

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Umweltmeteorologie
Meteorologische Messungen
Verdunstung
Environmental meteorology
Meteorological measurements
Evaporation

VDI 3786
Blatt 21 / Part 21

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

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

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The draft of this standard has been subject to public scrutiny after announcement in the Bundesanzeiger (Federal Gazette).

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
1 Anwendungsbereich.....	3	1 Scope.....	3
2 Normative Verweise.....	4	2 Normative references.....	4
3 Begriffe.....	4	3 Terms and definitions.....	4
4 Formelzeichen und Abkürzungen.....	5	4 Symbols and abbreviations.....	5
5 Direkte Messverfahren.....	7	5 Direct measurement methods.....	7
5.1 Bestimmung der potenziellen Verdunstung mit Verdunstungskesseln (Class-A-Pan).....	7	5.1 Determining the potential evaporation with evaporation pans (class A evaporation pan).....	7
5.2 Bestimmung der aktuellen Verdunstung.....	8	5.2 Determining the actual evaporation.....	8
6 Berechnungsverfahren.....	12	6 Calculation methods.....	12
6.1 Bestimmung der potenziellen Verdunstung.....	12	6.1 Determining the potential evaporation.....	12
6.2 Bestimmung der aktuellen Verdunstung nach Penman-Monteith.....	15	6.2 Determining the actual evaporation using the Penman-Monteith method.....	15
6.3 FAO-Standardmethode zur Bestimmung der aktuellen Verdunstung.....	17	6.3 FAO standard method for determining the actual evaporation.....	17
6.4 Numerische Verfahren.....	18	6.4 Numerical methods.....	18
7 Anwendbarkeit und Genauigkeit der Verfahren.....	19	7 Applicability and accuracy of the methods.....	19
8 Überprüfung und Wartung.....	20	8 Verification and maintenance.....	20
Schrifttum	22	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), 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/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 ist 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 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

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/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 and deposition of 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

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 werden Verfahren benötigt, 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 Wasserdampfmenngen 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.

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.

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 highlight potential limitations.

For air quality, 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 evaporation from surfaces leads to a cooling effect.

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.

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 parameters for actual evaporation as a function of plant species and the meteorological conditions. The aim is to achieve a comparability between different climate zones [1; 2]. These values do not always correspond to the real conditions.

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

2 Normative Verweise

Das folgende zitierte Dokument ist für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich:

VDI 3786 Blatt 1:2025-01 Umweltmeteorologie;
Meteorologische Messungen; Grundlagen

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

2 Normative references

The following referenced document is indispensable for the application of this standard:

VDI 3786 Part 1:2025-01 Environmental meteorology; Meteorological measurements; Fundamentals