5 - 0,7$ und $r > 0,7$ bzw. $r = -0,5 - -0,7$ und $r < -0,7$

	Zeigerwerte	Temp.-Zahl	Feuchte-Zahl	Reaktions-Zahl	Nährstoff-Zahl	Kontinentalitäts-Zahl	Klima-ökol. Ozeanität (KO)	Klima-index (KI)	Ø Anzahl Wärmezeiger (WZ)	Ø Anzahl Klimawandelz. (KWZ)
„VDI-Bäume“										
Temperatur	ungewichtet	0,80	-0,67	0,15	0,64	-0,24	-0,30	0,55	0,55	0,46
Temperatur	gewichtet	0,79	-0,46	0,17	0,48	-0,22	-0,05	0,60	0,71	0,55
Niederschlagssumme	ungewichtet	-0,37	0,71	-0,07	-0,55	-0,40	0,63	0,09	-0,03	0,25
Niederschlagssumme	gewichtet	-0,41	0,57	-0,29	-0,65	-0,35	0,40	0,06	-0,19	0,02
Rel. Luftfeuchtigkeit	ungewichtet	-0,53	0,25	-0,32	-0,53	0,31	0,03	-0,31	-0,30	-0,24
Rel. Luftfeuchtigkeit	gewichtet	-0,49	0,18	-0,28	-0,39	0,27	-0,13	-0,41	-0,41	-0,31
„Klimabäume“										
Temperatur	ungewichtet	0,84	-0,68	0,63	0,75	-0,30	-0,36	0,61	0,55	0,36
Temperatur	gewichtet	0,89	-0,71	0,73	0,81	-0,30	-0,31	0,67	0,60	0,49
Niederschlagssumme	ungewichtet	-0,51	0,77	-0,40	-0,68	-0,33	0,71	-0,05	-0,14	0,02
Niederschlagssumme	gewichtet	-0,52	0,72	-0,54	-0,70	-0,20	0,55	-0,09	-0,14	0,02
Rel. Luftfeuchtigkeit	ungewichtet	-0,33	0,32	-0,24	-0,39	-0,10	0,27	-0,06	-0,08	0,00
Rel. Luftfeuchtigkeit	gewichtet	-0,49	0,18	-0,28	-0,39	-0,27	-0,13	-0,41	-0,41	-0,31
Mauern										
Temperatur	ungewichtet	0,15	-0,03	-0,33	0,29	0,19	-0,57	0,28	0,29	0,18
Temperatur	gewichtet	0,15	-0,20	-0,19	0,51	-0,09	-0,33	0,32	0,27	0,21
Niederschlagssumme	ungewichtet	-0,17	0,20	0,49	-0,53	-0,18	0,63	-0,22	-0,28	-0,18
Niederschlagssumme	gewichtet	-0,23	0,39	0,53	-0,76	0,12	0,38	-0,40	-0,37	-0,21
Rel. Luftfeuchtigkeit	ungewichtet	-0,30	0,35	-0,17	-0,21	-0,17	0,36	-0,15	-0,22	-0,02
Rel. Luftfeuchtigkeit	gewichtet	-0,35	0,35	-0,18	-0,22	-0,03	0,12	-0,19	-0,23	-0,07

6.4 Entwicklung in einem Zeitraum von 15 Jahren

Für die Erstkartierung im Jahr 1996 liegen Daten der Flechtenkartierung nach der damals gültigen VDI-Richtlinie vor. Die aktuelle Kartierung (Teil „VDI-Bäume“) wurde mit der gleichen Aufnahmemethode durchgeführt. So ist ein zeitlicher Vergleich möglich.

6.4.1 Entwicklung der Flechtenbestände und klimarelevanter Parameter

Es sollte untersucht werden, ob ein bereits jetzt erkennbarer Zusammenhang zwischen der Entwicklung der Flechtenbestände und der Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen der vergangenen 15 Jahre besteht. Dazu wurden die Daten der VDI-Kartierung mit Jahresmittelwerten der Temperatur verglichen. Es wurden jeweils die Temperaturmittel der 6 Jahre vor der Flechtenkartierung herangezogen. Aus immissionsbezogenen Flechtenkartierungen ist bekannt, dass Flechten Änderungen in solchen Zeiträumen anzeigen können [68]. Es wurden nur solche Messflächen betrachtet, für die lückenlos Temperaturmittelwerte und Flechtendaten aus den genannten Zeiträumen vorliegen, was für 12 von 25 Messflächen zutraf. Aus den Flechtendaten wurde der ungewichtete Temperatur-Zeigerwert verwendet, weil hier die höchste Korrelation mit dem Temperaturmittel gefunden wurde (vgl. Kapitel 6.3).

Die Temperaturdifferenz beider Vergleichszeiträume lassen keinen einheitlichen Trend erkennen (Tab. 18). Es gibt sowohl Messflächen, auf denen die Temperatur im zweiten Zeitraum niedriger war als im ersten (bis $-0,5\text{ °C}$), als auch solche, auf denen sie angestiegen ist (bis $0,7\text{ °C}$). Die Differenzen der Flechtenzeigerwerte korrelieren nicht mit denen der Temperaturmittelwerte. Unter den vorliegenden sehr geringen Änderungen der Temperatur entspricht das den Erwartungen.

Messfläche	Temperatur-Differenz in °C	Differenz des ungewichteten Temperaturzeigerwertes
017	-0,2	0,5
054	0,7	0,1
100	0,2	0,2
132	0,1	0,0
164	0,3	-0,3
172	0,3	-0,1
194	-0,4	0,2
247	-0,5	-0,3
252	-0,1	0,5
295	0,0	-0,1
901	-0,3	0,1
902	-0,4	0,8

Tab. 18:
Vergleich der Temperaturmitteldifferenz zwischen den Zeiträumen 1990-1995 und 2005-2010 und der Differenz der Flechten-Temperaturzeigerwerte 1996 und 2011

Dennoch ist zu beobachten, dass die Anzahl der Wärmezeigerarten (WZ) im VDI-Messgitter im Untersuchungsgebiet zugenommen hat. Waren in 1996 mit *Flavoparmelia caperata*, *Flavopunctelia flaventior*, *Physconia grisea* und *Punctelia subrudecta* nur vier Wärmezeiger (nach Definition in Kapitel 5.4.2) angetroffen worden, so kamen auf den sowohl 1996 als auch 2010 untersuchten Messflächen 7 weitere Arten (*Flavoparmelia soredians*, *Hyperphyscia adglutinata*, *Melanohalea elegantula*, *Physciel-*

la chloantha, *Punctelia borrieri*, *Punctelia jeckeri*, *Xanthomendoza fallax*) in den Messgittern der „VDI-Bäume“ hinzu (vgl. Abb. 24 und Abb. 25).



Abb. 24:
Blattflechte *Punctelia jeckeri*, ein Wärmezeiger



Abb. 25:
Blattflechte *Flavoparmelia soredians*, ein Wärmezeiger



Abb. 26:
Blattflechte *Hypotrachyna afrorevoluta*, ein Wärmezeiger

Sammlern wurde aus den Ammonium- (NH_4^+) und Nitrat- (NO_3^-) Gehalten berechnet. In Abbildung 28 ist außerdem der Säureeintrag dargestellt, der aus den drei säurebildenden Komponenten Sulfat (SO_4^{2-}), Nitrat und Ammonium zusammengefasst wird. Der 10-Jahres-Trend für den Gesamtstickstoff seit 2000 ist signifikant abnehmend, die Gesamteinträge liegen im Mittel noch immer um 10 kg pro Hektar und Jahr. Der 10-Jahres-Trend für den Gesamt-Säureeintrag seit 2000 ist – aufgrund der seit 1992 gesunkenen Sulfat-Einträge – ebenfalls signifikant abnehmend. [70]

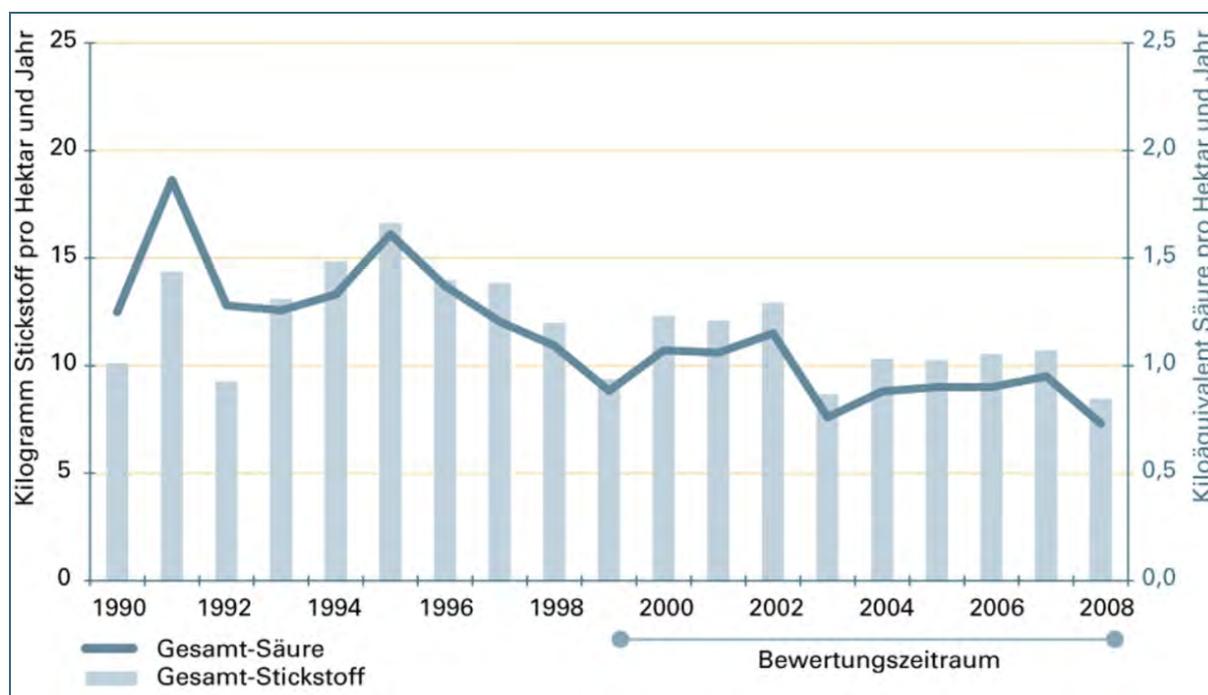


Abb. 28: Entwicklung des Eintrags an Stickstoff und Säure in Offenland Ökosystemen in Bayern (Quelle: LfU)

Für Ammoniak liegen keine langfristigen Zeitreihen vor. Den Beitrag der Landwirtschaft zu dieser Immissionskomponente verdeutlicht Abb. 29.

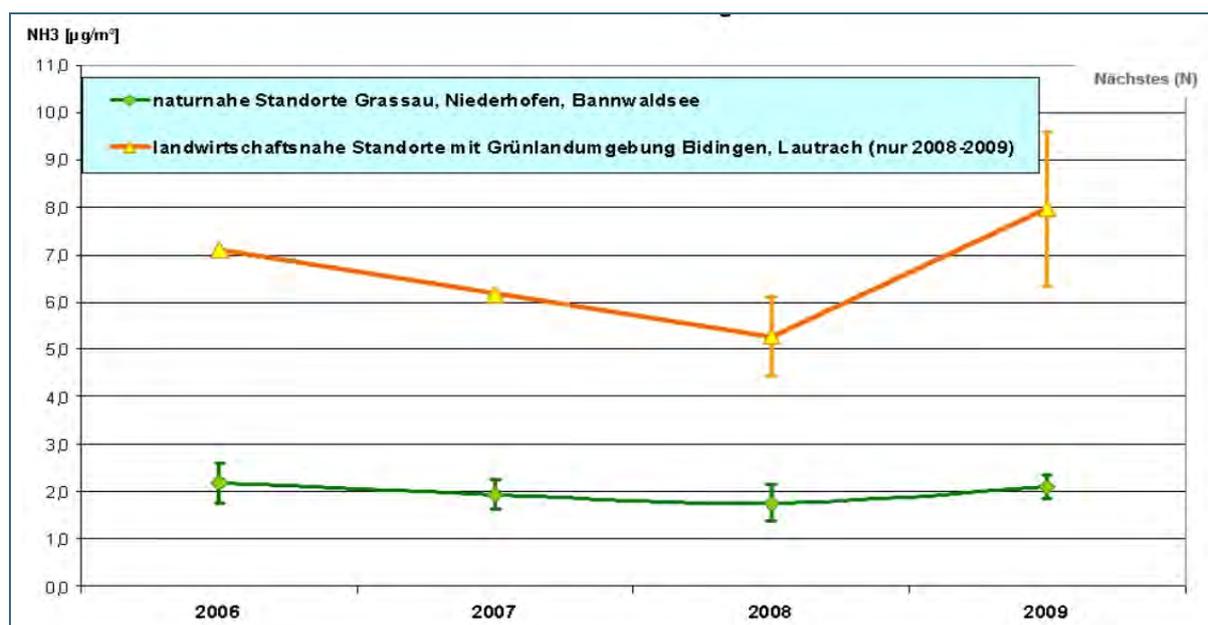


Abb. 29: Jahresmittelwerte der Ammoniak-Konzentration gemessen mit Passivsammlern in Bayern (Quelle: LfU)

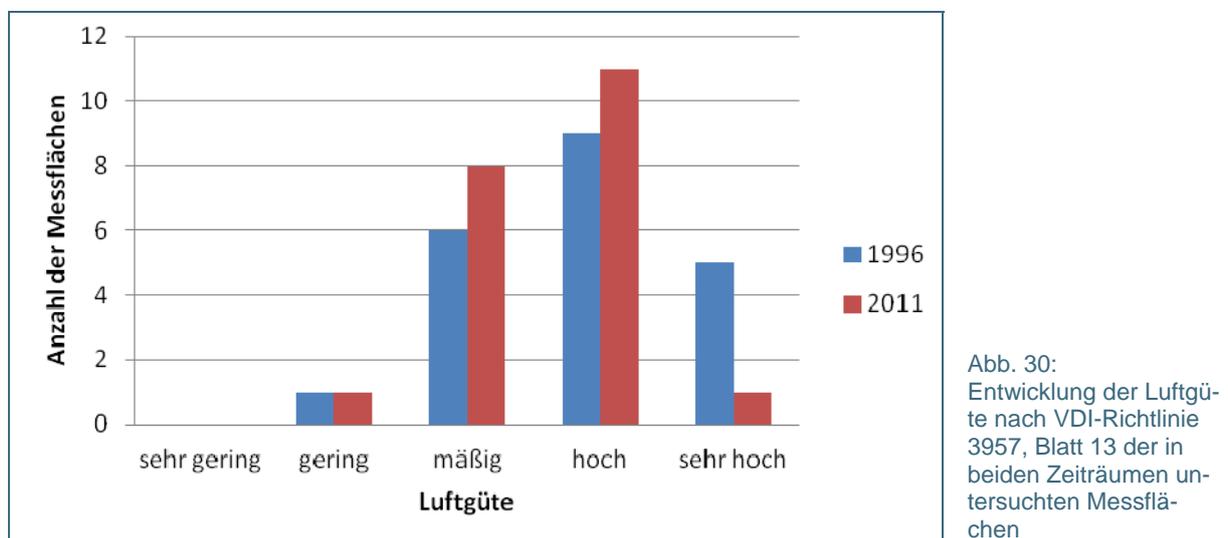
Die aufgezeigten zeitlichen Verläufe der dargestellten Eintragsmessungen lassen zunächst den Rückschluss zu, dass sich die lufthygienische Situation seit 1996 verbessert hat. Die Wirkungen auf Flechten soll im Folgenden dargestellt werden.

6.4.3 Entwicklung der Luftgüte nach VDI 3957, Blatt 13

Die Bewertung der Luftgüte durch die Flechtenkartierung nach VDI-Richtlinie 3957, Blatt 13 an standardisierten Trägerbäumen („VDI-Bäume“) wurde landesweit nach 15 Jahren erstmalig an 21 der 196 damals kartierten Messflächen wiederholt. Zunächst ist festzustellen, dass sich die Artenzahl von 1996 bis 2011 von 64 auf 127 Arten verdoppelt hat.

Verglichen wurden die 21 Messflächen, die sowohl in 1996 als auch 2011 kartiert worden waren (Abb. 30 und Abb. 31). In beiden Untersuchungsjahren wurde für jeweils eine Messfläche eine nur geringe Luftgüte bescheinigt (1996/1998: Messfläche 902 Nürnberg, 2011: Messfläche 164 Kösching). Auf der Messfläche Nürnberg (902) zeigt der Anstieg des Luftgüteindex um eine Luftgüteklasse die Verbesserung der lufthygienischen Situation von 1998 bis 2011 an. Die Messfläche 164 Kösching nordöstlich von Ingolstadt weist aktuell eine geringere Luftgüte als 1996 auf (1996: 3.2, 2011: 2.5). Ein Hinweis auf die Ursache ist der Anstieg des Eutrophierungsindex von 2 auf 5, der in Kösching einen sehr starken Einfluss eutrophierender Luftschadstoffe belegt. Auch die nahe gelegene Stadt Ingolstadt könnte einen Beitrag zur Immissionsbelastung leisten.

Alle drei Messflächen im Osten Bayerns (26, Hof; 100, Oberviechtach; 172 Saldenburg-Entschenreuth) haben sich um eine Luftgüteklasse verbessert. Als Grund hierfür kann der massive Rückgang des Eintrags von sauren Schadgasen aus Kohlekraftwerken aus den östlich angrenzenden Gebieten gesehen werden. Gleichzeitig ist der 1996 noch sehr geringe Einfluss eutrophierender Schadstoffe angestiegen.



Für den Großteil der Messflächen resultiert sowohl 1996 als auch 2011 eine mäßige oder hohe Luftgüte (Abb. 30 und Abb. 31). Mit einer sehr hohen Luftgüte konnten in 1996 noch 5 der 21 in beiden Untersuchungsjahren kartierten Messflächen ausgezeichnet werden, in 2011 ist es nur noch eine Messfläche im Osten des Freistaates (172 Saldenburg-Entschenreuth). Auffällig ist auch hier, dass die wenigen Messflächen mit sehr hoher Luftgüte solche sind, deren Flechtenbestände nicht durch übermäßige Nährstoffversorgung degradiert sind.

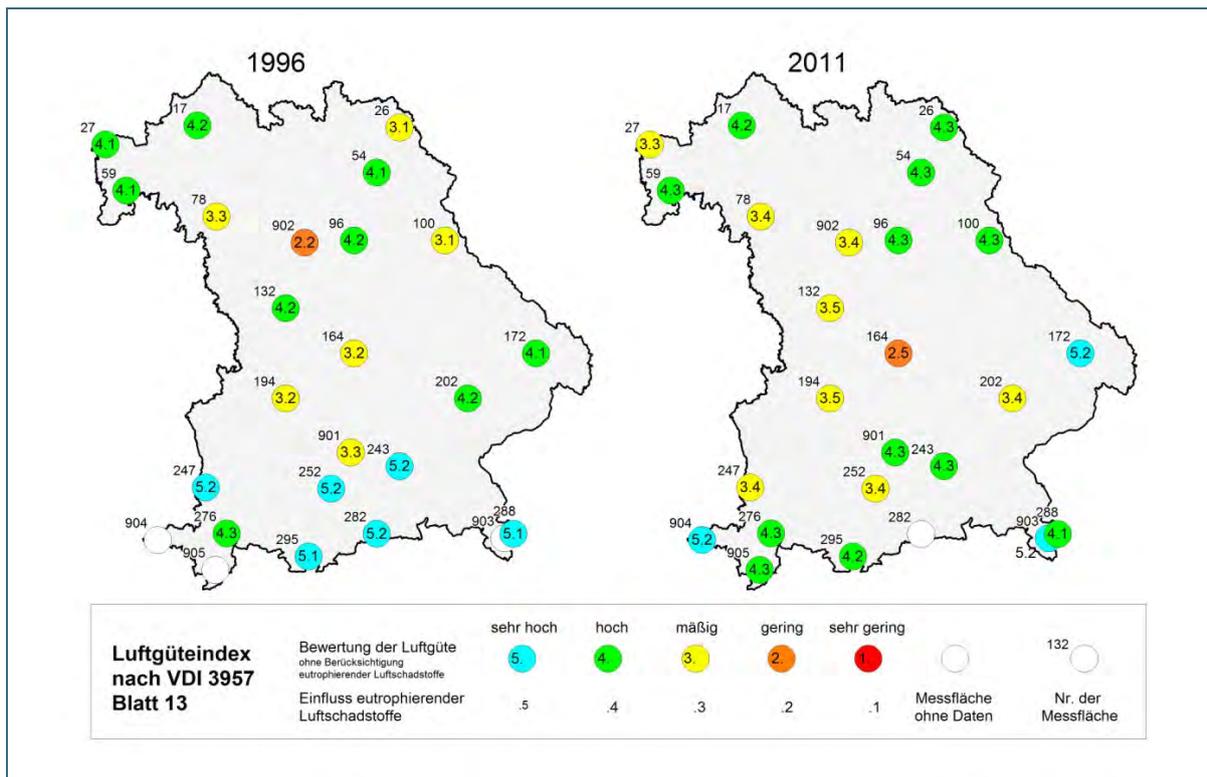


Abb. 31: Entwicklung und räumliche Verteilung der Luftgüteindizes von 1996-2011

Der Einfluss eutrophierender Luftverunreinigungen hat stark zugenommen (Abb. 32). Die meisten Messflächen wiesen 1996 noch einen sehr geringen bis geringen Einfluss auf. In die Kategorie „mäßig“ fielen die Messflächen 78 (Gollhofen), 901 (München) und 276 (Oy-Mittelberg-Petersthal). In München konnte der Straßenverkehr als Quelle übermäßigen Nährstoffeintrags identifiziert werden [60].

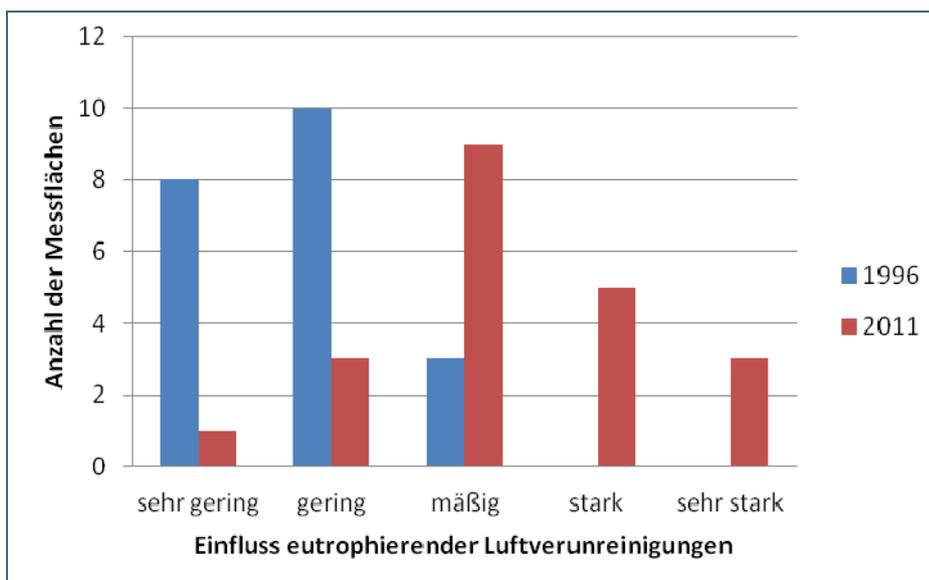


Abb. 32: Entwicklung des Einflusses eutrophierender Luftverunreinigungen nach VDI-Richtlinie 3957, Blatt 13

Alleine aufgrund der am Anfang des Kapitels dargestellten Zeitreihen der technischen Eintragungsmessungen durch das LfU wären solch tiefgreifende Veränderungen der Flechtenbestände nicht zu erwarten gewesen. Beobachtet wurden ähnlich starke Effekte der Eutrophierung auf Flechten jedoch in den letzten Jahren in zahlreichen anderen großräumigen Untersuchungsgebieten (Niederlande [71] [72],

Nordrhein-Westfalen [73], Hessen [12]). Als Quellen für die Zunahme luftgetragener Stickstoffverbindungen werden Intensivlandwirtschaft, Ferntransport von partikelgebundenem Ammonium sowie der Ammoniakausstoß aus Kraftfahrzeugen mit Katalysator genannt [14] [74] [75]. Im Großraum London wurde die Beeinflussung der Flechtenvegetation durch Stickstoffoxide nachgewiesen [76].

7 Diskussion der Methoden für ein Monitoring von Klimawirkungen

7.1 Entfernung der Flechtenstandorte zu den Klimamessstationen

Die Flechtenobjekte (Bäume, Mauern) wurden innerhalb eines 10 km Umkreises um die Klimamessstation kartiert. Im Flachland sind hier keine größeren Abweichungen bei den Niederschlägen und der mittleren Temperatur zu erwarten. Die Relative Luftfeuchte ist innerhalb dieser Abstände aber nicht mehr vergleichbar. Dazu müsste in unmittelbarer Nähe der Klimamessstation kartiert werden. Grundsätzlich wurden die zu kartierenden Objekte möglichst nahe an der DWD-Station ausgewählt. Dennoch kann es sein, dass sich geeignete Flechtenobjekte erst in einiger Entfernung von der Klimamessstation finden lassen.

Aus Datenschutzgründen war der genaue Standort der Klimamessstation aber nicht immer bekannt. Wenn sie vor Ort nicht als Messstation identifiziert wurde, sind also Abweichungen von einigen hundert Metern von der theoretischen Lage der Station zu ihrer tatsächlichen Lage möglich. Diese Unschärfe könnte man durch die Beschaffung der genauen Koordinaten der DWD-Stationen beseitigen. Bei Abständen der Flechtenobjekte von zum Teil einigen Kilometern erscheint diese Abweichung allerdings unerheblich.

Um die Vergleichbarkeit mit den Daten aus 1996 zu gewährleisten, wurden bevorzugt „VDI-Bäume“ aus der damaligen Kartierung untersucht. Diese können zum Teil mehrere Kilometer von der Klimamessstation entfernt sein. Dadurch kann es Unterschiede zwischen den klimatischen Verhältnissen an der Klimamessstation und an den untersuchten Baumstandorten geben. Bei einer Nachkartierung sollten ausgefallene „VDI-Bäume“ in der Nähe der DWD-Station ersetzt werden.

Der Messfläche 288 (Berchtesgaden/Obersalzberg) konnten nur bedingt Klimadaten zugeordnet werden. Der Standort der Flechtenaufnahmen aus 1996 befindet sich auf ca. 950 m Höhe und die zugeordnete Klimamessstation der Nationalparkverwaltung am Jenner auf ca. 1.185 m. Aufgrund des großen Höhenunterschiedes wurden die Messwerte nicht in die Korrelationsberechnungen einbezogen. Lediglich die Daten von 5 „Klimabäumen“ auf einer Höhe von 1.100 m wurden mit den Temperaturdaten vom Jenner korreliert. Künftig sollten die Bäume in unmittelbarer Nähe der Mittelstation des Jenner aufgenommen werden.

Alle kartierten Objekte befinden sich innerhalb eines 10 km Radius um die Klimamessstation. 85 % der Flechtenobjekte befinden sich innerhalb eines Radius von 5 km um die DWD-Station. 70 % der Flechtenobjekte befinden sich in weniger als 2,5 km Abstand von der Station. Bei den Objekten, die außerhalb dieser Radien sind, handelt es sich meist um „VDI-Bäume“ und Objekte, die im Zuge der Aufnahme der „VDI-Bäume“ mit kartiert wurden.

Bei einer Folgekartierung sollte auf die Nähe der Flechtenobjekte zur Klimamessstation noch stärkeren Wert gelegt werden. Ein maximaler Radius um die DWD-Station von 2,5 km sollte angestrebt werden.

7.2 Statistische Methoden

Der Zusammenhang zwischen Flechtenindizes und Klimadaten wurden mittels Pearsonschem Korrelationskoeffizienten berechnet. Weitere statistische Methoden könnten neue Erkenntnisse bringen. So wies VAN HERK in den Niederlanden durch clusteranalytische Methoden einen Zusammenhang von Fluktuationen in der epiphytischen Flechtenflora und dem Anstieg der mittleren Jahrestemperaturen nach [14].

An dieser Stelle sei angemerkt, dass die Klimadaten nicht für alle Messflächen vollständig sind (Tab. 9). So weisen die Messflächen 59 und 78 relativ viele Jahre ohne Messwerte auf. Es sollte noch geprüft werden, ob die statistischen Zusammenhänge sich nach Herausnehmen dieser Messflächen ändern.

7.3 Substrate

Die in der vorliegenden Arbeit kartierten drei Substrate erwiesen sich als unterschiedlich aussagekräftig. Aus der immissionsbezogenen Flechtenkartierung Bayerns lagen bereits verwertbare Daten vor, was die Verwendung des Substrates „VDI-Baum“ nahelegte. Es zeigte sich allerdings, dass die kleine Aufnahmefläche am Baum und die standardisierten Baumeigenschaften die Zahl der gefundenen Arten einschränkte und somit die Möglichkeit verringert wird, klimawandelanzeigende Arten zu erfassen. An „VDI-Bäumen“ wurden im Mittel 11,8 Arten pro Aufnahmefläche gefunden, an „Klimabäumen“ waren es 14,9 Arten. Alle „VDI-Bäume“ wurden durch die weitergehende Aufnahme aller Flechtenarten am gesamten Baum bis in eine Höhe von 2 m auch als „Klimabäume“ ausgewertet.

Die Flechtenparameter an „Klimabäumen“ weisen die besten Korrelationen mit Klimadaten auf. Sie eignen sich von allen Substraten am besten für klimarelevante Fragestellungen.

Mauern wurden bisher kaum für Umweltfragestellungen untersucht. Mit der aktuellen Entwicklung der VDI-Richtlinie zum Biomonitoring kam dieses Substrat ins Gespräch, weil man sich aus der Erweiterung des Artenspektrums um Gesteinsflechten weitere Möglichkeiten eröffnen wollte. In der landesweiten Untersuchung in Hessen [22] wurden Mauern für klimarelevante Fragestellungen kartiert. Es resultierten hohe Korrelationen der Wärmezeiger mit Temperatur- und Niederschlagsdaten.

In der vorliegenden Arbeit fanden sich weder Korrelationen der Klimawandelzeiger noch der Flechtenzeigerwerte auf Mauern mit Klimadaten. Ein Grund dafür könnte sein, dass bei den Geländeaufnahmen nur selten optimale Mauerabschnitte kartiert werden konnten. So ist z. B. die Betonmauer mit einem Anteil von 42 % der vorherrschende Mauertyp (Tab. 13). An den Natursteinmauern führten Säuberungsmaßnahmen oder das Verputzen der Mauern oft dazu, dass sich keine oder nur rudimentäre Flechtenbestände ausbilden können. Somit liegen im Untersuchungsgebiet gebietsweise ungünstige Umstände vor, wie dies in Hessen nicht der Fall war.

Die Vor- und Nachteile der einzelnen Substrate sind in Tab. 19 zusammengefasst. Am besten geeignet für die Indikation des Klimawandels erscheinen demnach die „Klimabäume“. Erweitert man die Aufnahme der „VDI-Bäume“ so, dass sie als „Klimabäume“ auswertbar sind, kann man die Vorteile beider Substrate miteinander kombinieren.

Am schlechtesten geeignet erscheinen nach der vorliegenden Untersuchung die Mauern. Der Zeitaufwand für die Erfassung ist relativ hoch und die Flechtenparameter an Mauern weisen in der vorliegenden Untersuchung keine Korrelationen zu den Klimadaten auf. Als Grundlagenermittlung können sie aber dennoch geeignet sein zukünftige Veränderungen zu dokumentieren.

Tab. 19: Gegenüberstellung der untersuchten Substrate

Substrat	Vorteil	Nachteil
VDI-Baum	<ul style="list-style-type: none"> • hoher Grad der Standardisierung bei der Auswahl der Bäume sichert die Vergleichbarkeit der Messflächen untereinander • durch Standardisierung auch für andere Fragestellungen verwendbar (z. B. Eutrophierung) und vergleichbar mit früheren Kartierungen • Kartierungsaufwand vergleichsweise gering • „VDI-Bäume“ mit geringem Zusatzaufwand auch als „Klimabäume“ auswertbar • Ergebnisse auch unter immissionsökologischen Aspekten auswertbar • gute Korrelationen von Flechtendaten zu Klimaparametern 	<ul style="list-style-type: none"> • kleine Aufnahme­fläche und dadurch begrenzte Flechten-Artenzahl reduziert die Wahrscheinlichkeit eines Auftretens von neuen, möglicherweise klimawandelrelevanten Arten • eingeschränkte Auswahl an geeigneten Trägerbäumen, daher oft am gewünschten Standort nicht verfügbar
Klimabaum	<ul style="list-style-type: none"> • Aufnahme eines bewusst heterogen gehaltenen Baumbestandes bei relativ großer Aufnahme­fläche erhöht das potentielle Artenspektrum und damit die Chance auf klimarelevante Arten zu treffen • sehr gute Korrelationen von Flechtendaten zu Klimaparametern • geeignete Trägerbäume in großem Umfang verfügbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Auswahl der Bäume erfolgt nicht nach standardisierbaren Regeln und erfordert Erfahrung bei den Erfassern • Kartierungsaufwand für 30 Bäume vergleichsweise im mittleren Bereich
Mauer	<ul style="list-style-type: none"> • Erweiterung des Artenspektrums um Gesteinsflechten 	<ul style="list-style-type: none"> • Verfügbarkeit geeigneter (d.h. unverputzter bzw. extensiv gepflegter) Mauern in der Nähe von Klimamessstationen im Untersuchungsgebiet häufig ungenügend • Mikroklimatische Unterschiede zwischen den Mauern können sehr hoch sein (z. B. nord- oder südexponierte Mauer) • im Vergleich zu Baumflechten ist die Kenntnis der Ökologie der Gesteinsflechten geringer, bisher gibt es nur für ca. 30 % der 2011 kartierten Arten Zeigerwerte • Korrelationen von Flechtendaten zu Klimaparametern vergleichsweise niedrig • Bestimmung von Mauerflechten kann nur durch wenige Spezialisten erfolgen

7.4 Anzahl der zu kartierenden Bäume

In der vorliegenden Untersuchung wurden 10 „VDI-Bäume“ und 20 „Klimabäume“ auf ihren Flechtenbewuchs untersucht. Die 10 „VDI-Bäume“ wurden zusätzlich als „Klimabäume“ ausgewertet, so dass insgesamt 30 Bäume pro Messfläche untersucht wurden. Um zu klären, wie viele Bäume mindestens kartiert werden sollten, wurden die Korrelationskoeffizienten für eine verschiedene Anzahl von Bäumen berechnet und in Tab. 20 gegenübergestellt.

Tab. 20: Korrelation von Klimadaten und Flechtenzeigerwerten in Abhängigkeit von der Baumzahl

Korrelationskoeffizient (r)	10 „VDI-Bäume“ (Messgitter)	10 „VDI-Bäume“ als „Klimabäume“	10 „Klimabäume“ ohne „VDI-Bäume“	20 „Klimabäume“ ohne „VDI-Bäume“	30 „Klimabäume“ incl. „VDI-Bäume“
Jahresmitteltemperatur 1996-2010 / ungew. Flechten-Temperaturzahl	0,80	0,77	0,87	0,89	0,84
Jahresniederschlag 1996-2010 / ungew. Flechten-Feuchtezahl	0,71	0,55	0,70	0,72	0,77

An den 10 „VDI-Bäumen“ werden nur die Arten, die sich innerhalb des Messgitters am Mittelstamm befinden, aufgenommen. Für die Auswertung als „Klimabäume“ werden zusätzlich alle weiteren Arten außerhalb des Messgitters erfasst. Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten zeigt, dass sich die Korrelation durch die Hinzunahme der weiteren Arten nicht verbessert, bei der Feuchte verringert er sich sogar deutlich von $r = 0,71$ auf $0,55$. Dies lässt sich wohl damit erklären, dass die Flechten am Mittelstamm die regionalen Klimaverhältnisse am ehesten widerspiegeln. Die zusätzlichen Flechtenarten werden zum großen Teil am Stammfuß aufgenommen. Dort ist das Mikroklima modifiziert, z. B. durch Grasbewuchs und Laub.

Reduziert man die 20 kartierten „Klimabäume“ (ohne „VDI-Bäume“) auf 10 verringert sich der Korrelationskoeffizient für die Temperatur nur unwesentlich von $r = 0,89$ auf $0,87$. Bei der Feuchtezahl erfolgt eine schwache Reduzierung von $r = 0,72$ auf $0,70$. Durch die Hinzunahme der 10 „VDI-Bäume“ zu den 20 „Klimabäumen“ (30 „Klimabäume“ incl. „VDI-Bäume“) verschlechtert sich der Korrelationskoeffizient für die Temperatur von $r = 0,89$ auf $0,84$, der für die Feuchte erhöht sich von $r = 0,72$ auf $0,77$.

Das bedeutet, dass alleine durch die Kartierung der 10 „VDI-Bäume“ schon ein Großteil der klimarelevanten Informationen zur Verfügung steht. Allerdings ist das Auffinden geeigneter „VDI-Bäume“ in einer definierten Messfläche im Gelände wegen der hohen Anforderungen an die Standardisierung wesentlich schwieriger als das Auffinden geeigneter „Klimabäume“. Im Alpenraum stehen ab einer bestimmten Höhe oft gar keine „VDI-Bäume“ mehr zur Verfügung. So konnten am Wendelstein keine „VDI-Bäume“ gefunden werden und es mussten ausschließlich „Klimabäume“ kartiert werden.

7.5 Vergleich der Ergebnisse mit der aktuellen Literatur

Das Projekt „Flechten-Dauerbeobachtung Hessen“ umfasst Daten aus 4 Kartierungen im Abstand von 5 Jahren (1992, 1997, 2002, 2007) [12]. Zunächst stand das Biomonitoring von Luftverunreinigungen im Vordergrund. Ab 2006 wurden Methoden entwickelt, um zusätzlich die Dokumentation von Klimawandelwirkungen mit einzubeziehen [22] [77] [78]. Damals erweiterten sich die untersuchten Substrate um „Klimabäume“ und „Mauern“. Die erhobenen Flechtendaten (Wärmezeiger) des Landes Hessen mit seinen, im Vergleich zu Bayern, weniger großen Klimagradienten wurden mit Klimadaten korreliert. Es ergaben sich starke Zusammenhänge zwischen den wärmeliebenden Mauerflechten und den Jah-

resmitteltemperaturen, aber nur schwache Korrelationen bei den „VDI-Bäumen“ und „Klimabäumen“ zu Klimadaten. KIRSCHBAUM begründet dies mit der Tatsache, dass die Epiphytenvegetation im Gebiet infolge jahrzehntelanger Belastung durch Immissionen verarmt war und die baumbewohnenden Flechten erst langsam wieder zurückkehren. Epiphyten reagieren empfindlicher auf Immissionen als Gesteinsflechten, da z. B. das Pufferungsvermögen der Borke gegen den sauren Immissionskomplex nur gering ist. In Bayern zeichneten sich die Ergebnisse der Baumflechten durch hohe Korrelationen aus (vgl. Kapitel 6.3.), bei, insbesondere im Süden des Landes, günstigerer lufthygienischer Ausgangssituation als in Hessen.

Neuere immissionsbezogene Untersuchungen nach VDI-Richtlinie 3957, Blatt 13 in Aschaffenburg, Gießen und Wetzlar belegen, konform zur vorliegenden Kartierung, einen Anstieg der Flechtendiversität. Einem Rückzug der Acidophyten steht ein enormer Zuwachs von Eutrophierungszeigern gegenüber. Eine Reihe dieser Neuankömmlinge sind Wärmezeiger mit einem Temperaturzeigerwert von 7–9 [56] [79].

Auch für einen niedersächsischen Landkreis ergab sich aus einer halbquantitativen Flechtenerfassung eine Erhöhung der Artenzahl an nahezu allen Monitoringpunkten. Es wurde eine sehr starke Abnahme säuretoleranter Arten und eine deutliche Zunahme basen- und nährstofffordernder Flechtenarten festgestellt. Darüber hinaus zeigte sich eine deutliche Zunahme wärmeliebender Flechtenarten mit einem Verbreitungsschwerpunkt in Südeuropa bei gleichzeitigem Rückgang von Arten mit einem boreal-montanen Verbreitungsschwerpunkt [17].

8 Empfehlung für ein Klimawandel-Biomonitoring mit Flechten in Bayern

Auf Grundlage der vorliegenden Untersuchung wird, aus heutiger Sicht, eine Methode für ein langfristiges Klimawandelmonitoring vorgeschlagen. Zum Thema Flechten und Klimawandel gibt es noch wenige Untersuchungen und Praxiserfahrungen. In den nächsten Jahren sind hier aber weitere Erkenntnisse zu erwarten. Daher wird empfohlen die vorgeschlagene Methode vor einer Wiederholungskartierung mit dem aktuellen Stand der Wissenschaft abzugleichen.

Aufgrund der Erkenntnisse in der vorliegenden Arbeit wird erwartet, dass künftig unter regelmäßiger Wiederholung der Untersuchung die Auswirkungen von Temperatur- und Niederschlagsänderungen durch baumbewohnende Flechten nachgewiesen werden können.

8.1 Messflächen

In den Folgeuntersuchungen sollen mindestens die 2010 kartierten 25 Messflächen kartiert werden. Eine Erweiterung auf andere Messflächen auch ohne Klimamessstation ist möglich.

Der Abstand der zu kartierenden Flechtenobjekte wird auf 2,5 km um die Klimamessstation beschränkt. „VDI-Bäume“, die aus der Erstkartierung 1996 stammen, können ausnahmsweise bis 10 km entfernt sein. Ausgefallene „VDI-Bäume“ sollen aber möglichst nahe an der Klimamessstation ersetzt werden. Ansonsten kann die Methode der Auswahl der Flechtenobjekte innerhalb der Messflächen beibehalten werden.

8.2 Substrate

Bei den Korrelationsberechnungen haben sich sowohl die „Klimabäume“ als auch die „VDI-Bäume“ als gut geeignete Substrate für die Flechten-Erhebung erwiesen. Die „Klimabäume“ liefern etwas bessere Korrelationen als die „VDI-Bäume“. Im Gegenzug lassen sich die „VDI-Bäume“ auch für immissionsökologische Fragestellungen auswerten (Abb. 31). Um die Vorteile beider Substrate zu nutzen, wird empfohlen, auch bei künftigen Untersuchungen beide Substrate zu kartieren.

Es werden, wie in Kapitel 5.2.1. beschrieben, 10 Bäume nach VDI 3957, Blatt 13 kartiert. Zusätzlich werden die außerhalb des Messgitters vorkommenden Flechtenarten aufgenommen. Neben den „VDI-Bäumen“ werden weitere „Klimabäume“ nach der beschriebenen Methode (Kapitel 5.2.2) erfasst. In der vorliegenden Arbeit waren es 20 zusätzliche „Klimabäume“, deren Flechtenaufwuchs aufgenommen wurde. Die statistischen Berechnungen haben gezeigt, dass dies sehr gute Ergebnisse bringt. Daher wird empfohlen auch weiterhin 20 „Klimabäume“ zu erfassen.

Bei den Korrelationen der Flechtenparameter mit den Klimadaten haben die Mauern keine verwertbaren Ergebnisse gebracht. Gründe hierfür können unter anderem die schlechte Verfügbarkeit geeigneter Mauern sein. In Hessen [22] hatten sich die Mauern als Trägersubstrate für Wärmezeiger bewährt (Kapitel 7.3).

Nach den vorliegenden Ergebnissen erscheinen die Mauern aus heutiger Sicht und mit den verwendeten Auswertemethoden nicht geeignet für ein Klimawandelmonitoring in Bayern. Ihre Verwendung bei künftigen Untersuchungen steht daher in Frage. Vor einer Wiederholungskartierung ist eine Sichtung der neueren Forschungsergebnisse nötig, um die Methode evtl. zu modifizieren oder auf die Mauern als Substrat zu verzichten.

8.3 Monitoringzeiträume

Bei bisherigen Wiederholungskartierungen hat sich gezeigt, dass nennenswerte Veränderungen der Flechtenvegetation schon nach drei Jahren nachweisbar sind [80]. In Hessen hat sich für die Untersuchung der Flechten-Dauerbeobachtungsflächen ein Zeitraum von fünf Jahren bewährt [12]. Auch für das Monitoring des Klimawandels in Bayern werden Wiederholungsuntersuchungen im Abstand von 5 Jahren empfohlen.

8.4 Klimakennzahlen

Als klimarelevante, auf der Flechtenkartierung basierende Kennzahlen sollten bei einer Wiederholungsuntersuchung folgende Indizes erneut ermittelt werden:

- mittlere Temperatur-Zeigerwerte
- mittlere Feuchtezeigerwerte
- Klimaökologische Ozeanität
- Klimaindex
- mittlere Anzahl Wärmezeiger
- mittlere Anzahl Klimawandelzeiger

Die dann vorliegenden Klimawerte und Flechtenindizes können mit der aktuellen Untersuchung verglichen werden. Da zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Zeitreihe vorliegt, sollten die Auswertungen flexibel und nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft, z. B. nach VDI-Richtlinie 3957, Blatt 20, durchgeführt werden.

9 Literatur

- [1] IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change 2007. Climate Change 2005: Synthesis Report. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm.
- [2] EEA - European Environment Agency 2004. Impacts of Europe`s changing climate. Luxembourg: Addison-Wesley.
- [3] Bairlein, F., Hüppop, O. 2004. Migratory Fuelling and Global Climate Change. *Advances in Ecological Research* 35:33-47.
- [4] Bradley, B.A., Oppenheimer, M., Wilcove, D.S. 2009. Climate change and plant invasions: restoration opportunities ahead? *Global Change Biology* 15:1511-1521.
- [5] Hickling, R., Roy, D.B., Hill, J.K., Fox, R. 2006. The distribution of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology* 12:450-455.
- [6] Jäger, E.J. 1995. Klimabedingte Arealveränderungen von anthropochoren Pflanzen und Elementen der natürlichen Vegetation. *Angewandte Landschaftsökologie* 4:51-57.
- [7] Walther, G.-R., Beissner, S., Burga, C.A. 2005. Trends in the upward shift of alpine plants. *Journal of Vegetation Science* 16 (5):541-548.
- [8] Walther, G.-R., Burga, C.A., Edwards, P.J. 2005. "Fingerprints of climate change. Adapted behaviour and shifting species ranges". Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York / London, 329 S.
- [9] Bahn, M., Körner, C. 2003. "Recent increases in summit flora caused by warming in the Alps." *Alpine biodiversity in Europe*. Ed. L., Grabherr, G., Körner, C., Thompson, D.B.A. Nagy. *Ecological Studies* 167. Berlin, Heidelberg: Springer. 437-441.
- [10] Gebhardt, H., Rammert, U., Schröder, W., Wolf, H. 2010. Klima-Biomonitoring: Nachweis des Klimawandels und dessen Folgen für die belebte Umwelt. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* 22:7-19.
- [11] Kowarik, I. 2003. *Biologische Invasionen - Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa*. Stuttgart: Ulmer.
- [12] Kirschbaum, U., Windisch, U., Hanewald, K. 2010. Immissionsbezogene Flechtenkartierung in Hessen von 1992 - 2007. *Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft* 70 (4):135-140.
- [13] Insarov, G., Schroeter, B. 2002. "Lichen monitoring and climate change." *Monitoring with Lichens - Monitoring Lichens*. Ed. P.L., Scheidegger, C. Nimis, and Wolseley, P.A. Dordrecht: Kluwer. 183-202.
- [14] van Herk, C.M., Aptroot, A., van Dobben H.F. 2002. Long-term monitoring in the Netherlands suggests that lichens respond to global warming. *Lichenologist* 34 (2):141-154.
- [15] Aptroot, A., van Herk C.M. 2007. Further evidence of the effects of global warming on lichens, particularly those with *Trentepohlia* phycobionts. *Environmental Pollution* 146:293-298.
- [16] Søchting, U. 2004. *Flavoparmelia caperata* - a probable indicator of increased temperatures in Denmark. *Graphis Scripta* 15:53-56.

- [17] de Bruyn, U., Mohr, W., Linders, K. 2009. Epiphytische Flechten im Wandel von Immissionen und Klima, Ergebnisse einer Vergleichskartierung 1989/2007 in Nordwestdeutschland. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* 21 (1):63-75.
- [18] Stapper, N.J., Franzen-Reuter, I., Frahm, J.P. 2011. Epiphytische Flechten als Wirkungsindikatoren für Klimaveränderungen im Raum Düsseldorf. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 4: 173-178.
- [19] Wirth, V. 1991. "Zeigerwerte von Flechten." *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Ed. Ellenberg, H. et al.. Göttingen: Goltze.
- [20] VDI 3957 Blatt 13. 2005. Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen mit Flechten (Bioindikation). *VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft* 1a.
- [21] VDI 3957 Blatt 20. Vorentwurf 2009. Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Umweltveränderungen (Bioindikation). *Kartierung von Flechten zur Ermittlung der Wirkung von lokalen Klimaveränderungen*. VDI.
- [22] Cezanne, R., Eichler, M., Kirschbaum, U., Windisch, U. 2008. Flechten als Anzeiger des Klimawandels. *Sauteria* 15:159-174.
- [23] Brackel, W.v., Wagner, A., Wagner, I., Zehm, A. 2008. Wenig beachtet aber stark gefährdet: Die Moose und Flechten Bayerns müssen in Artenhilfsmaßnahmen eingebunden werden. *Anliegen Natur* 1.
- [24] Türk, R., Wunder, H. 1999. Die Flechten des Nationalparks Berchtesgaden und angrenzender Gebiete. *Nationalpark Berchtesgaden Forschungsbericht* 42:1-131.
- [25] Dürhammer, O. 2003. Die Flechtenflora von Regensburg. 2003. *Hoppea, Denkschr. Regensb. Bot. Ges.* 64:5-465.
- [26] Wurzel, W. 2009. Neue Funde seltener Moos- und Flechtenarten im nordöstlichen Bayern. *Hoppea, Denkschr. Regensb. Bot. Ges.* 70:161-174.
- [27] Wirth, V., Hertel, E. 2007. Beitrag zur Kenntnis der Flechtenbiota des Fichtelgebirges. *Carolinea* 65:105-161.
- [28] Brackel, W.v., Feuerer, T. 2007. Inventarisierung von Flechten in Kiefern-Naturwaldreservaten. Bericht im Auftrag der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. *Freising*.
- [29] Brackel, W.v. 2007. Zur Flechtenflora der Serpentinifelsen in Nordostbayern. *Hoppea* 68:253-268.
- [30] Diewald, W., Dürhammer, O., Scheuerer, M. 2007. *Cetraria nivalis* und *Thamnolia vermicularis* am Großen Arber (Bayerischer Wald) wiedergefunden. *Hoppea, Denkschr. Regensb. Bot. Ges.* 68:343-344.
- [31] Brackel, W.v., Kocourková, J. 2006. Einige für Bayern neue oder bemerkenswerte Flechten und flechtenähnliche Pilze. *Herzogia* 19:85-110.
- [32] Brackel, W.v. 2006. Epiphytische Flechten in den Tannenwäldern am Taubenberg. *Waldökologie online* 3:31-41.
- [33] Brackel, W.v. 2005. "Flechten, flechtenbewohnende Pilze und Moose im NSG Sandgrasheide Pettstadt." *Flora und Vegetation im östlichen Franken*. Ed. W. Nežadal. 9:85-97.

- [34] Schmidt, A., Bresinsky, A., Dürhammer, O., Brackel, W.v. 2006. Wald und Halbtrockenrasen auf der Flur "Der Berg" am Sippenauer Moor. *Hoppea* 67:241-254.
- [35] Fleischmann-Schieber, B., Steitz, S., Treter, U. 2004. Flechten in Erlangen. *Mitteilungen der Fraenkischen Geographischen Gesellschaft* 50/51.
- [36] Engel, K., Detsch, R., Ammer, U. 2003. Bedeutung verschiedener Baumarten für epiphytische Flechten: Untersuchungen am Beispiel von drei Auwäldern an der bayerischen Donau. *Naturschutz und Landschaftsplanung: Zeitschrift für angewandte Ökologie* 35:10.
- [37] Printzen, C., Halda, J., Palice, Z., Tønsberg, T. 2002. New and interesting lichen records from old-growth forest stands in the German National Park Bayerischer Wald. *Nova Hedwigia* 74:25-49.
- [38] Brackel, W.v. 2000. Moos- und Flechtengesellschaften im NSG Tennenloher Forst. *Natur und Mensch (Jahresmitt. Naturhist. Ges. Nürnberg)* 1999:17-38.
- [39] Brackel, W.v., van der Dunk, K. 1998/99. Moos- und Flechtenvorkommen in der Umgebung von Ebrach (Landkreis Bamberg) im Steigerwald. *Abh. Naturwiss. Verein Würzburg* 39/40:3-20.
- [40] Brackel, W.v. 1994. Epiphytische Moos- und Flechten-Gesellschaften auf der Ehrenbürg bei Forchheim. *Hoppea* 55:561-579.
- [41] Macher, M. 1992. Epiphytische Flechten im Nationalpark Bayerischer Wald. *Schriftenreihe des Bay. Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten* 13.
- [42] Wirth, V., Fuchs, M. 1980. Zur Veränderung der Flechtenflora in Bayern. *Forderungen und Möglichkeiten des Artenschutzes. Schriftenreihe Naturschutz und Landschaftspflege*: 12:29-43.
- [43] Ritschel, G.A. 1977. Verbreitung und Soziologie epiphytischer Flechten in Nordwestbayern. *Bibliotheca Lichenologica* 7.
- [44] Kalb, K. 1975. Flechten aus Bayern. *Regensburger Bot. Ges. - Denkschrift* 34:301-306.
- [45] Schauer, T. 1965. Ozeanische Flechten im Nordalpenraum. *Portugaliae Acta Biol.* 8:17-229.
- [46] Behr, O. 1957/58. Die Flechten des Spessarts. *Nachrichten des Naturwiss. Museums der Stadt Aschaffenburg* Teil I: 55/1957, Teil II: 56/1957, Teil III: 57/1958 (1,2,3).
- [47] Arnold, F. 1891. Zur Lichenflora von München. *Ber. Bayer. Bot. Ges.:*1-147.
- [48] Krempelhuber, A. 1861. Lichenen-Flora Bayerns. *Denkschriften K. bayr. Bot. Ges. Regensburg* 4/2:1-317.
- [49] Arnold, F. 1858-1885. Die Lichenen des Fränkischen Jura. *Flora, Königstein: Koeltz.* (Nachdruck 1985 1-324). 41-68.
- [50] Wirth, V., Schöller, H., Scholz, P., Ernst, G., Feuerer, T., Gnüchtel, A., Hauck, M., Jacobsen, P., John, V., Litterski, B. 1996. Rote Liste der Flechten (Lichenes) der Bundesrepublik Deutschland. *Schriftenreihe für Vegetationskunde* 28:307-368.
- [51] Feuerer, T. (ed.) 2011. Checklists of lichens and lichenicolous fungi. <http://www.checklists.de>.
- [52] Jürging, P. 1975. Epiphytische Flechten als Bioindikatoren der Luftverunreinigung, dargestellt an Untersuchungen und Beobachtungen in Bayern. *Bibliotheca Lichenologica* 4.

- [53] Macher, M., Steubing, L. 1986. Flechten als Bioindikatoren zur immissionsökologischen Waldzustandserfassung im Nationalpark Bayerischer Wald. *Verh. d. Ges. f. Ökologie* XIV:335-342.
- [54] VDI 3799 Blatt 1. 1995. Messen von Immissionswirkungen. Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten; Flechtenkartierung zur Ermittlung des Lüftgütwertes (LGW). *VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft* 1:1-24.
- [55] Vorbeck, A., Windisch, U., Peichl, L. 1997. Landesweite immissionsbezogene Flechtenkartierung in Bayern. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* 9:1-6.
- [56] Vorbeck, A., Windisch, U., Eichler, M., Cezanne, R. 2009. Immissionsbezogene Flechtenkartierung Aschaffenburg. Unveröff. Gutachten im Auftrag der Stadt Aschaffenburg.
- [57] Windisch, U., Vorbeck, A. 2007. Flechtenkartierung zur Beurteilung der Luftqualität in Coburg und Umgebung. Unveröff. Gutachten im Auftrag der Stadt Coburg, umliegender Gemeinden und des Zweckverbandes für Abfallwirtschaft in Nordwest-Oberfranken.
- [58] Windisch, U., Vorbeck, A. 2003. Flechtenkartierung Ortenburg. Unveröff. Gutachten im Auftrag des Bund Naturschutz in Bayern e.V. und der Marktgemeinde Ortenburg.
- [59] Windisch, U., Vorbeck, A. 2002. Immissionsbezogene Flechtenkartierung Aschaffenburg unter besonderer Berücksichtigung des Straßenverkehrs. Unveröff. Gutachten der Stadt Aschaffenburg.
- [60] Vorbeck, A., Windisch, U. 2002. Flechtenkartierung München - Eignung von Flechten als Bioindikatoren für verkehrsbedingte Immissionen. *Materialien des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU)*:142.
- [61] Windisch, U., Vorbeck, A. 1999. Kartierung der epiphytischen Flechtenvegetation zur Beurteilung der Luftqualität in Coburg und Umgebung. Unveröff. Gutachten im Auftrag der Stadt Coburg.
- [62] Vorbeck, A., Windisch, U. 1999. Kartierung der epiphytischen Flechtenvegetation in Bamberg. Unveröff. Gutachten im Auftrag der Stadt Bamberg.
- [63] Windisch, U., Vorbeck, A. 1998. Kartierung der epiphytischen Flechtenvegetation zur Beurteilung der Luftqualität in Nürnberg. Unveröff. Gutachten im Auftrag des Chemischen Untersuchungsamtes der Stadt Nürnberg.
- [64] Smith, C.W., Aptroot, A., Coppins, B.J., Fletcher, A., Gilbert, O.L., James, P.W., Wolseley, P.A. (ed.) 2009. *The Lichens of Great Britain and Ireland*. British Lichen Society. 2. Auflage.
- [65] Wirth, V. 2010. Ökologische Zeigerwerte von Flechten - erweiterte und aktualisierte Fassung. *Herzogia* 23 (2):229-248.
- [66] Ellenberg, H., Leuschner, Ch. 2010. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. Stuttgart: Ulmer <http://www.gbv.de/dms/hebis-mainz/toc/050112163.pdf>
- [67] Kirschbaum, U., Wirth, V. 2010. *Flechten erkennen - Umwelt bewerten*. Wiesbaden: HLUg.
- [68] Kirschbaum, U., Cezanne, R., Eichler, M., Hanewald, K., Windisch, U. 2012. Long-term monitoring of environmental change in German towns by using lichens as biological indicators. *Environmental Sciences Europe* (in preparation).
- [69] LfU - Bayerisches Landesamt für Umwelt. 2010. *Lufthygienischer Jahresbericht 2009*.

- [70] LfU - Bayerisches Landesamt für Umwelt. 2011. Ergebnisse der Niederschlagsuntersuchungen aus Bulksammlern.
http://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe_luft/eutrophierung_ver-sauerung/ergebnisse/index.htm.
- [71] van Dobben, H.F., de Bakker, A.J. 1996. Re-mapping epiphytic lichen biodiversity in the Netherlands: effect of decreasing SO₂ and increasing NH₃. *Acta Botanica Neerlandica* 45 (1):55-71.
- [72] van Herk, C.M. 1999. Mapping of ammonia pollution with epiphytic lichens in the Netherlands. *Lichenologist* 31(1):9-20.
- [73] Franzen, I., Stapper, N. Frahm, J.-P. 2002. Ermittlung der lufthygienischen Situation Nordrhein-Westfalens mit epiphytischen Flechten und Moosen als Bioindikatoren. Bericht im Rahmen des Forschungsvorhabens "Einfluss von Stickstoffemissionen auf Moose und Flechten" im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.
- [74] van Herk, C. M. 2009. Climate change and ammonia from cars as notable recent factors influencing epiphytic lichens in Zeeland, Netherlands. *Bibliotheca Lichenologica* 99:205-224.
- [75] Frahm, J.P. 2006. Der Einfluss von Ammoniak auf Stickstoff liebende Flechten in verkehrsbelasteten Gebieten. *Immissionsschutz* 4:164-167.
- [76] Davies, L., Bates, J.W, Bell. J.N.B. 2007. Diversity and sensitivity of epiphytes to oxides of nitrogen in London. *Environmental pollution* 146:299-310.
- [77] Windisch, U., Vorbeck, A. 2006. Nachweis von Klimaänderungen mit Flechten - Methodenentwicklung für das Land Hessen. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie.
- [78] Kirschbaum, U., Hanewald, K. 2009. "Flechten als Anzeiger der Luftgüte und des Klimawandels." HLUG - Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 47 S.
- [79] Kirschbaum, U., Windisch, U. Vorbeck, A., Hanewald, K. 2006. Flechtenkartierung in Wetzlar und Gießen als Indikator für die Luftqualität. *Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft* 66 (6):272-280.
- [80] Kirschbaum, U., Hanewald, K. 2001. Veränderungen des Flechtenbewuchses in den hessischen Dauerbeobachtungsflächen Melsungen und Limburg zwischen 1997 und 1999. *Angewandte Botanik* 75:20-30.

10 Danksagung

Vielen Dank an Herrn Dr. Peter Miehle und Herrn Dr. Ludwig Peichl vom Bayerischen Landesamt für Umwelt für die engagierte Betreuung des Projektes.

Für die Bestimmung von Flechtenbelegen gebührt Dank Herrn Dr. Othmar Breuss (Wien), Herrn Wolfgang von Brackel (Hemhofen), Herrn Prof. Dr. Helmut Mayrhofer (Graz), Herrn Dr. Christian Printzen (Frankfurt), Herrn Dr. Matthias Schultz (Hamburg), Herrn Dr. Tor Tønsberg (Bergen). Danke an Frau Dr. Birgit Kanz (Frankfurt) für die Durchführung der Dünnschichtchromatographie (TLC).

Danke an Herrn Guido Kugelmann vom Deutschen Wetterdienst in München und Frau Daniela Kilian von der Nationalparkverwaltung Berchtesgaden für die zeitnahe Bereitstellung der Klimadaten.

11 Anhang

- A1: Erhebungsbogen für Bäume nach VDI 3957, Blatt 3
- A2: Erhebungsbogen für „Klimabäume“
- A3: Erhebungsbogen für Mauern
- A4: Öffentlichkeitsarbeit
- A5: Artenliste
- A6: Korrelationsberechnungen:
Jahrestemperatur – ungewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für „VDI-Bäume“
- A7: Korrelationsberechnungen:
Jahrestemperatur – ungewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für „Klimabäume“
- A8: Korrelationsberechnungen:
Jahrestemperatur – ungewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für Mauern
- A9: Korrelationsberechnungen:
Jahrestemperatur – gewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für „VDI-Bäume“
- A10: Korrelationsberechnungen:
Jahrestemperatur – gewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für „Klimabäume“
- A11: Korrelationsberechnungen:
Jahrestemperatur – gewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für Mauern
- A12: Korrelationsberechnungen:
Jahresniederschlag – ungewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für „VDI-Bäume“
- A13: Korrelationsberechnungen:
Jahresniederschlag – ungewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für „Klimabäume“
- A14: Korrelationsberechnungen:
Jahresniederschlag – ungewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für Mauern
- A15: Korrelationsberechnungen:
Jahresniederschlag – gewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für „VDI-Bäume“
- A16: Korrelationsberechnungen:
Jahresniederschlag – gewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für „Klimabäume“
- A17: Korrelationsberechnungen:
Jahresniederschlag – gewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für Mauern
- A18: Artenzahl der Wärmezeiger auf „VDI-Bäumen“ an den in den Jahren 1996 und 2011 untersuchten Messflächen

A2: Erhebungsbogen für „Klimabäume“

	Flechtenkartierung Bayern: Klima-Bäume	Datum:	Messfläche Nr.
Ortsbezeichnung:			
Objekt-Nr.			
Baumart			
Umfang in 1.50 m Höhe			
Windverhältnisse			
Lichtverhältnisse			
Gelände / Geländeexposition			
Versiegelung im 20 m Umkreis			
Verkehrsbelastung			
Landwirtschaftlicher Einfluss			
Amandinea punctata	pun		
Buellia griseovirens	gr		
Candelaria concolor	co		
Candelariella reflexa	ref		
Candelariella xanthost.	xa		
Evernia prunastri	pru		
Flavoparmelia caperata	cap		
Hypogymnia physodes	phy		
Hypogymnia tubulosa	tub		
Lecanora chlorotera	chl		
Lecanora expallens	exp		
Lecanora-hagenii-Gr.	hag		
Lecanora saligna	sal		
Lecidella elaeochroma	lec		
Lepraria incana-Gr.	inc		
Melanelixia fuliginosa	pga		
Melanelixia subaurifera	psu		
Melanohalea exasperatula	exa		
Parmelia saxatilis	sax		
Parmelia sulcata	sul		
Phaeophyscia nigricans	nig		
Phaeophyscia orbicularis	orb		
Phlyctis argena	arg		
Physcia adscendens	ads		
Physcia tenella	pte		
Physconia grisea	gri		
Pleurosticta acetabulum	ace		
Punctelia jeckeri	uph		
Punctelia subrudecta	sub		
Ramalina farinacea	far		
Strangospora pinicola	pin		
Trentepohlia spec.	tre		
Xanthoria candelaria-Gr.	can		
Xanthoria parietina	par		
Xanthoria polycarpa	pol		

A4: Öffentlichkeitsarbeit

Am 2.9.2010 fand mit Vertretern des Auftragsnehmers, Vertretern des LfU und dem Bayerischen Rundfunk ein Pressetermin in Oberstdorf zur Flechtenkartierung statt. Der Bericht wurde am gleichen Tag in BR 2 gesendet.

Außerdem berichteten zahlreiche Tageszeitungen zu dem Thema.

A5: Artenliste

Artname		Autor	licheni-coler Pilz
<i>Abrothallus</i>	<i>parmeliarum</i>	(Sommerf.) Arnold	X
<i>Acarospora</i>	<i>cervina</i>	A. Massal.	
<i>Acarospora</i>	<i>fuscata</i>	(Ach.) Th. Fr.	
<i>Acarospora</i>	<i>glaucocarpa</i>	(Wahlenb. ex Ach.) Körb.	
<i>Acarospora</i>	<i>macrospora</i>	(Hepp) A. Massal. ex Bagl.	
<i>Acarospora</i>	<i>nitrophila</i>	H. Magn.	
<i>Acarospora</i>	<i>umbilicata</i>	Bagl.	
<i>Acarospora</i>	<i>versicolor</i>	Bagl. & Carestia	
<i>Acremonium</i>	<i>antarcticum</i>	(Speg.) D. Hawksw.	X
<i>Acrocordia</i>	<i>gemmata</i>	(Ach.) A. Massal.	
<i>Agonimia</i>	<i>tristicula</i>	(Nyl.) Zahlbr.	
<i>Amandinea</i>	<i>punctata</i>	(Hoffm.) Coppins & Scheid.	
<i>Anaptychia</i>	<i>ciliaris</i>	(L.) Körber	
<i>Anisomeridium</i>	<i>biforme</i>	(Borrer) R. C. Harris	
<i>Anisomeridium</i>	<i>polypori</i>	(Ellis & Everh.) M. E. Barr	
<i>Arthonia</i>	<i>dispersa</i>	(Schrad.) Nyl.	
<i>Arthonia</i>	<i>galactinaria</i>	Leight.	X
<i>Arthonia</i>	<i>phaeophysciae</i>	Grube & Matzer	X
<i>Arthonia</i>	<i>radiata</i>	(Pers.) Ach.	
<i>Arthonia</i>	<i>ruana</i>	A. Massal.	
<i>Arthopyrenia</i>	<i>analepta</i>	(Ach.) A. Massal.	
<i>Arthopyrenia</i>	<i>cinereopruinosa</i>	(Schaer.) A. Massal.	
<i>Arthopyrenia</i>	<i>grisea</i>	(Schleich. ex Schaer.) Körb.	
<i>Aspicilia</i>	<i>caesiocinerea</i>	(Nyl. ex Malbr.) Arnold	
<i>Aspicilia</i>	<i>calcareo</i>	(L.) Mudd	
<i>Aspicilia</i>	<i>contorta ssp. contorta</i>	(Hoffm.) Kremp.	
<i>Aspicilia</i>	<i>contorta ssp. hoffmanniana</i>	S. Ekman & Fröberg	
<i>Aspicilia</i>	<i>moenium</i>	(Vain.) G. Thor & Timdal	
<i>Athelia</i>	<i>arachnoidea</i>	(Berk.) Jülich	X
<i>Bacidia</i>	<i>circumspecta</i>	(Nyl. ex Vain.) Malme	
<i>Bacidia</i>	<i>ignarii</i>	(Nyl.) Oksner	
<i>Bacidia</i>	<i>rubella</i>	(Hoffm.) A. Massal.	
<i>Bacidia</i>	<i>subincompta</i>	(Nyl.) Arnold	
<i>Bacidia</i>	<i>viridifarinoso</i>	Coppins & P. James	
<i>Bacidina</i>	<i>chlorotricula</i>	(Nyl.) Vězda & Poelt	
<i>Bacidina</i>	<i>delicata</i>	(Larbal. ex Leight.) V. Wirth & Vězda	
<i>Bacidina</i>	<i>egenula</i>	(Nyl.) Vězda	
<i>Bacidina</i>	<i>neosquamulosa</i>	(Aptroot & Herk) S. Ekman	
<i>Bacidina</i>	<i>sulphurella</i>	(Samp.) M. Hauck & V. Wirth	
<i>Bagliettoa</i>	<i>parmigerella</i>	(Zahlbr.) Vězda & Poelt	
<i>Bagliettoa</i>	<i>spec.</i>		
<i>Bilimbia</i>	<i>sabuletorum</i>	(Schreb.) Arnold	
<i>Botryolepraria</i>	<i>lesdainii</i>	(Hue) Canals et al.	
<i>Bryoria</i>	<i>fuscescens</i>	(Gyelnik) Brodo & D. Hawksw.	
<i>Buellia</i>	<i>aethalea</i>	(Ach.) Th. Fr.	
<i>Buellia</i>	<i>griseovirens</i>	(Turner & Borrer ex Sm.) Almb.	
<i>Buellia</i>	<i>physciicola</i>	Poelt & Hafellner	X
<i>Calicium</i>	<i>adpersum</i>	Pers.	
<i>Calicium</i>	<i>salicinum</i>	Pers.	
<i>Caloplaca</i>	<i>albolutescens</i>	(Nyl.) H. Olivier	
<i>Caloplaca</i>	<i>arcis</i>	(Poelt & Vězda) Arup	

Artname		Autor	licheni-coler Pilz
<i>Caloplaca</i>	<i>arenaria</i>	(Pers.) Müll. Arg.	
<i>Caloplaca</i>	<i>arnoldii ssp. obliterata</i>	(Pers.) Gaya	
<i>Caloplaca</i>	<i>biatorina</i>	(A. Massal.) J. Steiner	
<i>Caloplaca</i>	<i>cerina var. cerina</i>	(Ehrh. Ex Hedw.) Th.Fr.	
<i>Caloplaca</i>	<i>cerina var. chloroleuca</i>	(Sm.) Th. Fr.	
<i>Caloplaca</i>	<i>cerinella</i>	(Nyl.) Flagey	
<i>Caloplaca</i>	<i>cerinelloides</i>	(Erichsen) Poelt	
<i>Caloplaca</i>	<i>cf. paulii</i>	Poelt	
<i>Caloplaca</i>	<i>cf. trachyphylla</i>	(Tuck.) Zahlbr.	
<i>Caloplaca</i>	<i>chlorina</i>	(Flot.) H. Oliv.	
<i>Caloplaca</i>	<i>chrysodeta</i>	(Vain. ex Räsänen) Dombro.	
<i>Caloplaca</i>	<i>chrysophthalma</i>	Degel.	
<i>Caloplaca</i>	<i>cirrochroa</i>	(Ach.) Th. Fr.	
<i>Caloplaca</i>	<i>citrina</i>	(Hoffm.) Th. Fr.	
<i>Caloplaca</i>	<i>crenularia</i>	(With.) J. R. Laundon	
<i>Caloplaca</i>	<i>crenulatella</i>	(Nyl.) H. Olivier	
<i>Caloplaca</i>	<i>dalmatica</i>	(A. Massal.) H. Olivier	
<i>Caloplaca</i>	<i>decepiens</i>	(Arnold) Blomb. & Forssell	
<i>Caloplaca</i>	<i>dichroa</i>	Arup	
<i>Caloplaca</i>	<i>flavescens</i>	(Huds.) J. R. Laundon	
<i>Caloplaca</i>	<i>flavocitrina</i>	(Nyl.) H. Olivier	
<i>Caloplaca</i>	<i>flavovirescens</i>	(Wulfen) Dalla Torre & Sarnth.	
<i>Caloplaca</i>	<i>herbidella</i>	(Hue) H. Magn.	
<i>Caloplaca</i>	<i>holocarpa</i>	(Hoffm.) A. E. Wade	
<i>Caloplaca</i>	<i>lactea</i>	(A. Massal.) Zahlbr.	
<i>Caloplaca</i>	<i>lucifuga</i>	G. Thor	
<i>Caloplaca</i>	<i>oasis</i>	(A. Massal.) Szatala	
<i>Caloplaca</i>	<i>obscurella</i>	(Lahm ex Körb.) Th. Fr.	
<i>Caloplaca</i>	<i>phlogina</i>	(Ach.) Flagey	
<i>Caloplaca</i>	<i>pusilla</i>	(A. Massal.) Zahlbr.	
<i>Caloplaca</i>	<i>pyracea</i>	(Ach.) Th. Fr.	
<i>Caloplaca</i>	<i>ruderum</i>	(Malbr.) J. R. Laundon	
<i>Caloplaca</i>	<i>saxicola</i>	(Hoffm.) Nordin	
<i>Caloplaca</i>	<i>soralifera</i>	Vondrák & Hrouzek	
<i>Caloplaca</i>	<i>spec. 1</i>		
<i>Caloplaca</i>	<i>spec. 2</i>		
<i>Caloplaca</i>	<i>teicholyta</i>	(Ach.) J. Steiner	
<i>Caloplaca</i>	<i>variabilis</i>	(Pers.) Müll. Arg.	
<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i>	(Dicks.) Stein	
<i>Candelariella</i>	<i>aurella var. aurella</i>	(Hoffm.) Zahlbr.	
<i>Candelariella</i>	<i>aurella var. unilocularis</i>	(Elenkin) Zahlbr.	
<i>Candelariella</i>	<i>coralliza</i>	(Nyl.) H. Magn.	
<i>Candelariella</i>	<i>medians</i>	(Nyl.) A. L. Sm.	
<i>Candelariella</i>	<i>plumbea</i>	Poelt & Vězda	
<i>Candelariella</i>	<i>reflexa</i>	(Nyl.) Lettau	
<i>Candelariella</i>	<i>viae-lacteae</i>	G. Thor & V. Wirth	
<i>Candelariella</i>	<i>vitellina</i>	(Hoffm.) Müll. Arg.	
<i>Candelariella</i>	<i>xanthostigma</i>	(Pers. ex Ach.) Lettau	
<i>Catillaria</i>	<i>chalybeia</i>	(Borrer) A. Massal.	
<i>Catillaria</i>	<i>nigroclavata</i>	(Nyl.) Schuler	
<i>Cercidospora</i>	<i>epipolytropa</i>	(Mudd) Arnold	X
<i>Cetrelia</i>	<i>cetrarioides</i>	(Delise ex Duby) W. L. Culb. & C. F. Culb.	
<i>Cetrelia</i>	<i>olivetorum</i>	(Nyl.) W. L. Culb. & C. F. Culb.	

Artname		Autor	licheni-coler Pilz
<i>Chaenotheca</i>	<i>chrysocephala</i>	(Turner ex Ach.) Th. Fr.	
<i>Chaenotheca</i>	<i>ferruginea</i>	(Turner & Borrer) Migula	
<i>Chaenotheca</i>	<i>phaeocephala</i>	(Turner) Th. Fr.	
<i>Chaenotheca</i>	<i>trichialis</i>	(Ach.) Th. Fr.	
<i>Chaenothecopsis</i>	<i>pusilla</i>	(Flörke) A.F.W.Schmidt	X
<i>Chrysothrix</i>	<i>candelaris</i>	(L.) J. R. Laundon	
<i>Cladonia</i>	<i>coniocraea</i>	(Flörke) Spreng.	
<i>Cladonia</i>	<i>digitata</i>	(L.) Hoffm.	
<i>Cladonia</i>	<i>fimbriata</i>	(L.) Fr.	
<i>Cladonia</i>	<i>pyxidata</i> agg.		
<i>Cladonia</i>	<i>pyxidata</i> ssp. <i>chlorophaea</i>	(Flörke ex Sommerf.) V. Wirth	
<i>Cladonia</i>	<i>spec.</i>		
<i>Clauzadea</i>	<i>monticola</i>	(Ach.) Hafellner & Bellem.	
<i>Clypeococcum</i>	<i>hypocenomycis</i>	D. Hawksw.	X
<i>Coenogonium</i>	<i>pineti</i>	(Schrad. ex Ach.)	
<i>Collema</i>	<i>auriforme</i>	(With.) Coppins & P. James	
<i>Collema</i>	<i>fasciculare</i>	(L.) Weber ex f. H. Wigg.	
<i>Collema</i>	<i>fuscovirens</i>	(With.) J. R. Laundon	
<i>Collema</i>	<i>nigrescens</i>	(Huds.) DC.	
<i>Collema</i>	<i>occultatum</i>	Bagl.	
<i>Cornutispora</i>	<i>lichenicola</i>	D. Hawksw. & B. Sutton	X
<i>Diploicia</i>	<i>canescens</i>	(Dicks.) A. Massal.	
<i>Diploschistes</i>	<i>scruposus</i>	(Schreb.) Norman	
<i>Diplotomma</i>	<i>alboatrum</i>	(Hoffm.) Flot.	
<i>Diplotomma</i>	<i>porphyricum</i>	Arnold	
<i>Eiglera</i>	<i>flavida</i>	(Hepp) Hafellner	
<i>Evernia</i>	<i>divaricata</i>	(L.) Ach.	
<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>Flavopunctelia</i>	<i>flaventior</i>	(Stirt.) Hale	
<i>Graphis</i>	<i>scripta</i>	(L.) Ach.	
<i>Gyalecta</i>	<i>derivata</i>	(Nyl.) H. Olivier	
<i>Gyalecta</i>	<i>jenensis</i>	(Batsch) Zahlbr.	
<i>Haematomma</i>	<i>ochroleucum</i> var. <i>ochroleucum</i>	(Neck.) J. R. Laundon	
<i>Halecania</i>	<i>viridescens</i>	Coppins & P. James	
<i>Hyperphyscia</i>	<i>adglutinata</i>	(Flörke) Mayrhofer & Poelt	
<i>Hypocenomyce</i>	<i>scalaris</i>	(Ach. ex Lilj.) M. Choisy	
<i>Hypogymnia</i>	<i>bitteri</i>	(Lyngé) Ahti	
<i>Hypogymnia</i>	<i>farinacea</i>	Zopf	
<i>Hypogymnia</i>	<i>physodes</i>	(L.) Nyl.	
<i>Hypogymnia</i>	<i>tubulosa</i>	(Schaerer) Hav.	
<i>Hypotrachyna</i>	<i>afrorevoluta</i>	(Krog & Swinscow) Krog & Swinscow	
<i>Hypotrachyna</i>	<i>revoluta</i>	(Flörke) Hale	
<i>Illosporopsis</i>	<i>christiansenii</i>	(B. L. Brady & D. Hawksw.) D. Hawksw.	X
<i>Imshaugia</i>	<i>aleurites</i>	(Ach.) S. L. F. Mey.	
<i>Jamesiella</i>	<i>anastomosans</i>	(P. James & Vězda) Lücking, Sérus & Vězda	
<i>Lecania</i>	<i>croatica</i>	(Zahlbr.) Kotlov	
<i>Lecania</i>	<i>cyrtella</i>	(Ach.) Th.Fr.	

Artname		Autor	licheni-coler Pilz
<i>Lecania</i>	<i>erysibe</i>	(Ach.) Mudd	
<i>Lecania</i>	<i>hyalina</i>	(Fr.) R. Sant.	
<i>Lecania</i>	<i>inundata</i>	(Hepp ex Körb.) M. Mayrhofer	
<i>Lecania</i>	<i>naegelii</i>	(Hepp) Diederich & van den Boom	
<i>Lecanora</i>	<i>agardhiana</i>	Ach.	
<i>Lecanora</i>	<i>aitema</i>	(Ach.) Hepp	
<i>Lecanora</i>	<i>albella</i>	(Pers.) Ach.	
<i>Lecanora</i>	<i>albescens</i>	(Hoffm.) Branth & Rostr.	
<i>Lecanora</i>	<i>allophana</i>	Nyl.	
<i>Lecanora</i>	<i>argentata</i>	(Ach.) Malme	
<i>Lecanora</i>	<i>barkmaniana</i>	Aptroot & Herk	
<i>Lecanora</i>	<i>campestris</i>	(Schaer.) Hue	
<i>Lecanora</i>	<i>carpinea</i>	(L.) Vain.	
<i>Lecanora</i>	<i>cf. dispersella</i>	auct., non Steiner	
<i>Lecanora</i>	<i>chlarotera</i>	Nyl.	
<i>Lecanora</i>	<i>circumborealis</i>	Brodo & Vitik.	
<i>Lecanora</i>	<i>compallens</i>	Van Herk & Aptroot	
<i>Lecanora</i>	<i>conizaeoides</i>	Nyl. ex Cromb.	
<i>Lecanora</i>	<i>crenulata</i>	(Dicks.) Hook.	
<i>Lecanora</i>	<i>dispersa</i>	(Pers.) Röhl.	
<i>Lecanora</i>	<i>dispersa s.l.</i>		
<i>Lecanora</i>	<i>expallens</i>	Ach.	
<i>Lecanora</i>	<i>filamentosa</i>	(Stirt.) Elix & Palice	
<i>Lecanora</i>	<i>flotoviana</i>	Spreng.	
<i>Lecanora</i>	<i>glabrata</i>	(Ach.) Malme	
<i>Lecanora</i>	<i>hagenii</i>	(Ach.) Ach.	
<i>Lecanora</i>	<i>horiza</i>	(Ach.) Linds.	
<i>Lecanora</i>	<i>impudens</i>	Degel.	
<i>Lecanora</i>	<i>intumescens</i>	(Rebent.) Rabenh.	
<i>Lecanora</i>	<i>muralis. ssp. muralis</i>	(Schreber) Rabenh.	
<i>Lecanora</i>	<i>orosthea</i>	(Ach.) Ach.	
<i>Lecanora</i>	<i>pannonica</i>	Szatala	
<i>Lecanora</i>	<i>persimilis</i>	Th. Fr.	
<i>Lecanora</i>	<i>polytropa</i>	(Ehrh. ex Hoffm.) Rabenh.	
<i>Lecanora</i>	<i>pulicaris</i>	(Pers.) Ach.	
<i>Lecanora</i>	<i>rupicola ssp. rupicola</i>	(L.) Zahlbr.	
<i>Lecanora</i>	<i>saligna var. sarcopis</i>	(Wahlenb. ex Ach.) Hillmann	
<i>Lecanora</i>	<i>semipallida</i>	H. Magn.	
<i>Lecanora</i>	<i>subcarpinea</i>	Szatala	
<i>Lecanora</i>	<i>subrugosa</i>	Nyl.	
<i>Lecanora</i>	<i>symmicta</i>	(Ach.) Ach.	
<i>Lecanora</i>	<i>thysanophora</i>	R.C. Harris	
<i>Lecanora</i>	<i>varia</i>	(Hoffm.) Ach.	
<i>Lecidea</i>	<i>cf. erythrophaea</i>	Flörke ex Sommerf.	
<i>Lecidea</i>	<i>fuscoatra</i>	(L.) Ach.	
<i>Lecidea</i>	<i>grisella</i>	Flörke	
<i>Lecidea</i>	<i>pullata</i>	(Norman) Th. Fr.	
<i>Lecidea</i>	<i>variegatula</i>	Nyl.	
<i>Lecidella</i>	<i>carpathica</i>	Körb.	
<i>Lecidella</i>	<i>elaeochroma</i>	(Ach.) M. Choisy	
<i>Lecidella</i>	<i>flavosorediata</i>	(Vězda) Hertel & Leuckert	
<i>Lecidella</i>	<i>scabra</i>	(Taylor) Hertel & Leuckert	
<i>Lecidella</i>	<i>stigmatea</i>	(Ach.) Hertel & Leuckert	
<i>Lemmopsis</i>	<i>arnoldiana</i>	(Hepp) Zahlbr.	

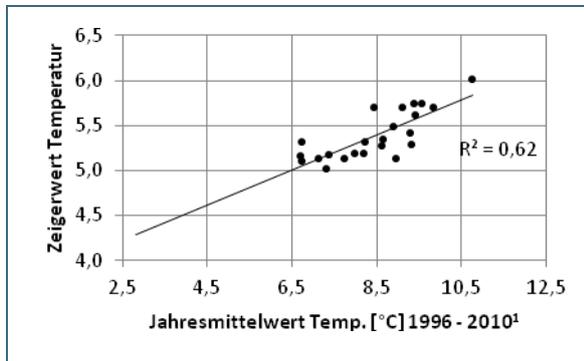
Artname		Autor	licheni-coler Pilz
<i>Lepraria</i>	<i>incana</i>	(L.) Ach.	
<i>Lepraria</i>	<i>lobificans</i>	Nyl.	
<i>Lepraria</i>	<i>membranacea</i>	(Dicks.) Vain.	
<i>Lepraria</i>	<i>vouauxii</i>	(Hue) R. C. Harris	
<i>Leptogium</i>	<i>lichenoides</i>	(L.) Zahlbr.	
<i>Leptogium</i>	<i>plicatile</i>	(Ach.) Leight.	
<i>Leptogium</i>	<i>pulvinatum</i>	(Hoffm.) Otálora	
<i>Leptogium</i>	<i>saturninum</i>	(Dicks.) Nyl.	
<i>Leptogium</i>	<i>tenuissimum</i>	(Hoffm.) Körb.	
<i>Leptogium</i>	<i>teretiusculum</i>	(Flörke) Arnold	
<i>Licea</i>	<i>parasitica</i>	(Zukal) Martin	X
<i>Lichenochora</i>	<i>obscurioides</i>	(Linds.) Triebel & Rambold	X
<i>Lichenochora</i>	<i>weillii</i>	Hafellner & R. Sant.	X
<i>Lichenocodium</i>	<i>erodens</i>	M. S. Christ & D. Hawksw.	X
<i>Lichenocodium</i>	<i>lecanorae</i>	(Jaap) D. Hawksw.	X
<i>Lichenocodium</i>	<i>xanthoriae</i>	M. S. Christ.	X
<i>Lichenodiplis</i>	<i>lecanorae</i>	(Vouaux) Dyko & D. Hawksw.	X
<i>Lobaria</i>	<i>pulmonaria</i>	(L.) Hoffm.	
<i>Lobothallia</i>	<i>radiosa</i>	(Hoffm.) Hafellner	
<i>Marchandiobasidium</i>	<i>aurantiacum</i>	(Lasch) Diederich & Schultheis	X
<i>Marchandiomyces</i>	<i>corallinus</i>	(Roberge) Diederich & D. Hawksw.	X
<i>Melanelixia</i>	<i>fuliginosa</i>	(Fr. ex Duby) O. Blanco et al.	
<i>Melanelixia</i>	<i>glabra</i>	(Schaerer) O. Blanco et al.	
<i>Melanelixia</i>	<i>glabratula</i>	(Lamy) Sandler & Arup	
<i>Melanelixia</i>	<i>subargentifera</i>	(Nyl.) O. Blanco et al.	
<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>exasperata</i>	(De Not.) O. Blanco et al.	
<i>Melanohalea</i>	<i>exasperatula</i>	(Nyl.) O. Blanco et al.	
<i>Melanohalea</i>	<i>laciniatula</i>	(Flagey ex Oliv.) O. Blanco et al.	
<i>Micarea</i>	<i>denigrata</i>	(Fr.) Hedl.	
<i>Micarea</i>	<i>micrococca</i>	(Körb.) Gams ex Coppins	
<i>Micarea</i>	<i>prasina</i>	Fr.	
<i>Muellerella</i>	<i>erratica</i>	(A. Massal.) Hafellner & V. John	X
<i>Mycobilimbia</i>	<i>epixanthoides</i>	(Nyl.) Vitik. et al.	
<i>Mycoblastus</i>	<i>fucatus</i>	(Stirt.) Zahlbr.	
<i>Myriospora</i>	<i>heppii</i>	Nägeli in Hepp	
<i>Nectriopsis</i>	<i>hirta</i>	Etayo	X
<i>Normandina</i>	<i>pulchella</i>	(Borrer) Nyl.	
<i>Ochrolechia</i>	<i>alboflavescens</i>	(Wulfen) Zahlbr.	
<i>Ochrolechia</i>	<i>androgyna</i>	(Hoffm.) Arnold	
<i>Ochrolechia</i>	<i>arborea</i>	(Kreyer) Almb.	
<i>Ochrolechia</i>	<i>microstictoides</i>	Räsänen	
<i>Ochrolechia</i>	<i>parella</i>	(L.) A. Massal.	
<i>Ochrolechia</i>	<i>turneri</i>	(Sm.) Hasselrot	
<i>Opegrapha</i>	<i>niveoatra</i>	(Borrer) J. R. Laundon	
<i>Opegrapha</i>	<i>rufescens</i>	Pers.	
<i>Opegrapha</i>	<i>varia</i>	Pers.	
<i>Opegrapha</i>	<i>vermicellifera</i>	(Kunze) J. R. Laundon	
<i>Opegrapha</i>	<i>vulgata</i>	(Ach.) Ach.	
<i>Paranectria</i>	<i>oropensis</i>	(Ces. ex Rabenh.) D. Hawksw. & Piroz.	X
<i>Parmelia</i>	<i>ernstiae</i>	Feuerer & A. Thell	

Artname		Autor	licheni-coler Pilz
<i>Parmelia</i>	<i>saxatilis</i>	(L.) Ach.	
<i>Parmelia</i>	<i>submontana</i>	Nádv. ex Hale	
<i>Parmelia</i>	<i>sulcata</i>	Taylor	
<i>Parmelina</i>	<i>pastillifera</i>	(Harm.) Hale	
<i>Parmelina</i>	<i>tiliacea</i>	(Hoffm.) Hale	
<i>Parmeliopsis</i>	<i>ambigua</i>	(Wulfen) Nyl.	
<i>Parmeliopsis</i>	<i>hyperopta</i>	(Ach.) Arnold	
<i>Parmotrema</i>	<i>perlatum</i>	(Huds.) M. Choisy	
<i>Parmotrema</i>	<i>stuppeum</i>	(Taylor) Hale	
<i>Peltigera</i>	<i>canina</i>	(L.) Willd.	
<i>Peltigera</i>	<i>horizontalis</i>	(Huds.) Baumg.	
<i>Pertusaria</i>	<i>albescens</i>	(Huds.) M. Choisy & Werner	
<i>Pertusaria</i>	<i>amara</i>	(Ach.) Nyl.	
<i>Pertusaria</i>	<i>coccodes</i>	(Ach.) Nyl.	
<i>Pertusaria</i>	<i>coronata</i>	(Ach.) Th. Fr.	
<i>Pertusaria</i>	<i>flavida</i>	(DC.) J. R. Laundon	
<i>Pertusaria</i>	<i>leioplaca</i>	DC.	
<i>Petractis</i>	<i>clausa</i>	(Hoffm.) Kremp.	
<i>Phaeophysica</i>	<i>endophoenicea</i>	(Harm.) Moberg	
<i>Phaeophyscia</i>	<i>hirsuta</i>	(Mereschk.) Moberg	
<i>Phaeophysica</i>	<i>nigricans</i>	(Flörke) Moberg	
<i>Phaeophysica</i>	<i>orbicularis</i>	(Necker) Moberg	
<i>Phlyctis</i>	<i>argena</i>	(Sprengel) Flotow	
<i>Phoma</i>	<i>cytospora</i>	(Vouaux) D. Hawksw.	X
<i>Physcia</i>	<i>adscendens</i>	(Fr.) Oliv.	
<i>Physcia</i>	<i>aipolia</i>	(Ehrh. ex Humb.) Fűrnr.	
<i>Physcia</i>	<i>caesia</i>	(Hoffm.) Fűrnr.	
<i>Physcia</i>	<i>dimidiata</i>	(Arnold) Nyl.	
<i>Physcia</i>	<i>dubia</i>	(Hoffm.) Lettau	
<i>Physcia</i>	<i>stellaris</i>	(L.) Nyl.	
<i>Physcia</i>	<i>tenella</i>	(Scop.) DC.	
<i>Physcia</i>	<i>vitii</i>	Nádv.	
<i>Physciella</i>	<i>chloantha</i>	(Ach.) Essl.	
<i>Physconia</i>	<i>distorta</i>	(With.) Laundon	
<i>Physconia</i>	<i>enteroxantha</i>	(Nyl.) Poelt	
<i>Physconia</i>	<i>grisea</i>	(Lam.) Poelt	
<i>Physconia</i>	<i>perisidiosa</i>	(Erichsen) Moberg	
<i>Placopyrenium</i>	<i>fuscillum</i>	(Turner) Gueidan & Cl. Roux	
<i>Placynthiella</i>	<i>dasaea</i>	(Stirt.) Tønberg	
<i>Placynthiella</i>	<i>icmalea</i>	(Ach.) Coppins & P. James	
<i>Placynthium</i>	<i>nigrum</i>	(Huds.) S. Gray	
<i>Platismatia</i>	<i>glauca</i>	(L.) W. L. Culb. & C. F. Culb.	
<i>Pleurosticta</i>	<i>acetabulum</i>	(Necker) Elix & Lumbsch	
<i>Polycoccum</i>	<i>pulvinatum</i>	(Eitner) R. Sant.	X
<i>Polysporina</i>	<i>simplex</i>	(Davies) Vězda	
<i>Polysporina</i>	<i>subfuscescens</i>	(Nyl.) K. Knudsen & Kocourk.	X
<i>Porina</i>	<i>aenea</i>	(Wallr.) Zahlbr.	
<i>Porpidia</i>	<i>soredizodes</i>	(Lamy ex Nyl.) J. R. Laundon	
<i>Pronectria</i>	<i>oligospora</i> var. <i>octospora</i>	Etayo	X
<i>Protoblastenia</i>	<i>rupestris</i>	(Scop.) Steiner	
<i>Protoparmelia</i>	<i>hypotremella</i>	Van Herk, Spier & V. Wirth	
<i>Pseudevernia</i>	<i>furfuracea</i>	(L.) Zopf	
<i>Punctelia</i>	<i>borreri</i>	(Sm.) Krog	

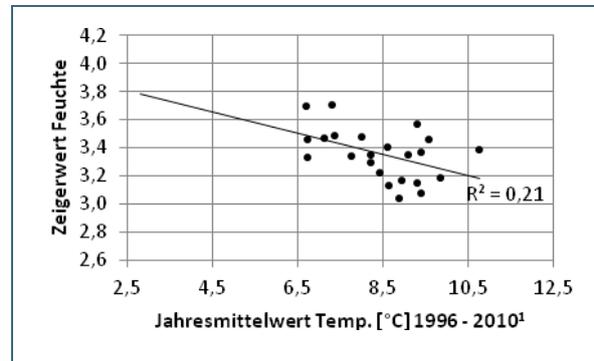
Artname		Autor	licheni-coler Pilz
<i>Punctelia</i>	<i>jeckeri</i>	(Roum.) Kalb	
<i>Punctelia</i>	<i>subrudecta</i>	(Nyl.) Krog	
<i>Pycnora</i>	<i>sorophora</i>	(Vain.) Hafellner	
<i>Pyrenula</i>	<i>nitida</i>	(Weigel) Ach.	
<i>Ramalina</i>	<i>farinacea</i>	(L.) Ach.	
<i>Ramalina</i>	<i>fastigiata</i>	(Pers.) Ach.	
<i>Ramalina</i>	<i>fraxinea</i>	(L.) Ach.	
<i>Ramalina</i>	<i>pollinaria</i>	(Westr.) Ach.	
<i>Rhizocarpon</i>	<i>distinctum</i>	Th. Fr.	
<i>Rhizocarpon</i>	<i>geographicum</i> ssp. <i>geographicum</i>	(L.) DC.	
<i>Rhizocarpon</i>	<i>lecanorinum</i>	Anders	
<i>Rhizocarpon</i>	<i>reductum</i>	Th. Fr.	
<i>Rhizocarpon</i>	<i>umbilicatum</i>	(Ramond) Flagey	
<i>Rinodina</i>	<i>bischoffii</i>	(Hepp) A. Massal.	
<i>Rinodina</i>	<i>calcareae</i>	(Arnold) Arnold	
<i>Rinodina</i>	<i>colobina</i>	(Ach.) Th. Fr.	
<i>Rinodina</i>	<i>efflorescens</i>	Malme	
<i>Rinodina</i>	<i>griseosoralifera</i>	Coppins	
<i>Rinodina</i>	<i>oleae</i>	Bagl.	
<i>Rinodina</i>	<i>pityrea</i>	Ropin & Mayrhofer	
<i>Rinodina</i>	<i>pyrina</i>	(Ach.) Arnold	
<i>Romjularia</i>	<i>lurida</i>	(Ach.) Timdal	
<i>Ropalospora</i>	<i>viridis</i>	(Tønsberg) Tønsberg	
<i>Sarcogyne</i>	<i>privigna</i>	(Ach) A. Massal.	
<i>Sarcogyne</i>	<i>regularis</i>	Körb.	
<i>Schismatomma</i>	<i>decolorans</i>	(Turn. & Borrer ex Sm.) Clauz. & Vězda	
<i>Sclerophora</i>	<i>pallida</i>	(Pers.) Y. J. Yao & Spooner	
<i>Scoliciosporum</i>	<i>chlorococcum</i>	(Graewe ex Stenham.) Vězda	
<i>Scoliciosporum</i>	<i>sarothamni</i>	(Vain.) Vězda	
<i>Scoliciosporum</i>	<i>umbrinum</i>	(Ach.) Arnold	
<i>Sphinctrina</i>	<i>anglica</i>	Nyl.	X
<i>Staurothele</i>	<i>frustulenta</i>	Vain.	
<i>Stigmidium</i>	<i>congestum</i>	(Körb.) Triebel	X
<i>Stigmidium</i>	<i>fuscatae</i>	(Arnold) R. Sant.	X
<i>Strangospora</i>	<i>pinicola</i>	(A. Massal.) Körber	
<i>Syzygospora</i>	<i>physciacearum</i>	Diederich	X
<i>Taeniolella</i>	<i>phaeophysciae</i>	D. Hawksw.	X
<i>Taeniolella</i>	<i>punctata</i>	M. S. Christ. & D. Hawksw.	X
<i>Tephromela</i>	<i>atra</i>	(Huds.) Hafellner	
<i>Thelenella</i>	<i>pertusariella</i>	(Nyl.) Vain.	
<i>Thelidium</i>	<i>papulare</i>	(Fr.) Arnold	
<i>Toninia</i>	<i>aromatica</i>	(Sm.) A. Massal.	
<i>Trapelia</i>	<i>placodioides</i>	Coppins & P. James	
<i>Trapeliopsis</i>	<i>flexuosa</i>	(Fr.) Coppins & P. James	
<i>Tremella</i>	<i>hypogymniae</i>	Diederich & M. S. Christ.	X
<i>Tremella</i>	<i>phaeophysciae</i>	Diederich & M. S. Christ.	X
<i>Trichonectria</i>	<i>anisospora</i>	(Lowen) van den Boom & Diederich	X
<i>Tuckermannopsis</i>	<i>chlorophylla</i>	(Willd.) Hale	
<i>Usnea</i>	<i>dasyoga</i>	(Ach.) Nyl.	
<i>Usnea</i>	<i>hirta</i>	(L.) Weber ex Wigg.	
<i>Usnea</i>	<i>subfloridana</i>	Stirt.	
<i>Usnea</i>	<i>substerilis</i>	Motyka	

Artname		Autor	licheni-coler Pilz
<i>Verrucaria</i>	<i>elaeina</i>	Borrer	
<i>Verrucaria</i>	<i>hochstetteri</i>	Fr.	
<i>Verrucaria</i>	<i>macrostoma</i>	Dufour ex DC.	
<i>Verrucaria</i>	<i>maculiformis</i>	Kremp.	
<i>Verrucaria</i>	<i>muralis</i>	Ach.	
<i>Verrucaria</i>	<i>nigrescens</i>	Pers.	
<i>Verrucaria</i>	<i>spec.</i>		
<i>Verrucaria</i>	<i>tectorum</i>	(A. Massal.) Körb.	
<i>Verrucaria</i>	<i>viridula</i>	(Schrad.) Ach.	
<i>Vouauxiella</i>	<i>lichenicola</i>	(Linds.) Petrak & Sydow	X
<i>Vouauxiomyces</i>	<i>truncatus</i>	(de Lesd.) Dyko & D. Hawksw.	X
<i>Vulpicida</i>	<i>pinastri</i>	(Scop.) J.-E. Mattson & M. J. Lai	
<i>Xanthomendoza</i>	<i>fallax</i>	(Hepp) Søchting et al.	
<i>Xanthomendoza</i>	<i>fulva</i>	(Hoffm.) Søchting et al.	
<i>Xanthomendoza</i>	<i>ulophyllodes</i>	(Räsänen) Søchting et al.	
<i>Xanthoparmelia</i>	<i>conspersa</i>	(Ehrh. ex Ach.) Hale	
<i>Xanthoparmelia</i>	<i>pulla</i>	(Ach.) O. Blanco et al.	
<i>Xanthoparmelia</i>	<i>verruculifera</i>	(Nyl.) O. Blanco et al.	
<i>Xanthoria</i>	<i>calcicola</i>	Oksner	
<i>Xanthoria</i>	<i>candelaria</i>	(L.) Th. Fr.	
<i>Xanthoria</i>	<i>elegans</i>	(Link) Th. Fr.	
<i>Xanthoria</i>	<i>parietina</i>	(L.) Th. Fr.	
<i>Xanthoria</i>	<i>polycarpa</i>	(Hoffm.) Rieber	
<i>Xanthoria</i>	<i>sorediata</i>	(Vain.) Poelt	
<i>Xanthoria</i>	<i>ucrainica</i>	S.Y.Kondr.	
<i>Xanthoriicola</i>	<i>physciae</i>	(Kalchbr.) D. Hawksw.	
<i>Zwackhiomyces</i>	<i>coepulonus</i>	(Norm.) Grube & R. Sant.	X

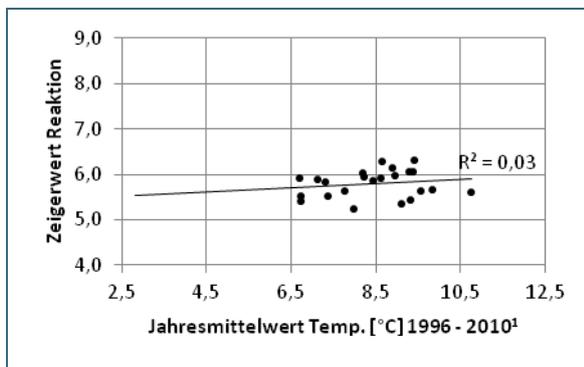
A6: Korrelationsberechnungen: Jahresmitteltemperatur – gewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für „VDI-Bäume“¹



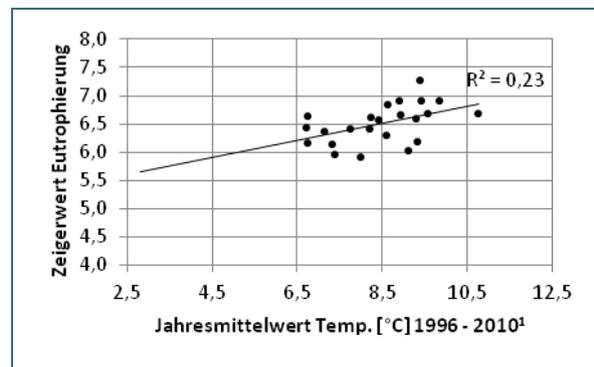
A6-1: Jahresmitteltemp.- gewichteter Flechten-Zeigerwert Temperatur für „VDI-Bäume“



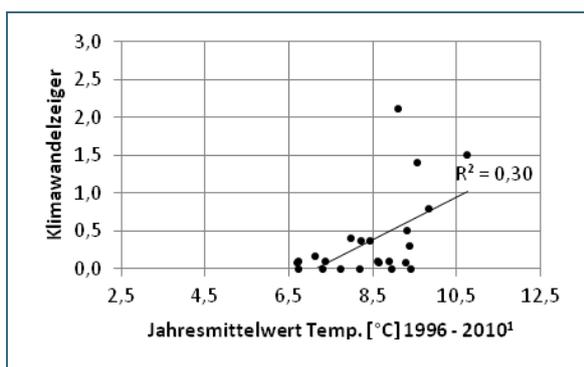
A6-2: Jahresmitteltemp.- gewichteter Flechten-Zeigerwert Feuchte für „VDI-Bäume“



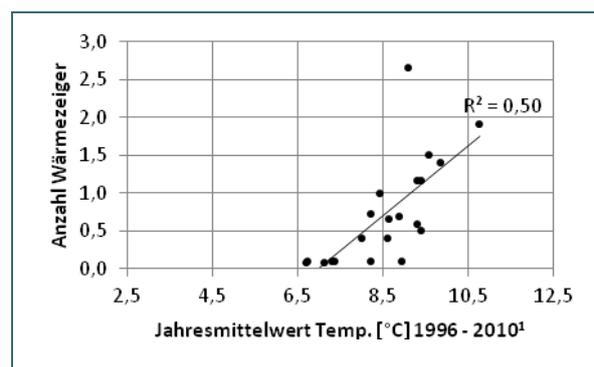
A6-3: Jahresmitteltemp.- gewichteter Flechten-Zeigerwert Reaktion für „VDI-Bäume“



A6-4: Jahresmitteltemp.- gewichteter Flechten-Zeigerwert Eutrophierung für „VDI-Bäume“



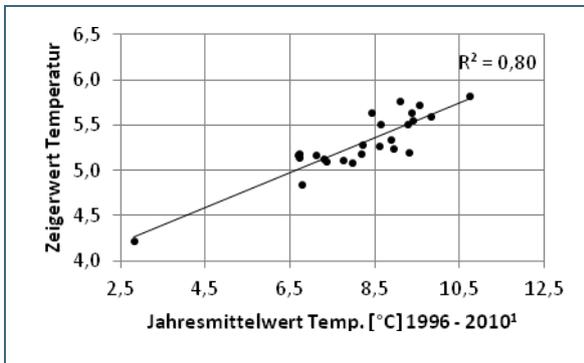
A6-5: Jahresmitteltemp.- gewichtete Anzahl Klimawandelzeiger für „VDI-Bäume“



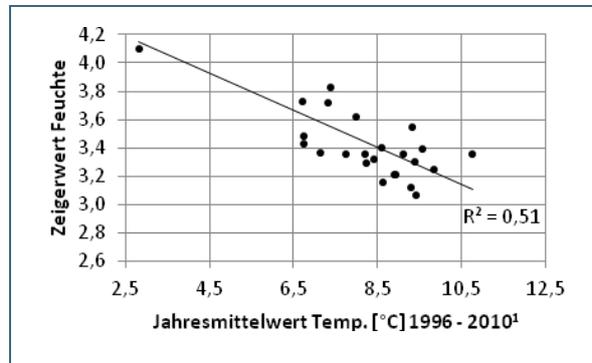
A6-6: Jahresmitteltemp.- gewichtete Anzahl Wärmezeiger für „VDI-Bäume“

¹Klimadaten entsprechend Tab. 9

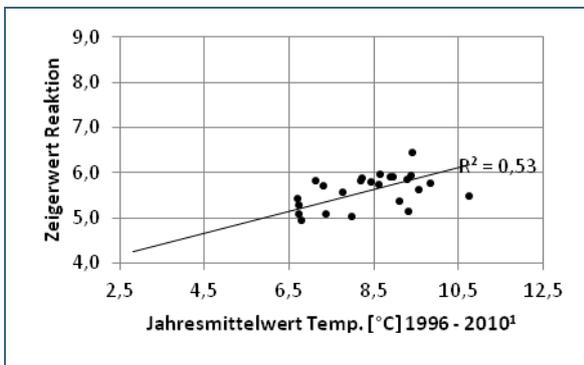
A7: Korrelationsberechnungen: Jahresmitteltemperatur – gewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für „Klimabäume“



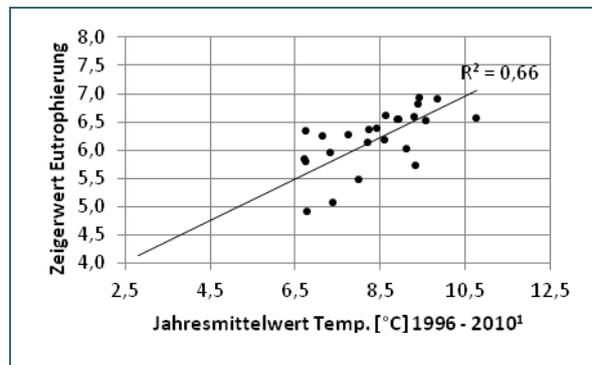
A7-1: Jahresmitteltemp.- gewichteter Flechten-Zeigerwert Temperatur für „Klimabäume“



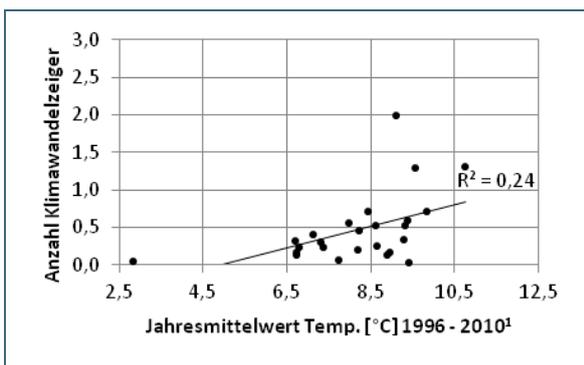
A7-2: Jahresmitteltemp.- gewichteter Flechten-Zeigerwert Feuchte für „Klimabäume“



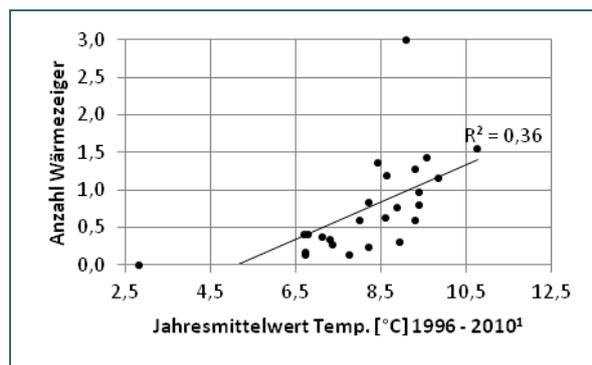
A7-3: Jahresmitteltemp.- gewichteter Flechten-Zeigerwert Reaktion für „Klimabäume“



A7-4: Jahresmitteltemp.- gewichteter Flechten-Zeigerwert Eutrophierung für „Klimabäume“



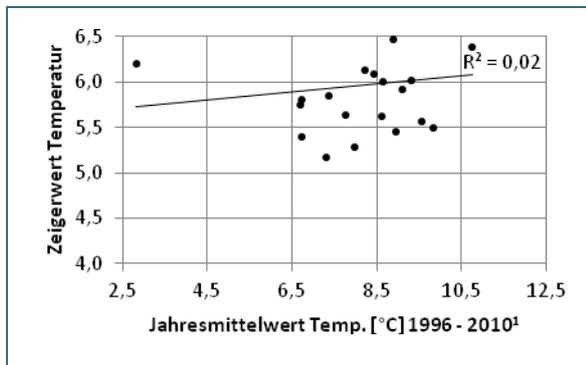
A7-5: Jahresmitteltemp.- gewichtete Anzahl Klimawandelzeiger für „Klimabäume“



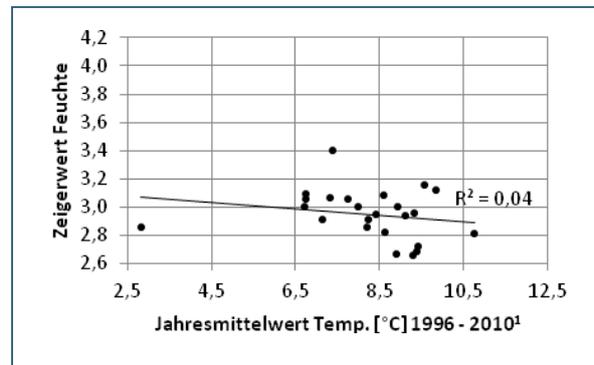
A7-6: Jahresmitteltemp.- gewichtete Anzahl Wärmezeiger für „Klimabäume“

¹Klimadaten entsprechend Tab. 9

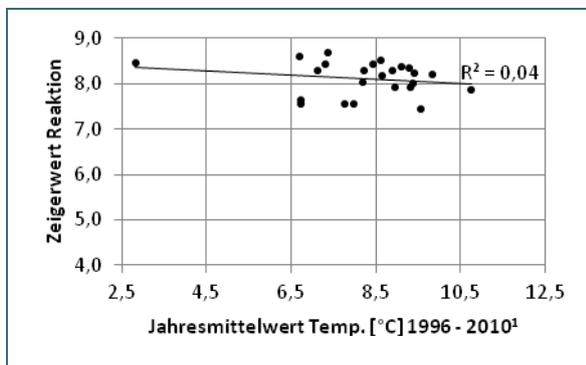
A8: Korrelationsberechnungen: Jahresmitteltemperatur - gewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für Mauern



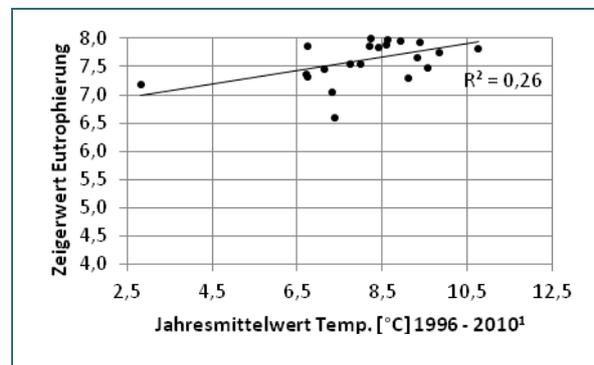
A8-1: Jahresmitteltemp.- gewichteter Flechten-Zeigerwert Temperatur für Mauern



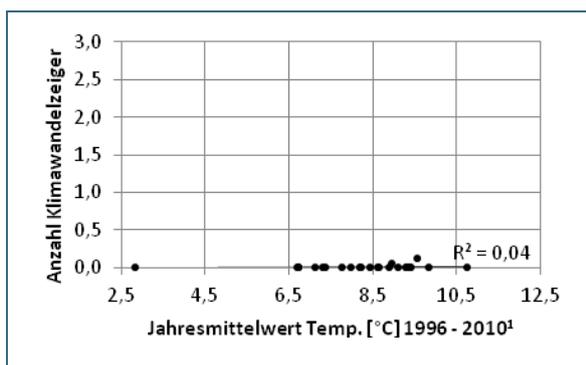
A8-2: Jahresmitteltemp.- gewichteter Flechten-Zeigerwert Feuchte für Mauern



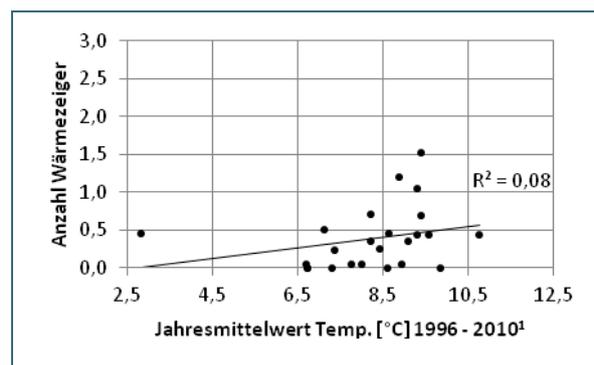
A8-3: Jahresmitteltemp.- gewichteter Flechten-Zeigerwert Reaktion für Mauern



A8-4: Jahresmitteltemp.- gewichteter Flechten-Zeigerwert Eutrophierung für Mauern



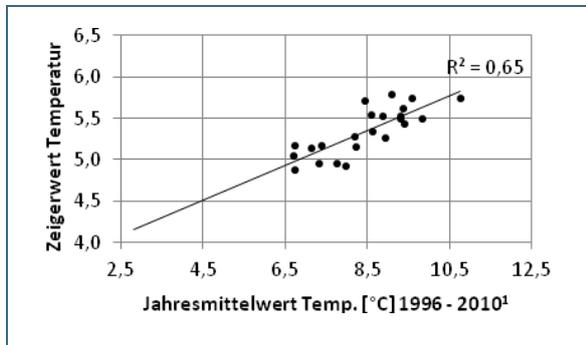
A8-5: Jahresmitteltemp.- gewichtete Anzahl Klimawandelzeiger für Mauern



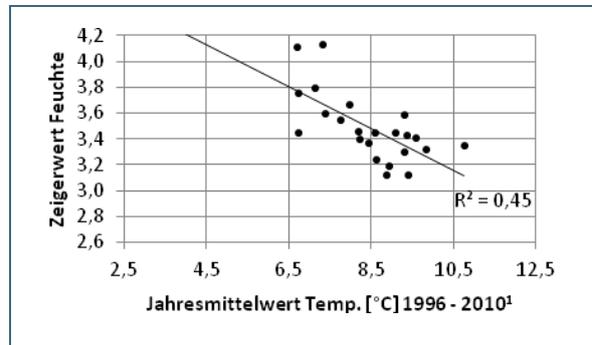
A8-6: Jahresmitteltemp.- gewichtete Anzahl Wärmezeiger für Mauern

¹Klimadaten entsprechend Tab. 9

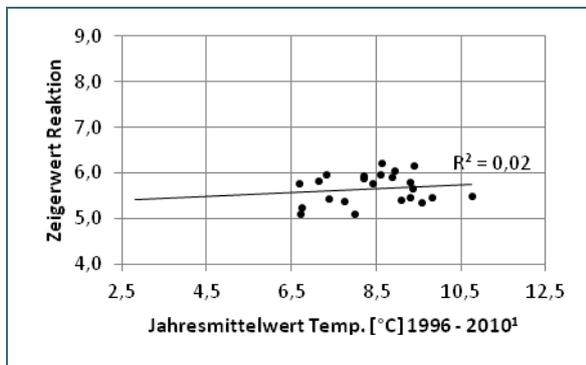
A9: Korrelationsberechnungen: Jahresmitteltemperatur - ungewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für „VDI-Bäume“



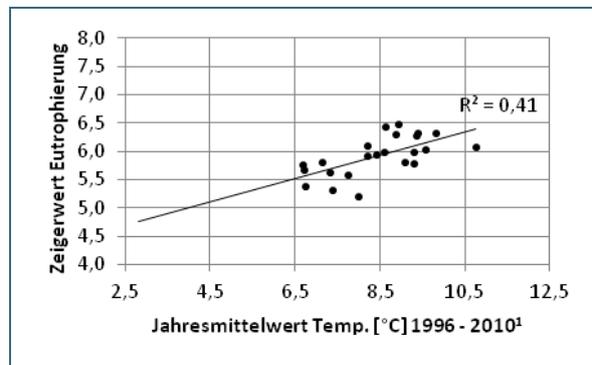
A9-1: Jahresmitteltemp.- ungewichteter Flechten-Zeigerwert Temperatur für „VDI-Bäume“



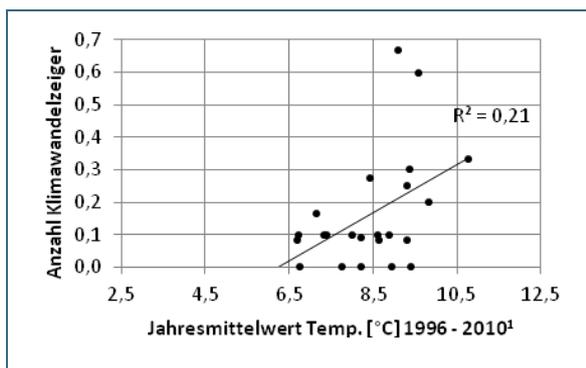
A9-2: Jahresmitteltemp.- ungewichteter Flechten-Zeigerwert Feuchte für „VDI-Bäume“



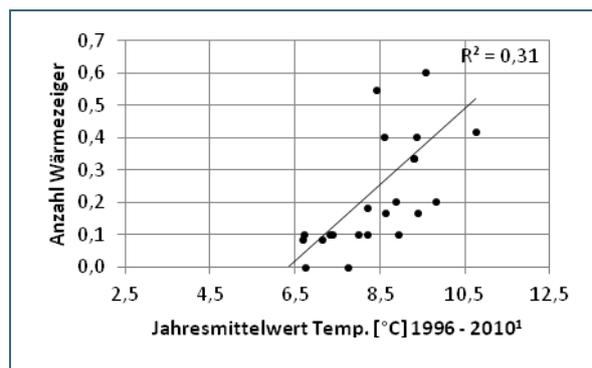
A9-3: Jahresmitteltemp.- ungewichteter Flechten-Zeigerwert Reaktion für „VDI-Bäume“



A9-4: Jahresmitteltemp.- ungewichteter Flechten-Zeigerwert Eutrophierung für „VDI-Bäume“



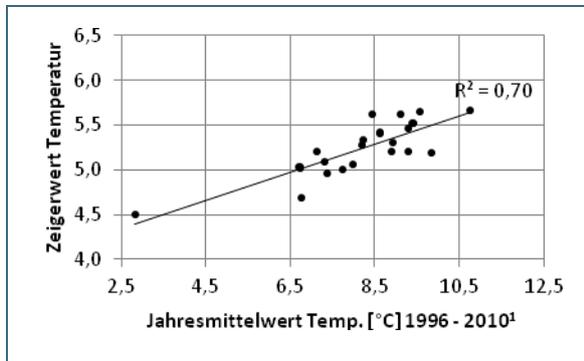
A9-5: Jahresmitteltemp.- ungewichtete Anzahl Klimawandelzeiger für „VDI-Bäume“



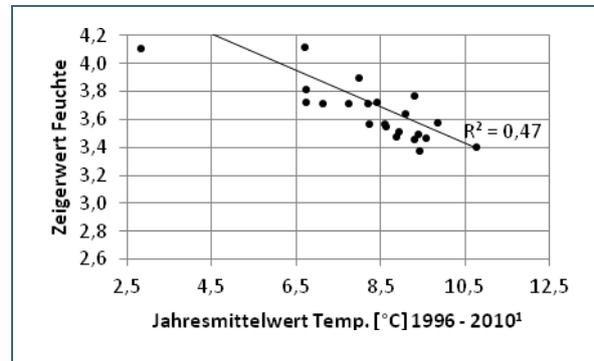
A9-6: Jahresmitteltemp.- ungewichtete Anzahl Wärmezeiger für „VDI-Bäume“

¹Klimadaten entsprechend Tab. 9

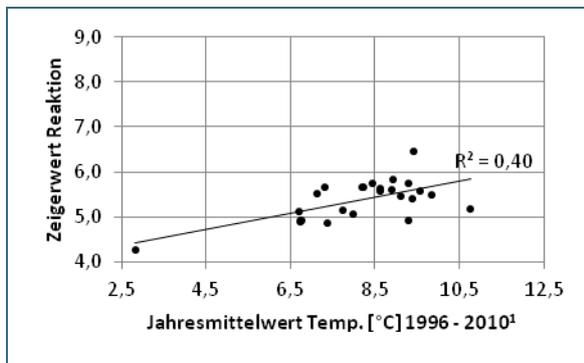
A10: Korrelationsberechnungen: Jahresmitteltemperatur - ungewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für „Klimabäume“



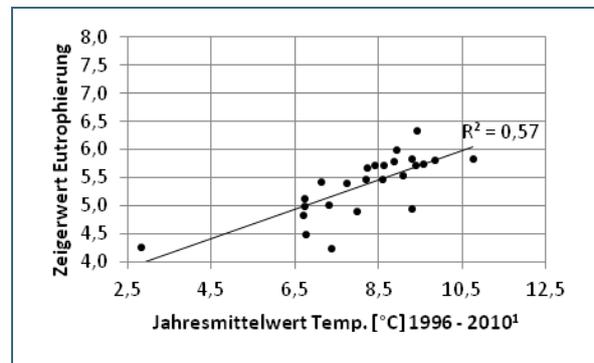
A10-1: Jahresmitteltemp.- ungewichteter Flechten-Zeigerwert Temperatur für „Klimabäume“



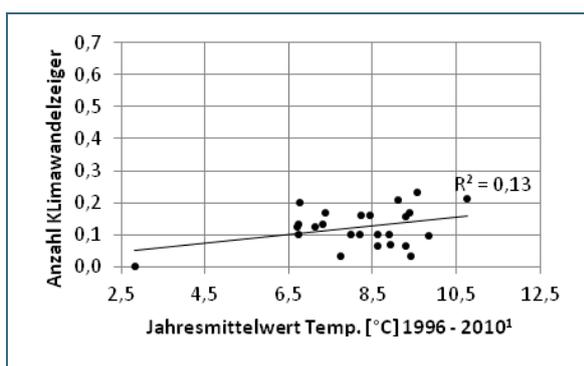
A10-2: Jahresmitteltemp.- ungewichteter Flechten-Zeigerwert Feuchte für „Klimabäume“



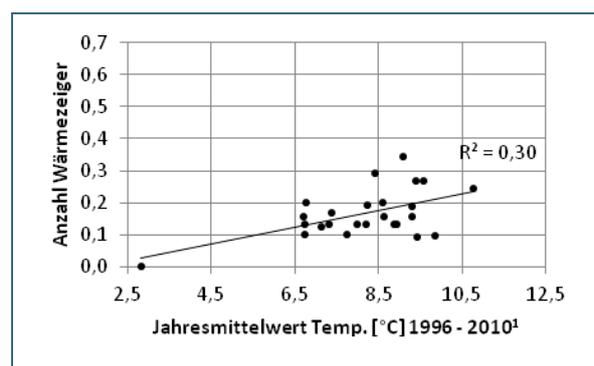
A10-3: Jahresmitteltemp.- ungewichteter Flechten-Zeigerwert Reaktion für „Klimabäume“



A10-4: Jahresmitteltemp.- ungewichteter Flechten-Zeigerwert Eutrophierung für „Klimabäume“



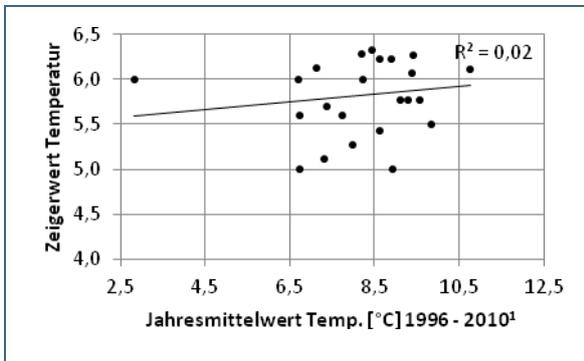
A10-5: Jahresmitteltemp.- ungewichtete Anzahl Klimawandelzeiger für „Klimabäume“



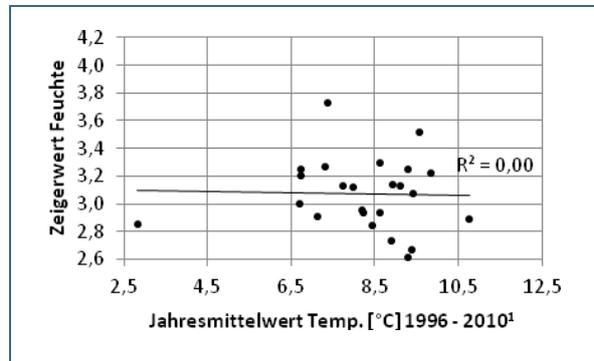
A10-6: Jahresmitteltemp.- ungewichtete Anzahl Wärmezeiger für „Klimabäume“

¹Klimadaten entsprechend Tab. 9

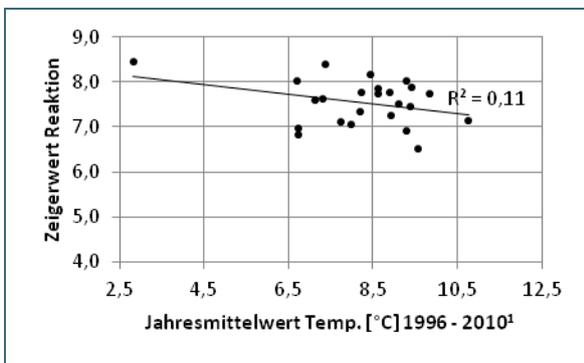
A11: Korrelationsberechnungen: Jahresmitteltemperatur - ungewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für Mauern



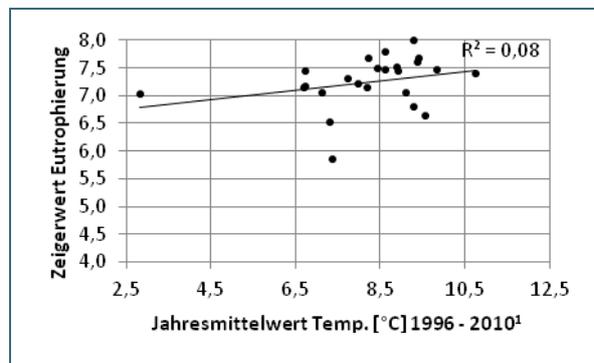
A11-1: Jahresmitteltemp.- ungewichteter Flechten-Zeigerwert Temperatur für Mauern



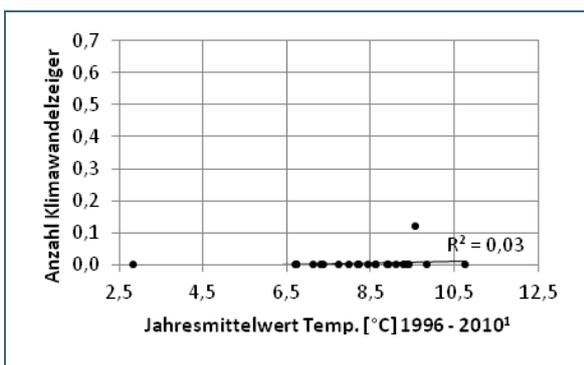
A11-2: Jahresmitteltemp.- ungewichteter Flechten-Zeigerwert Feuchte für Mauern



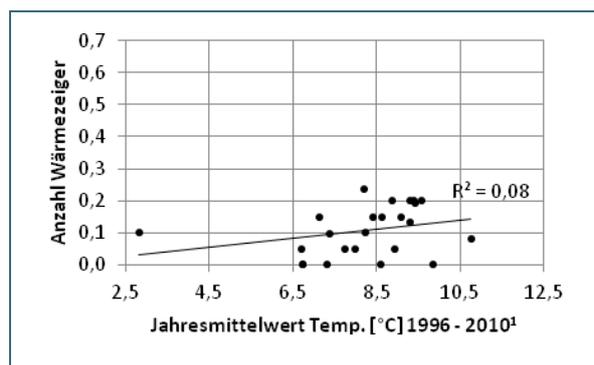
A11-3: Jahresmitteltemp.- ungewichteter Flechten-Zeigerwert Reaktion für Mauern



A11-4: Jahresmitteltemp.- ungewichteter Flechten-Zeigerwert Eutrophierung für Mauern



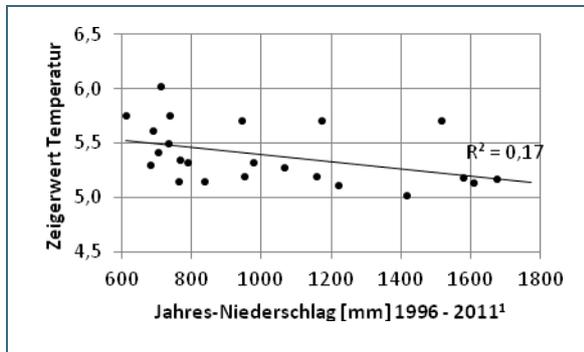
A11-5: Jahresmitteltemp.- ungewichtete Anzahl Klimawandelzeiger für Mauern



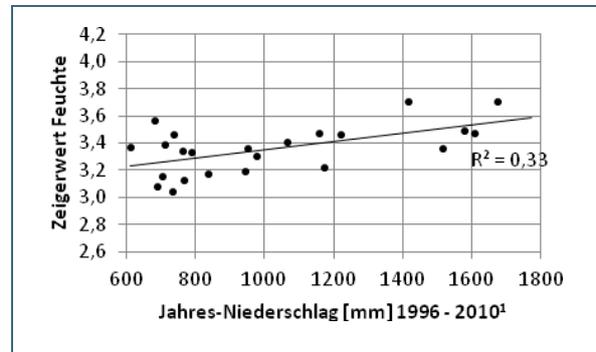
A11-6: Jahresmitteltemp.- ungewichtete Anzahl Wärmezeiger für Mauern

¹Klimadaten entsprechend Tab. 9

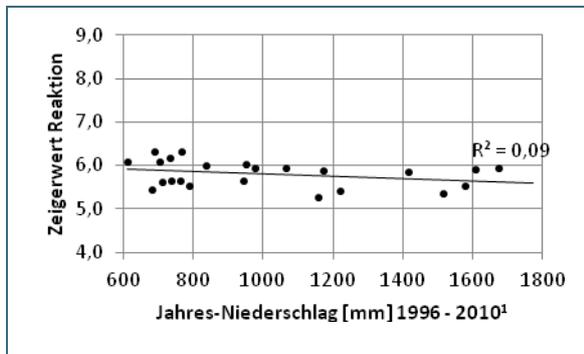
A12: Korrelationsberechnungen: Jahresniederschläge - gewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für „VDI-Bäume“



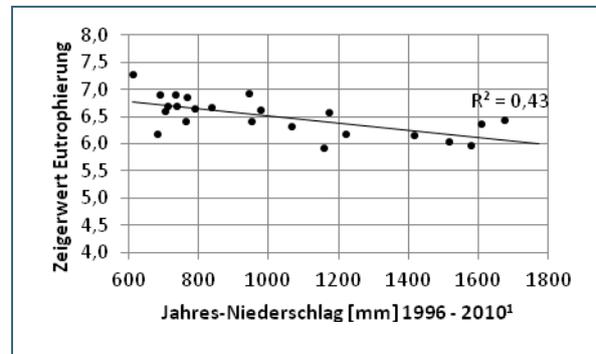
A12-1: Jahresniederschläge - gewichteter Flechten-Zeigerwert Temperatur für „VDI-Bäume“



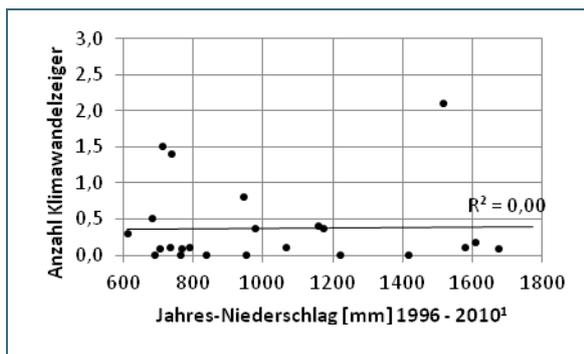
A12-2: Jahresniederschläge - gewichteter Flechten-Zeigerwert Feuchte für „VDI-Bäume“



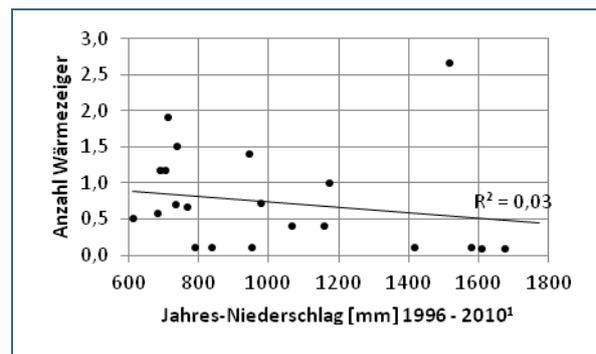
A12-3: Jahresniederschläge - gewichteter Flechten-Zeigerwert Reaktion für „VDI-Bäume“



A12-4: Jahresniederschläge - gewichteter Flechten-Zeigerwert Eutrophierung für „VDI-Bäume“



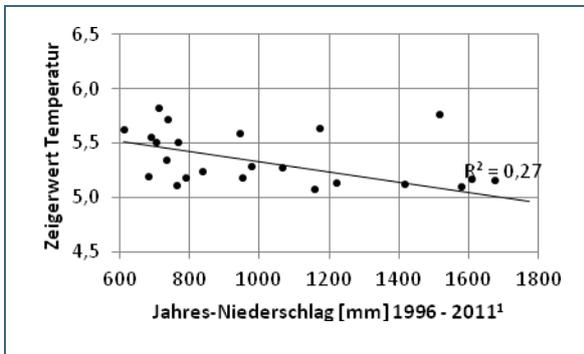
A12-5: Jahresniederschläge - gewichtete Anzahl Klimawandelzeiger für „VDI-Bäume“



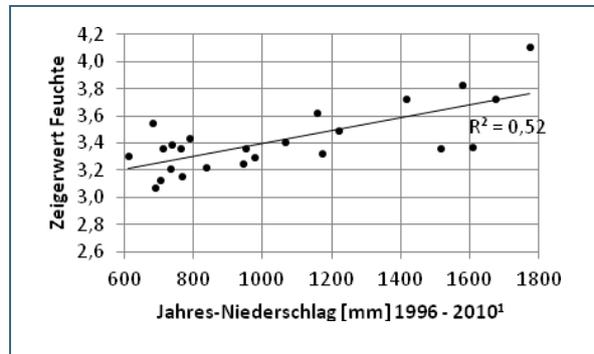
A12-6: Jahresniederschläge - gewichtete Anzahl Wärmezeiger für „VDI-Bäume“

¹Klimadaten entsprechend Tab. 9

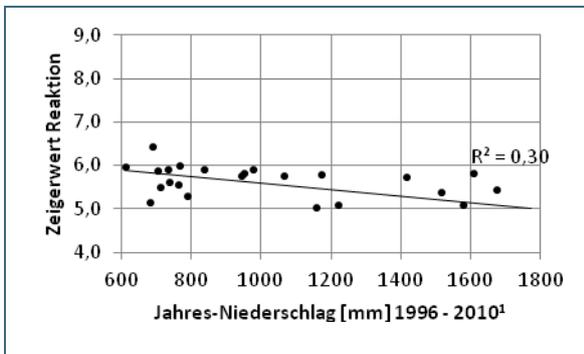
A13: Korrelationsberechnungen: Jahresniederschläge - gewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für „Klimabäume“



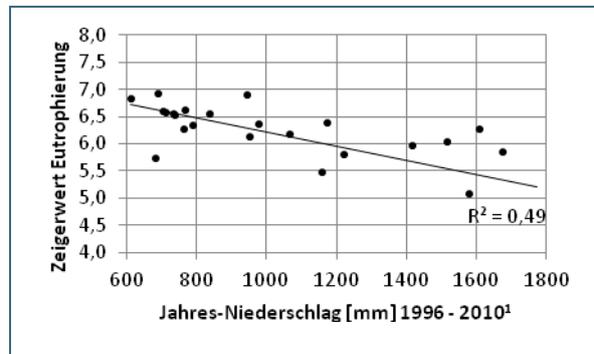
A13-1: Jahresniederschläge - gewichteter Flechten-Zeigerwert Temperatur für „Klimabäume“



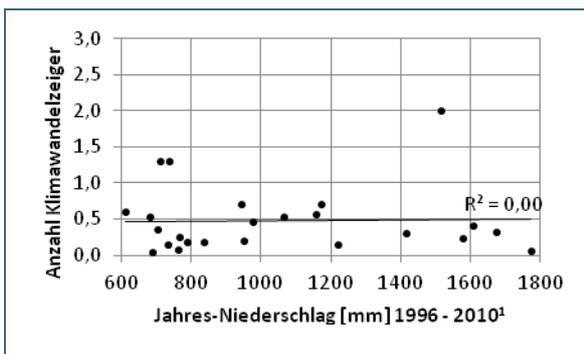
A13-2: Jahresniederschläge - gewichteter Flechten-Zeigerwert Feuchte für „Klimabäume“



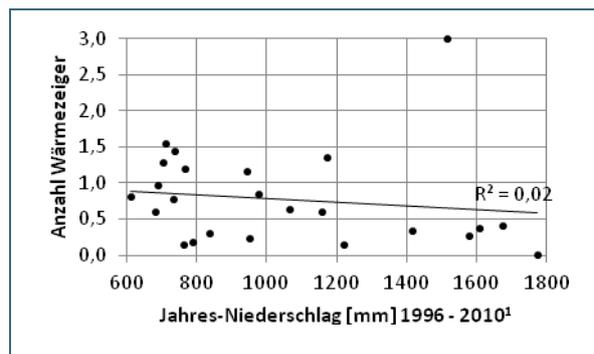
A13-3: Jahresniederschläge - gewichteter Flechten-Zeigerwert Reaktion für „Klimabäume“



A13-4: Jahresniederschläge - gewichteter Flechten-Zeigerwert Eutrophierung für „Klimabäume“



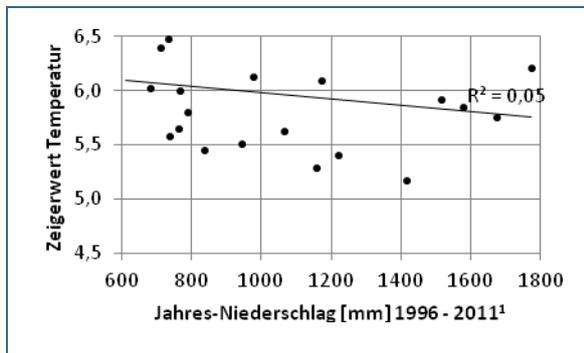
A13-5: Jahresniederschläge - gewichtete Anzahl Klimawandelzeiger für „Klimabäume“



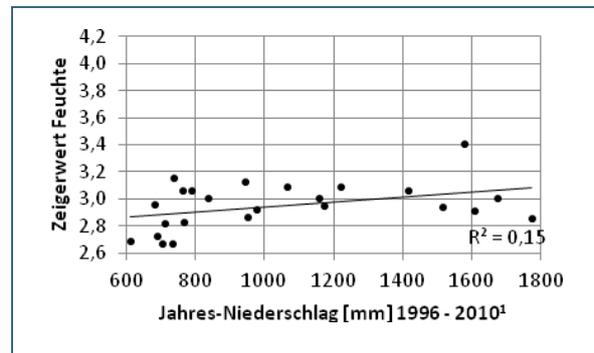
A13-6: Jahresniederschläge - gewichtete Anzahl Wärmezeiger für „Klimabäume“

¹Klimadaten entsprechend Tab. 9

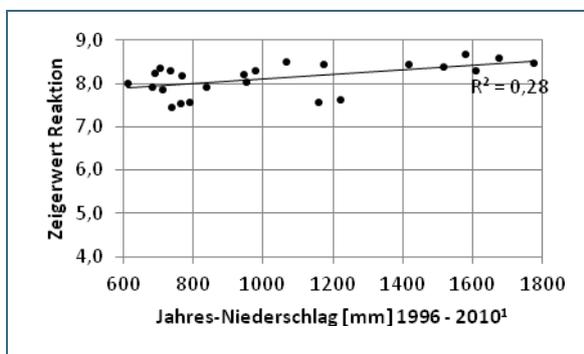
A14: Korrelationsberechnungen: Jahresniederschläge - gewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für Mauern



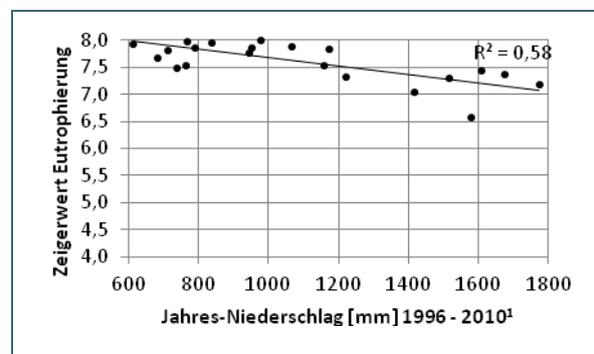
A14-1: Jahresniederschläge - gewichteter Flechten-Zeigerwert Temperatur für Mauern



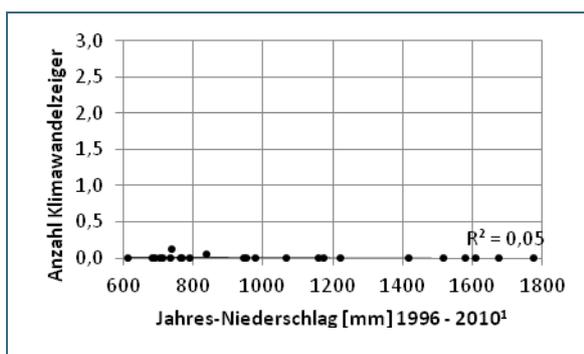
A14-2: Jahresniederschläge - gewichteter Flechten-Zeigerwert Feuchte für Mauern



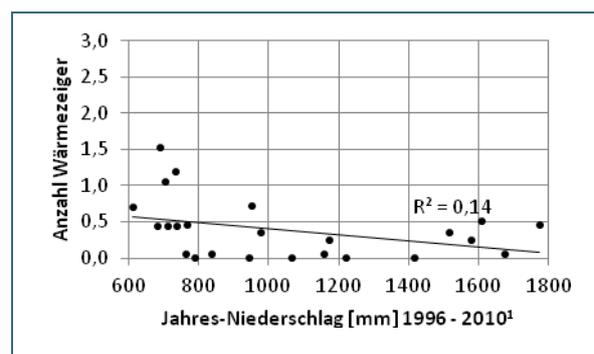
A14-3: Jahresniederschläge - gewichteter Flechten-Zeigerwert Reaktion für Mauern



A14-4: Jahresniederschläge - gewichteter Flechten-Zeigerwert Eutrophierung für Mauern



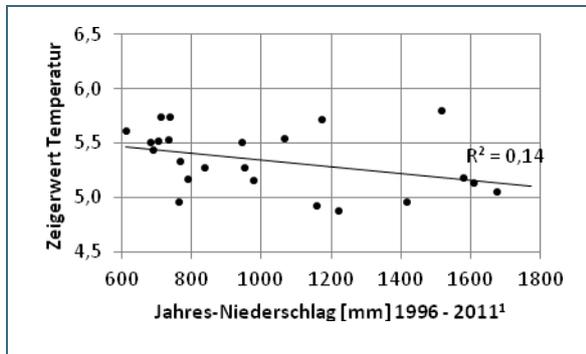
A14-5: Jahresniederschläge - gewichtete Anzahl Klimawandelzeiger für Mauern



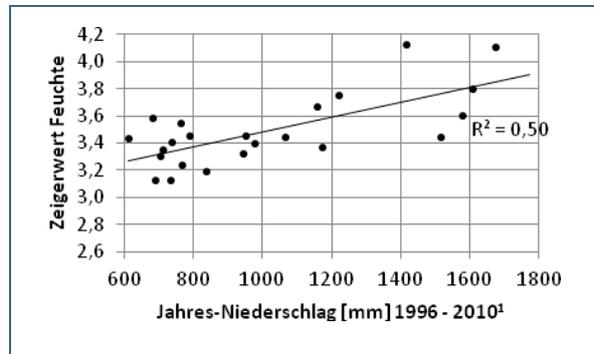
A14-6: Jahresniederschläge - gewichtete Anzahl Wärmezeiger für Mauern

¹Klimadaten entsprechend Tab. 9

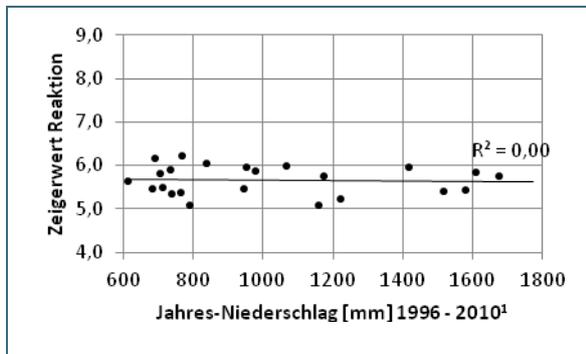
A15: Korrelationsberechnungen: Jahresniederschläge - ungewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für „VDI-Bäume“



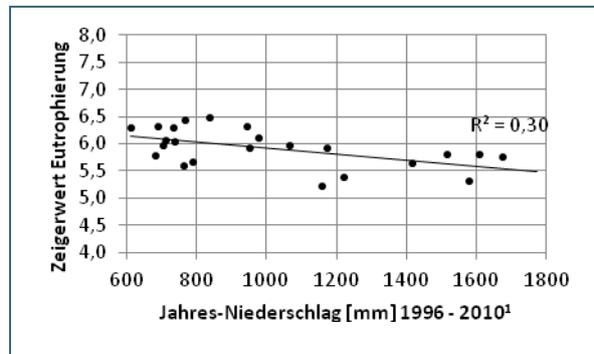
A15-1: Jahresniederschläge - ungewichteter Flechten-Zeigerwert Temperatur für „VDI-Bäume“



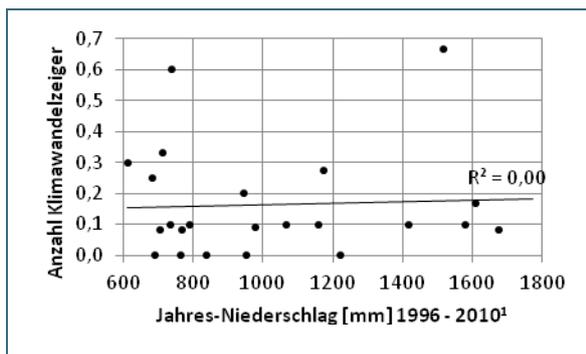
A15-2: Jahresniederschläge - ungewichteter Flechten-Zeigerwert Feuchte für „VDI-Bäume“



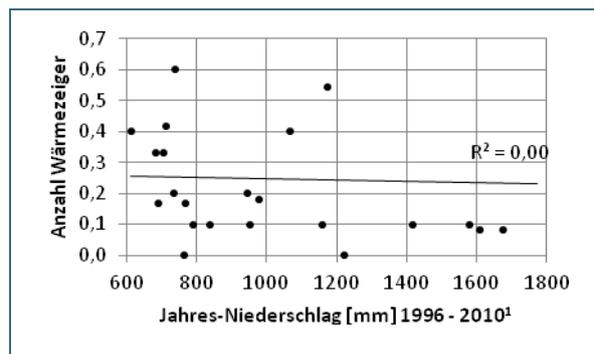
A15-3: Jahresniederschläge - ungewichteter Flechten-Zeigerwert Reaktion für „VDI-Bäume“



A15-4: Jahresniederschläge - ungewichteter Flechten-Zeigerwert Eutrophierung für „VDI-Bäume“



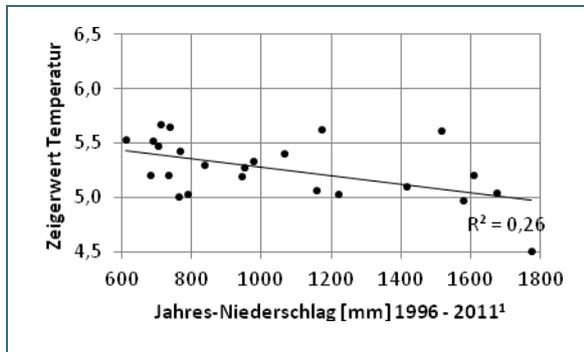
A15-5: Jahresniederschläge - ungewichtete Anzahl Klimawandelzeiger für „VDI-Bäume“



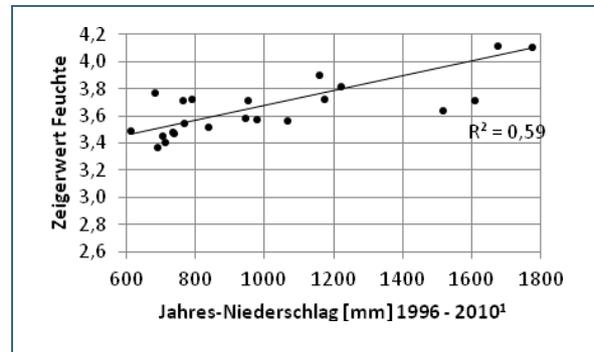
A15-6: Jahresniederschläge - ungewichtete Anzahl Wärmezeiger für „VDI-Bäume“

¹Klimadaten entsprechend Tab. 9

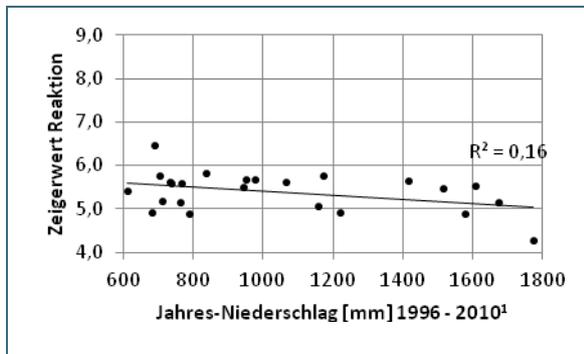
A16: Korrelationsberechnungen: Jahresniederschläge – ungewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für „Klimabäume“¹



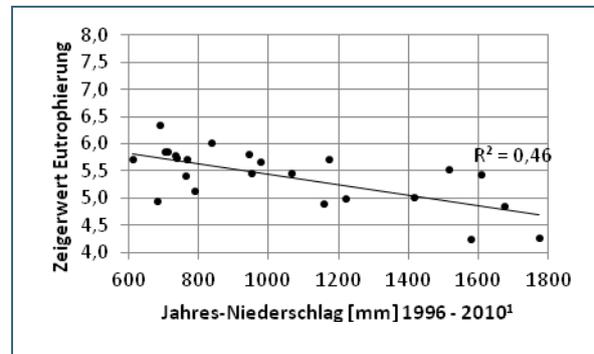
A16-1: Jahresniederschläge - ungewichteter Flechten-Zeigerwert Temperatur für „Klimabäume“



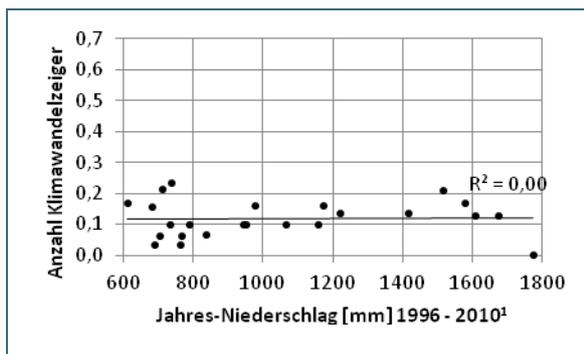
A16-2: Jahresniederschläge - ungewichteter Flechten-Zeigerwert Feuchte für „Klimabäume“



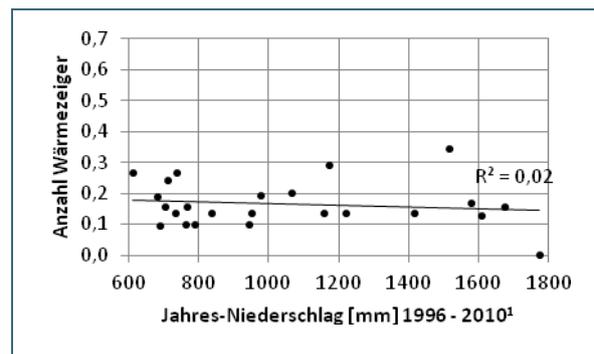
A16-3: Jahresniederschläge - ungewichteter Flechten-Zeigerwert Reaktion für „Klimabäume“



A16-4: Jahresniederschläge - ungewichteter Flechten-Zeigerwert Eutrophierung für „Klimabäume“



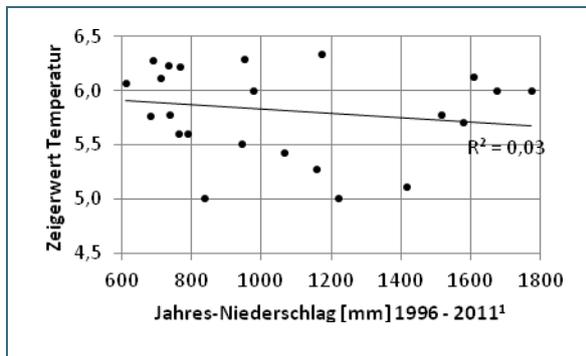
A16-5: Jahresniederschläge - ungewichtete Anzahl Klimawandelzeiger für „Klimabäume“



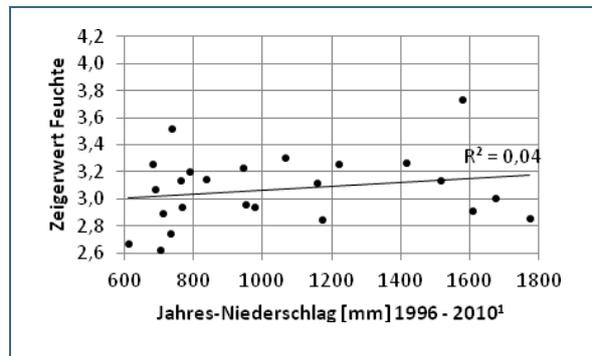
A16-6: Jahresniederschläge - ungewichtete Anzahl Wärmezeiger für „Klimabäume“

¹Klimadaten entsprechend Tab. 9

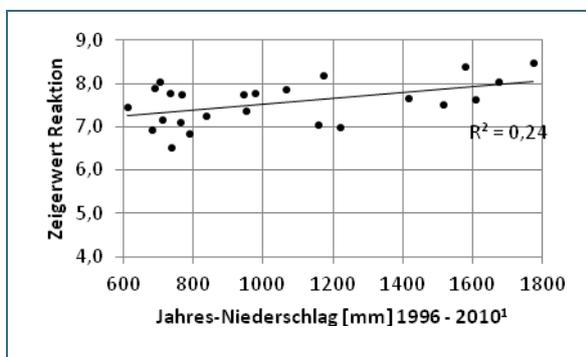
A17: Korrelationsberechnungen: Jahresniederschläge – ungewichtete mittlere Flechten-Zeigerwerte für Mauern



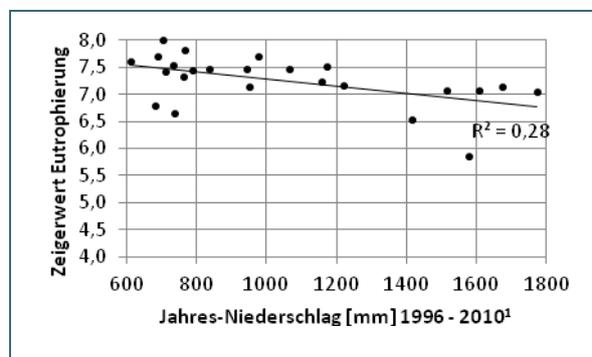
A17-1: Jahresniederschläge - ungewichteter Flechten-Zeigerwert Temperatur für Mauern



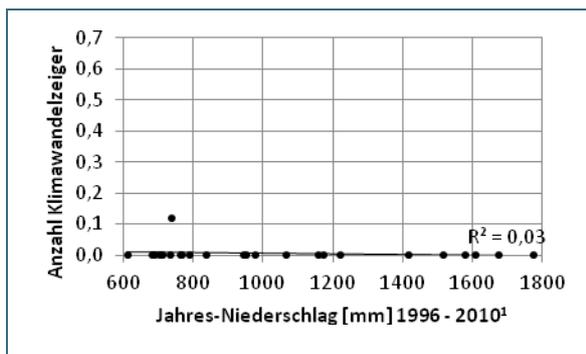
A17-2: Jahresniederschläge - ungewichteter Flechten-Zeigerwert Feuchte für Mauern



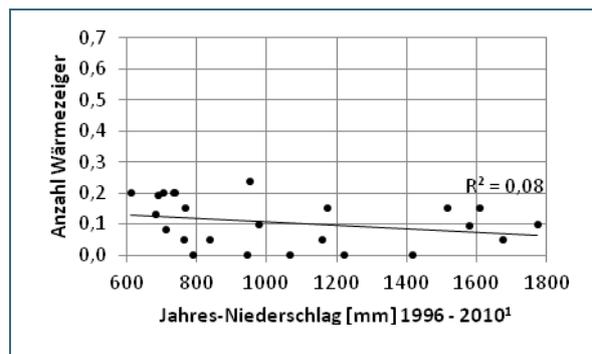
A17-3: Jahresniederschläge - ungewichteter Flechten-Zeigerwert Reaktion für Mauern



A17-4: Jahresniederschläge - ungewichteter Flechten-Zeigerwert Eutrophierung für Mauern



A17-5: Jahresniederschläge - ungewichtete Anzahl Klimawandelzeiger für Mauern



A17-6: Jahresniederschläge - ungewichtete Anzahl Wärmezeiger für Mauern

¹Klimadaten entsprechend Tab. 9

A18: Artenzahl der Wärmezeiger auf „VDI-Bäumen“ an den in den Jahren 1996 und 2011 untersuchten Messflächen

Messfläche	Anzahl der Wärmezeigerarten an „VDI-Bäumen“ 1996	Anzahl der Wärmezeigerarten an „VDI-Bäumen“ 2011
017	0	4
026	0	1
027	2	5
054	0	0
059	1	6
078	1	2
096	1	1
100	0	0
132	3	3
164	2	2
172	1	1
194	0	2
202	1	1
243	2	4
247	2	2
252	3	6
276	0	1
282	0	0
288	2	0
295	2	1
901	1	1
902	1	4

