

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEUREBiologische Messverfahren zur Ermittlung und
Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen
(Biomonitoring)

VDI 3957

Blatt 20 / Part 20

Kartierung von Flechten zur Ermittlung der Wirkung von
lokalen KlimaveränderungenBiological measuring techniques for the
determination and evaluation of effects
of air pollutants (biomonitoring)

Mapping of lichens to indicate local climate change

Ausz. deutsch/englisch
Issue German/English

Der Entwurf dieser Richtlinie wurde mit Ankündigung im Bundesanzeiger einem öffentlichen Einspruchsverfahren unterworfen.

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The draft of this standard has been subject to public scrutiny after announcement in the Bundesanzeiger (Federal Gazette).

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweise	4
3 Begriffe	4
4 Grundlage des Verfahrens	5
5 Durchführung des Verfahrens	6
5.1 Probenahmeplan	7
5.2 Aufnahme der Flechten	15
6 Auswertung	16
6.1 Datengrundlage	16
6.2 Berechnung des Klimawandelzeiger-Index	17
6.3 Berechnung des Diversitätswerts der Klimawandelzeiger	17
6.4 Bewertung und Darstellung der Ergebnisse	18
7 Qualitätssicherung und Dokumentation	19
Anhang A Beispiel für Erhebungsbogen	21
Anhang B Geeignete Baumarten	23
Anhang C Anwendungsbeispiele	24
C1 Wirkung des Klimawandels auf Flechten in Bayern	24
C2 Klimafolgenmonitoring Düsseldorf 2003 bis 2013	27
C3 Räumliche und zeitliche Variabilität des <i>KWI</i> in Deutschland	28
Schrifttum	35

Contents	Page
Preliminary note	2
Introduction	2
1 Scope	4
2 Normative references	4
3 Terms and definitions	4
4 Basics of the method	5
5 Implementation of the method	6
5.1 Sampling design	7
5.2 Surveying lichens	15
6 Data analysis	16
6.1 Basic data	16
6.2 Calculating the climate change indicator index	17
6.3 Calculating the lichen diversity value of climate change indicators	17
6.4 Interpretation and representation of the data	18
7 Quality assurance and documentation	19
Annex A Example of a survey sheet	22
Annex B Suitable tree species	23
Annex C Examples of applications	24
C1 Impact of climate change on lichens in Bavaria	24
C2 Climate change impact monitoring Düsseldorf 2003 to 2013	27
C3 Spatial and temporal variability of <i>CII</i> in Germany	28
Bibliography	35

VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss
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), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

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.

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 SO₂, und der damit einhergehenden veränderten lufthygienischen Gesamtsituation. Nicht-Acidophyten und gegenüber der Einwirkung von SO₂ sensible Arten konnten zurückkehren. Nährstoffzeiger werden durch den unvermindert hohen Eintrag eutrophierender Substanzen gefördert, deren düngende Wirkung ohne die antagonistischen Effekte von SO₂-Immissionen verstärkt zur Geltung kommt. Der Verlauf dieses Wandels der Flechtenbiota ist heute in weiten Teilen Mitteleuropas an der Dominanz von Arten erkennbar, 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*, *Can-*

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at www.vdi.de/3957.

Introduction

In recent years, lichen populations in Central Europe have been subjected to a tremendous and dynamic change. But well into the 1980s, extensive areas appeared lichenologically depauperate due to the predominant effect of acidic emissions. During the last 30 years, recovery of lichen populations and a rapid recolonisation of formerly depleted areas have been observed. This manifests itself not only in an increase in the lichen cover of the trees, but also in a profound change in the species spectrum [1 to 8]. It would appear that in particular the species increasing or appearing for the first time are usually characteristic for

- subneutral and slightly acid substrates,
- nutrient-rich substrates, and
- mild climate zones.

This alteration may be regarded as a consequence of reduced acidic emissions due to the legislature, in particular SO₂, which is accompanied by changes in the overall situation of air quality. Non-acidophytes and species not sensitive to SO₂ were able to return. Lichen species indicating nutrient contamination are promoted by unabatedly high loads of eutrophating substances, whose fertilizing impact is intensified due to the absence of antagonistic SO₂ emissions. In large parts of Central Europe, today, this alteration of lichen biota is noticeable by the dominance of species which tolerate eutrophication and eschew acidic substrates. Often, this expresses itself in a “yellowing” of the natural epiphytic cover of tree stems due to the copious development of yellow lichen species, e.g. of the genera *Candelaria*, *Candelariella*, *Polycauliona* or *Xanthoria* all of which are both neu-

delariella, *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 besiedeln 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 langfristige beobachteten Untersuchungsgebieten zu verzeichnen. Hier hat sich die Anzahl und Häufigkeit von Kühlezeigern verringert, diejenige von Arten mit höheren Temperaturansprüchen 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 Atmosphäre und reagieren in hohem Maß auf Veränderungen der Atmosphärenzusammensetzung (z.B. toxische Gase und mikroklimatische Bedingungen). Auch die schnelle Ausbreitung durch kleinste Diasporen, etwa über die Luft, ist für die Bioindikation vorteilhaft.

Zudem sind Flechten – im Gegensatz zu vielen Gefäßpflanzen – im Winterhalbjahr ebenfalls 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 Wechselfeuchten von besonderer inte-

trophytes and indicators of eutrophication.

A more detailed analysis of the converted lichen populations reveals that not only species reappear which already existed in the area, but that also a number of lichens invade which never before had been recorded in the respective areas or localities. These species have one thing in common: they are characteristic of mild, oceanic or warm climate zones and, in Germany, until recently restricted to a few climatically favoured spaces or yet unknown. Immigrating from West and South in form of a broad wave they settle in places where they were as yet unknown. Simultaneously, indicators of cool conditions are becoming less frequent [2]. For the State of Hesse long time observation studies show an increase of the average temperature figures of epiphytic lichens. Here, the numbers and frequencies of cold-indicators or lichens adapted to warm growth conditions decreased or increased, respectively [9].

The most plausible explanation for these shifts of distribution limits is a climate alteration within the past decades, to which species adapted to mild and warm climate zones react highly competitive. In the following, these species are called climate change indicators (CI).

Climate alterations influence living systems in many ways and thus, for example, may affect agriculture and forestry. Therefore, there is considerable interest not only to capture the changes in the climate, but also their effects on living organisms and ecosystems.

Lichens might be used as a sensitive model and early warning system: as poikilohydric organisms they directly interact with the atmosphere and they greatly react to changes in the atmospheric condition (e.g. toxic gases and microclimatic conditions). Rapid airborne dispersal by small diaspores is beneficial for bioindication.

Moreover, lichens are, unlike many vascular plants, metabolically active during the winter months. Even in winter climatic changes occur, in which a slight warming in winter may have a stronger impact as a greater warming in summer [10]. Therefore, the remarkable metabolic behavior of the poikilohydric organisms is of integrative importance in terms of statements about effects of climate change.

grativer 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.

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 umweltbewusstem Verhalten und an Maßnahmen zum Klimaschutz sowie
- 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 (Biomonitoring); Grundlagen und Zielsetzung

Since lichens respond promptly and sensitively to climate change with withdrawal or immigration, they are an example for other members of ecosystems. Accordingly, climate change induced alterations, e.g. in species composition, may also be expected in other groups of organisms.

1 Scope

The standardized mapping of epiphytic lichens enables spatial and temporal comparisons of lichen occurrence. It provides information on the living conditions of these organisms in the study area, both in terms of air pollution as well as of the prevailing local conditions.

The recording of lichens which have been classified as indicators of climate change allows for

- the detection, evaluation and documentation of climate change impacts on the living environment in a specific local or regional area,
- the documentation of an influence on biodiversity by climatic changes in the sense of an “early warning system”,
- the support of public relations of municipal or regional authorities by identifying a general need for environmental awareness and climate protection measures, as well as
- a timely planning of customized location concepts in forestry, urban development, nature conservation and landscaping, and a sustainable care and management of agricultural and green space.

Due to the definition of particular lichens as indicators of impacts of climate change (“climate change indicator”), the scope is limited to Germany.

2 Normative references

The following referenced document is indispensable for the application of this standard:

VDI 3957 Part 1:2014-09 Biological measuring techniques for the determination and evaluation of effects of air pollutants on plants (biomonitoring); Fundamentals and aims