© Verlag Alexander Just, Dorfbeuern - Salzburg - Brussel; download unter www.biologiezentrum.at

Sauteria 15, 2008 Festschrift zu Ehren von Volkmar WIRTH 159-174

Flechten als Anzeiger des Klimawandels

Lichens as indicators of climate change

Rainer CEZANNE, Marion EICHLER, Ulrich KIRSCHBAUM & Ute WINDISCH

Schlagwörter: Flechten, Bioindikation, Flechtenkartierung, Mauern, Hessen, Deutschland, Klimawandel.

Key words: Lichens, bioindication, lichen mapping, walls, Hesse, Germany, climate change.

Zusammenfassung: Neben anderen Organismen sind auch Flechten Indikatoren für den Klimawandel. An neun klimatisch unterschiedlichen Stationen in Hessen wurden jeweils 30 Mauerabschnitte auf ihren Flechtenbewuchs untersucht. Die Ergebnisse wurden mit Klima-Parametern korreliert. Es zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit des Flechtenvorkommens von klimatischen Faktoren – insbesondere der Temperatur.

Summary: Like other organisms lichens also point out climate change. 30 wall sections each were examined for their lichen vegetation at nine climatically different areas in Hesse. The results were correlated with climate parameters. An explicit correlation between lichen occurrence and climatic factors is manifest, particularly to temperature.

Einführung

Als poikilohydre (wechselfeuchte) Organismen decken die Flechten ihren Wasserbedarf ausschließlich über Niederschläge, Tau oder Nebel. Da sie keine Transpirationsschutzmechanismen besitzen, ist ihre Stoffwechselaktivität und – damit verbunden – ihr Wachstum direkt von der relativen Feuchte der Umgebungsluft abhängig. Diese wiederum wird stark von der aktuellen Temperatur beeinflusst. Somit können Flechten als Indikatoren für Temperatur und Luftfeuchtigkeit verwendet werden (INSAROV et al. 1999; INSAROV & INSAROVA 2002; VAN HERK et al. 2002; PIRINTSOS et al. 2004; APTROOT 2005; ELLIS & COPPINS 2006 und 2007; ELLIS et al. 2007). Basierend auf diesen Erkenntnissen wird beim Verein Deutscher Ingenieure (VDI) z.Z. an der Erstellung einer standardisierten Richtlinie gearbeitet, die Flechten als Bioindikatoren zur Ermittlung und Beur-

teilung der Wirkung des Klimawandels verwendet (VDI 3957, Bl. 20; 2007). Zur Untersuchung werden epiphytische und epilithische Flechten vorgeschlagen, die auf der Basis der Zeigerwerte von WIRTH (2001) als Wärmezeiger einzustufen sind und deren Bestandesentwicklung auf Klimaveränderungen hinweisen kann.

Da es hierfür bisher kaum empirische Daten gibt, wurden in Hessen mit finanzieller Unterstützung des Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG) Voruntersuchungen an Mauern nach den Vorgaben des VDI-Richtlinienentwurfes durchgeführt und in Beziehung zu Klimadaten gestellt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden hier vorgestellt.

Methode

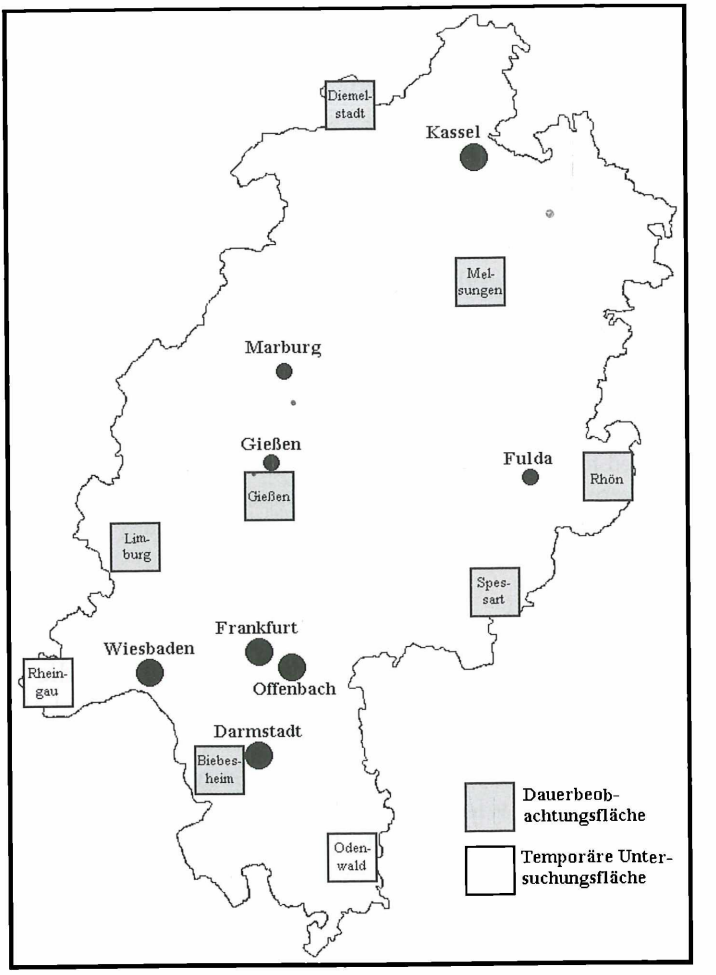

Abb. 1: Lage der hessischen Untersuchungsflächen.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schleswig-Holstein; download unter www.biologiezentrum.at

Über das Bundesland Hessen verteilt wurden in den sieben bereits existierenden Flechtendauerbeobachtungsflächen (KIRSCHBAUM & HANEWALD 1998) und zwei zusätzlich eingerichteten Untersuchungsflächen Mauerabschnitte auf ihren Flechtenbewuchs hin untersucht. Die Lage der Untersuchungsflächen ist aus Abbildung 1 zu ersehen.

Innerhalb der in der Karte dargestellten Untersuchungsflächen wurde der Flechtenbewuchs von jeweils 30 Mauerabschnitten untersucht: Von einem beliebigen Punkt in einer Ortschaft ausgehend – meist wurde am Friedhof begonnen – erfolgte die Auswahl der Mauerabschnitte auf einer Untersuchungsfläche von ca. 1 km². Dabei wurde versucht, möglichst unterschiedliche Mauersubstrate (silikatische Gesteine und Kalksteine, Ziegelsteine, Beton, Mörtel), unterschiedliche Expositionen (N, S, W, O, Horizontal- bzw. Vertikalflächen) und unterschiedliche mikroklimatische Bedingungen (Mauern in Parks, Friedhöfen, Garten- und Stützmauern in jeweils unterschiedlicher Höhe) zu erfassen, um eine möglichst repräsentative Auswahl zu erhalten. Des Weiteren wurde darauf geachtet, dass sowohl junge als auch alte Mauern in die Untersuchung einbezogen wurden. Auf jeweils einer Fläche von 2 m² wurde das Vorhandensein einer Art notiert, ohne quantitative Bewertung (z.B. Schätzung des Deckungsgrades).

Obwohl im Entwurf der Richtlinie lediglich die Erfassung der als Wärmezeiger eingestuften Arten (s. Tab. 1) gefordert ist, wurden hier zunächst alle vorhandenen Arten erfasst. In Tabelle 2 sind die Untersuchungsflächen näher beschrieben.

Tab. 1: Temperaturzahlen (T) der für die Untersuchung relevanten Flechten. Die Zeigerwerte basieren überwiegend auf WIRTH (2001) mit der dort erläuterten Definition der Zeigerwertklassen. Die Liste entstammt dem Entwurf der VDI-Richtlinie 3957, Bl. 20, 2007

Flechtenart	Zeigerwert Temperatur
Caloplaca albolutescens	9
Caloplaca aurantia	9
Caloplaca dalmatica	8
Caloplaca decipiens	8
Caloplaca flavescens	8
Caloplaca teicholyta	9
Caloplaca variabilis	8
Candelariella medians	9
Catillaria minuta	8
Diploicia canescens	7
Dirina stenhammarii	9
Enterographa hutchinsiae	7
Flavoparmelia caperata	7

© Verlag Alexander Just, Dorfbeuern - Salzburg - Brüssel - Vaduz - Wien - Zürich - Bestellung unter www.alexanderjust.at

Flechtenart	Zeigerwert Temperatur
Hyperphyscia adglutinata	9
Hypotrachyna afrorevoluta	6
Hypotrachyna laevigata	7
Lecanora horiza	7
Lobothallia radiosa	7
Physcia dimidiata	7
Physconia grisea	7
Sarcopyrenia gibba	9
Xanthoria fallax	7

Tab. 2: Daten zu den Flechten-Untersuchungsflächen (UF).

Name der UF	Ortsname	mittlere Höhe	Rechtswert	Hochwert
Diemelstadt	Rhoden	290 m	35007	57048
Melsungen	Licherode	310 m	35416	56537
Gießen	Garbenteich	220 m	34825	56001
Rhön	Poppenhausen	450 m	35618	55951
Limburg	Villmar	150 m	34427	55844
Spessart	Marjoß	260 m	35368	55692
Rheingau	Lorch	100 m	34145	55466
Biebesheim	Crumstadt	90 m	34649	55197
Odenwald	Michelstadt-Würzberg	520 m	35058	55019

Für den Vergleich der Flechten-Untersuchungsergebnisse mit der jeweiligen klimatischen Situation lagen keine Daten von nahe gelegenen Klimamessstationen vor. Daher wurden aus den Klima-Karten des Umweltatlasses des HLUG die interpolierten Klimawerte des Zeitraumes 1991–2000 entnommen, soweit diese vorhanden waren (HLUG 2004). Dieser Zeitraum stellt einen akzeptablen Kompromiss dar: Einerseits sollen die Daten möglicht aktuell sein, andererseits ist bekannt, dass das aktuelle Flechtenvorkommen den Verhältnissen der letzten 5–10 Jahre entspricht. Abbildung 2 zeigt die unterschiedliche klimatische Situation der neun hessischen Untersuchungsflächen hinsichtlich ihrer Temperaturen. Während Biebesheim und der Rheingau im südwestlichen Hessen die höchsten Temperaturen aufweisen, sind die Mitteltemperaturen in der Rhön, in Melsungen und in Diemelstadt deutlich geringer. Auf Grund der geringen Höhenunterschiede liegt die maximale Temperaturdifferenz allerdings nur bei 3 °C.

© Verlag Alexander Just, Dornbeuern - Salzburg - Brussel; download unter www.biologiezentrum.at

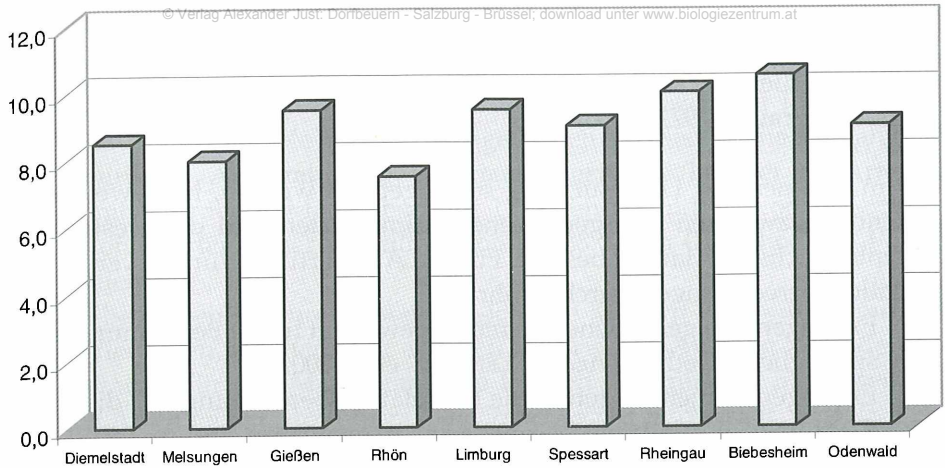

Abb. 2: Mittlere Tagesmitteltemperaturen (°C/Jahr) der Untersuchungsgebiete für den Zeitraum 1991–2000.

Bei den Niederschlägen (Abb. 3) sind die Verhältnisse erwartungsgemäß umgekehrt: Die höchsten Niederschlagsmengen finden sich in den Mittelgebirgsstationen Rhön, Spessart und Odenwald, die geringsten Niederschläge fallen in den Untersuchungsgebieten Biebesheim und Rheingau.

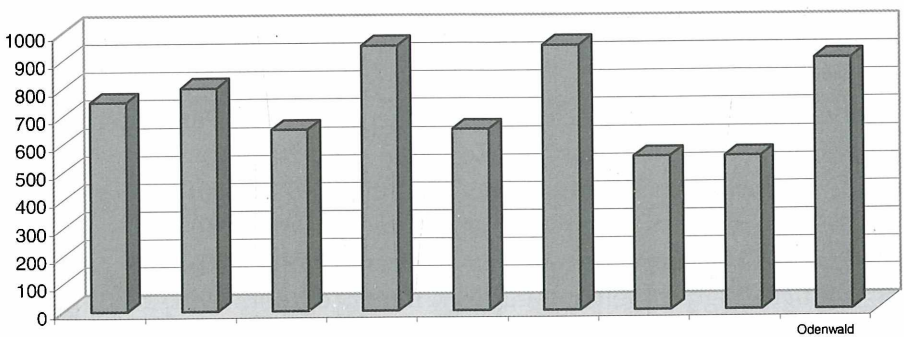

Abb. 3: Mittlere Niederschlagshöhe (mm/Jahr) der Untersuchungsgebiete für den Zeitraum 1991–2000.

Während für die Klimafaktoren Temperatur und Niederschlag die notwendigen Daten vorhanden waren, fehlten sie für die relative Luftfeuchte. Daher wurde in diesem Fall auf die vorliegenden Werte des Dampfdrucks zurückgegriffen (Zeitraum: 1971–2000).

Im Rahmen der Untersuchung sollte geprüft werden, inwieweit ein Zusammenhang zwischen den gemessenen Klimawerten und dem festgestellten Flechtenbewuchs an Mauern besteht. Für die Auswertung wurden verschiedene Korrelationsberechnungen durchgeführt:

1. Es gingen alle gefundenen Arten ungewichtet in die Berechnung ein (ursprüngliche Methode nach ELLENBERG et al. 2001).
2. Es gingen nur jene Arten in die Korrelationsberechnung ein, die im VDI-Richtlinien-Entwurf als Wärmezeiger ausgewiesen sind (s. Tab. 1). Hierbei wurden verschiedene Auswertungsansätze erprobt:
   Summe der vorkommenden Wärmezeiger, gewichtet: Arten mit Zeigerwert 7 gingen mit dem Faktor 1, solche mit Zeigerwert 8 mit dem Faktor 2 und Arten mit Zeigerwert 9 mit dem Faktor 3 in die Berechnung ein.
   Summe der vorkommenden Wärmezeiger, ungewichtet: Alle gefundenen Arten gingen einfach in die Berechnung ein.
   Weil sich während der Erhebungen vor Ort gezeigt hatte, dass *Caloplaca decipiens* an allen Untersuchungsstationen in nahezu gleicher Häufigkeit vorkam, wurde eine Korrelationsberechnung ohne diese Art durchgeführt.
   Lecidella scabra und *Xanthoria calcicola* erschienen bereits während der Geländekartierung als potentielle Kandidaten für die Wärmezeigerliste. Daher wurden sie zunächst mit in die Berechnungen einbezogen und mit folgenden T-Werten versehen: *L. scabra* (T = 8), *X. calcicola* (T = 8).

Die Korrelationsberechnung erfolgte mit folgenden Klima-Parametern:

- Mittlere Niederschlagshöhe (Zeitraum 1991–2000)
  Mittlerer täglicher Dampfdruck (Zeitraum 1971–2000)
  Mittlere Tagesmitteltemperatur (Zeitraum 1981–1990)
  Mittlere Tagesmitteltemperatur (Zeitraum 1991–2000)
  Mittlere Tagesmitteltemperatur; Winter (Zeitraum 1991–2000)
  Mittlere Tagesmitteltemperatur; Frühjahr (Zeitraum 1991–2000)
  Mittlere Tagesmitteltemperatur; Sommer (Zeitraum 1991–2000)
  Mittlere Tagesmitteltemperatur; Herbst (Zeitraum 1991–2000)

Eine Überprüfung der Häufigkeitsverteilung der (kühleren) Nordexpositionen bzw. der (wärmeren) Südexpositionen an den 9 untersuchten Stationen zeigte keine gerichtete Tendenz, so dass ausgeschlossen werden kann, dass diese die Verteilung von Wärmezeigern beeinflusst haben.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Ergebnisse und Diskussion

Auf den 270 Mauerabschnitten der neun hessischen Untersuchungsflächen, deren Flechtenbewuchs erfasst wurde, konnten insgesamt 132 Arten – 123 Flechten und 9 lichenicole Pilze – nachgewiesen werden (siehe Anhang). Die durchschnittliche Artenzahl pro Untersuchungsfläche lag bei 61 Arten. Im Durchschnitt wurden je Mauerabschnitt 17 Arten gefunden, wobei die Spanne von 4 Arten (Gartenmauer in Villmar) bis zu 38 Arten (Friedhof von Poppenhausen) reichte.

Als besonders artenreich stellten sich alte Mauern dar, wie sie insbesondere an Friedhöfen, Kirchen oder anderen historischen Anlagen zu finden sind. Als Zeigerarten für alte Mauerstandorte können – zumindest in Hessen – die folgenden Arten gelten: *Acarospora umbilicata, Bacidia fuscoviridis, Caloplaca flavovirescens, C. luteoalba, Lecania sylvestris, Lecanora pannonica, L. sulphurea, Leptogium plicatile, Ochrolechia parella, Opegrapha mougeotii, Rinodina teichophila, Thelocarpon coccosporum* und *Toninia aromatica*.

Eine Art war bisher aus Hessen noch nicht bekannt. Es handelt sich um den auf Arten der Flechtengattung *Phaeophyscia* wachsenden Pilz *Buelliella physciicola*, der innerhalb Deutschlands bislang nur von WIRTH (1992) in Baden-Württemberg (Neckarland) nachgewiesen wurde.

Betrachtet man die Gesamtzahl der gefundenen Flechtenarten, so zeigt sich, dass die eher kühlen Untersuchungsflächen Rhön, Spessart und Odenwald die meisten Arten aufweisen (Abb. 4).

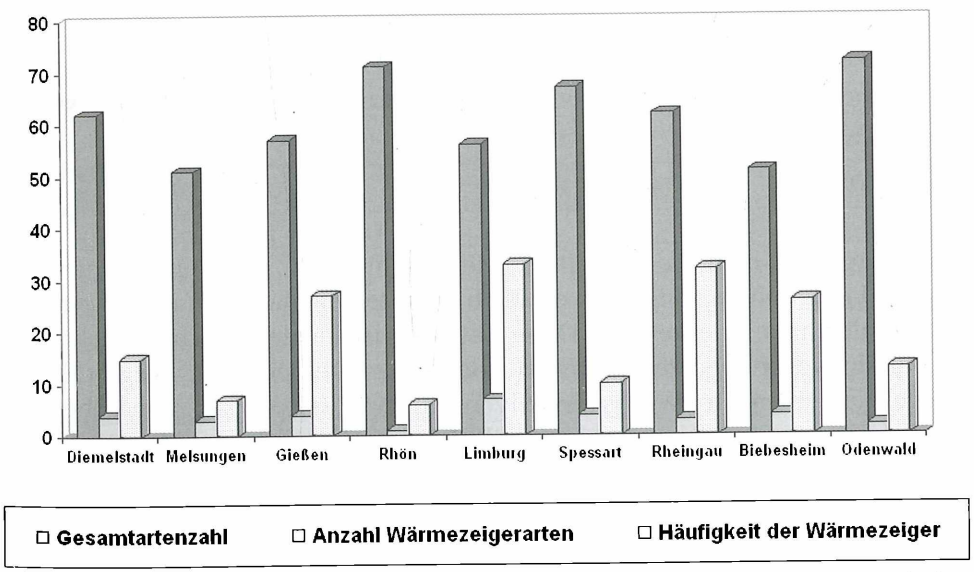

Abb. 4: Gesamtartenzahl, Anzahl von Wärmezeigerarten und deren Häufigkeit an Mauern in den hessischen Untersuchungsflächen.

Ein umgekehrtes Bild ergibt sich jedoch, wenn man unter diesen nur solche Arten auswählt, die als Wärmezeiger gelten (siehe Tab. 1; ohne *Caloplaca decipiens)*: Hier weisen Rhön, Odenwald und Melsungen die geringste Zahl an Wärmezeigern auf. Noch deutlicher wird dieser Trend, wenn man die Häufigkeit des Vorkommens der Wärmezeiger betrachtet: Während sie in der Rhön, in Melsungen und im Spessart nur spärlich zu finden sind, kommen sie in Limburg, im Rheingau und in Biebesheim verstärkt vor. Diese Beobachtungen aus unseren Untersuchungen sind ein erster Hinweis dafür, dass auch epilithische Flechten als Klimazeiger gelten können.

In Tabelle 3 sind die Korrelationsberechnungen zwischen allen gefundenen Flechtenarten und den verschiedenen Klimaparametern wiedergegeben. Dabei zeigt sich, dass in allen Fällen die nach Häufigkeit des Vorkommens gewichteten Werte besser mit den Klimaparametern korrelieren als die ungewichteten. Da dies auch für die übrigen Korrelationsberechnungen gilt, werden weiter unten aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit nur noch die Korrelationen mit den gewichteten Flechtenwerten dargestellt.

Des Weiteren ist zu ersehen, dass die Temperaturmittelwerte des jüngsten Zeitraumes (1991–2000) besser mit den gewichteten Flechtenwerten korrelieren als mit den Temperaturmittelwerten der davor liegenden Dekade (1981–1990).

Tab. 3: Ergebnis der Korrelationsberechnungen zwischen der Gesamtheit der gefundenen Flechten und unterschiedlichen Temperaturparametern.

	Mittlere Tagesmitteltemperatur (°C)					
	Jahr 1981–1990	**Jahr 1991–2000**	**Winter 1991–2000**	**Frühjahr 1991–2000**	**Sommer 1991–2000**	**Herbst 1991–2000**
r (ungewichtet)	0,73	0,66	0,74	0,57	0,52	0,68
r (gewichtet)	0,74	0,76	0,77	0,70	0,68	0,83

Vergleicht man die Korrelation der Flechten mit den Temperaturwerten der vier Jahreszeiten, so ist eine deutlich bessere Beziehung zu den Werten des Winterhalbjahres zu erkennen. Diese Tatsache ist insofern nachvollziehbar, als die poikilohydren Flechten in der wärmeren Sommerzeit öfters wegen Wassermangels in einen stoffwechselinaktiven Zustand (Anabiose) übergehen und demzufolge von den Temperaturverhältnissen im Sommer weniger stark beeinflusst werden als im Winterhalbjahr.

Da bei dem vorliegenden Vergleich alle gefundenen Arten mit in die Berechnung eingingen, bot es sich an, hierbei auch eine Korrelationsberechnung zu den Faktoren Niederschlagshöhe und Dampfdruck vorzunehmen. Das Ergebnis ist in Tabelle 4 wiedergegeben:

© Verlag Alexander Heck, Dr. Thomas Schütz, Postfach 1160, 54311 Trittenheim

Tab. 4: Ergebnis der Korrelationsberechnungen zwischen der Gesamtheit der gefundenen Flechten und verschiedenen Feuchtigkeitsparametern.

	Mittlere Niederschlagshöhe (mm/Jahr) 1991-2000	**Mittlerer täglicher Dampfdruck (hPa) 1971-2000**
r (gewichtet)	0,79	- 0,56

Wie bereits bei den Temperaturwerten festgestellt, besteht auch zwischen der Höhe des Niederschlags und der Artenzusammensetzung an den untersuchten Mauerabschnitten eine offensichtliche Beziehung; r-Werte von fast 0,8 gelten für Freilanderhebungen als außerordentlich hoch. Eine – wenn auch eher schwache – negative Korrelation ergab sich zum Dampfdruck (er beschreibt den Partialdruck des Wasserdampfes und dient zur Beschreibung der Luftfeuchte: Je geringer der Dampfdruck, um so höher die Luftfeuchte; HLUG, 2004). Auch diese Beobachtung ist verständlich. Da Flechten nur im gequollenen Zustand stoffwechselaktiv sind, führt eine Verminderung der Luftfeuchte zu ungünstigeren Existenzmöglichkeiten.

Werden nur die Wärmezeiger aus Tabelle 1 in die Korrelationsberechnungen einbezogen, ergeben sich ebenfalls sehr hohe r-Werte (siehe Tabelle 5; dabei wurden auch *Lecidella scabra* und *Xanthoria calcicola* als potentielle Wärmezeiger mit aufgenommen). Verzichtet man bei der Berechnung auf *Caloplaca decipiens* als vermeintlichen Wärmezeiger, ergibt sich eine bessere Korrelation (höherer r-Wert; siehe Zeile 2).

Die Berechnung bestätigt die bereits bei der Untersuchung vor Ort gemachte Beobachtung, dass *Caloplaca decipiens* bezüglich ihrer Temperaturansprüche ziemlich euryök zu sein scheint; vermutlich reagiert sie eher auf das Nährstoffangebot ihres Wuchsortes als auf höhere Temperaturen (zumindest im Bereich der Temperaturamplitude der hessischen Untersuchungsflächen).

Berechnet man die r-Werte für die Wärmezeiger ohne *Lecidella scabra* (Zeile 3), so werden die Korrelationen zu den Temperaturen schlechter. Dies spricht dafür, die Art in die Liste der Wärmezeiger mit aufzunehmen. Nimmt man *Xanthoria calcicola* heraus (Zeile 4), so ergeben sich bessere Korrelationen als bei Berücksichtigung aller Wärmezeiger, jedoch etwas schlechtere, als wenn man *Caloplaca decipiens* weglässt.

Ein Herausnehmen von *Caloplaca decipiens* und *Lecidella scabra* (Zeile 5) erbringt keine besseren Korrelationen, als wenn man *Caloplaca decipiens* allein weglässt. Werden alle drei fraglichen Arten herausgenommen (Zeile 6), so sind die r-Werte zwar ebenfalls höher, als wenn man alle Arten in die Berechnung einbezieht (Zeile 1). Die besten Korrelationen zwischen den Temperaturwerten und dem Flechtenvorkommen ergeben sich jedoch, wenn man nur die Wärmezeiger ohne *Caloplaca decipiens* und *Xanthoria calcicola* bei der Berechnung berücksichtigt (Zeile 7). Daraus lässt sich schließen, dass diese Arten – zumindest in Hessen – nicht als Wärmezeiger gelten können. Bei Nicht-Berücksichtigung

beider Species ergeben sich für das Winterhalbjahr r-Werte um 0,85; derart enge Beziehungen zwischen zwei Parametern werden bei Korrelationsberechnungen in der Freilandbiologie in der Regel nicht erreicht.

Tab. 5: Korrelationsberechnungen zwischen den wärmezeigenden Flechten (gewichtet) und unterschiedlichen Temperaturparametern.

	Mittlere Tagesmitteltemperatur (°C)					
	Jahr 1981–1990	**Jahr 1991–2000**	**Winter 1991–2000**	**Frühjahr 1991–2000**	**Sommer 1991–2000**	**Herbst 1991–2000**
r (∑ alle Wärmezeiger)	0,75	0,76	0,80	0,75	0,69	0,82
r (∑ Wärmezeiger; ohne *Caloplaca decipiens)*	0,75	0,83	0,82	0,79	0,70	0,86
r (∑ Wärmezeiger; ohne *Lecidella scabra)*	0,71	0,69	0,72	0,69	0,65	0,78
r (∑ Wärmezeiger; ohne *Xanthoria calcicola)*	0,77	0,78	0,80	0,78	0,71	0,82
r (∑ Wärmezeiger; ohne *Caloplaca decipiens* und *Lecidella scabra)*	0,73	0,79	0,77	0,75	0,68	0,85
r (∑ Wärmezeiger; ohne *Caloplaca decipiens, Lecidella scabra, Xanthoria calcicola)*	0,78	0,76	0,77	0,81	0,77	0,81
r (∑ Wärmezeiger; ohne *Caloplaca decipiens* und *Xanthoria calcicola)*	0,76	0,85	0,82	0,82	0,72	0,86

Aus der Tatsache, dass sich die Korrelation von der Periode 1981–1990 zur Periode 1991–2000 von r = 0,76 auf r = 0,85 erhöht, darf man schließen, dass die Wärmezeiger infolge des wärmer (und im Winter feuchter) werdenden Klimas in letzter Zeit verbesserte Existenzbedingungen antreffen.

Fazit

Wie schon von anderen Autoren festgestellt, zeigen Flechten enge Beziehungen zu verschiedenen Klimafaktoren (z.B. Umgebungstemperatur, Niederschlag, Luftfeuchte). Unsere Untersuchungen an Mauern ergaben, dass die zeitaufwändige Erfassung des gesamten Artenspektrums keine besseren Korrelationen zum hier interessierenden Faktor Temperatur erbrachte, als wenn man sich auf eine Auswahl von Arten beschränkt, die als Wärmezeiger gelten können. Unsere Berechnungen haben ergeben, dass die erste Version der Liste der geplanten VDI-Richtlinie (VDI 2007) auch Arten enthält, welche die Anforderungen als Wärmezeiger nicht optimal erfüllen *(Caloplaca decipiens, Xanthoria calcicola).*

Andererseits zeigte sich auch, dass die Liste noch nicht vollständig ist. Arten wie z.B. *Lecidella scabra* ergeben bessere Korrelationen und sollten mit in die Liste aufgenommen werden, sofern sich positive Beziehungen zum Faktor Wärme erkennen lassen. Da unsere Resultate sich nur auf einige ausgewählte hessische Untersuchungsgebiete beschränken, ist nicht auszuschließen, dass sich bei Erhebungen in anderen Gebieten Mitteleuropas das Spektrum geeigneter (oder auch weniger geeigneter) Arten noch verändern könnte. Um diese Frage abschließend klären zu können, sollten daher zunächst bei weiteren Voruntersuchungen alle vorkommenden Arten aufgenommen werden.

Ob aus der Gesamtfundliste dem hier vorgestellten Wärme-Index ein kontrastierender Kälte-Index gegenüber gestellt werden könnte, war nicht Gegenstand des Forschungsprojektes; der Gedanke sollte jedoch verfolgt werden.

Eine gewisse Problematik ergibt sich aus der Tatsache, dass zur Korrelationsberechnung in Hessen nur relativ wenige Arten zur Verfügung standen: Aus der Gesamtliste der Wärmezeiger (Tab. 1) wurden an den hessischen Untersuchungsstationen lediglich 9 Arten gefunden (sofern man – wie vorgeschlagen – *Caloplaca decipiens* und *Xanthoria calcicola* nicht berücksichtigt). Drei der als Wärmezeiger angesehenen Arten *(Caloplaca aurantia, C. flavescens, Lobothallia radiosa)* wurden lediglich an einer Station (Limburg) beobachtet. Jene Arten wachsen bevorzugt auf Kalkgestein, das in Hessen vielerorts als natürlicher Baustoff für Mauern in Ortsnähe nicht zur Verfügung stand und daher auch nur selten verwendet wurde. In Villmar befindet sich am rechten Ufer der Lahn ein noch in Betrieb befindlicher Kalksteinbruch, dessen Kalkstäube die Ansiedlung der drei genannten Arten – ungeachtet klimatischer Einflüsse – gefördert haben dürfte. *Catillaria minuta, Hypotrachyna laevigata* und *Lecanora horiza* aus Tabelle 1 sind aus Hessen nicht bekannt oder gelten als verschollen. Arten wie *Enterographa hutchinsiae, Hyperphyscia adglutinata* oder *Hypotrachyna afrorevoluta* finden sich nach derzeitigem Kenntnisstand in Hessen nicht an Mauern. Hierdurch schränkt sich die Liste der in Hessen für entsprechende Untersuchungen potentiell in Frage kommenden Arten deutlich ein.

Literatur

APTROOT, A., 2005: Lichens and global warming. – Brit. Lich. Soc. Bulletin **96**: 14–16.

ELLIS, C.J. & COPPINS, B.J., 2006: Contrasting functional traits maintain lichen epiphyte diversity in response to climate and autogenic succession. – Journal of Biogeography **33**: 1643–1656.

ELLIS, C.J. & COPPINS, B.J., 2007: Changing climat and historic-woodland structure interact to control species diversity of the "Lobarion" epiphyte community in Scotland. – Journal of vegetation science **18**: 725–734.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at

ELLIS, C.J., COPPINS, B.J. & DAWSON, T.P., 2007: Predicted response of the lichen epiphyte *Lecanora populicola* to climate change scenarios in a clean-air region of northern Britain. – Biological Conservation **135**: 396–404.

HLUG - HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, 2004: Umweltatlas Hessen. CD, Stand 2004.

INSAROV, G., SEMENOV, S. & INSAROVA, I., 1999: A system to monitor climate change with epilithic lichens. – Environmental Monitoring and Assessment **55**: 279–289.

INSAROV, G. & INSAROVA, I., 2002: Long term monitoring of the response of lichen communities to climate change in the Central Negev Highlands (Israel). – Biblioth. Lichenol. **82**: 209–220.

KIRSCHBAUM, U. & HANEWALD, K., 1998: Immissionsbezogene Flechtenkartierung in hessischen Dauerbeobachtungsflächen. – Angew. Bot. **72**: 212–227

PIRINTSOS, S.A., SIPMAN, H., INSAROV, G., INSAROVA, I. & LOPPI, S., 2004: Lichens and climate change in eastern mediterranean region; a step towards a standardized method. – Postervortrag auf dem 5. IAL-Symposium, Tartu (2004).

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**: 141–154.

VDI-Richtlinie 3957, Blatt 20, 2007: Kartierung von Flechten zur Indikation von lokalen Klimaverschiebungen. – Vorentwurf, Düsseldorf.

WIRTH, V., 1992: Neufunde von Flechten und flechtenbewohnenden Pilzen in Südwest-Deutschland und benachbarten Regionen. – Jh. Ges. Naturkde. Württemberg **147**: 213–227

WIRTH, V., 2001: Zeigerwerte von Flechten. In: ELLENBERG, H. (Hrsg.), Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. – Scripta Geobotanica **XVIII**: 221–243. Göttingen: Goltze.

WIRTH, V VON BRACKEL, W., DE BRUYN, U., CEZANNE, R., DÜRHAMMER, O., FEUERER, T., HAUCK, M., LITTERSKI, B., OTTE, V., SCHIEFELBEIN, U., SCHOLZ P., SCHULTZ, M., 2008: Checklist of lichens and lichenicolous fungi of Germany. Version 1 February 2008. – http://www.checklists.de

Adressen:

Rainer CEZANNE & Marion EICHLER
Kaupstr. 43
D-64289 Darmstadt
E-Mail: eichler-cezanne@t-online.de

© Verlag Alexander Just: Download unter www.biologiezentrum.at

Ulrich KIRSCHBAUM
FH Gießen Friedberg
Wiesenstr. 14
D-35390 Gießen
E-Mail: ulrich.kirschbaum@tg.fh-giessen.de

Ute WINDISCH
FH Gießen Friedberg
Wiesenstr. 14
D-35390 Gießen
E-Mail: ute.windisch@tg.fh-giessen.de

Anlage 1: Gefundene Flechtenarten und lichenicole Pilze in den hessischen Untersuchungsflächen (die Werte hinter den Arten geben die Anzahl der Funde pro Station mit jeweils 30 untersuchten Mauerabschnitten wieder); die Nomenklatur folgt WIRTH et al., 2008.

Untersuchungsflächen:	**Diemelstadt**	**Melsungen**	**Gießen**	**Rhön**	**Limburg**	**Spessart**	**Rheingau**	**Biebesheim**	**Odenwald**
Acarospora fuscata		4	2	5		2	5	4	12
Acarospora nitrophila		1	1	2		1	3		2
Acarospora umbilicata						1			2
Agonimia tristicula			1	1	1				
Amandinea punctata		5	1		1	1	5	3	5
Arthonia apotheciorum			1				1		1
Arthonia galactinaria									3
Arthonia phaeophysciae			1						
Aspicilia caesiocinerea			1	1		1			
Aspicilia calcarea					1				
Aspicilia contorta	4	5	15	15	11	14	8	10	3
Aspicilia moenium	2	5	2	1	2	4	5	1	2
Bacidia fuscoviridis						1			
Bacidina arnoldiana						2			
Bacidina delicata	1	3	2			2		4	
Buellia aethalea		1					3		1
Buelliella physciicola				1					
Caloplaca albolutescens	4				3	1	10	5	
Caloplaca aurantia					2				
Caloplaca chlorina	6	8	11	7	1	8		4	3
Caloplaca citrina	28	26	26	18	22	27	21	18	16
Caloplaca crenulatella	17	12	15	15	16	18	15	7	15

© Verlag Alexander Ortner, Bad Feilnbach - Salzburg - Brussel; download unter www.biologiezentrum.at

Untersuchungsflächen:	Diemel-stadt	Mel-sungen	Gießen	Rhön	Lim-burg	Spes-sart	Rhein-gau	Biebes-heim	Oden-wald
Caloplaca dalmatica	2	3	14		1	2			2
Caloplaca decipiens	21	16	7	22	16	19	13	18	21
Caloplaca flavescens					3				
Caloplaca flavocitrina	9	14	18	16	17	26	11	18	11
Caloplaca flavovirescens					2				
Caloplaca holocarpa									1
Caloplaca lithophila	11	16	18	5	14	15	1	12	10
Caloplaca luteoalba	1					1			
Caloplaca saxicola	4	3	4	4	12	7	8	5	1
Caloplaca teicholyta	4	2	4	6	21	4	20	18	11
Candelariella aurella	16	16	19	24	16	14	13	15	21
Candelariella medians								2	
Candelariella vitellina	7	7	11	1	3	8	12	9	19
Carbonea vitellinaria			1						
Catillaria chalybeia		1		4	1	2	4		3
Cladonia monomorpha									1
Cladonia pyxidata s.l.				1					2
Collema crispum					1		1		
Collema tenax	1				1				
Diploschistes muscorum							1		
Diploschistes scruposus	1						1		
Diplotomma alboatrum	1	1	6		6	3	1	1	2
Diplotomma porphyricum					1				
Endocarpon pusillum					1				
Endococcus rugulosus					1				
Lecania erysibe s.str.	17	1	7	7	1	11	1		4
Lecania inundata	5	3	1		17	6	11	8	
Lecania spec.				1	2			4	
Lecania sylvestris	1								
Lecanora albescens	29	24	28	22	28	24	2	17	22
Lecanora campestris	5	3		4		3	2	1	10
Lecanora crenulata	1								
Lecanora dispersa s.l.	26	28	3	24	23	29	28	27	28
Lecanora cf. *dispersella*	3				5	2	2		
Lecanora expallens								1	
Lecanora muralis ssp. *muralis*	9	8	18	16	8	13	13	17	17
Lecanora orosthea									1
Lecanora pannonica	1	2							

© Verlag Alexander Ingo Weber, Saarburg - Brussel; download unter www.biologiezentrum.at

Untersuchungsflächen:	Diemel-stadt	Mel-sungen	Gießen	Rhön	Lim-burg	Spes-sart	Rhein-gau	Biebes-heim	Oden-wald
Lecanora polytropa		1	6	3		3	5	2	12
Lecanora rupicola			1	3		1			
Lecanora sulphurea				1					
Lecidea fuscoatra s.l.	2		4	5		3	3	2	11
Lecidella carpathica	2		4	3	2		3	1	3
Lecidella scabra	5	2	8			3		1	
Lecidella stigmatea	16	18	16	22	13	16	9	14	19
Lepraria caesioalba									1
Lepraria incana	2					1			
Lepraria membranacea							1		1
Lepraria vouauxii	11	6	2	7	3	6	11	1	5
Leptogium plicatile			2		2		4		
Lobothallia radiosa					2				
Melanelixia fuliginosa ssp. *fuliginosa*		1		1					3
Melanelixia fuliginosa ssp. *glabratula*									1
Muellerella lichenicola									1
Mycobilimbia sabuletorum	4			2			1		1
Ochrolechia parella	1			1					1
Opegrapha mougeotii	1								
Parmelia saxatilis				1					4
Parmelia sulcata			1			1			1
Parmelina tiliacea									1
Pertusaria albescens				1					1
Pertusaria coccodes				1					
Pertusaria pertusa var. *rupestris*	1								
Pertusaria spec.				1					
Phaeophyscia nigricans	6	3	7	6	8	4	7	4	7
Phaeophyscia orbicularis	13	22	15	17	1	16	8	12	10
Phlyctis argena	1								
Physcia adscendens	1	5		3		4	4	1	
Physcia caesia	6	1	5	2		1	5	1	8
Physcia dubia	3		1	4	1	5	2		7
Physcia tenella	1	7	2	3	1	5	1	5	1
Physconia grisea			1		1		2		
Placynthium nigrum									1
Polysporina lapponica		1		1		1	3	1	4
Porpidia soredizodes			2	2		3	1	1	2

© Verlag Alexander Ulrich, D-Gießen · Salzburg · Brüssel, download unter www.biologiezentrum.at

Untersuchungsflächen:	Diemel-stadt	Mel-sungen	Gießen	Rhön	Lim-burg	Spes-sart	Rhein-gau	Biebes-heim	Oden-wald
Porpidia tuberculosa	1	1		1					5
Protoblastenia rupestris	1			3	2	2			1
Psilolechia lucida						1			
Rhizocarpon distinctum				3		1	2		7
Rhizocarpon geographicum			1	1			1		
Rhizocarpon reductum				1					
Rinodina oleae	1	9	11	11	5	11	5	2	14
Rinodina pityrea	1	3		3		4		4	3
Rinodina teichophila	1								
Sarcogyne regularis	5	3	9	7	4	7	9	5	7
Scoliciosporum umbrinum	3	2	4	2		5	2	1	2
Stigmidium fuscatae				1		1			1
Tephromela atra				1		1			1
Tephromela grumosa				1		1		2	
Thelidium minutulum	1								
Thelocarpon coccosporum				2					
Toninia aromatica					3		2	1	
Trapelia coarctata	1		1	1		1			2
Trapelia involuta				1					1
Trapelia placodioides			2	1		3		2	
Verrucaria fuscella				1	1				
Verrucaria macrostoma	5		1		2		4		
Verrucaria muralis	12	7	8	11	7	12	4	5	8
Verrucaria nigrescens	28	28	28	28	28	3	29	22	23
Verrucaria tectorum	5	2	4	1	3	2	7	4	
Verrucaria viridula		3	1				3	2	
Xanthoparmelia conspersa						1			
Xanthoparmelia pulla var. *pulla*							1		
Xanthoparmelia verruculifera				3	1	1	1		3
Xanthoria calcicola	2	4			2		3		2
Xanthoria candelaria		1							
Xanthoria elegans	3	5	7	7	4	5	5	5	12
Xanthoria parietina	3	7	2	2		12	1	4	1
Xanthoria polycarpa		2							
Zwackhiomyces lecanorae				1	2				

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sauteria-Schriftenreihe f. systematische Botanik, Floristik u. Geobotanik

Jahr/Year: 2008

Band/Volume: 15

Autor(en)/Author(s): Cezanne Rainer, Eichler Marion, Kirschbaum Ulrich, Windisch Ute

Artikel/Article: Flechten als Anzeiger des Klimawandels 159-174