

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Biologische Messverfahren zur Ermittlung und  
Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen  
auf Pflanzen (Biomonitoring)

Verfahren der standardisierten Graskultur

Biological measuring techniques for the  
determination and evaluation of effects of  
air pollutants on plants (biomonitoring)

Method of the standardised grass exposure

VDI 3957

Blatt 2 / Part 2

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

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

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

Inhalt	Seite
Vorbemerkung.....	2
Einleitung.....	2
<b>1 Anwendungsbereich.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Normative Verweise.....</b>	<b>4</b>
<b>3 Begriffe.....</b>	<b>4</b>
<b>4 Grundlagen.....</b>	<b>4</b>
4.1 Prinzip des Verfahrens.....	4
4.2 Hintergrund des Verfahrens.....	5
4.3 Standardisierte Graskultur als Akkumulationsindikator.....	5
<b>5 Durchführung.....</b>	<b>6</b>
5.1 Anzucht.....	6
5.2 Exposition.....	13
5.3 Probenahme und Probenbehandlung.....	16
<b>6 Maßnahmen zur Qualitätssicherung.....</b>	<b>22</b>
6.1 Anforderungen an das Pflanzenmaterial.....	22
6.2 Anforderungen an die Expositionsorte.....	22
6.3 Anforderungen an die Probenmasse.....	23
6.4 Anforderungen an die Analytik.....	24
<b>7 Kenngrößen des Verfahrens.....</b>	<b>25</b>
7.1 Biomasse.....	25
7.2 Hintergrundgehalte.....	25
7.3 Verfahrensbedingte Gesamtunsicherheit.....	26
<b>8 Umgang mit Messdaten.....</b>	<b>30</b>
8.1 Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze.....	30
8.2 Ausreißer.....	31
8.3 Fehlende Messwerte.....	32
8.4 Biomasseentwicklung und Stoffaufnahme im Zeitverlauf.....	32
<b>9 Bewertung.....</b>	<b>32</b>
9.1 Orientierungswerte für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH).....	33
9.2 Prüfwerte.....	33

Contents	Page
Preliminary note.....	2
Introduction.....	2
<b>1 Scope.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Normative references.....</b>	<b>4</b>
<b>3 Terms and definitions.....</b>	<b>4</b>
<b>4 Basics.....</b>	<b>4</b>
4.1 Principles of the method.....	4
4.2 Background of the method.....	5
4.3 Standardised grass culture as an accumulation indicator.....	5
<b>5 Methodology.....</b>	<b>6</b>
5.1 Cultivation.....	6
5.2 Exposure.....	13
5.3 Sampling and handling of samples.....	16
<b>6 Quality assurance.....</b>	<b>22</b>
6.1 Required characteristics of plant material.....	22
6.2 Required characteristics of exposure sites.....	22
6.3 Required characteristics of the sample mass.....	23
6.4 Required characteristics of chemical analyses.....	24
<b>7 Performance characteristics.....</b>	<b>25</b>
7.1 Biomass.....	25
7.2 Background values.....	25
7.3 Process-related overall uncertainty.....	26
<b>8 Presentation of measured data.....</b>	<b>30</b>
8.1 Measuring values below the analytical limit of quantification.....	30
8.2 Outliers.....	31
8.3 Missing measurement values.....	32
8.4 Biomass development and substance accumulation over time.....	32
<b>9 Assessment.....</b>	<b>32</b>
9.1 Orientation values for maximum background levels (OmH).....	33
9.2 Guidance values.....	33

VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss  
Fachbereich Umweltqualität

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

Inhalt	Seite
<b>Anhang A</b> Bezugsquellen.....	34
A1 Saatgut.....	34
A2 Einheitserde.....	34
A3 Glasfaserdochte und Vliesstreifen .....	34
<b>Anhang B</b> Empfohlene Obergrenzen für Elementgehalte im Substrat.....	35
<b>Anhang C</b> Beispiel für ein Probenahmeprotokoll.....	38
<b>Anhang D</b> Anzucht und Probenahme .....	40
Schrifttum.....	41

Contents	Page
<b>Annex A</b> Supplier information .....	34
A1 Seed stock.....	34
A2 Potting soil.....	34
A3 Glass fibre wicks and fleece strips.....	34
<b>Annex B</b> Recommended upper limits for element contents in substrate.....	35
<b>Annex C</b> Example of a sampling protocol.....	39
<b>Annex D</b> Cultivation and sampling .....	40
Bibliography.....	41

### 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.

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

Eine Liste der aktuell verfügbaren und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/3957](http://www.vdi.de/3957).

### Einleitung

Seit mehr als hundert Jahren ist bekannt, dass Luftverunreinigungen zur Anreicherung von Stoffen in Pflanzen führen können. Die Untersuchung solcher Anreicherungen mittels pflanzlicher Akkumulationsindikatoren lässt immissionsbedingte Einträge in Ökosysteme erkennen und kann auf Gefährdungen von Pflanzen, Tieren und Menschen hinweisen.

Immissionsbedingte Stoffanreicherungen in Pflanzen hängen von einer Vielzahl innerer und äußerer Faktoren ab (z.B. Pflanzenart und -sorte, Entwicklungsstadium, Bodenbeschaffenheit, Nährstoff- und Wasserversorgung, klimatische Bedingungen). Für die Identifizierung von Schadstoffanreicherungen und insbesondere für den Vergleich dieser Immissionswirkungen an verschiedenen Standorten ist der Einfluss dieser Faktoren daher auf ein Minimum zu reduzieren (siehe auch VDI 3957 Blatt 1). Dies wird durch eine weitgehende Standardisierung gewährleistet, wie sie beim Verfahren der standardisierten Graskultur erreicht wird.

### 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](http://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 and those in preparation as well as further information, if applicable, can be accessed on the Internet at [www.vdi.de/3957](http://www.vdi.de/3957).

### Introduction

For more than a hundred years, air pollution has been known to potentially cause accumulation of substances in plants. The assessment of such accumulation by plant accumulation indicators shows deposition-related inputs into ecosystems and may indicate risks for plants, animals and humans.

Deposition-related accumulation of substances in plants depends on many internal and external factors (e.g. plant species and variety, development stage, soil characteristics, nutrient and water supply, climatic conditions). It is thus necessary for the ascertainment of the accumulation of pollutants and in particular for the comparison of the effects of these pollutants at different sites to minimize the influence of these factors (cf. VDI 3957 Part 1). This is ensured by an extensive standardisation as it is accomplished by the method of the standardised grass exposure.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie beschreibt die Einsatzbereiche und die praktische Durchführung des Verfahrens der standardisierten Graskultur, um Anreicherungen von Luftverunreinigungen als immissionsbedingte Veränderung (= Wirkung) zu erfassen und zu bewerten.

Das Ziel des Einsatzes der standardisierten Graskultur ist es, den Stoffübergang von der Atmosphäre auf die Vegetation mithilfe eines stoffanreichernden, standardisierten Pflanzenbestands zu erfassen. Die Graskultur steht hierbei stellvertretend für pflanzliche Futtermittelbestände, aber auch für pflanzliche Nahrungsmittel wie Blattgemüse.

Der Mensch und die meisten Tiere in terrestrischen Ökosystemen nehmen persistente Luftverunreinigungen vorwiegend über die Nahrung auf. Somit kann das Verfahren der standardisierten Graskultur auch eine Grundlage für eine Gefährdungsabschätzung durch den Verzehr von im Freien angebauten Futter- und Nahrungsmitteln liefern.

Erfasst werden feste und gasförmige Verbindungen, die sich auf Pflanzenoberflächen ablagern und sich dort oder im Pflanzengewebe anreichern können. Hierzu zählen neben Schwefel, Chlorid und Fluorid vor allem Metalle sowie schwerflüchtige organische und haloorganische Verbindungen wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Biphenyle (PCB), polybromierte Diphenylether (PBDE), polychlorierte Dibenzo-Dioxine (PCDD) und polychlorierte Dibenzo-Furane (PCDF). Das mögliche Stoffspektrum kann entsprechend der jeweiligen Fragestellung und den Möglichkeiten der spurenanalytischen Bestimmung und der Bewertung erweitert werden.

Die Graskultur wird im Freien sowohl in unterschiedlicher Entfernung um Emissionsquellen als auch an unbelasteten Standorten (Hintergrundstandorte) eingesetzt. Dabei sind Anforderungen an Pflanzenmaterial, Expositionsorte usw. einzuhalten (vgl. Abschnitt 6). Abweichungen hiervon können zu verändertem Wuchs- und Aufnahmeverhalten gegenüber Luftverunreinigungen führen, sodass eine Vergleichbarkeit der Messwerte untereinander sowie mit Ergebnissen anderer Untersuchungen und eine korrekte Beurteilung der Messwerte nicht gewährleistet ist.

Mögliche Anwendungsgebiete sind (nach Richtlinien VDI 3957 Blatt 1 und VDI 3957 Blatt 10):

- immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren und Umweltverträglichkeitsprüfungen,

## 1 Scope

This standard describes the range of use and practical steps of the method of the standardised grass exposure in order to determine and assess the accumulation of air pollutants as deposition-related changes (= effects).

The aim of deploying the method of the standardised grass exposure is to detect the transition of substances from atmosphere to vegetation using a substance-accumulating, standardised plant stand. This grass culture is a proxy for fodder but also for food such as leafy vegetables.

Humans and most animals in terrestrial ecosystems take up persistent air pollutants primarily with their food. Therefore, the method of the standardised grass exposure can also provide the base for assessing the risk of eating fodder or food cultivated outdoors.

The method applies to solid and gaseous substances deposited on plants, where they may accumulate on the plant surface or within the tissues. These substances include sulphur, chloride, fluoride and especially metals as well as low volatile organic and halo-organic compounds such as polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), polychlorinated biphenyls (PCB), polybrominated diphenyl ethers (PBDE), polychlorinated dibenzo dioxins (PCDD) and polychlorinated dibenzo furans (PCDF). The range of potential substances may be expanded according to the task at hand and the capabilities of conducting trace analyses and assessment.

The grass culture is exposed outdoors at different distances around emission sources and additionally in non-exposed sites (background sites). Thereby, requirements on plant material, exposure sites, etc. shall be observed (cf. Section 6). Deviation from the specifications can cause differences in growth and accumulation of air pollutants, which impedes comparability among measurement results as well as comparability with other studies and a correct assessment of measured values.

Potential areas of deployment are (according to VDI 3957 Part 1 and VDI 3957 Part 10):

- permit procedures related to the Immission Control Act and to environmental impact assessments,

- Beweissicherungsverfahren im Immissionschutz,
- Emittentenüberwachung und Erfolgskontrolle,
- kleinräumige Ermittlung der Ausbreitung von Emissionen,
- Ursachenklärung, z.B. im Rahmen der Umweltaftung,
- Luftreinhaltepläne/-strategien,
- immissionsökologische Dauerbeobachtung/ökologische Umweltbeobachtung,
- Ermittlung und Bewertung lokaler, regionaler und landesweiter Immissionswirkungen,
- Gefährdungsabschätzung für Menschen und/oder Tiere über die Nahrungskette.

Die Grundlagen der Beurteilung von Stoffgehalten und Beurteilungswerte für anorganische Elemente in standardisierten Graskulturen sind in Richtlinie VDI 3857 Blatt 2 dargestellt.

- preservation of evidence related to the code for protection from pollution,
- monitoring of emission sources and performance control,
- assessment of local-scale emission dispersion,
- evidence of causation, e.g. related to environmental liability,
- air quality maintenance plans/strategies,
- long-term monitoring of ecological effects of atmospheric depositions,
- detection and assessment of local, regional and countrywide immission effects,
- assessment of risks for humans and/or animals via the food chain.

Fundamental information for assessing the concentration of substances and assessment values for inorganic elements in standardised grass cultures are presented in standard VDI 3857 Part 2.