

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Biologische Messverfahren zur Ermittlung und  
Beurteilung der Wirkung von Umweltveränderungen  
(Biomonitoring)  
Kartierung von Flechten zur Ermittlung der Wirkung von  
lokalen Klimaveränderungen

VDI 3957  
Blatt 20  
Entwurf

Biological measurement procedures for determining and evaluating the effects of environmental changes (biomonitoring) – Mapping of lichens to indicate local climate change

*Einsprüche bis 2015-10-31*

- vorzugsweise über das VDI-Richtlinien-Einspruchsportal <http://www.vdi.de/einspruchsportal>
- in Papierform an  
Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN  
Fachbereich Umweltqualität  
Postfach 10 11 39  
40002 Düsseldorf

Inhalt	Seite
Vorbemerkung .....	2
Einleitung .....	2
<b>1 Anwendungsbereich</b> .....	3
<b>2 Normative Verweise</b> .....	3
<b>3 Begriffe</b> .....	3
<b>4 Grundlage des Verfahrens</b> .....	3
<b>5 Durchführung des Verfahrens</b> .....	4
5.1 Probenahmeplan .....	4
5.2 Aufnahme der Flechten .....	8
<b>6 Auswertung</b> .....	9
6.1 Datengrundlage .....	9
6.2 Berechnung des Klimawandelzeiger-Index .....	9
6.3 Berechnung des Diversitätswerts der Klimawandelzeiger .....	10
6.4 Bewertung und Darstellung der Ergebnisse .....	10
<b>7 Qualitätssicherung und Dokumentation</b> .....	11
<b>Anhang A Beispiel für Erhebungsbogen</b> .....	12
<b>Anhang B Geeignete Baumarten</b> .....	13
<b>Anhang C Anwendungsbeispiele</b> .....	14
C1 Wirkung des Klimawandels in Bayern .....	14
C2 Klimafolgenmonitoring Düsseldorf 2003 bis 2013 .....	15
C3 Räumliche und zeitliche Variabilität des <i>KWI</i> in Deutschland .....	18
Schrifttum .....	20

Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL  
Fachbereich Umweltqualität

VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1a: Maximale Immissions-Werte

## Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

An der Erarbeitung dieser Richtlinie waren beteiligt:

Dr. Harald Bartholmeß, Stuttgart

Dr. Christian Dolnik, Molfsee

Dr. Isabelle Franzen-Reuter, Düsseldorf

Dr. Volker John (Vorsitzender), Bad Dürkheim

Dr. Michael Lakatos, Kaiserslautern

Dr. Norbert J. Stapper, Monheim

Dr. Klaus Stetzka, Tharandt

Dr. Horst Tremp, Herrenberg

Prof. Dr. Roman Türk, Salzburg

Prof. Dr. Ute Windisch, Gießen

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/3957](http://www.vdi.de/3957).

## Einleitung

Gegenwärtig unterliegen die Flechtenpopulationen in Mitteleuropa einer enormen Dynamik. Waren ausgedehnte Gebiete noch bis weit in die 1980er-Jahre hinein infolge der Wirkung der herrschenden sauren Immissionen durch Verarmungserscheinungen geprägt, kam es in den letzten 30 Jahren zu einer schnellen Rückeroberung und Erholung der Flechtenbestände. Dies äußert sich nicht nur in einer Zunahme der Flechtenbedeckung der Bäume, sondern auch in einem tiefgreifenden Wandel des Artenspektrums [1 bis 8]. Es zeigt sich, dass insbesondere Arten zunehmen oder neu auftreten, die charakteristisch sind für

- subneutrale und schwach saure Substrate,
- nährstoffreiche Substrate und
- milde Klimagebiete.

Die Veränderung ist erklärbar mit der vom Gesetzgeber in die Wege geleiteten Reduktion saurer Immissionen, insbesondere von SO<sub>2</sub>, und der damit

einhergehenden veränderten lufthygienischen Gesamtsituation. Nicht-Acidophyten und gegenüber der Einwirkung von SO<sub>2</sub> sensible Arten konnten zurückkehren. Nährstoffzeiger werden durch den unvermindert hohen Eintrag eutrophierender Substanzen gefördert, deren düngende Wirkung ohne die antagonistischen Effekte von SO<sub>2</sub>-Immissionen verstärkt zur Geltung kommt. Das Ergebnis dieses Wandels der Flechtenbiota, der sich erstaunlich rasch vollzieht, ist heute ein in weiten Teilen Mitteleuropas erkennbares Dominieren von Arten, die eutrophierungstolerant sind und saure Substrate meiden. Dies äußert sich optisch oft in einer „Vergilbung“ des Epiphytenaufwuchses der Stämme infolge des massenhaften Auftretens gelber Flechten, z.B. der Gattungen *Candelaria*, *Candelariella*, *Polycauliona* oder *Xanthoria*, die zugleich Eutrophierungszeiger und Neutrophyten sind.

Eine genauere Analyse der gewandelten Flechtenpopulationen zeigt, dass nicht nur schon früher vorhandene Arten wieder auftreten, sondern eine Reihe von Flechten einwandern, die bisher nicht in den betreffenden Gebieten und Lokalitäten beobachtet wurden. Diese Arten haben eines gemeinsam: Sie sind für milde, ozeanische oder warme Klimagebiete charakteristisch und waren in Deutschland bis vor wenigen Jahren auf wenige, klimatisch begünstigte Räume beschränkt oder überhaupt noch nicht bekannt. Sie wandern in breiter Front von Westen und Süden her ein und erobern Regionen und Lagen, in denen sie bisher unbekannt waren. Gleichzeitig ist zu beobachten, dass Kühlezeiger seltener vorkommen [2]. Für das Land Hessen ist eine Erhöhung der mittleren Temperaturzeigerwerte epiphytischer Flechten in langfristig beobachteten Untersuchungsgebieten zu verzeichnen. Hier hat sich die Anzahl und Häufigkeit von Kühlezeigern verringert, diejenige von Arten mit höheren Temperatursprüchen aber erhöht [9].

Die plausibelste Erklärung für diese Arealgrenzenverschiebungen ist die Veränderung des Klimas in den letzten Jahrzehnten, auf die Arten milder und warmer Klimagebiete konkurrenzstark reagieren (hier Klimawandelzeiger (*KWZ*) genannt).

Klimaveränderungen wirken in vielfältiger Weise auf lebendige Systeme ein und beeinflussen somit beispielsweise Land- und Forstwirtschaft. Daher besteht ein erhebliches Interesse, nicht nur die Veränderungen des Klimas selbst zu erfassen, sondern auch ihre Wirkungen auf Lebewesen und Ökosysteme.

Flechten können dabei als sensitive Modell- und Frühwarnsysteme fungieren: Als wechselfeuchte Organismen interagieren sie direkt mit der Atmo-

sphäre und reagieren in hohem Maß auf Veränderungen der Atmosphärenzusammensetzung (z.B. toxische Gase und mikroklimatische Bedingungen). Sie sprechen somit schneller auf solche Veränderungen an als z.B. Gefäßpflanzen. Auch die Ausbreitung durch kleinste Diasporen, etwa über die Luft, erfolgt sehr schnell.

Zudem sind Flechten – im Gegensatz zu vielen Gefäßpflanzen – auch im Winterhalbjahr stoffwechselaktiv. Auch im Winter vollziehen sich klimatische Veränderungen, wobei geringere Erwärmungen im Winter sich stärker auswirken können als entsprechend höhere im Sommer [10]. Deshalb ist das bemerkenswerte Stoffwechselverhalten der Wechselflechten von besonderer integrativer Bedeutung im Hinblick auf Aussagen zu Auswirkungen von Klimaveränderungen.

Da Flechten zeitnah und sensitiv auf Klimaveränderungen mit Rückzug oder Zuwanderung reagieren, sind sie beispielgebend für andere Mitglieder von Ökosystemen. Dementsprechend sind klimabedingte Veränderungen, z.B. im Artenspektrum, auch in anderen Organismengruppen zu erwarten.

## 1 Anwendungsbereich

Die standardisierte Kartierung epiphytischer Flechten ermöglicht räumliche und zeitliche Vergleiche des Flechtenvorkommens. Sie gibt Auskunft über die Lebensbedingungen für diese Organismen im Untersuchungsgebiet, sowohl im Hinblick auf Luftverunreinigungen als auch auf die herrschenden Standortbedingungen, wie Luftfeuchte, Licht und Temperatur.

Eine Erfassung von Flechtenarten, die als Klimawandelzeiger eingestuft sind, ermöglicht

- den Nachweis, die Bewertung und die Dokumentation von Wirkungen des Klimawandels auf die belebte Umwelt in einem konkreten lokalen oder regionalen Bereich,
- die Dokumentation einer Beeinflussung der Biodiversität durch klimatische Veränderungen im Sinne eines „Frühwarnsystems“,
- die Unterstützung der Öffentlichkeitsarbeit kommunaler oder regionaler Behörden durch das Aufzeigen eines allgemeinen Bedarfs an klimaschonendem Verhalten und an Maßnahmen zum Klimaschutz und
- eine rechtzeitige Planung von angepassten Standortkonzepten in Forstwirtschaft, Städtebau, Naturschutz und Landschaftsplanung und einer nachhaltigen Pflege- und Bewirtschaftungsweise von Nutz- und Grünflächen.

Der Anwendungsbereich beschränkt sich aufgrund der Festlegung bestimmter Flechtenarten als Klimawandelzeiger auf Deutschland.

## 2 Normative Verweise

Das folgende zitierte Dokument ist für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich:

VDI 3957 Blatt 1:2014-09 Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation); Grundlagen und Zielsetzung