

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Maximale Immissions-Werte  
zum Schutz der Vegetation  
Kritische Dosis-Kenngrößen für Ozon  
Maximum immission values  
to protect vegetation  
Critical indices for ozone doses

VDI 2310

Blatt 6 / Part 6

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	Contents	Page
Vorbemerkung . . . . .	2	Preliminary note . . . . .	2
Einleitung . . . . .	2	Introduction . . . . .	2
<b>1 Anwendungsbereich . . . . .</b>	<b>3</b>	<b>1 Scope . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>2 Stoffeigenschaften und Immissionssituation . . . . .</b>	<b>5</b>	<b>2 Substance properties and immission situation . . . . .</b>	<b>5</b>
2.1 Umrechnung Volumenverhältnis – Massenkonzentration. . . . .	5	2.1 Conversion volume ratio – Mass concentration . . . . .	5
2.2 Relevante physikalisch-chemische Eigenschaften . . . . .	5	2.2 Relevant physico-chemical properties . . . . .	5
2.3 O <sub>3</sub> -Bildungsmechanismen und O <sub>3</sub> -Abbaumechanismen . . . . .	5	2.3 Mechanisms of O <sub>3</sub> formation and destruction . . . . .	5
2.4 Entwicklung und Charakterisierung der derzeitigen Immissionssituation . . . . .	8	2.4 Development and characterisation of the present immission situation . . . . .	8
2.5 Entwicklung und Bedeutung der Immissionssituation im Kontext des Klimawandels . . . . .	9	2.5 Development and importance of the immission situation in the context of climate change . . . . .	9
<b>3 Risikobezogene Wirkungspfade . . . . .</b>	<b>10</b>	<b>3 Risk related pathways . . . . .</b>	<b>10</b>
3.1 Ausgangspunkt des pflanzenschädlichen O <sub>3</sub> -Risikos . . . . .	10	3.1 Origin of the O <sub>3</sub> risk potential for vegetation . . . . .	10
3.2 Wirkungspfade des O <sub>3</sub> -Risikos auf pflanzeninternen Skalen . . . . .	14	3.2 Pathways of O <sub>3</sub> action at plant levels . . . . .	14
3.3 Wirkungspfade des O <sub>3</sub> -Risikos auf Ökosystemebene . . . . .	18	3.3 Pathways of ozone action at the ecosystem level . . . . .	18
3.4 Resultierende globale O <sub>3</sub> -Risiken . . . . .	21	3.4 Resulting O <sub>3</sub> risks at a global scale . . . . .	21
<b>4 Grundlagen zur Ableitung von Dosis-Wirkung-Funktionen – AOTX und POD<sub>γ</sub> . . . . .</b>	<b>24</b>	<b>4 Basic considerations for deriving dose-response functions – AOTX and POD<sub>γ</sub> . . . . .</b>	<b>24</b>

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

Fachbereich Umweltqualität

VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1a: Maximale Immissions-Werte

Inhalt	Seite
<b>5 Ableitung kritischer Dosis-Kenngrößen für O<sub>3</sub></b>	29
5.1 Verfahren zu Berechnung rezeptorspezifischer phytotoxischer O <sub>3</sub> -Dosen – <i>POD<sub>γ</sub>SPEC</i> . . . . .	30
5.2 Inputdaten für die Berechnung rezeptorspezifischer phytotoxischer O <sub>3</sub> -Dosen – <i>POD<sub>γ</sub>SPEC</i> . . . . .	40
5.3 Risikobeurteilung und Interpretation . . . . .	43
<b>6 Kritische Dosis-Kenngrößen für O<sub>3</sub> zum Schutz der Vegetation</b> . . . . .	50
<b>Anhang A</b> Jarvis-Stewart-Wichtungsfunktionen . . . . .	53
<b>Anhang B</b> Blattflächenindex und Bestandshöhe von Winterweizen . . . . .	57
<b>Anhang C</b> Approximation von Globalstrahlung und relativer Feuchte . . . . .	60
<b>Anhang D</b> Anwendungsbeispiele auf CD-ROM . . . . .	65
Schrifttum . . . . .	68

Contents	Page
<b>5 Derivation of critical indices for ozone doses</b>	29
5.1 Calculation method for receptor-specific phytotoxic O <sub>3</sub> doses – <i>POD<sub>γ</sub>SPEC</i> . . . . .	30
5.2 Input data for the calculation of receptor-specific phytotoxic O <sub>3</sub> -doses – <i>POD<sub>γ</sub>SPEC</i> . . . . .	40
5.3 Risk assessment and interpretation . . . . .	43
<b>6 Critical indices for ozone doses to protect the vegetation</b> . . . . .	50
<b>Annex A</b> Jarvis-Stewart weighting functions . . . . .	53
<b>Annex B</b> Leaf area index and canopy height for winter wheat . . . . .	57
<b>Annex C</b> Approximation of global radiation and relative air humidity . . . . .	60
<b>Annex D</b> Application examples on CD-ROM . . . . .	65
Bibliography . . . . .	68

**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 Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/2310](http://www.vdi.de/2310).

**Einleitung**

Bodennahes Ozon (O<sub>3</sub>) als Hauptbestandteil des photochemischen „Sommersmogs“ ist neben seinem negativen Einfluss auf die menschliche Gesundheit gegenwärtig der wichtigste Luftschadstoff für Pflanzen. Im Jahr 1988 hat die UN-ECE (Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa) in Bad Harzburg erstmals für O<sub>3</sub> wirkungsbezogene Werte zum Schutz der Vegetation abgeleitet, die auf den MIK-Werten (MIK – Maximale Immissions-Konzentration) der Richtlinie VDI 2310 Blatt 6 beruhen. Damit sollten großräumig grenzüberschreitende O<sub>3</sub>-Belastungen innerhalb Europas beurteilt werden. Seit

**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 can be accessed on the Internet at [www.vdi.de/2310](http://www.vdi.de/2310).

**Introduction**

Tropospheric ozone (O<sub>3</sub>) is an important constituent of photochemical smog. Besides its harmful effect on human health, it is currently considered to be the most significant phytotoxic pollutant of the atmosphere. In order to evaluate long-range transboundary air pollution within Europe, in 1988 the UN-ECE (United Nations Economic Commission for Europe) started to derive critical levels for ozone to protect vegetation, which were initially based on the MIC values (MIC – maximum immission concentration) of the standard VDI 2310 Part 6. Since that time, the UN-ECE has adapted the criteria for evaluating

dieser Zeit hat die UN-ECE die Kriterien zur Beurteilung schädlicher O<sub>3</sub>-Konzentrationen jeweils dem wissenschaftlichen Erkenntnisstand angepasst und entsprechende Kenngrößen abgeleitet. Es gibt derzeit für O<sub>3</sub> zwei Ansätze zur Ableitung von kritischen Belastungsgrenzen für die Vegetation: einen auf Expositionskonzentrationen bezogenen Ansatz, der theoretisch auf alle Arten des Pflanzenreichs angewandt werden kann, sowie einen Ansatz, der auf der kumulierten stomatären O<sub>3</sub>-Aufnahme beruht. Dies gilt für pflanzliche Zielorganismen, soweit sie über Spaltöffnungen verfügen und schließt damit alle höheren Taxa des Pflanzenreichs und hier insbesondere Gefäßpflanzen ein. Da jede Reaktion in einem Organismus auf Schadstoffe von der aufgenommenen Menge (Dosis) abhängt, ist für die Wirkung von O<sub>3</sub> auf Pflanzen nicht die extern auftretende Expositionskonzentration entscheidend, sondern die O<sub>3</sub>-Aufnahme oder der O<sub>3</sub>-Fluss in die Pflanze über die Spaltöffnungen. Unabhängig von den jeweiligen Modellen, die inzwischen prinzipiell die wirkungsrelevante Dosis zu beschreiben vermögen, ergeben sich dennoch Schwierigkeiten, ein Bild des tatsächlichen Gefährdungspotenzials für die Vegetation abzuleiten. Begründet ist dies in der Vielzahl interner und externer Faktoren, die die O<sub>3</sub>-Wirkung beeinflussen und die sich letztlich in ihrer Vielfalt auch wiederum nur modellhaft beschreiben lassen. Ein weiterer Grund für die Schwierigkeiten ist die geringe Zahl an repräsentativen Untersuchungen an verschiedenen Pflanzentaxa einschließlich der innerartlichen genetischen Variation.

Diese Richtlinie spiegelt den derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand wider, beschreibt und definiert kritische O<sub>3</sub>-Dosis-Kenngrößen (englisch: critical levels) für landwirtschaftliche Pflanzen, artenreiches Grünland und Wälder und leitet anhand von Vorhersageintervallen Zielwerte (englisch: target values) ab. Als empfindliche Repräsentanten für die genannten Vegetationstypen werden Weizen, verschiedene Grünlandarten, wie Rotklee (*Trifolium pratense*) und die Rundblättrige Glockenblume (*Campanula rotundifolia*) oder Buchen (*Fagus sylvatica*), angesehen. Die Risikobeurteilung beruht auf der Abschätzung der stomatären O<sub>3</sub>-Aufnahme mittels receptorspezifischer Depositionsmodelle sowie auf Dosis-Wirkung-Funktionen für die genannten systemrelevanten Effektindikatoren.

## 1 Anwendungsbereich

Nach Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa sind O<sub>3</sub>-Konzentrationsmessungen ortsfester Messstationen „zur Vermeidung

harmful O<sub>3</sub> concentrations to the scientific knowledge and is constantly deriving appropriate parameters. Recently, two types of approaches are available for assessing O<sub>3</sub> risk to vegetation: one is based on the exposure concentration and can theoretically be applied to all species of the plant kingdom and a second approach is based on the cumulative stomatal O<sub>3</sub> uptake. This applies to all stomatous target plants, and thus comprises all higher taxa of the plant kingdom, especially vascular plants. Since any response of an organism to pollutants depends on its absorbed dose, the effect of O<sub>3</sub> on plants is not determined by the external occurring O<sub>3</sub> concentration but by the O<sub>3</sub> uptake or O<sub>3</sub> flux into the plant via stomata. Irrespective of the type of the respective models, which both are in principle capable of describing the toxicologically relevant dose, it is still difficult to assess the real risk of O<sub>3</sub> damage to vegetation. This is due to a number of internal and external factors that are able to modify the response to O<sub>3</sub>. These factors are highly variable and therefore can be described only exemplarily. Another reason for the difficulties is given by the low number of representative studies investigating different plant taxa and their intraspecific genetic variation.

This standard reflects the current scientific knowledge, describes and defines critical levels for O<sub>3</sub> for crops, species-rich grassland, and forests, and derives target values using prediction intervals. Wheat, grassland species such as red clover (*Trifolium pratense*) or harebell (*Campanula rotundifolia*), and beech (*Fagus sylvatica*) are considered as O<sub>3</sub> sensitive representatives for the mentioned vegetation types. The risk assessment is based on the estimation of stomatal O<sub>3</sub> uptake using receptor-specific deposition models together with dose-response relationships established for the relevant effect indicators.

## 1 Scope

According to the EU Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe measurement of O<sub>3</sub> concentrations at fixed measuring stations

dung, Verhütung oder Verringerung schädlicher Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt insgesamt“ zu beurteilen (Artikel 1). Nach Anhang V der Richtlinie (EU) 2016/2284 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe ist der Leitindikator zur Beurteilung der Schädigung des Pflanzenwachstums und der Biodiversität durch O<sub>3</sub> die Überschreitung flussorientierter kritischer Belastungswerte in der Wachstumsaison (siehe Abschnitt 5.2.1).

Dies erfordert ein Netz von Luftmessstationen, die zum einen repräsentativ im Hinblick auf die zu beurteilenden Ökosysteme verortet sind und zum anderen eine repräsentative Messung sowohl der O<sub>3</sub>-Konzentration als auch der erforderlichen meteorologischen Inputdaten erlauben (siehe Abschnitt 5.2.1).

Zweck der vorliegenden Richtlinie ist es deshalb, eine flussbasierte Risikoabschätzung für die Vegetation anhand der Daten ortsfester Messstationen zu ermöglichen, die in der Praxis der Luftmessnetze durchführbar ist.

Im nachfolgenden Flussdiagramm (Bild 1) ist die hierzu erarbeitete Vorgehensweise zur lokalen Risikoabschätzung dargestellt.

are aimed at the “defining and establishing objectives for ambient air quality designed to avoid, prevent or reduce harmful effects on human health and the environment as a whole” (Article 1). According to Annex V of the EU directive 2016/2284 on the reduction of national eof certain atmospheric pollutants the key indicator for assessing O<sub>3</sub> impacts on plant growth and biodiversity is defined as the exceedance of flux-based critical levels during the growing season (see Section 5.2.1).

This requires a network of air-sampling stations, which on the one hand are located representative for the ecosystem evaluated and on the other hand allow a representative measurement of both the O<sub>3</sub> concentration and the required meteorological input data (see Section 5.2.1).

Therefore, the purpose of this standard is to enable a flux-based assessment for vegetation based on data from stationary measuring points, which is feasible in the practice of air monitoring networks.

The following flowchart (Figure 1) shows the procedure for evaluating the risk at a local scale elaborated for this purpose.

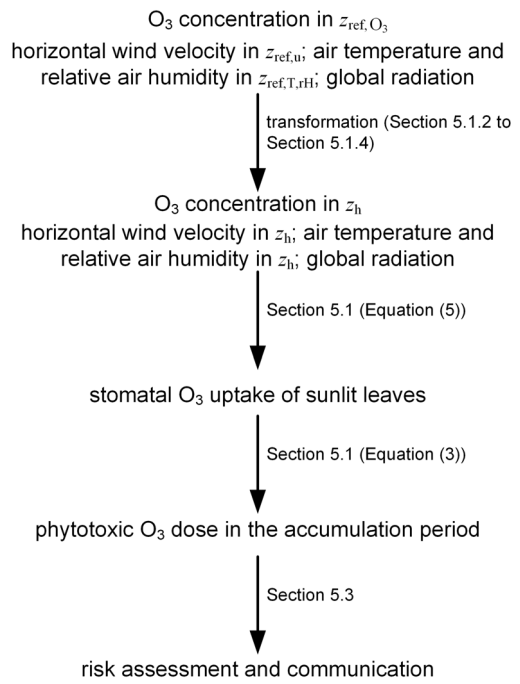
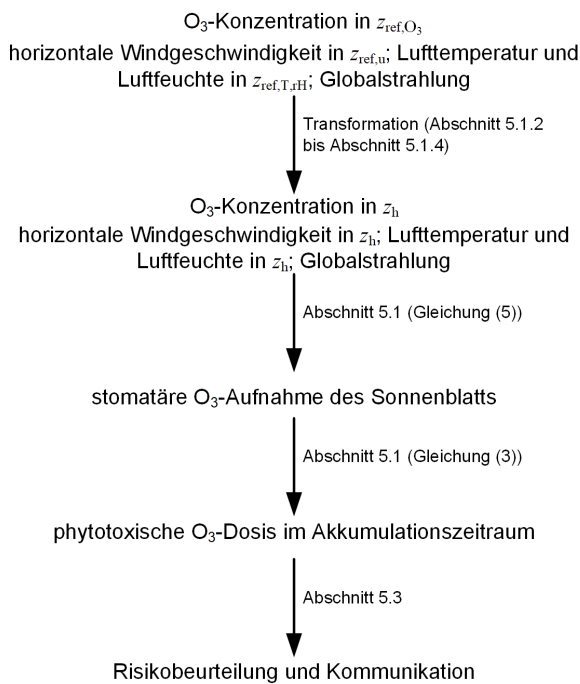


Bild 1. Flussdiagramm zur Veranschaulichung der Vorgehensweise zur lokalen O<sub>3</sub>-Risikoabschätzung

- $z$  Höhe über Grund
- $z_h$  Bestandshöhe
- $z_{ref,O_3}$  3,5 m (Standardmesshöhe der O<sub>3</sub>-Konzentration)
- $z_{ref,u}$  10 m (Standardmesshöhe der horizontalen Windgeschwindigkeit)
- $z_{ref,T,rH}$  2 m (Standardmesshöhe von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte)

Figure 1. Flowchart diagram to illustrate the procedure for evaluating the O<sub>3</sub> risk at a local scale

- $z$  height above ground level
- $z_h$  canopy height
- $z_{ref,O_3}$  3,5 m (standard measuring height of O<sub>3</sub> concentrations)
- $z_{ref,u}$  10 m (standard measuring height of horizontal wind velocity)
- $z_{ref,T,rH}$  2 m (standard measuring height of air temperature and relative humidity)