

**VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE**

Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung
der Wirkung von Luftverunreinigungen (Bioindikation)
**Kartierung der Diversität epiphytischer Moose
als Indikatoren für Luftqualität**

VDI 3957

Blatt 12 / Part 12

Biological measuring techniques for the determination and
evaluation of the effects of air pollutants (bioindication)

**Mapping of diversity of epiphytic bryophytes
as indicators of air quality**

**Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English**

*Der Entwurf dieser Richtlinie wurde mit Ankündigung im Bundes-
anzeiger einem öffentlichen Einspruchsverfahren unterworfen.*

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

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

*The German version of this guideline shall be taken as authorita-
tive. No guarantee can be given with respect to the English trans-
lation.*

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note	2
Einleitung	3	Introduction	3
1 Grundlage	4	1 Background	4
2 Methode	5	2 Procedure.	5
2.1 Messnetz	5	2.1 Mapping grid	5
2.2 Trägerbäume	5	2.2 Host trees	5
2.3 Erfassung der Moose	10	2.3 Recording of bryophytes	10
3 Auswertung	11	3 Evaluation	11
3.1 Berechnung des Luftqualitätsindex LQI_M	11	3.1 Calculation of air quality index (AQI_M)	11
3.2 Kartographische Darstellung und Interpretation	12	3.2 Cartographic presentation and interpretation	12
4 Weiterführende Auswertungen	16	4 Further data analysis.	16
5 Qualitätssicherung	16	5 Quality assurance	16
5.1 Qualifikation der kartierenden Personen	16	5.1 Required qualifications for mapping staff	16
5.2 Planung der Untersuchung	16	5.2 Planning of survey	16
5.3 Dokumentation des Projektes und der Geländearbeit	16	5.3 Project and field-work documentation	16
Schrifttum	18	Bibliography	18
Anhang Empfindlichkeits- und Zeigerwerte	19	Annex Sensitivity and indicator values	21

Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL

Fachbereich Umweltqualität
Arbeitsgruppe Wirkungsfeststellung an Niederen Pflanzen

**VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1a
VDI-Handbuch Biotechnologie, Band 2**

Vorbemerkung

In der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL – erarbeiten Fachleute aus Wissenschaft, Industrie und Verwaltung in freiwilliger Selbstverantwortung VDI-Richtlinien und DIN-Normen zum Umweltschutz. Diese beschreiben den Stand der Technik bzw. Stand der Wissenschaft in der Bundesrepublik Deutschland und dienen als Entscheidungshilfen bei der Erarbeitung und Anwendung von Rechts- und Verwaltungsvorschriften. Die Arbeitsergebnisse der KRdL fließen ferner als gemeinsamer deutscher Standpunkt in die europäische technische Regelsetzung bei CEN (Europäisches Komitee für Normung) und in die internationale technische Regelsetzung bei ISO (Internationale Organisation für Normung) ein.

Folgende Themenschwerpunkte werden in vier Fachbereichen behandelt:

Fachbereich I „Umweltschutztechnik“

Produktionsintegrierter Umweltschutz; Verfahren und Einrichtungen zur Emissionsminderung und Energieumwandlung; ganzheitliche Betrachtung von Emissionsminderungsmaßnahmen unter Berücksichtigung von Luft, Wasser und Boden; Emissionswerte für Stäube und Gase; anlagenbezogene messtechnische Anleitungen; Umweltschutzkostenrechnung

Fachbereich II „Umweltmeteorologie“

Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre; störfallbedingte Freisetzungen; mikro- und mesoskalige Windfeldmodelle; Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Oberflächen; meteorologische Messungen; angewandte Klimatologie; Lufthygienekarten; human-biometeorologische Bewertung von Klima und Lufthygiene; Übertragung meteorologischer Daten

Fachbereich III „Umweltqualität“

Wirkung von Luftverunreinigungen auf Mensch, Tier, Pflanze, Boden, Werkstoffe und Atmosphäre; wirkungsbezogene Mess- und Erhebungsverfahren: z.B. Bioindikation mit Höheren und Niederen Pflanzen, Erhebungsverfahren zur Biodiversität; Werkstoffexposition; Erfassung mikrobieller Luftverunreinigungen; Olfaktometrie; Umweltsimulation

Fachbereich IV „Umweltmesstechnik“

Emissions- und Immissionsmesstechnik für anorganische und organische Gase sowie für Partikel; optische Fernmessverfahren; Messen von Innenraumluftverunreinigungen; Messen von Bodenluftverunreinigungen; Verfahren zur Herstellung

Preliminary note

In the Commission on Air Pollution Prevention of VDI and DIN – Standards Committee (KRdL) experts from science, industry and administration, acting on their own responsibility, establish VDI Guidelines and DIN Standards in the field of environmental protection. These describe the state of the art in science and technology in the Federal Republic of Germany and serve as a decision-making aid in the preparatory stages of legislation and application of legal regulations and ordinances. KRdL's working results are also considered as the common German point of view in the establishment of technical rules on the European level by CEN (European Committee for Standardization) and on the international level by ISO (International Organization for Standardization).

The following topics are dealt with in four subdivisions:

Subdivision I

“Environmental Protection Techniques”

Integrated pollution prevention and control for installations; procedures and installations for emission control and energy conversion; overall consideration of measures for emission control with consideration given to the air, water and soil; emission limits for dusts and gases; plant-related measurement instructions; environmental industrial cost accounting

Subdivision II “Environmental Meteorology”

Dispersion of pollutants in the atmosphere; emissions from accidental releases; micro- and meso-scale wind field models; interaction between the atmosphere and surfaces; meteorological measurements; applied climatology; air pollution maps; human-biometeorological evaluation of climate and air hygiene; transfer of meteorological data

Subdivision III “Environmental Quality”

Effects of air pollutants on man, farm animals, vegetation, soil, materials, and the atmosphere; methods for the measurement and evaluation of effects: e.g. biomonitoring with higher and lower plants; evaluation techniques for biodiversity; exposure of materials; determination of microbial air pollutants and their effects; olfactometry; environmental simulation

Subdivision IV

“Environmental Measurement Techniques”

Techniques for emission and ambient air measurements of inorganic and organic gases as well as particulate matter; optical open-path measurement methods; measurement of indoor air pollutants; measurement of soil air pollutants; procedures for

von Referenzmaterialien; Prüfpläne für Messgeräte; Validierungsverfahren; Messplanung; Auswerteverfahren; Qualitätssicherung

Die Richtlinien und Normen werden zunächst als Entwurf veröffentlicht. Durch Ankündigung im Bundesanzeiger und in der Fachpresse erhalten alle interessierten Kreise die Möglichkeit, sich an einem öffentlichen Einspruchsverfahren zu beteiligen. Durch dieses Verfahren wird sichergestellt, dass unterschiedliche Meinungen vor Veröffentlichung der endgültigen Fassung berücksichtigt werden können.

Die Richtlinien und Normen sind in den sechs Bänden des VDI/DIN-Handbuches Reinhaltung der Luft zusammengefasst.

Einleitung

Auf Grund ihrer anatomischen und physiologischen Voraussetzungen reagieren epiphytische Moose ebenso wie Flechten besonders empfindlich gegenüber Luftschadstoffen und werden schon seit Jahrzehnten als Bioindikatoren für Luftqualität genutzt, z.B. [2; 7; 11]. Während mit technischen Messungen Konzentrationen einzelner Immissionskomponenten ermittelt werden können, erlauben es Moose und Flechten, die integrale Gesamtwirkung biologisch relevanter Umweltfaktoren zu erfassen. Außerdem bieten sie den Vorteil einer artspezifisch abgestuften Empfindlichkeit, wodurch beim Auftreten bestimmter Arten Rückschlüsse auf die jeweilige Luftqualität möglich sind.

Verglichen mit anderen Pflanzengruppen haben Moose wichtige Eigenschaften, wodurch sie sich für die Bioindikation von Luftschadstoffen besonders eignen:

- Moose nehmen Wasser und darin gelöste Nährstoffe (sowie Schadstoffe) mit Regen, Tau oder Nebel über die gesamte ungeschützte Oberfläche auf. Dadurch sind sie allen Umwelteinflüssen wie saurem Regen, Stickstoffoxiden etc. direkt ausgesetzt und reagieren auf sie durch Verschwinden bzw. Ausbreitung.
- Moose verfügen über keine physiologische Anpassung, die es ihnen ermöglicht, schädliche Stoffe abzuscheiden.
- Auf Grund des geringen Temperaturoptimums erreichen sie das Maximum an Stoffwechselaktivität im Spätherbst und Winter, wenn Hausbrand und Inversionswetterlagen die Schadstoffbelastungen erhöhen.
- Moose haben weitaus größere Areale als Blütenpflanzen. So kann z.B. europaweit für das

establishing reference material; test procedures for measurement devices; validation procedures; measurement planning; evaluation methods; quality assurance

The guidelines and standards are first published as drafts. These are announced in the Bundesanzeiger (Federal Gazette) and in professional publications in order to give all interested parties the opportunity to participate in an official objection procedure. This procedure ensures that differing opinions can be considered before the final version is published.

The guidelines and standards are published in the six-volume VDI/DIN Reinhaltung der Luft (Air Pollution Prevention) manual.

Introduction

Due to their anatomical and physiological properties, epiphytic bryophytes and lichens are particularly sensitive to air pollutants, and have been used for decades as bioindicators of air quality (see e.g. [2; 7; 11]). Whereas concentrations of individual immission components are determined using technical methods, the use of bryophytes and lichens allows an understanding of the integral overall effect of biologically relevant environmental factors. In addition, they offer the advantage of a species-specific graduated sensitivity, by which, if particular species occur, conclusions on the respective air quality can be drawn.

Compared to other groups of plants, bryophytes exhibit the following important properties making them particularly suited for the bioindication of air pollutants:

- Bryophytes take up water containing dissolved nutrients (and pollutants) over their entire unprotected surface from rain, dew or fog. Thus, they are directly exposed to all environmental impacts such as acid rain, nitrogen oxides, etc., and react by either disappearing or dispersing.
- Bryophytes have no physiological adaptation mechanisms enabling them to remove or neutralize harmful substances.
- Since their temperature optimum is rather low, their metabolic activity reaches its maximum in late autumn and winter – when pollutant loads are increased by domestic heating and atmospheric inversion.
- Distribution areas of bryophytes are far greater than those of flowering plants. Thus, the same bry-