

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Umweltmeteorologie  
Meteorologische Messungen  
Verdunstung  
Environmental meteorology  
Meteorological measurements  
Evaporation

VDI 3786  
Blatt 21 / Part 21  
Entwurf / Draft

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

*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.*

*Einsprüche bis 2025-02-28*

- vorzugsweise über das VDI-Richtlinien-Einspruchportal <http://www.vdi.de/3786-21>

- in Papierform an  
VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft  
Fachbereich Umweltmeteorologie  
Postfach 10 11 39  
40002 Düsseldorf

Inhalt	Seite
Vorbemerkung .....	2
Einleitung .....	2
<b>1 Anwendungsbereich</b> .....	3
<b>2 Normative Verweise</b> .....	4
<b>3 Begriffe</b> .....	4
<b>4 Formelzeichen und Abkürzungen</b> .....	5
<b>5 Direkte Messverfahren</b> .....	7
5.1 Bestimmung der potenziellen Verdunstung mit Verdunstungskesseln (Class-A-Pan) .....	7
5.2 Bestimmung der aktuellen Verdunstung .....	8
<b>6 Berechnungsverfahren</b> .....	12
6.1 Bestimmung der potenziellen Verdunstung .....	12
6.2 Bestimmung der aktuellen Verdunstung nach <i>Penman-Monteith</i> .....	15
6.3 FAO-Standardmethode zur Bestimmung der aktuellen Verdunstung .....	17
6.4 Numerische Verfahren .....	18
<b>7 Anwendbarkeit und Genauigkeit der   Verfahren</b> .....	19
<b>8 Überprüfung und Wartung</b> .....	20
Schrifttum .....	22

Contents	Page
Preliminary note .....	2
Introduction .....	2
<b>1 Scope</b> .....	3
<b>2 Normative references</b> .....	4
<b>3 Terms and definitions</b> .....	4
<b>4 Symbols and abbreviations</b> .....	5
<b>5 Direct measurement methods</b> .....	7
5.1 Determining the potential evaporation with evaporation pans (class A evaporation pan) .....	7
5.2 Determining the actual evaporation .....	8
<b>6 Calculation methods</b> .....	12
6.1 Determining the potential evaporation .....	12
6.2 Determining the actual evaporation using the Penman-Monteith method .....	15
6.3 FAO standard method for determining the actual evaporation .....	17
6.4 Numerical methods .....	18
<b>7 Applicability and accuracy of the   methods</b> .....	19
<b>8 Verification and maintenance</b> .....	20
Bibliography .....	22

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

VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b: Umweltmeteorologie

## 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.

An der Erarbeitung dieser Richtlinie waren beteiligt:

Prof. Dr. *Jens Bange*, Tübingen

*Andrea Dahl*, Königsmoor

Dr. *Ruud Dirksen*, Lindenberg

Dr. *Thomas Einfalt*, Lübeck

Prof. Dr. *Thomas Foken*, Bischberg

Dr. *Valeri Goldberg*, Dresden

Dipl.-Phys. *Karlheinz Klapheck*, Hamburg

Dipl.-Ing. *Matthias Müller*, Göttingen

*Jörg Petereit*, Göttingen

Dr. *Stefan Waas*, Hamburg

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/3786](http://www.vdi.de/3786).

## Einleitung

Die Verdunstung beschreibt den Prozess des Transports von Wasserdampf von Unterlagen, Pflanzen und freien Wasserflächen in die Atmosphäre. Zusammen mit dem Niederschlag und dem Abfluss gehört sie zu den hydrometeorologischen Größen, die Meteorologie und Hydrologie verbinden. Da beim Verdunstungsprozess Energie benötigt wird, erfolgt durch den Wasserdampf ein latenter Energietransport (latente Wärme), wobei die Freisetzung der Energie erst bei der Kondensation erfolgt. Die für die Ausbreitung von Luftbeimengungen wichtige Schichtung der Atmosphäre ist nicht nur temperatur-, sondern auch feuchteabhängig (Feuchtkonvektion). Weiterhin ist der Wasserdampf wesentlich verantwortlich für die Aerosolbildung und das wichtigste Treibhausgas.

Damit hat die Verdunstung erhebliche Auswirkungen auf alle Vorgänge in der Atmosphäre einschließlich Wasserkreislauf, Klima und Wettergeschehen ([1], DWA-M 504-1 und -2) und damit

## 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.

Contributions to this standard were made by:

Prof. Dr. *Jens Bange*, Tübingen

*Andrea Dahl*, Königsmoor

Dr. *Ruud Dirksen*, Lindenberg

Dr. *Thomas Einfalt*, Lübeck

Prof. Dr. *Thomas Foken*, Bischberg

Dr. *Valeri Goldberg*, Dresden

Dipl.-Phys. *Karlheinz Klapheck*, Hamburg

Dipl.-Ing. *Matthias Müller*, Göttingen

*Jörg Petereit*, Göttingen

Dr. *Stefan Waas*, Hamburg

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/3786](http://www.vdi.de/3786).

## Introduction

Evaporation describes the process of the transport of water vapour from surfaces, plants, and free water surfaces into the atmosphere. Together with precipitation and runoff, it is one of the hydrometeorological variables that connect meteorology and hydrology. Since the evaporation process requires energy, water vapour induces a latent energy transport (latent heat), whereby the release of energy occurs only during condensation. The stratification of the atmosphere, which is important for dispersal of air pollutants, is not only temperature- but also humidity-dependent (moist convection). Furthermore, the water vapour is essentially responsible for aerosol formation and is the most important greenhouse gas.

Thus, evaporation has significant effects on all processes in the atmosphere, including the hydrological cycle, the climate, and weather events ([1], DWA-M 504-1 and -2), therefore also the dispersal

auch die Ausbreitung und Deposition von Luftbeimengungen.

Man unterscheidet zwischen der potenziellen und der aktuellen Verdunstung. Erstere ist die maximal mögliche Verdunstung bei ungehinderter Wasserverfügbarkeit. Die aktuelle Verdunstung ist die wahre Verdunstung einer bewachsenen oder unbewachsenen Unterlage. Sie setzt sich zusammen aus der Verdunstung vom Boden und der Transpiration von Pflanzen (Evapotranspiration). Messmethoden und Berechnungsverfahren unterscheiden zwischen beiden Arten der Verdunstung. Die direkte Messung von potenzieller und aktueller Verdunstung erweist sich als außerordentlich aufwendig und schwierig auch bezüglich der Übertragung auf größere Flächen.

## 1 Anwendungsbereich

Bei Fragestellungen der Reinhaltung der Luft zu kurzzeitigen Phänomenen und Prozessen wird die aktuelle Verdunstung benötigt, beziehungsweise Verfahren, die Mittelwerte der Verdunstung für Zeiträume zwischen 10 min und 60 min liefern. Mittelwerte über längere Zeiträume dienen eher klimatologischen Untersuchungen. Da die Verfahren aufeinander aufbauen, wird ein möglichst vollständiger Überblick gegeben und auf mögliche Einschränkungen hingewiesen.

Für Zwecke der Reinhaltung der Luft spielen der Auftrieb und die Konvektion eine wichtige Rolle, da feuchte Luft leichter als trockene ist. Dies kann durch die virtuelle Temperatur berücksichtigt werden (VDI 3786 Blatt 2, Blatt 3 und Blatt 12). Die Menge an Wasserdampf, die in die Atmosphäre gelangt, kann über die Verdunstung abgeschätzt werden. Gleiches gilt für Wasserdampfmengen zur Aerosol- und Nebelbildung. Der Feuchtegehalt kann auch die Stabilität der atmosphärischen Schichtung beeinflussen. Für agrarmeteorologische und hydrologische Fragestellungen ist die Verdunstung eine entscheidende Größe. Sie ist genauso stadtklimatologisch eine wichtige Größe, da verdunstende Oberflächen abkühlend auf das Temperaturregime wirken.

Da die direkte Messung der Verdunstung aufwendig ist, kommen mehrere Näherungsformeln zur Anwendung, bei denen die Verdunstung aus anderen Größen abgeleitet wird. Diesen Parametrisierungen oder Modellen liegen Beziehungen zugrunde, die teilweise klimatologisch bestimmte Parameter enthalten. Dies hat zur Folge, dass trotz Messungen von 10-Minuten- bis 60-Minuten-Mitteln die berechnete Verdunstung nur als Mittelwert oder Summe für deutlich längere Zeiträume ermittelt werden kann.

and deposition air pollutants.

A distinction is made between potential and actual evaporation. The former is the maximum possible evaporation where there is no limit on the availability of water. The actual evaporation is the true evaporation of a vegetated or unvegetated surface. It is a combination of the evaporation from the ground and the transpiration of plants (evapotranspiration). Measurement and calculation methods differ between the two types of evaporation. Direct measurement of potential and actual evaporation proves to be extraordinarily complex and difficult, including the extrapolation to larger areas.

## 1 Scope

Investigations concerning air quality monitoring that involve short-term phenomena and processes, require the actual evaporation, or else methods that provide evaporation data to derive mean values for time scales between 10 min and 60 min. Means derived for longer time scales are more suitable for climatological investigations. Since the methods are built on each other, it is the intention to provide an overview that is as complete as possible, and to highlighted potential limitations.

For air quality, monitoring buoyancy and convection play an important role, since moist air is lighter than dry air. This can be considered using the virtual temperature (VDI 3786 Part 2, Part 3, and Part 12). The quantity of water vapour that is released into the atmosphere can be estimated from the evaporation. The same applies to water vapour quantities for aerosol and mist formation. The moisture content can also affect the stability of the atmospheric stratification. Evaporation is a decisive quantity in agrometeorological and hydrological investigations. It is just as important in urban climate studies, since surfaces that release have a cooling effect due to evaporation.

Since direct measurement of the evaporation is a complex procedure, several approximations are employed in which the evaporation is derived from other variables. These parameterisations or models are based on relationships, which in part contain parameters that are determined from climatology. The consequence is that despite measurements of 10-minute to 60-minute averages, the calculated evaporation can be determined only as a mean or sum for significantly longer periods.

Durch die in dieser Richtlinie aufgeführten Verfahren kann die Interzeptionsverdunstung nicht separat bestimmt werden.

Zur Bestimmung der Parameter in den Formeln für die aktuelle Verdunstung in Abhängigkeit von der Pflanzenart und den meteorologischen Bedingungen wurde von der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) eine Standardverdunstung festgelegt. Damit soll die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Klimazonen erreicht werden [1; 2]. Diese entspricht nicht immer den wahren Bedingungen.

Bei den in dieser Richtlinie genannten Mess- und Berechnungsverfahren sind die Anwendungsbedingungen unbedingt zu berücksichtigen.

The evaporation of intercepted water cannot be determined separately by the methods discussed in this standard.

The Food and Agriculture Organisation (FAO) has defined a standard evaporation for determining the actual evaporation as a function of plant species and the meteorological conditions, with a defined set of parameters. The aim is to achieve a comparability between different climate zones [1; 2]. These values do not always correspond to the real conditions.

For the measurement and calculation methods mentioned in this standard the application conditions shall be taken into account.