

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Biologische Messverfahren zur Ermittlung und  
Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen  
(Bioindikation)

VDI 3957  
Blatt 17 / Part 17

Aktives Monitoring der Schwermetallbelastung mit  
Torfmoosen (Sphagnum-bag-technique)

Biological measuring procedures to determine and  
assess effects of air pollutants on plants  
(bioindication)

Active monitoring of the heavy metal load with peat  
mosses (Sphagnum-bag-technique)

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

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

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

*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.*

*The German version of this guideline shall be taken as authori-  
tative. No guarantee can be given with respect to the English  
translation.*

Inhalt	Seite
Vorbemerkung .....	2
Einleitung .....	2
<b>1 Grundlage des Verfahrens</b> .....	3
<b>2 Methode</b> .....	5
2.1 Auswahl, Beschaffung und Vorbereitung von Moosmaterial für die Exposition .....	5
2.2 Exposition .....	5
2.3 Chemische Analyse .....	7
<b>3 Bewertung der Ergebnisse</b> .....	8
Schrifttum .....	11

Contents	Page
Preliminary note .....	2
Introduction .....	2
<b>1 Basics of the method</b> .....	3
<b>2 Method</b> .....	5
2.1 Selection, acquisition and preparation of moss samples for the exposition .....	5
2.2 Exposition .....	5
2.3 Chemical analysis .....	7
<b>3 Evaluation of the results</b> .....	8
Bibliography .....	11

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

VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1a: Maximale Immissions-Werte  
VDI-Handbuch Biotechnologie, Band 2: Umwelt-Biotechnologie

## Vorbemerkung

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

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

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

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

## Einleitung

Zunehmende anthropogene Verschmutzung nahezu aller Ökosysteme und die damit einhergehenden negativen Auswirkungen auf Pflanzen, Tiere und Menschen führten zum Aufbau umfangreicher Monitoringprogramme zur kontinuierlichen Überwachung der Umweltsituation. Eine wichtige Aufgabe der Umweltüberwachung ist die Indikation von Schwermetalleinträgen. Während einige Schwermetalle zu den essentiellen, das heißt in bestimmten Konzentrationsbereichen lebensnotwendigen Pflanzennährstoffen zählen (z.B. Kupfer, Mangan und Zink), wirken andere, z.B. Blei, Cadmium, Chrom und Quecksilber, bereits in sehr geringen Konzentrationen toxisch [1]. Neben herkömmlichen Immissionsmessungen, die überwiegend auf physikalisch-chemischen Messmethoden beruhen, kommen alternative Methoden unter Einbeziehung lebender Organismen zur Beobachtung der Umweltsituation, sogenannte Bioindikatoren, immer häufiger zum Einsatz.

Aufgrund ihrer anatomischen und physiologischen Voraussetzungen eignen sich Moose als Bioindikatoren für Schwermetallbelastungen besser als die meisten Blütenpflanzen [2; 3; 4]:

- Die meisten Moose sind immergrün und mehrjährig und können somit ganzjährig als Bioindikatoren fungieren.
- Das Fehlen einer echten Kutikula und einer differenzierten Epidermis ermöglicht die direkte Aufnahme der Schwermetalle durch die Moosoberfläche.
- Moose besitzen keine zur Stoffaufnahme aus dem Boden ausgebildeten Organe; sie absorbieren Mineralien, Nährstoffe und Wasser direkt aus der Luft.
- Die Moosoberfläche besitzt negativ geladene Gruppen, die als effektive Kationenaustauscher

## Preliminary note

The content of this guideline has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the guideline 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 guideline without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions specified in the VDI Notices ([www.vdi-richtlinien.de](http://www.vdi-richtlinien.de)).

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

## Introduction

Increasing anthropogenic pollution of almost all ecosystems and the accompanying negative effects on plants, animals and humans led to extensive monitoring programmes for the continuous surveillance of the environment. An important aspect of the surveillance of the environment is the observation of heavy metal burdening. While some heavy metals, e.g. copper, manganese and zinc – within certain bounds of concentrations – are essential nutrients for plants, others e.g. lead, cadmium, chromium and mercury are toxic even in very small quantities [1]. Besides conventional methods of ambient air monitoring based on physico-chemical measurements, alternative methods using organisms as bioindicators for the surveillance of the environment are used more and more often.

Because of their anatomical and physiological properties, bryophytes are better suited as bioindicators for heavy metal burdening than most phanerogams [2; 3; 4]:

- Most bryophytes are evergreen and perennial and can therefore be used as bioindicators year-round.
- Since bryophytes neither have a true cuticle nor a differentiated epiderm, they can incorporate heavy metals directly via their surface.
- Bryophytes do not have organs for taking up nutrients from the soil, they take up minerals, nutrients and water directly via their surface.
- The surface of bryophytes has negatively charged groups, which make for an effective

agieren. Sie nehmen Schwermetalle aus der nassen und trockenen Deposition auf.

- Moose können Schwermetalle in einer Konzentration speichern, die für andere Pflanzen toxisch ist, ohne dass dies einen Einfluss auf den Zellstoffwechsel hat.
- Zahlreiche Moosarten sind sehr widerstandsfähig und können regenarme Perioden, Frost und weitere, für andere Pflanzen oft lebensbedrohliche Situationen überleben.
- Die großen Areale von Moosarten ermöglichen die Verwendung von Arten, die auch in großräumigen Untersuchungen durchgängig vorkommen.
- Viele Moosarten sind schwermetallresistent und wachsen auch in belasteten Gebieten.

Die angeführten Vorteile des Biomonitorings unter Einsatz von Moosen wurden von zahlreichen Autoren bestätigt. Zusammenstellungen von Arbeiten über Moose als Bioindikatoren für Schwermetallbelastung wurden u. a. publiziert von [4; 5; 6; 7; 8].

In der Umweltüberwachung werden grundsätzlich zwei Verfahren des Monitorings unterschieden:

- **Passives Monitoring:**  
Untersuchung von im Untersuchungsgebiet vorhandenen (wild lebenden) Organismen
- **Aktives Monitoring:**  
Untersuchung von Organismen, die nach einem standardisierten Verfahren in das Untersuchungsgebiet eingebracht werden.

Im Rahmen des passiven Monitorings werden Moose unter der Schirmherrschaft des Nordic Council of Ministers flächendeckend zur Kontrolle der Schwermetallbelastung in ganz Europa eingesetzt [9; 10]. Im Rahmen dieses passiven Monitorings werden wildwachsende Moospolster der Laubmoose *Pleurozium schreberi*, *Scleropodium purum*, *Hypnum cupressiforme* oder *Hylocomium splendens* in einem Proberaster entnommen und das erhaltene Probenmaterial auf ihre Schwermetallgehalte analysiert.

Bei dem im Folgenden vorgestellten Verfahren, der Sphagnum-bag-technique handelt es sich um ein Verfahren des aktiven Monitorings.