

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-

Schwermetallmonitoring von Skandinavien bis Italien die gleiche Moosart verwendet werden.

- Moose haben auf Grund leichter Diasporen effiziente Ausbreitungsmöglichkeiten. Es ist davon auszugehen, dass die meisten Moosarten potenziell omnipräsent sind, das heißt Sporen jederzeit über große Gebiete verbreitet werden und sich in alle potenzielle Wuchsgebiete ausbreiten. Ändern sich die Umweltbedingungen, ändert sich auch die Moosvegetation.
- Moose haben schnelle Reproduktionszyklen. Ein ganzer Entwicklungszyklus wird schnellstens in vier Wochen durchlaufen, bei vielen Arten in einem halben Jahr. Eine schnelle Reaktion auf Umwelteinflüsse ist dadurch gesichert.
- Untersuchungen an Moosen können ganzjährig durchgeführt werden.

Die Eignung von Moosarten als Bioindikatoren für Luftqualität ist durch eine Vielzahl von Kartierungen, z.B. [3; 5; 6; 17], sowie experimentell durch Transplantations- oder Begasungsversuche belegt, z.B. [10; 12; 13; 14; 18].

1 Grundlage

Die Artenvielfalt epiphytischer Moose wird durch Luftschadstoffe und andere Umweltfaktoren beeinträchtigt. Um den Grad der Belastung durch die Umwelt abzuschätzen, gehen die Anzahl der Moosarten, ihre Empfindlichkeit und ihre Frequenz auf einer definierten Teilfläche der Baumrinde in einen Index ein. Das im Folgenden beschriebene Verfahren ist eine schnelle, kostengünstige Methode, um Zonen unterschiedlicher Luftqualität gegeneinander abzugrenzen. Es liefert Informationen über Wirkungen von Luftschadstoffen und anderen Einflüssen, die auch allgemeine Hinweise für potenzielle Wirkungen auf Menschen und empfindliche Organismen geben können. Es ermöglicht die Bewertung sowohl der Diversität als auch der Qualität der epiphytischen Moosvorkommen eines Gebietes und somit auch der „Lebensqualität“ des Untersuchungsgebietes (Luftqualität, klimatische Verhältnisse, Biodiversität etc.).

Das Verfahren kann in der Nachbarschaft einer Emissionsquelle angewendet werden, um deren Wirkung aufzuzeigen, oder, in größerem Maßstab, um Schwerpunkte der Luftbelastung aufzudecken. Dies gilt nur für Immissionen, auf die Moose sensitiv reagieren. Der Umkehrschluss, dass bei Ausbleiben einer negativen Reaktion von Moosen die lufthygienische Situation unbedenklich sei, ist nicht zulässig. Wiederholte Erhebungen im gleichen Untersuchungsgebiet ermöglichen die Beurteilung von Veränderungen der Umwelt.

ophyte species can be used Europe-wide for heavy-metal monitoring from Scandinavia to Italy.

- Due to their lightweight diaspores bryophytes are efficiently disseminated. It can be assumed that most bryophyte species are potentially omnipresent, i.e. spores are spread over large areas at any time and disperse into all potential growing areas. If environmental conditions change, bryophyte vegetation will change too.
- Bryophytes have short reproductive cycles. A developmental cycle can be completed within a minimum of four weeks, and within a period of six months for many species. Hence, fast response to environmental impacts is ensured.
- Studies on bryophytes can be carried out throughout the year.

Many mappings (see e.g. [3; 5; 6; 17]) and transplantation or fumigation experiments (see e.g. [10; 12; 13; 14; 18]) give evidence for the suitability of bryophyte species as bioindicators of air quality.

1 Background

The diversity of epiphytic bryophyte species is affected by air pollutants and other environmental factors. The number of bryophyte species, their sensitivity, and abundance on a defined area of bark are incorporated in an index when estimating the environmental stress impact. The procedure described below is a fast, cost-effective method to distinguish zones of different air quality from each other. It provides information on the effects of air pollutants and other environmental impacts which may also provide general indications for potential effects on humans or other sensitive organisms. The method allows for the assessment of both the diversity and quality of epiphytic bryophytes at a given site, and for the “quality of life” in the study area (air quality, climatic conditions, biodiversity, etc.).

The procedure can be used close to sources of emission in order to demonstrate their effect, or – at a larger scale – to uncover centres of air loading. This applies only to immissions to which bryophytes are intolerant. However, it does not follow that the air-hygienic situation is acceptable if a negative response of bryophytes does not take place. Repeated surveys in the same study area allow for the evaluation of environmental changes.

Auf Grund der Tatsache, dass in Wäldern und Forsten die abiotischen Einflussfaktoren (v.a. Licht und Feuchtigkeit) stark differieren können, wird hier ein räumlicher Vergleich verschiedener Walduntersuchungsgebiete schwer möglich sein. An solchen Standorten empfiehlt die Richtlinie durch Wiederholungskartierungen den zeitlichen Wandel zu erfassen und zu beurteilen.

Zur Durchführung der Untersuchungen nach dieser Richtlinie wird Personal benötigt, das über die notwendigen Kenntnisse und Fähigkeiten verfügt.

Die Richtlinie ist in der vorliegenden Form für Deutschland anwendbar.

2 Methode

2.1 Messnetz

Die Größe der Messflächen hängt von der Größe des Messnetzes und folglich vom geographischen Maßstab der Kartierung ab. Bei Messflächen von $0,25 \text{ km} \times 0,25 \text{ km}$ beträgt der kleinstmögliche Gitterlinienabstand $0,25 \text{ km}$. Messflächen können je nach Erfordernis auch in Abständen von $1, 2, 3, \dots, n \text{ km}$ platziert werden. Messflächen größer als $4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$ sind nicht empfehlenswert, da die Homogenität der Standorte nicht mehr gewährleistet ist.

2.2 Trägerbäume

2.2.1 Anzahl der Bäume pro Messfläche

Die Anzahl der Bäume pro Messfläche hängt von deren Größe ab, von der Datenvariabilität innerhalb der Messfläche und vom Bestand an geeigneten Bäumen (siehe Abschnitt 2.2.2). In der Praxis kann die Zahl der Bäume von 3 bis 16 reichen (Tabelle 2): Die in Tabelle 2 vorgeschlagenen Zahlen berücksichtigen sowohl die Schwierigkeit, genügend geeignete Bäume auf kleinen Flächen zu finden, als auch die Notwendigkeit für ein objektives Auswahlverfahren (siehe Abschnitt 2.2.2).

Falls die Minimalanzahl an Bäumen nicht vorhanden ist, muss die Messfläche verworfen werden. Wird ein Messnetz mit nicht aneinander grenzenden Messflächen verwendet, sollte eine andere Messfläche nach dem folgenden Standardverfahren ausgewählt werden: Es wird zur nächstgelegenen Messfläche nach Norden gegangen und dann im Uhrzeigersinn zur nächsten Messfläche, wie in Bild 2 gezeigt [9]. Eine neue Messfläche wird eingerichtet, sobald ausreichend geeignete Bäume vorhanden sind. Falls keine der umgebenden möglichen Messflächen die Bedingungen erfüllt, darf die Messfläche nicht zur Kartierung verwendet werden.

Since abiotic parameters – particularly light and humidity – may vary significantly in forests, spatial comparison between different forestal study areas is hardly possible. For such sites, this guideline recommends recording and assessing temporal changes by repeated mappings.

The investigating staff should have appropriate knowledge and skills required to carry out investigations according to this guideline.

This guideline is intended for application in Germany.

2 Procedure

2.1 Mapping grid

The size of measuring areas depends on the size of the map grid and hence on the geographical scale of the mapping. For areas of $0,25 \text{ km} \times 0,25 \text{ km}$ the smallest possible distance between grid lines is $0,25 \text{ km}$. If required, measuring areas can also be located in intervals of $1, 2, 3, \dots, n \text{ km}$. Measuring areas exceeding $4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$ are not recommended, because homogeneity of sites can no longer be ensured.

2.2 Host trees

2.2.1 Number of trees per measuring area

The number of trees per measuring area depends on the area size, on the data variability within the measuring area, and on the population of suitable trees (see Section 2.2.2). In practice, the number of trees varies between 3 and 16 (Table 2): The recommended numbers given in Table 2 take into consideration both the difficulty of finding enough suitable trees in smaller areas and the requirement for an objective selection procedure (see Section 2.2.2).

The measuring area has to be reconsidered if the required minimum quantity of trees is not available. If a mapping grid without adjoining measuring areas is used, the following standard procedure should be applied to select another measuring area: The investigating staff first moves northwards to the nearest measuring area, then clockwise to the next measuring area as shown in Figure 2 [9]. A new measuring area is set up, as soon as enough suitable trees are at hand. If none of the surrounding possible measuring areas fulfils the required conditions, the measuring area must not be used for mapping.

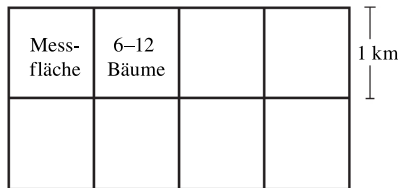
Tabelle 1. Empfohlene Messflächengröße für unterschiedlich große Untersuchungsgebiete

Größe des Untersuchungsgebietes in km ²	< 5	5 bis 100	100 bis 200	200 bis 1000	> 1000 ^{*)}
Seitenlänge Messfläche in km	0,25	0,5 bis 1	1	2	4

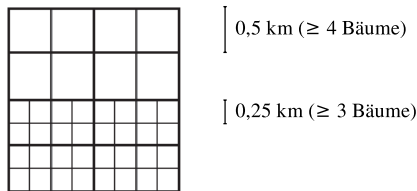
*) Bei großflächigen Untersuchungen kann das Messnetz auf 16 km Seitenlänge vergrößert werden, wobei jeweils eine Messfläche mit maximal 4 km Seitenlänge an den vier Eckpunkten untersucht wird (Bild 1).

a) übliches Messnetz

(z. B. in Städten)



b) verdichtetes Messnetz



c) Messnetz für großräumige Untersuchungsgebiete

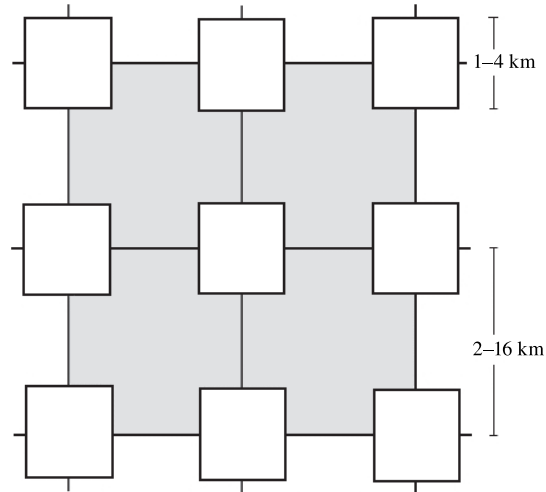


Bild 1. Geeignete Messnetzdichten

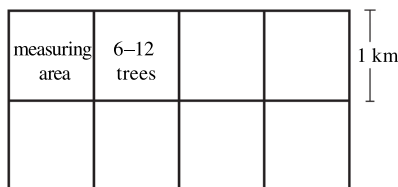
Table 1. Recommended measuring areas for various sizes of study area

Size of study area in km ²	< 5	5 to 100	100 to 200	200 to 1000	> 1000 ^{*)}
Side length of measuring area in km	0,25	0,5 to 1	1	2	4

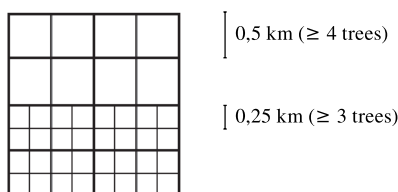
*) For large-area surveys the mapping grid can be extended to a side length of 16 km, in which case a measuring area with a max. side length of 4 km is surveyed at each of the four mapping grid corners (see Figure 1).

a) usual mapping grid

(e. g. in urban areas)



b) dense mapping grid



c) mapping grid for large-area surveys

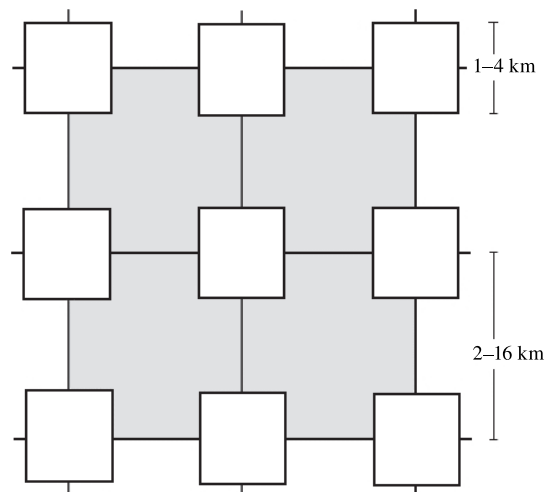


Figure 1. Suitable densities of mapping grids

Tabelle 2. Zu untersuchende Anzahl der Bäume auf Messflächen unterschiedlicher Größe

Größe der Messfläche in km × km	0,25 × 0,25	0,5 × 0,5	1 × 1	> 1 × 1
Anzahl der Bäume <i>n</i>	3 bis 4	4 bis 6	6 bis 12	8 bis 16

Table 2. Number of trees to be surveyed in measuring areas of various sizes

Size of measuring area in km × km	0,25 × 0,25	0,5 × 0,5	1 × 1	> 1 × 1
Number of trees <i>n</i>	3 to 4	4 to 6	6 to 12	8 to 16

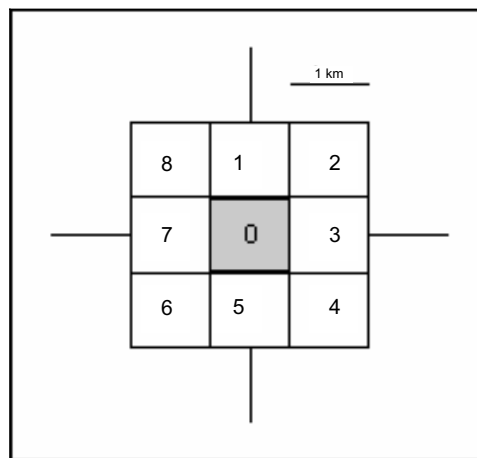


Bild 2. Schema für die Auswahl einer neuen Messfläche, wenn auf der ursprünglich festgelegten Messfläche (0) keine geeigneten Bedingungen vorgefunden werden. Die Nummerierung der Messflächen entspricht der Priorität beim Verschieben (nach [1]).

Figure 2. Scheme for selecting a new measuring area if the originally defined measuring area (0) is deemed unsuitable. Numbers in measuring areas corresponds to the priority sequence during relocating (according to [1]).

Am Beispiel von Messflächen von 1 km × 1 km Größe, die für Kartierungen bei großen geographischen Maßstäben am besten geeignet sind [9], werden die folgenden möglichen Fälle dargelegt:

- Die Anzahl der geeigneten Bäume pro Messfläche ist kleiner als 6 – die Messfläche kann nicht verwendet werden; falls möglich wird eine neue Messfläche nach Bild 2 eingerichtet.
- Die Anzahl der geeigneten Bäume liegt zwischen 6 und 12 – in diesem Fall sollten alle Bäume kartiert werden.
- Die Anzahl der geeigneten Bäume ist größer als 12 – die Bäume für die Probenahme werden nach dem in Abschnitt 2.2.2 dargestellten Verfahren ausgewählt.

Die gleichen Verfahren können sinngemäß auch auf kleinere Messflächen übertragen werden.

Using measuring areas of 1 km × 1 km, which are most suitable for mappings on a large geographical scale [9], the following scenarios are possible:

- The number of suitable trees per measuring area is less than 6 – the measuring area can not be used; if possible, a new measuring area should be set up according to Figure 2.
- The number of suitable trees is between 6 and 12 – all trees should be surveyed.
- The number of suitable trees is greater than 12 – trees for the sampling are selected according to the procedure described in Section 2.2.2.

Basically, the same procedures may also be applied to smaller measuring areas.

2.2.2 Verfahren der Auswahl geeigneter Bäume

Der Umfang der Stämme in 1 m Höhe darf nicht kleiner als 70 cm und nicht größer als 2,10 m sein. Innerhalb einer Kartierung sollen Bäume vergleichbaren Umfangs verwendet werden.

Verletzte Bäume sowie Bäume mit einer Flechtenbedeckung von über 25 % sind ungeeignet. Bäume, die sichtbar durch Kalken, Entrinden oder Abscheuern der Moose durch Weidetiere beeinflusst wurden, sind von der Untersuchung ebenfalls auszuschließen. Es ist nicht statthaft, Bäume in Obstplantagen zu kartieren, in denen Pestizide angewendet werden.

Die Neigung der Bäume darf 10° (Abweichung vom Lot) nicht übersteigen.

Wenn auf einer Messfläche mehr geeignete Bäume stehen als die für die Untersuchung vorgeschrieben, ist folgendermaßen zu verfahren: Aufteilung der Messfläche in vier Quadranten und Auswahl von drei Bäumen je Quadrant, wobei diejenigen Bäume auszuwählen sind, die dem Mittelpunkt der Messfläche am nächsten liegen (Bild 3a). Sind in einem der Quadranten nicht genügend geeignete Bäume vorhanden, so ist die fehlende Anzahl durch solche, bisher nicht verwendete, Bäume der anderen Quadranten aufzufüllen, die dem Mittelpunkt am nächsten sind (Bild 3b).

2.2.2 Procedure for selecting suitable trees

The trunk circumference at a height of 1 m should be greater than 70 cm and less than 2,10 m. Trees for one mapping should be of comparable trunk circumference.

Injured trees and trees with a lichen coverage of more than 25 % are unsuitable for survey. Trees with visible impacts due to liming, debarking or scrubbing off of bryophytes by grazing stock are also excluded. It is not allowed to map trees in fruit plantations in which pesticides are being used.

The inclination of trees should not exceed 10° (deviation from perpendicular).

If there are more suitable trees on a measuring area than prescribed for the investigation the following shall apply: The measuring area is subdivided into four quadrants, and from each quadrant those three trees that are nearest to the centre of the measuring area are selected (see Figure 3a). If there are not enough suitable trees in a quadrant the missing number of trees is added from the remaining trees of the other quadrants that are nearest to the centre (see Figure 3b).

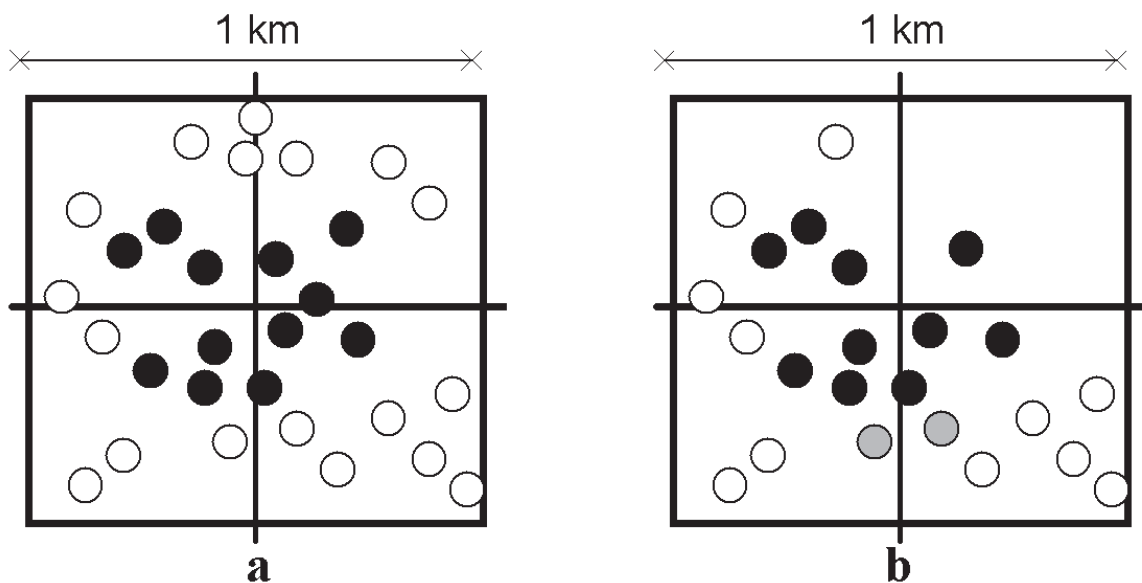


Bild 3. Auswahl der Bäume, die dem Mittelpunkt der Messfläche am nächsten liegen; 3 Bäume je Quadrant [9]
 Figure 3. Selection of trees that are nearest to the centre of the measuring area; three trees per quadrant [9]

2.2.3 Die Auswahl der Baumarten

Die Baumarten werden ausgewählt, nachdem man sich einen Überblick über das zu kartierende Gebiet verschafft hat, um sich über die Anzahl und Verteilung geeigneter Bäume zu vergewissern.

Es wird empfohlen, nur Bäume einer **einzig**en Spezies in einer Kartierung zu verwenden, weil das Vorkommen epiphytischer Moose stark von den Eigenschaften der Borke [4; 15] und auch vom Alter und der Form der Bäume abhängt. Falls das nicht möglich ist, sollen Bäume mit ähnlichen Borkeneigenschaften (z.B. pH-Wert, Wasserspeichervermögen, Nährstoffgehalt) möglichst gleichmäßig gemischt herangezogen werden (siehe Tabelle 3). Diese Option gilt nicht für Waldflächen, hier ist nur eine Baumart zu verwenden.

Untersuchungsergebnisse von sehr verschiedenen Baumarten sind nicht vergleichbar.

Tabelle 3. Baumarten mit ähnlichen physikalisch-chemischen Eigenschaften, die innerhalb jeweils einer Gruppe austauschbar sind (Innerhalb der Gruppen sind die oben stehenden Baumarten am besten für Kartierungszwecke geeignet.)

Bäume mit höherem Borken-pH	Bäume mit niedrigerem Borken-pH
<i>Acer platanoides</i>	<i>Quercus</i> spp.
<i>Populus</i> spp.	<i>Fagus sylvatica</i>
<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Betula pendula</i>
<i>Acer pseudoplatanus</i>	<i>Carpinus betulus</i>
<i>Tilia</i> spp.	<i>Alnus glutinosa</i>
<i>Salix</i> spp.	<i>Aesculus hippocastanum</i>
<i>Juglans regia</i>	<i>Sorbus</i> spp.
<i>Malus</i> spp.	<i>Prunus</i> spp.
<i>Ulmus</i> spp.	<i>Picea</i> spp.
<i>Pyrus communis</i>	<i>Pinus</i> spp.
<i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i>
	<i>Larix decidua</i>
	<i>Abies alba</i>

Um mikroklimatische Einflüsse sowie Sonneneinstrahlung zu berücksichtigen, dürfen in einer Messfläche freistehende und im Wald befindliche Bäume nicht gemeinsam kartiert werden, sondern es wird entsprechend dem Baumbestand des Gebietes eine der folgenden Kategorien festgelegt:

- Kategorie 1: freistehend (Abstand mindestens ein Kronendurchmesser)
- Kategorie 2: dichter Baumbestand

Untersuchungsflächen der gleichen Kategorie sind miteinander vergleichbar.

Bäume in Überschwemmungsbereichen von Flüssen dürfen in die Untersuchung nicht mit einbezogen werden.

2.2.3 Selection of tree species

After an overall view of the area to be mapped has been gained, in order to make sure of the number and distribution of suitable trees, tree species are considered.

It is recommended that trees of **only one** species are used for a mapping, because the occurrence of epiphytic bryophytes strongly depends on bark properties [4; 15], and on the age and form of the trees. If this is not possible, trees with similar bark properties (such as pH, water storage capacity or nutrient content) should be included, and a selection of tree species that is as homogeneous as possible should be used (see Table 3). In forest areas, only one tree species can be used.

Survey results yielded from very different tree species can not be compared.

Table 3. Tree species with similar physicochemical properties that are interchangeable within a particular group (Within the groups, tree species listed at the top are best suited for mapping purposes.)

Trees with relatively high bark pH	Trees with relatively low bark pH
<i>Acer platanoides</i>	<i>Quercus</i> spp.
<i>Populus</i> spp.	<i>Fagus sylvatica</i>
<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Betula pendula</i>
<i>Acer pseudoplatanus</i>	<i>Carpinus betulus</i>
<i>Tilia</i> spp.	<i>Alnus glutinosa</i>
<i>Salix</i> spp.	<i>Aesculus hippocastanum</i>
<i>Juglans regia</i>	<i>Sorbus</i> spp.
<i>Malus</i> spp.	<i>Prunus</i> spp.
<i>Ulmus</i> spp.	<i>Picea</i> spp.
<i>Pyrus communis</i>	<i>Pinus</i> spp.
<i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i>
	<i>Larix decidua</i>
	<i>Abies alba</i>

To take microclimatic influences and insolation into account, isolated trees and forestal trees must not be mapped together in one measuring area. Instead, the population of trees in the area is defined according to one of the following categories:

- Category 1: isolated (minimum distance between trees one canopy diameter)
- Category 2: dense population of trees

Survey areas of the same category can be compared with each other.

Trees in inundation areas of rivers can not be included in surveys.

2.3 Erfassung der Moose

Die Erfassung der Moose erfolgt innerhalb einer definierten Teilfläche des Baumstammes, die den gesamten Stammumfang umfasst und eine Fläche von 0,5 m² betragen soll.

Die Unterkante der Aufnahmefläche ist auf 1 m über dem Boden festgelegt, die Oberkante und somit die Höhe der Aufnahmefläche variiert je nach Größe des Stammumfangs und wird nach Gleichung (1) berechnet.

$$\text{Höhe (in m)} = 0,5 \text{ m}^2 / \text{Baumumfang (in m)} \quad (1)$$

Die so definierte Aufnahmefläche wird in fünf gleich große Felder eingeteilt und für jede Moosart wird notiert, in wie vielen der fünf Felder sie vorkommt (= Frequenz).

Zur Abgrenzung der Aufnahmefläche empfiehlt es sich, zwei Gummibänder zu verwenden, wobei an einem Gummiband fünf Schnüre in gleichmäßigem Abstand befestigt werden (Bild 4).

Falls eine Entnahme von Beleg- und Bestimmungsexemplaren erforderlich ist, ist aus Gründen des Artenschutzes und der Wiederholbarkeit darauf zu achten, dass der Bestand nicht gefährdet wird.

2.3 Recording of bryophytes

Bryophytes are recorded within a defined partial trunk area of 0,5 m² that encloses the entire circumference.

The lower edge of the recording area is defined as 1 m above ground, the upper edge and height of the recording area varies with trunk circumference and is calculated according to Equation (1).

$$\text{Height (in m)} = 0,5 \text{ m}^2 / \text{circumference (in m)} \quad (1)$$

The recording area defined this way is subdivided into five equally-sized segments, and for each bryophyte species the number of segments in which it occurs is recorded (= frequency).

To mark the recording area it is recommended to use two rubber bands, to one of which five cords are attached at regular intervals (see Figure 4).

For reasons of species protection and reproducibility care must be taken not to endanger the population, if sampling of exemplary and/or identification specimens is required.

Tabelle 4. Beispiele, wie hoch die Aufnahmefläche in Abhängigkeit vom Stammumfang in 1 m Höhe gewählt werden muss

Umfang in cm	Höhe in cm	Umfang in cm	Höhe in cm	Umfang in cm	Höhe in cm
70	71	120	41,7	170	29,4
80	62,5	130	38,5	180	27,8
90	55,6	140	35,7	190	26,3
100	50	150	33,3	200	25,0
110	45,5	160	31,3	210	23,8

Table 4. Examples of recording area heights depending on trunk circumference at 1 m height

Circumference in cm	Height in cm	Circumference in cm	Height in cm	Circumference in cm	Height in cm
70	71	120	41,7	170	29,4
80	62,5	130	38,5	180	27,8
90	55,6	140	35,7	190	26,3
100	50	150	33,3	200	25,0
110	45,5	160	31,3	210	23,8

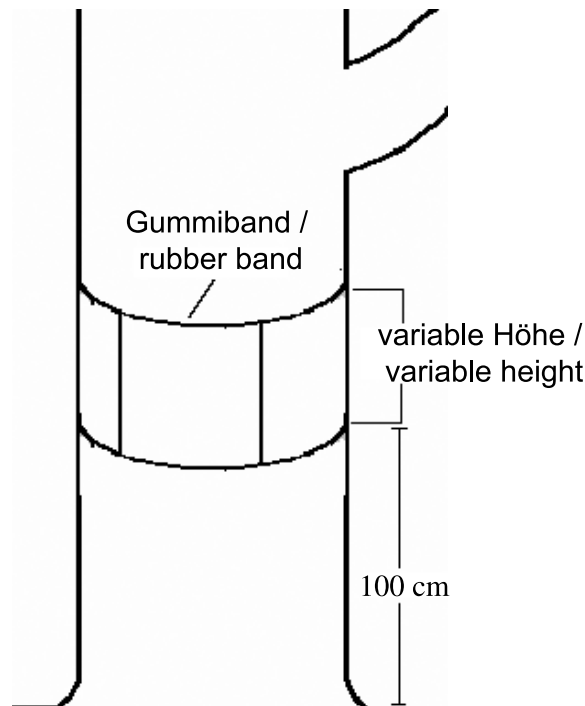


Bild 4. Das dehnbare Aufnahmegitter besteht aus fünf Feldern, deren Höhe vom Umfang des Baumes abhängig ist. Die gesamte Aufnahme­fläche beträgt immer 0,5 m².

Figure 4. The elastic recording grid consists of five segments, whose height depends on the trunk circumference. The entire recording area is always 0,5 m².

3 Auswertung

3.1 Berechnung des Luftqualitätsindex LQI_M

Der Luftqualitätsindex (LQI_M) einer Messfläche ist ein Zeigerwert für die Luftqualität basierend auf Moosen auf dieser Messfläche.

Er gibt eine Einschätzung sowohl über die Diversität als auch über die Qualität der epiphytischen Moosvorkommen eines Gebietes und somit auch über die „Lebensqualität“ des Untersuchungsgebietes (Luftqualität, klimatische Verhältnisse, Biodiversität etc.).

Den epiphytischen Moosarten sind Wertzahlen (Empfindlichkeitswerte = E) zugeordnet, die ein Maß für die artspezifische Belastungstoleranz darstellen (siehe Anhang).

Positiv zu bewertende Umweltverhältnisse hinsichtlich geringer Schadstoffbelastung (z.B. Staub, gasförmige Immissionen), aber auch hoher Luftfeuchtigkeit, günstigen Kleinklimas etc. drücken sich durch hohe Zahlenwerte aus.

Es handelt sich bei den Empfindlichkeitswerten um empirisch gewonnene Erkenntnisse, die durch experimentelle Untersuchungen (Transplantations- und Begasungsversuche) sowie aus der Beobachtung von Kartierungen gestützt werden. Ihr Gültigkeitsbereich beschränkt sich auf das außeralpine Mitteleuropa.

3 Evaluation

3.1 Calculation of air quality index (AQI_M)

The air quality index (AQI_M) of a surveyed area is a bryophyte-based indicator value for air quality valid for this surveyed area.

The index allows for the assessment of both the diversity and quality of epiphytic bryophytes at a given site, and for the “quality of life” in the study area (air quality, climatic conditions, biodiversity, etc.).

Numerical values (sensitivity values = E), that represent a measure of the species-specific stress tolerance (see Annex) are assigned to the epiphytic bryophyte species.

Environmental conditions evaluated as positive with regard to low pollution load (e.g. dust, gaseous pollutants), and high air humidity, favourable microclimate, etc. are indicated by high numerical values.

Sensitivity values are empirical findings that are based upon experimental studies (transplantation and fumigation experiments) and analysis of mappings. Their range of validity is restricted to non-alpine central Europe.

Die Empfindlichkeitswerte sind wie folgt definiert:

<i>E</i>	Definition
16	äußerst empfindliche Arten
8	sehr empfindliche Arten
4	mäßig empfindliche Arten
2	wenig empfindliche Arten
1	unempfindliche Arten
0,5	Störzeiger

Anmerkung: Bei den Störzeigern handelt es sich überwiegend um Arten, die normalerweise Gestein besiedeln, aber immer häufiger an Bäumen anzutreffen sind, und von denen vermutet wird, dass es sich um Eutrophierungszeiger handelt.

Im ersten Schritt der Berechnung des LQI_M einer Messfläche *j* werden für jeden Baum *i* die Frequenzen der Moosarten mit dem artspezifischen *E* multipliziert und aufsummiert. Im nächsten Schritt wird der arithmetische Mittelwert der Messfläche *j* gebildet (Gleichung (2)).

$$LQI_{Mj} = \sum (E_k \cdot \text{Frequenz}) / n_j \quad (2)$$

Dabei ist

- LQI_{Mj} Luftqualitätsindex der Messfläche *j*
- E_k Empfindlichkeitswert der Moosart *k*
- n_j Anzahl der kartierten Bäume der Messfläche *j*

Arten, die nicht in der Liste im Anhang aufgeführt sind, werden mit einem Empfindlichkeitswert von 1 in die Berechnung miteinbezogen.

3.2 Kartographische Darstellung und Interpretation

LQI_M von Messflächen mit dichtem Baumbestand sind nicht mit Messflächen, in denen freistehende Bäume untersucht wurden, vergleichbar. Daher erfolgt die kartographische Darstellung und Interpretation der Ergebnisse für die einzelnen Kategorien getrennt.

3.2.1 Kategorie 1 (freistehende Bäume)

Für die Bewertung und kartographische Darstellung werden die ermittelten Luftqualitätsindizes in Klassen eingeteilt.

Es sind fünf Klassen definiert, die mit einer verbalen Bewertung sowie einer Farbskala zur kartographischen Darstellung gekoppelt sind.

Gebiete mit sehr schlechter Luftqualität zeichnen sich durch das Vorhandensein sehr weniger Moosarten mit hoher Toxizität aus, wohingegen Gebiete mit sehr guter Luftqualität eine hohe Moosdiversität mit empfindlichen Arten besitzen.

Sensitivity values are defined as follows:

<i>E</i>	Definition
16	extremely sensitive species
8	very sensitive species
4	moderately sensitive species
2	less sensitive species
1	insensitive species
0,5	interference indicators

Note: Interference indicators are predominantly epilithic species that are increasingly found on trees, and are thought to be indicators of eutrophication.

When calculating the AQI_M for a particular measuring area *j*, frequencies of bryophyte species on each tree *i* are first multiplied by the species-specific *E* value, and then added up. The next step is to calculate the arithmetic mean of the value *j* in the measuring area (Equation (2)).

$$AQI_{Mj} = \sum (E_k \cdot \text{frequency}) / n_j \quad (2)$$

where

- AQI_{Mj} air quality index of measuring area *j*
- E_k sensitivity value of bryophyte species *k*
- n_j number of trees mapped in measuring area *j*

Species not listed in the Annex are included in the calculation and assigned a sensitivity value of 1.

3.2 Cartographic presentation and interpretation

Air quality indices (AQI_M) of measuring areas with a dense population of trees can not be compared to measuring areas with isolated trees. Therefore, cartographic presentation and interpretation of results is carried out for each category separately.

3.2.1 Category 1 (isolated trees)

Calculated air quality indices are classified for evaluation and cartographic presentation.

Five classes are defined that are linked to both a verbal evaluation and a colour scale.

Areas with very poor air quality are characterised by the occurrence of only a few bryophyte species exhibiting high tolerance to toxins, whereas areas with very good air quality contain a high diversity of bryophytes, including sensitive species.

Tabelle 5. Beispiel für die Berechnung des Luftqualitätsindex LQ_M

Baum 1, Messfläche <i>j</i>			
	Frequenz	<i>E</i>	Produkt
Moosart 1	1	2	2
Moosart 2	4	1	4
Moosart 3	2	0,5	1
Moosart 4	1	8	8
Moosart 5	5	4	20
Moosart 6	2	2	4
Summe			39

Baum 2, Messfläche <i>j</i>			
	Frequenz	<i>E</i>	Produkt
Moosart 1	1	16	16
Moosart 2	5	1	5
Moosart 3	2	8	16
Moosart 4	3	2	6
Moosart 5	1	4	4
Moosart 6	2	4	8
Moosart 7	4	0,5	2
			57

Baum 3, Messfläche <i>j</i>			
	Frequenz	<i>E</i>	Produkt
Moosart 1	2	4	8
Moosart 2	3	1	3
Moosart 3	1	8	8
Moosart 4	5	1	5
Moosart 5	2	2	4
Moosart 6	3	1	3
Moosart 7	2	0,5	1
Summe			32

Baum 4, Messfläche <i>j</i>			
	Frequenz	<i>E</i>	Produkt
Moosart 1	4	2	8
Moosart 2	2	4	8
Moosart 3	1	8	8
Moosart 4	5	1	5
Moosart 5	4	0,5	2
Moosart 6	2	0,5	1
Moosart 7	2	4	8
			40

Gesamtsumme	168
LQ_M der Messfläche <i>j</i>	42

In Gebieten mit sehr niedrigen Luftqualitätsindizes ist mit großer Wahrscheinlichkeit die biologisch wirksame Luftverschmutzung eine Hauptursache für das geringe Vorkommen der Moose. Vorgegebenes Ziel sollte ein Mindestwert der Luftreinheit sein. Der Erfolg von Luftreinigungsmaßnahmen wird sichtbar, wenn in einer Wiederholungsuntersuchung höhere LQ_M festgestellt werden. Eine ausgeprägte Verschlechterung der LQ_M nach Vergleichen mit früheren Untersuchungen signalisiert eine Verschlechterung der Umweltbedingungen, insbesondere der Luftqualität.

Air pollution that has a biological effect is most likely a major reason for the low abundance of bryophytes in areas with very low air quality indices. The objective should be a minimum value for air purity. Success of air pollution prevention schemes is indicated if higher AQI_M values are determined in a repeat survey. A significant decrease of air quality indices in comparison to previous surveys indicates deterioration of environmental conditions – in particular of air quality.

Table 5. Example for calculating the air quality index AQ_M

Tree 1, measuring area <i>j</i>			
	Frequency	<i>E</i>	Product
Bryophyte species 1	1	2	2
Bryophyte species 2	4	1	4
Bryophyte species 3	2	0,5	1
Bryophyte species 4	1	8	8
Bryophyte species 5	5	4	20
Bryophyte species 6	2	2	4
Total			39

Tree 2, measuring area <i>j</i>			
	Frequency	<i>E</i>	Product
Bryophyte species 1	1	16	16
Bryophyte species 2	5	1	5
Bryophyte species 3	2	8	16
Bryophyte species 4	3	2	6
Bryophyte species 5	1	4	4
Bryophyte species 6	2	4	8
Bryophyte species 7	4	0,5	2
			57

Tree 3, measuring area <i>j</i>			
	Frequency	<i>E</i>	Product
Bryophyte species 1	2	4	8
Bryophyte species 2	3	1	3
Bryophyte species 3	1	8	8
Bryophyte species 4	5	1	5
Bryophyte species 5	2	2	4
Bryophyte species 6	3	1	3
Bryophyte species 7	2	0,5	1
Total			32

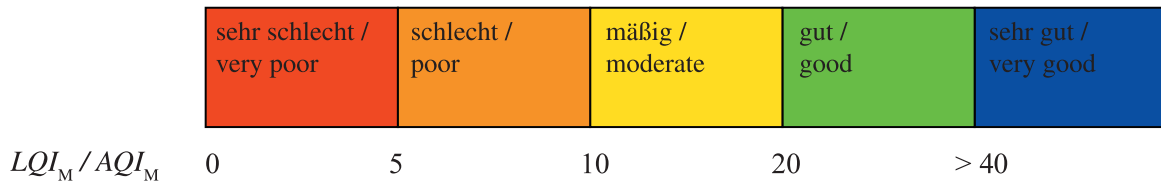
Tree 4, measuring area <i>j</i>			
	Frequency	<i>E</i>	Product
Bryophyte species 1	4	2	8
Bryophyte species 2	2	4	8
Bryophyte species 3	1	8	8
Bryophyte species 4	5	1	5
Bryophyte species 5	4	0,5	2
Bryophyte species 6	2	0,5	1
Bryophyte species 7	2	4	8
			40

Total sum		168	
AQ_M of measuring area <i>j</i>		42	

Alternativ zur Darstellung der Ergebnisse auf Basis der Rasterquadrate kann eine Einteilung des Untersuchungsraumes in homogene Geländeabschnitte vorgenommen werden. Hierbei werden jeweils solche Bäume zu Einheiten zusammengefasst, die annähernd gleichartige Umweltbedingungen bezüglich Nutzungsform, Mikroklima, Geologie, Topographie etc. aufweisen. Umfassen solche gleichartigen Einheiten mehr als zehn Bäume, so werden sie in Unter-einheiten zu ca. zehn Bäumen aufgeteilt. Somit finden weitere wichtige Umweltparameter, die für das Vorkommen epiphytischer Moose von Bedeutung sind, Berücksichtigung, und den oft kleinräumig wechselnden Raum- und Immissionsverhältnissen wird besser Rechnung getragen.

Instead of presenting results relating to grid quadrats, the study area can also be divided into homogeneous territory sections. In doing so, trees are pooled into units featuring more or less similar environmental conditions, with regard to type of land use, microclimate, and geological and topographical properties, etc. If these homogeneous units contain more than ten trees, they are divided into subunits of approximately ten trees each. Thus, additional important environmental parameters that are relevant to the occurrence of epiphytic bryophytes are taken into account; and consideration of spatial and pollution conditions that often change over small distances is improved.

Kategorie 1 (freistehende Bäume) – Bewertung der Luftqualität /
 Category 1 (isolated trees) – Evaluation of air quality



Erhalten Gebiete mit ähnlichem Baumbestand, Landnutzung und Relief unterschiedliche Bewertungen, ist dies mit großer Wahrscheinlichkeit auf unterschiedliche lufthygienische Belastungen zurückzuführen.

If evaluation of territories with similar populations of trees, land use, and relief yields different results, this is most probably due to differences in pollution loads.

3.2.2 Kategorie 2 (dichter Baumbestand)

Insbesondere in Wäldern und Parkanlagen sind für das Wachstum der Moose neben der Luftqualität auch weitere Faktoren von besonderer Bedeutung. Hierzu zählen mikroklimatische Einflüsse wie Lichteinfall und Luftfeuchtigkeit, forstliche Bewirtschaftung sowie der Baumbestand (Alter, Substrateigenschaften). Dies bedingt, dass nur bei ähnlichen Voraussetzungen bezüglich der genannten Faktoren ein räumlicher Vergleich von Messflächen mit dichtem Baumbestand möglich ist. Sind vergleichbare Bedingungen nicht gegeben, ist nur eine Erfassung von zeitlichen Trends der LQI_M durch Wiederholungskartierungen möglich.

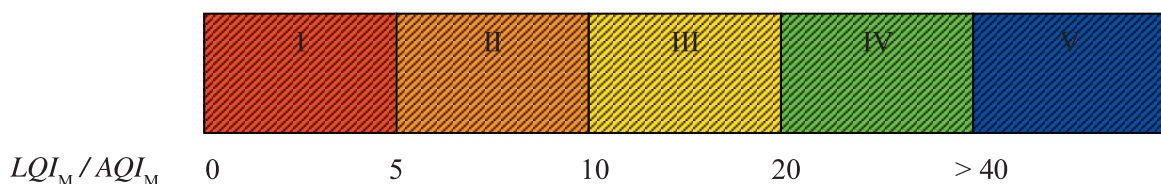
3.2.2 Category 2 (dense population of trees)

Particularly in forests and parks, additional factors besides air quality are especially relevant to the growth of bryophytes. These factors include microclimatic influences, such as light penetration and humidity, and forestal cultivation and the population of trees (age, substrate properties). Consequently, similar conditions (with regard to the factors mentioned) are a prerequisite for spatial comparisons of measuring areas with a dense population of trees. If such conditions do not apply, only temporal trends of air quality indices can be recorded by carrying out repeated mappings.

Für die kartographische Darstellung werden die ermittelten LQI_M in fünf Klassen eingeteilt, die mit einer Farbskala gekoppelt sind. Zur Unterscheidung von Messflächen der Kategorie 1 werden die Messflächen mit dichtem Baumbestand schraffiert dargestellt. Auf eine verbale Bewertung analog Abschnitt 3.2.1 wird hier verzichtet, da sowohl die Häufigkeit der Moose als auch das Artenspektrum einer Messfläche nicht nur durch die Luftqualität beeinflusst werden, sondern erheblich vom Baumbestand abhängen.

For cartographic presentation, five classes of the determined AQI_M that are linked to a colour scale are defined. Measuring areas with a dense population of trees are depicted with cross-hatching to discriminate them from category 1 measuring areas. A verbal evaluation analogous to Section 3.2.1 is not made here, because both frequency of bryophytes and spectrum of species within an area are significantly dependent on the population of trees and air quality.

Kategorie 2 (dichter Baumbestand) / Category 2 (dense population of trees)



Wird durch Wiederholungskartierungen innerhalb einer Messfläche eine höhere Klasseneinstufung erzielt, ist von einer Verbesserung der Luftqualität auszugehen, falls die Standortbedingungen weitestgehend konstant geblieben sind.

4 Weiterführende Auswertungen

Eine weitergehende Auswertung und Bewertung der Daten hinsichtlich der Verteilung des Artenspektrums ist empfehlenswert.

Die Information, die von jeder Art gewonnen werden kann, kann dazu benutzt werden, die Ergebnisse im Hinblick auf verschiedene Umweltveränderungen zu interpretieren. Beispiele hierfür sind:

- verschiedene Diversitätsberechnungen (α -, β -, γ -Diversität)
- Darstellung ausgewählter Indikatorarten/-gruppen
- die Verwendung ökologischer Kennzahlen (Zeigerwerte nach [8]), z.B. Reaktionszahl, um den Säureeintrag zu beobachten
- die Zusammenfassung der Arten in Gruppen hinsichtlich ihrer Standortansprüche (z.B. obligate/fakultative Epiphyten und Epilithen)
- multivariate Computeranalysen (unter Einbeziehung weiterer Umweltdaten)

5 Qualitätssicherung

5.1 Qualifikation der kartierenden Personen

- Kenntnisse der Moosarten; gegebenenfalls Nachweis dieser Qualifikation
- Regelmäßige Auffrischung der bryologischen Kenntnisse: Teilnahme an Exkursionen, Fortbildung, Teilnahme an Ringversuchen
- Kenntnis der Baumarten

5.2 Planung der Untersuchung

Vor Beginn der Geländearbeiten muss die Untersuchung im Detail geplant werden durch Festlegung:

- des Untersuchungsrahmens
- der Messflächen nach Größe und Lage
- der Baumartengruppe

5.3 Dokumentation des Projektes und der Geländearbeit

Von jedem Baum, der kartiert wird, sind folgende Informationen zu dokumentieren und an den Auftraggeber weiterzugeben (damit eine Wiederholungsuntersuchung veranlasst werden kann):

Where site conditions remain constant, air quality is regarded as improved if the area under consideration is reclassified into a higher class in the course of repeated mappings.

4 Further data analysis

Further analysis and evaluation of data with regard to the distribution and spectrum of species is recommended.

Any information obtained for each species can be used to interpret results regarding various environmental changes. Examples are:

- various calculations of diversity (α -, β -, γ -diversity)
- presentation of selected indicator species or groups
- use of ecological indices (indicator values according to [8]), e.g. response index to monitor acid loading
- assignment of species to groups with respect to their habitat requirements (e.g. obligatory/facultative epiphytes and epilithic plants)
- multivariate computer analyses (including additional environmental data)

5 Quality assurance

5.1 Required qualifications for mapping staff

- knowledge of bryophyte species (proof of this qualification, if necessary)
- regular revision of knowledge in bryology: participation in excursions and interlaboratory tests, further training
- knowledge of tree species

5.2 Planning of survey

Prior to field work, the survey needs to be planned in detail by defining the

- survey grid,
- measuring areas according to size and location
- group of tree species

5.3 Project and field-work documentation

For each tree which has been mapped, the following data should be documented and forwarded to the ordering party (so that a repeat survey can be performed):

- Lage und Beschreibung des Untersuchungsgebietes
- Angaben zu Klima, Bebauung etc. des Untersuchungsgebietes
- kartierte Baumartengruppe
- Anzahl der kartierten Bäume
- mittlere Anzahl kartierter Bäume pro Messfläche
- Bearbeiter/-in
- Projektname/Name des Untersuchungsgebietes
- Nummern, Bezeichnung der Messflächen
- Datum der Aufnahme
- Nummer und geographische Koordinaten jedes Probe-Baumes
- Art und Eigenschaften des Trägerbaumes
- genaue Beschreibung der Standorteigenschaften für jeden Trägerbaum
- Liste der vorgefundenen Moosarten und ihrer Frequenzen
- Bemerkungen zu Besonderheiten
- location and description of study area
- details on climate, cultivation, etc. of the study area
- mapped group of tree species
- number of trees mapped
- average number of mapped trees per measuring area
- name of mapping person
- project name, name of study area
- numbers and denominations of measuring areas
- recording date
- number and geographical coordinates of each sampled tree
- host tree species and their properties
- precise description of habitat characteristics for each host tree
- list of bryophyte species found (including frequencies)
- notes on specific characteristics

Schrifttum/Bibliography

- [1] *Asta, J., W. Erhardt, M. Ferretti, F. Fornasier, U. Kirschbaum, P. L. Nimis, O. W. Purvis, S. Pirintzos, C. Scheidegger, C. van Haluwyn and V. Wirth*: Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality. In: *Nimis, P.L.* et al. (eds.): Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens. NATO Science Series, IV, vol. 7. Kluwer, Dordrecht (2002), pp. 273–279
- [2] *Barkman, J.J.*: The influence of air pollution on bryophytes and lichens. In: *Air Pollution – Proceedings of the First European Congress on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals*, Wageningen (1968), pp. 197–209
- [3] *Bates, J. W., M. C. F. Proctor, C. D. Preston, N. G. Hodgetts and A. R. Perry*: Occurrence of epiphytic bryophytes in a ‘tetrad’ transect across Southern Britain. *Journal of Bryology* 19 (1997), pp. 685–714
- [4] *Billings, W. D. and W. B. Drew*: Bark Factors Affecting the Distribution of Corticolous Bryophytic Communities. *Am. Midl. Nat.* 20 (1938), pp. 302–333
- [5] *Düll, R.*: Neuere Untersuchungen über Moose als abgestufte ökologische Indikatoren für die SO₂-Immissionen im Industriegebiet zwischen Rhein und Ruhr bei Duisburg. VDI-Kommission Reinhaltung der Luft. Düsseldorf (1974)
- [6] *Düll, R.*: Moose als abgestufte ökologische Zeigerarten für die SO₂-Immissionen im Industriegebiet zwischen Rhein und Ruhr bei Duisburg. *Bull. Soc. Bot. France* 121 (1974), S. 264–269
- [7] *Düll, R.*: Moose als Bioindikatoren für die Luftreinheit. Jahresberichte des Naturh. Vereins in Wuppertal 10 (1977), S. 21–31
- [8] *Düll, R.*: Zeigerwerte von Laub- und Lebermoosen. In: *Ellenberg, H., H. E. Weber, R. Düll, V. Wirth und W. Werner*: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa, 3., durchgesehene Auflage. *Scripta Geobotanica* (2001), S. 175–220
- [9] *Ferretti, M. and W. Erhardt*: Key issues in designing biomonitoring programmes. In: *Nimis, P.L.* et al. (eds.): Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens. NATO Science Series, IV, vol. 7. Kluwer, Dordrecht (2002), pp. 111–139
- [10] *Frahm, J.-P.*: Transplantationsversuche mit epigäischen Moosen zur Eichung von Bioindikatoren für die Luftverschmutzung. *Natur und Landschaft* 51 (1976), S. 19–22
- [11] *Frahm, J.-P.*: Moose als Bioindikatoren. *Biologische Arbeitsbücher* 57, Quelle & Meyer, Wiesbaden (1998)
- [12] *Frahm, J.-P.*: Climatic habitat differences of epiphytic lichens and bryophytes. *Cryptogamie, Bryologie* 24 (2003) 1, pp. 3–14
- [13] *Gilbert, O.L.*: The effect of SO₂ on lichens and bryophytes around Newcastle upon Tyne. *Air Pollution, Proceedings of the First European Congress on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals*, Wageningen, April 22 to 27, 1968, pp. 223–235
- [14] *Greven, H. C.*: Changes in the Dutch Bryophyte Flora and Air Pollution. *Dissertationes Botanicae* 194 (1992)
- [15] *Hohbohm, C.*: Epiphytische Kryptogamen und pH-Wert – ein Beitrag zur ökologischen Charakterisierung von Borkenoberflächen. *Herzogia* 13 (1998), S. 107–111
- [16] *Koperski, M., M. Sauer, W. Braun und S. R. Gradstein*: Referenzliste der Moose Deutschlands. Bundesamt für Naturschutz, Bonn (2000)
- [17] *LeBlanc, F. and J. DeSloover*: Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canadian Journal of Botany* 48 (7) (1970), pp. 1485–1492
- [18] *Syratt, W. J. and P. J. Wanstall*: The effect of sulphur dioxide on epiphytic bryophytes. *Air Pollution, Proceedings of the First European Congress on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals*, Wageningen, April 22 to 27, 1968, pp. 79–85

Bestimmungsschlüssel/Identification keys:

- Frahm, J.-P.*: Moose als Bioindikatoren. *Biologische Arbeitsbücher* 57, Quelle & Meyer, Wiesbaden (1998)
- Frahm, J.-P. und W. Frey*: *Moosflora*, 4. Aufl. (2004), UTB, Ulmer, Stuttgart (Hohenheim)
- Frey, W., J.-P. Frahm, E. Fischer und W. Lobin*: *Die Moos- und Farnpflanzen Europas. Kleine Kryptogamenflora*, Band IV, 6. Aufl. (1995), Fischer, Stuttgart
- Nebel, M. und G. Philippi* (Hrsg.): *Die Moose Baden-Württembergs*, Band 1. Ulmer, Stuttgart (Hohenheim) (2000)
- Nebel, M. und G. Philippi* (Hrsg.): *Die Moose Baden-Württembergs*, Band 2. Ulmer, Stuttgart (Hohenheim) (2001)

Anhang Empfindlichkeits- und ZeigerwerteEmpfindlichkeitswerte (*E*) und Zeigerwerte (*L*, *T*, *F*, *R* nach [8]) epiphytischer Moosarten (Nomenklatur nach [16])

Moosart	<i>E</i>	<i>L</i>	<i>T</i>	<i>F</i>	<i>R</i>
<i>Amblystegium serpens</i> (inkl. var. <i>juratzkanum</i>)	1	5	x	4	6
<i>Anomodon attenuatus</i> *	8	5	5	5	7
<i>Anomodon viticulosus</i> *	8	4	3	4	8
<i>Antitrichia curtipendula</i>	16	6	3	4	6
<i>Brachythecium populeum</i>	0,5	4	3	3	6
<i>Brachythecium rutabulum</i>	0,5	5	x	4	x
<i>Brachythecium salebrosum</i>	0,5	6	4	4	6
<i>Brachythecium velutinum</i>	0,5	5	3	4	6
<i>Bryum argenteum</i>	0,5	7	x	x	6
<i>Bryum capillare</i>	1	5	x	5	6
<i>Bryum subelegans</i>	2	5	5	5	6
<i>Ceratodon purpureus</i>	0,5	8	x	2	x
<i>Cryphaea heteromalla</i>	4	7	6	4	6
<i>Dicranoweisia cirrata</i>	1	7	6	5	5
<i>Dicranum montanum</i>	2	6	3	5	2
<i>Dicranum scoparium</i>	2	5	x	4	4
<i>Dicranum tauricum</i>	1	4	3	4	3
<i>Dicranum viride</i>	4	5	5	5	7
<i>Frullania dilatata</i>	4	8	3	4	7
<i>Frullania fragillifolia</i>	8	7	4	5	4
<i>Frullania tamarisci</i>	8	7	3	4	5
<i>Grimmia pulvinata</i>	0,5	8	5	1	7
<i>Homalothecium lutescens</i>	4	9	4	2	8
<i>Homalothecium sericeum</i>	4	7	3	2	7
<i>Hypnum andoi</i>	4	3	4	6	3
<i>Hypnum cupressiforme</i>	1	5	x	4	4
<i>Hypnum cupressiforme</i> var. <i>resupinatum</i>	8	6	5	5	1
<i>Isothecium alopecuroides</i>	4	5	4	5	6
<i>Isothecium myosuroides</i>	4	4	4	6	4
<i>Lejeunea cavifolia</i>	8	5	3	6	6
<i>Leskea polycarpa</i>	2	7	5	4	7
<i>Leucodon sciuroides</i>	8	8	5	4	6
<i>Lophocolea heterophylla</i>	1	4	3	4	3
<i>Metzgeria conjugata</i>	8	4	4	7	5
<i>Metzgeria fruticulosa</i>	8	5	5	5	5
<i>Metzgeria furcata</i>	4	5	3	4	6
<i>Metzgeria temperata</i>	8	4	6	5	3
<i>Microlejeunea ulicina</i>	16	6	5	5	3
<i>Neckera complanata</i> *	4	4	3	4	7
<i>Neckera crispa</i>	8	3	3	4	7
<i>Neckera pennata</i>	16	5	4	5	6
<i>Neckera pumila</i>	8	5	3	5	5
<i>Orthotrichum affine</i>	2	8	4	4	6

Moosart	E	L	T	F	R
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	0,5	8	6	2	6
<i>Orthotrichum gymnostomum</i>	16	7	3	3	6
<i>Orthotrichum lyellii</i>	4	7	4	4	5
<i>Orthotrichum obtusifolium</i>	4	7	2	4	8
<i>Orthotrichum pallens</i>	4	4	2	4	5
<i>Orthotrichum patens</i>	4	6	4	4	6
<i>Orthotrichum pulchellum</i>	4	8	6	3	5
<i>Orthotrichum pumilum</i>	4	8	4	4	7
<i>Orthotrichum rogeri</i>	16	7	3	4	–
<i>Orthotrichum scanicum</i>	16	6	6	–	–
<i>Orthotrichum speciosum</i>	4	7	2	5	5
<i>Orthotrichum stellatum</i>	8	7	6	5	5
<i>Orthotrichum stramineum</i>	4	7	4	3	6
<i>Orthotrichum striatum</i>	4	8	3	5	6
<i>Orthotrichum tenellum</i>	4	8	6	3	6
<i>Paraleucobryum longifolium</i>	4	4	2	4	1
<i>Platygyrium repens</i>	4	6	5	4	6
<i>Porella platyphylla</i>	8	5	3	4	6
<i>Pseudoleskeella nervosa</i>	8	7	4	5	6
<i>Pterigynandrum filiforme</i>	8	6	2	5	5
<i>Ptilidium pulcherrimum</i>	2	7	3	5	2
<i>Pylaisia polyantha</i>	4	8	3	5	7
<i>Radula complanata</i>	4	7	3	5	7
<i>Sanionia uncinata</i>	1	x	x	7	3
<i>Tortula laevipila</i>	4	8	5	3	6
<i>Tortula latifolia</i>	4	7	6	5	7
<i>Tortula muralis</i>	0,5	8	5	2	x
<i>Tortula pagorum</i>	4	9	8	3	7
<i>Tortula papillosa</i>	4	8	6	3	6
<i>Tortula virescens</i>	4	8	5	3	6
<i>Ulota bruchii</i>	4	4	3	5	4
<i>Ulota coarctata</i>	8	6	3	6	6
<i>Ulota crispa</i>	4	4	3	6	4
<i>Ulota drummondii</i>	16	7	2	6	4
<i>Ulota macrospora</i>	16	5	6	6	2
<i>Ulota phyllantha</i>	8	6	5	6	7
<i>Zygodon conoideus</i>	8	5	6	6	5
<i>Zygodon dentatus</i>	8	6	4	6	7
<i>Zygodon viridissimus</i> s.l. (inkl. <i>rupestris</i>)	4	4	6	5	7

* Diese Arten gehen nur in Silikatgebieten in die Bewertung ein.

x indifferent

– kein Wert vorhanden

Sterile Arten der Gattung *Orthotrichum* ohne Brutkörper erhalten einen Empfindlichkeitswert von 2.

Bei den hier dargestellten Empfindlichkeitswerten handelt es sich um empirisch ermittelte Werte, deren Einordnung nach Ergebnissen von Kartierungen, Transplantations- und Begasungsversuchen in der Literatur, sowie nach der persönlichen Einschätzung verschiedener Bryologen erfolgte.

Annex Sensitivity and indicator values

Sensitivity (*E*) and indicator values (*L*, *T*, *F*, *R* according to [8]) of epiphytic bryophyte species (nomenclature according to [16])

Bryophyte species	<i>E</i>	<i>L</i>	<i>T</i>	<i>F</i>	<i>R</i>
<i>Amblystegium serpens</i> (incl. var. <i>juratzkanum</i>)	1	5	x	4	6
<i>Anomodon attenuatus</i> *	8	5	5	5	7
<i>Anomodon viticulosus</i> *	8	4	3	4	8
<i>Antitrichia curtipendula</i>	16	6	3	4	6
<i>Brachythecium populeum</i>	0,5	4	3	3	6
<i>Brachythecium rutabulum</i>	0,5	5	x	4	x
<i>Brachythecium salebrosum</i>	0,5	6	4	4	6
<i>Brachythecium velutinum</i>	0,5	5	3	4	6
<i>Bryum argenteum</i>	0,5	7	x	x	6
<i>Bryum capillare</i>	1	5	x	5	6
<i>Bryum subelegans</i>	2	5	5	5	6
<i>Ceratodon purpureus</i>	0,5	8	x	2	x
<i>Cryphaea heteromalla</i>	4	7	6	4	6
<i>Dicranoweisia cirrata</i>	1	7	6	5	5
<i>Dicranum montanum</i>	2	6	3	5	2
<i>Dicranum scoparium</i>	2	5	x	4	4
<i>Dicranum tauricum</i>	1	4	3	4	3
<i>Dicranum viride</i>	4	5	5	5	7
<i>Frullania dilatata</i>	4	8	3	4	7
<i>Frullania fragillifolia</i>	8	7	4	5	4
<i>Frullania tamarisci</i>	8	7	3	4	5
<i>Grimmia pulvinata</i>	0,5	8	5	1	7
<i>Homalothecium lutescens</i>	4	9	4	2	8
<i>Homalothecium sericeum</i>	4	7	3	2	7
<i>Hypnum andoi</i>	4	3	4	6	3
<i>Hypnum cupressiforme</i>	1	5	x	4	4
<i>Hypnum cupressiforme</i> var. <i>resupinatum</i>	8	6	5	5	1
<i>Isothecium alopecuroides</i>	4	5	4	5	6
<i>Isothecium myosuroides</i>	4	4	4	6	4
<i>Lejeunea cavifolia</i>	8	5	3	6	6
<i>Leskea polycarpa</i>	2	7	5	4	7
<i>Leucodon sciuroides</i>	8	8	5	4	6
<i>Lophocolea heterophylla</i>	1	4	3	4	3
<i>Metzgeria conjugata</i>	8	4	4	7	5
<i>Metzgeria fruticulosa</i>	8	5	5	5	5
<i>Metzgeria furcata</i>	4	5	3	4	6
<i>Metzgeria temperata</i>	8	4	6	5	3
<i>Microlejeunea ulicina</i>	16	6	5	5	3
<i>Neckera complanata</i> *	4	4	3	4	7
<i>Neckera crispa</i>	8	3	3	4	7
<i>Neckera pennata</i>	16	5	4	5	6
<i>Neckera pumila</i>	8	5	3	5	5
<i>Orthotrichum affine</i>	2	8	4	4	6

Bryophyte species	E	L	T	F	R
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	0,5	8	6	2	6
<i>Orthotrichum gymnostomum</i>	16	7	3	3	6
<i>Orthotrichum lyellii</i>	4	7	4	4	5
<i>Orthotrichum obtusifolium</i>	4	7	2	4	8
<i>Orthotrichum pallens</i>	4	4	2	4	5
<i>Orthotrichum patens</i>	4	6	4	4	6
<i>Orthotrichum pulchellum</i>	4	8	6	3	5
<i>Orthotrichum pumilum</i>	4	8	4	4	7
<i>Orthotrichum rogeri</i>	16	7	3	4	–
<i>Orthotrichum scanicum</i>	16	6	6	–	–
<i>Orthotrichum speciosum</i>	4	7	2	5	5
<i>Orthotrichum stellatum</i>	8	7	6	5	5
<i>Orthotrichum stramineum</i>	4	7	4	3	6
<i>Orthotrichum striatum</i>	4	8	3	5	6
<i>Orthotrichum tenellum</i>	4	8	6	3	6
<i>Paraleucobryum longifolium</i>	4	4	2	4	1
<i>Platygyrium repens</i>	4	6	5	4	6
<i>Porella platyphylla</i>	8	5	3	4	6
<i>Pseudoleskeella nervosa</i>	8	7	4	5	6
<i>Pterigynandrum filiforme</i>	8	6	2	5	5
<i>Ptilidium pulcherrimum</i>	2	7	3	5	2
<i>Pylaisia polyantha</i>	4	8	3	5	7
<i>Radula complanata</i>	4	7	3	5	7
<i>Sanionia uncinata</i>	1	x	x	7	3
<i>Tortula laevipila</i>	4	8	5	3	6
<i>Tortula latifolia</i>	4	7	6	5	7
<i>Tortula muralis</i>	0,5	8	5	2	x
<i>Tortula pagorum</i>	4	9	8	3	7
<i>Tortula papillosa</i>	4	8	6	3	6
<i>Tortula virescens</i>	4	8	5	3	6
<i>Ulota bruchii</i>	4	4	3	5	4
<i>Ulota coarctata</i>	8	6	3	6	6
<i>Ulota crispa</i>	4	4	3	6	4
<i>Ulota drummondii</i>	16	7	2	6	4
<i>Ulota macrospora</i>	16	5	6	6	2
<i>Ulota phyllantha</i>	8	6	5	6	7
<i>Zygodon conoideus</i>	8	5	6	6	5
<i>Zygodon dentatus</i>	8	6	4	6	7
<i>Zygodon viridissimus</i> s.l. (incl. <i>rupestris</i>)	4	4	6	5	7

* These species are only included in the assessment of siliceous areas.

x neutral

– no value available

A sensitivity value of 2 is attributed to sterile species (without brood bodies) of the genus *Orthotrichum*.

The sensitivity values listed above are empirically determined classifications that take results of mappings, transplantation and fumigation experiments from the literature, and personal judgements of several bryologists into account.

Auf der beigefügten CD-ROM ist ein Bestimmungsschlüssel mit nahezu 300 Photographien enthalten, der es ermöglicht, im Schritt-für-Schritt-Verfahren die bei den Kartierungsarbeiten gefundenen Moose zu identifizieren.

The enclosed CD-ROM contains a key with almost 300 photographs for a step by step identification of the bryophytes recorded.

Hier ist ein Datenträger eingeklebt!