

**VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE**

**Biologische Verfahren zur Erfassung von
Umweltbelastungen (Biomonitoring)
Wirbellose als Wirkungsindikatoren im Monitoring
limnischer Ökosysteme**
**Biological procedures to determine environmental
impact (biomonitoring)
Invertebrates as effect indicators in
limnic ecosystem monitoring**

VDI 4230
Blatt 6 / Part 6

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

*Der Entwurf dieser Richtlinie wurde mit Ankündigung im Bundesan-
zeiger 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 authorita-
tive. No guarantee can be given with respect to the English
translation.*

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung.....	2
1 Anwendungsbereich.....	4
2 Begriffe	5
3 Grundlagen.....	7
3.1 Strategien zum effektbasierten Monitoring	7
3.2 Wirbellose im effektbasierten Monitoring	10
3.3 Auswahl von Probe- und Referenzstellen.....	15
3.4 Durchführung.....	17
3.5 Statistik – Replikation und statistische Auswertung.....	19
4 Spezifische Verfahren	22
4.1 Erfassen von Effekten auf Gemeinschaftsebene	22
4.2 Erfassen von Effekten auf einzelne Arten (Single Species)	26
Schrifttum	54

Contents	Page
Preliminary note.....	2
Introduction.....	2
1 Scope.....	4
2 Terms and definitions	5
3 Background.....	7
3.1 Strategies for effect monitoring	7
3.2 Invertebrates in effect monitoring.....	10
3.3 Selection of sample and reference sites ...	15
3.4 Procedure	17
3.5 Statistics – Replication and statistical analysis	19
4 Specific procedures	22
4.1 Recording effects at community level	22
4.2 Recording effects on individual species (single species).....	26
Bibliography	54

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

Vorbemerkung

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

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

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

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

Eine Liste der aktuell verfügbaren und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter www.vdi.de/4230.

Einleitung

Die vorliegende Richtlinie ergänzt die bereits publizierten Richtlinien VDI 4230 Blatt 4 und Blatt 5 und stellt standardisierte Methoden zum effektbasierten Monitoring mit Wirbellosen als Ergänzung zur chemisch-analytischen Überwachung des Gewässerzustands zur Verfügung.

Mithilfe chemischer Analysen werden vor allem bekannte Wasserinhaltsstoffe gezielt identifiziert und quantifiziert, unbekannte Stoffe oder Transformationsprodukte werden in der Regel nicht erfasst. In Ergänzung dazu bietet ein effektbasiertes Biomonitoring mit vorwiegend einheimischen, habitatspezifischen Organismen einen integrativen Ansatz, der eine für die Organismen schädliche Belastung durch alle in einem Gewässer wirkenden Stoffe – einschließlich der Mischungstoxizität und weiterer Stressoren – aufzeigt und somit Hinweise auf die Kausalität (Ursache–Wirkung) ermöglicht. Ein weiterer Vorteil des effektbasierten Monitorings liegt darin, dass die Wirkungen auf verschiedenen biologischen Organisationsebenen (Biozönose, Population, Organismus und auf suborganismischer Ebene) abgebildet werden können. In Richtlinie VDI 4230 Blatt 5 wurde dieser Ansatz bereits aufgenommen und Methoden zur Erfassung chronischer Wirkungen von Stressoren bei Fischen als Indikatoren für den Gütezustand von Gewässern beschrieben.

Neben Fischen eignen sich auch Wirbellose (Organismen des Makrozoobenthos und des Meiobenthos) als Wirkungsindikatoren, da diese eine wichtige Rolle in aquatischen Ökosystemen einnehmen. Aufgrund ihrer weiten Verbreitung und teilweise

Preliminary note

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

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

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

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

A catalogue of all available parts of this series of standards and those in preparation as well as further information, if applicable, can be accessed on the Internet at www.vdi.de/4230.

Introduction

This standard supplements the already published standards VDI 4230 Part 4 and Part 5 and provides standardised methods for effect monitoring with invertebrates as a supplement to chemical-analytical monitoring of water status.

Chemical analyses are primarily used to specifically identify and quantify known water constituents; unknown substances or transformation products are generally not recorded. In addition to this, effect-based biomonitoring with predominantly native, habitat-specific organisms offers an integrative approach that shows the harmful impact on organisms of all substances acting in a body of water – including mixed toxicity and other stressors – and thus provides indications of causality (cause–effect). Another advantage of effect monitoring is that the effects can be mapped at different levels of biological organisation (biocenosis, population, organism and suborganism level). VDI 4230 Part 5 already incorporates this approach and describes methods for recording the chronic effects of stressors on fish as indicators of the quality status of water.

In addition to fish, invertebrates (macrozoobenthos and meiobenthos organisms) are also suitable as effect indicators, as they play an important role in aquatic ecosystems. Due to their wide distribution and sometimes high density of individuals, inver-

hohen Individuendichte sind Wirbellose als Fischnahrung von großer Bedeutung und tragen durch ihre Ernährungsweise (beispielsweise durch den Abbau organischer Stoffe) wesentlich zu Ökosystemfunktionen bei. Demzufolge können funktionale Endpunkte (beispielsweise Laubbaurate) unter anderem mithilfe wirbelloser Gewässerorganismen erfasst werden. Auch die europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, Richtlinie 2000/60/EG) berücksichtigt die Gruppe der makroskopisch erkennbaren Wirbellosen, das sogenannte Makrozoobenthos, als wichtige Indikatoren und Qualitätskomponente bei der Erfassung des ökologischen Zustands von Gewässern.

Der ökologische Zustand im Sinne der WRRL beschreibt die Qualität der Struktur und Funktionsfähigkeit von aquatischen Ökosystemen im Gesamten und ist nicht primär auf eine Kausalanalyse hinsichtlich spezifischer chemischer Stressoren ausgelegt. Für die Durchführung eines effektbasierten Monitorings über mehrere biologische Ebenen existieren bislang noch keine festgelegten Verfahren. In diesem Zusammenhang bietet ein technischer Bericht gemäß der WRRL, der „The European Technical Report on Aquatic Effect-Based Monitoring Tools under the Water Framework Directive“ [1], eine wichtige Grundlage. Die vorliegende Richtlinie konkretisiert diese Grundlage im Sinne eines Leitfadens für Behörden und weitere Anwender und Anwenderinnen.

Wirbellose Organismen unterscheiden sich sehr stark hinsichtlich ihres Schadstoffmetabolismus und in ihrer Ausstattung mit Rezeptoren, z.B. für Hormone (z.B. Hormonsystem; Mollusken im Gegensatz zu Arthropoden). Somit können für spezifische Fragestellungen gezielt besonders sensitive Gruppen ausgewählt werden. Zudem sind durch die geringe Größe, den meist kurzen Generationszyklus und die hohe Reproduktionsrate die Tests oftmals schnell und kostengünstig durchführbar und als Ersatz für Wirbeltier tests auch im Sinne des Tierschutzgesetzes (TierSchG) zu empfehlen.

Im Biomonitoring ist der Einsatz lebender Tiere nach heutigem Wissensstand noch unumgänglich, um die Gesundheit von Mensch und Tier sowie die Umwelt zu schützen. Langfristiges Ziel ist es jedoch, Untersuchungen an lebenden Tieren zu reduzieren und, soweit möglich, Ersatzmethoden (z.B. In-vitro-Verfahren) zu etablieren. Einen Rahmen für die Güterabwägung in diesem Zielkonflikt bietet die europäische Richtlinie zum Schutz der für wissenschaftliche Zwecke verwendeten Tiere (Richtlinie 2010/63/EU).

tebrates are of great importance as fish food and contribute significantly to ecosystem functions through their feeding behaviour (e.g., by breaking down organic matter). As a result, functional endpoints (e.g., deciduous decomposition rate) can be recorded with the help of invertebrate aquatic organisms. The European Water Framework Directive (WFD, Directive 2000/60/EC) also considers the group of macroscopically recognisable invertebrates, the so-called macrozoobenthos, as an important indicator and quality component when recording the ecological status of water.

Ecological status as defined by the WFD describes the quality of the structure and functioning of aquatic ecosystems as a whole and is not primarily designed to analyse the causal effects of specific chemical stressors. There are as yet no established procedures for carrying out effect monitoring across several biological levels. In this context, The European Technical Report on Aquatic Effect-Based Monitoring Tools under the Water Framework Directive [1] provides an important basis. This standard concretises this basis in the sense of a guideline for authorities and further users.

Invertebrates differ greatly in terms of their metabolism of pollutants and their receptors, e.g., for hormones (e.g., hormone system; molluscs in contrast to arthropods). This means that particularly sensitive groups can be selected for specific questions. In addition, due to the small size, the usually short generation cycle and the high reproduction rate, the tests can often be carried out quickly and cost-effectively and are also recommended as a substitute for vertebrate tests in terms of the Animal Welfare Act (TierSchG).

According to current knowledge, the use of live animals is still unavoidable in biomonitoring in order to protect human and animal health as well as the environment. However, the long-term goal is to reduce the use of live animals and, where possible, to establish alternative methods (e.g., in vitro methods). The European Directive on the protection of animals used for scientific purposes (Directive 2010/63/EU) provides a framework for weighing up the interests involved in this conflict of aims.

1 Anwendungsbereich

Die in dieser Richtlinie beschriebene Vorgehensweise ist als Ergänzung zu einem chemisch-analytischen Monitoring zu sehen. Sie liefert Hinweise für bestimmte Umweltbelastungen auf der Wirkungsebene unter Berücksichtigung aller Eintragspfade in Gewässer inklusive der atmosphärischen Deposition.

Diese Richtlinie behandelt ein breites Spektrum an Biomarkern mit verschiedenen wirbellosen Gewässerorganismen, listet spezifische Anforderungen an die Probenahme auf und gibt Empfehlungen zum Einsatz unterschiedlicher wirbelloser Bioindikatoren und damit verknüpfbarer Biomarkeruntersuchungen für entsprechende Fragestellungen.

Das effektbasierte Monitoring kann die im Zuge der WRRL vorgegebene Erfassung des chemischen und ökologischen Zustands von Fließgewässern als sinnvolles Bindeglied ergänzen.

Die Richtlinie gilt für folgende Bereiche (siehe auch Tabelle 1):

1 Scope

The procedure described in this standard is to be seen as a supplement to chemical-analytical monitoring. It provides information on specific environmental pollution at the effect level, taking into account all input pathways into water bodies, including atmospheric deposition.

This standard covers a wide range of biomarkers with different aquatic invertebrate organisms, lists specific sampling requirements and provides recommendations on the use of different invertebrate bioindicators and associated biomarker analyses for respective questions.

Effect monitoring can supplement the recording of the chemical and ecological status of watercourses required by the WFD as a useful link.

The standard applies to the following areas (see also Table 1):

Tabelle 1. Empfehlungen von Monitoringstrategien für exemplarische Fragestellungen

	Permanente Überwachung	Lokalisation von Einträgen	Evaluierung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen	Monitoring nach Havarien/Peak-Exposition	Überwachung bekannter Hotspots
Art des Monitorings ^{a)}	Überblicksmonitoring/operatives Monitoring	investigatives Monitoring	operatives Monitoring	investigatives Monitoring	investigatives Monitoring
Aufgabenstellung	Gewässerüberwachung	Punktquellen	Punktquellen, diffuse Quellen, Gewässerrevitalisierung	abrunder Eintrag großer Schadstoffmenge	Altlasten
Überwachung/Bewertung nach EU-WRRL	Flusseinzugsgebiet; überregionale Ebene	abhängig Fragestellung; lokale Ebene	Wasserkörper; regionale Ebene	lokale Ebene	lokale Ebene
Beispielhafte Fragestellung	Wie entwickelt sich der ökologische Zustand? Trendbeobachtung	Lokalisation Eintrag; gibt es Effekte auf Organismen unterhalb der Einleitung?	Verbessert sich die Biodiversität?	Findet eine Erholung der Biozönose statt und wie lange dauert sie?	Sind Sanierungen notwendig?
Biomonitoringstrategien					
passiv	in situ	x	x	x	x
aktiv	in situ	x	x	x	o
	Bypass (ex situ)	o	–	o	–
	Labor (ex situ)	x	o	o	o

^{a)} Monitoringarten entsprechend WRRL

- x empfohlen
- o optional
- nicht empfohlen

Table 1. Recommendations of monitoring strategies for exemplary questions

	Permanent monitoring	Localisation of entries	Evaluation of water management measures	Monitoring after accidents/peak exposure	Monitoring of known hotspots
Type of monitoring ^{a)}	overview monitoring/operational monitoring	investigative monitoring	operational monitoring	investigative monitoring	investigative monitoring
Task definition	water monitoring	point sources	point sources, diffuse sources, water revitalisation	abrupt entry of large quantities of pollutants	contaminated sites
Monitoring/evaluation according to EU-WFD	river catchment area; supra-regional level	dependent question; local level	water bodies; regional level	local level	local level
Exemplary question	How is the ecological status developing? trend monitoring	localisation input; are there effects on organisms below the discharge?	Is biodiversity improving?	Does the biocenosis recover and how long does it take?	Are remediations necessary?
Biomonitoring strategies					
passive	in situ	x	x	x	x
active	in situ	x	x	x	o
	bypass (ex situ)	o	–	o	–
	laboratory (ex situ)	x	o	o	o

^{a)} monitoring types according to WFD

x recommended

o optional

– not recommended

- permanente Überwachung
- Lokalisation von Einträgen
- Evaluierung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen
- Monitoring von Havarien und Peak-Exposition
- Überwachung bekannter Hotspots
- permanent monitoring
- localisation of entries
- evaluation of water management measures
- monitoring of accidents and peak exposure
- monitoring of known hotspots