



DVWK-Merkblatt 238/1996 Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen

ISBN 3--935067-84-4

Verantwortlicher Herausgeber:

Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Glückstraße 2,
D-53115 Bonn

bearbeitet vom DVWK-Fachausschuß „Verdunstung“

Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) hat das Vorhaben finanziell gefördert.

Benutzerhinweis für die „DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft“

Die „DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft“ sind das fachgerechte Ergebnis ehrenamtlicher technisch-wissenschaftlicher Gemeinschaftsarbeit und stehen jedermann zur Anwendung frei. Die in den Merkblättern veröffentlichten Empfehlungen stellen einen Maßstab für einwandfreies technisches Verhalten dar und sind somit eine wichtige Erkenntnisquelle für fachgerechtes Verhalten im Normalfall. Die Merkblätter können jedoch nicht alle Sonderfälle erfassen, in denen weitergehende oder einschränkende Maßnahmen geboten sein können. Durch das Anwenden der „DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft“ entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln. Jeder handelt insofern auf eigene Gefahr.

Vorwort

Die Verdunstung ist der Übergang von Wasser aus dem Boden, aus Pflanzen und aus freien Wasserflächen in die Atmosphäre. Angaben dazu werden für die Lösung vielfältiger wasserwirtschaftlicher, landwirtschaftlicher und anderer Aufgaben benötigt. Nur mit beträchtlichem Aufwand und mit Einrichtungen, die größtenteils eher der Forschung als der Praxis zugehören, ist die Verdunstungshöhe zu messen bzw. aus Meßergebnissen speziell dafür eingesetzter Geräte zu ermitteln. Daher ist man seit geraumer Zeit bestrebt, sie aus leichter verfügbaren Meßgrößen abzuleiten. Nach Möglichkeit sollen diese langjährig erfaßt und allgemein zugänglich sein.

Bei solchen Bestrebungen ist deutlich geworden, daß für unterschiedliche Verdunstungsflächen und für verschiedene Aufgabenstellungen keine einheitliche Methode zur Anwendung kommen kann. Vielmehr ist ein System von Methoden zur praktischen Ermittlung der Verdunstung aus Messungen und Berechnungen erforderlich, welches aber für den mitteleuropäischen Raum bisher nicht in geschlossener Darstellung zur Verfügung steht. Um diese Lücke zu schließen, legt der DVWK-Fachausschuß „Verdunstung“ hiermit das Merkblatt „Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen“ vor. Es stellt den gegenwärtigen, in der Praxis anwendbaren Stand des Fachgebietes dar. In den folgenden Jahren sind weitere Forschungsarbeiten zur Verdunstung notwendig (Evapotranspiration verschiedener Bestände in kürzeren Zeitabschnitten, Nutzung der Geofemerkundung u. a.), um den Kenntnisstand abzurunden.

Der behandelte Stoff beschränkt sich auf den Bereich, für den der DVWK tätig ist. Daher sind spezielle Verdunstungsprobleme, etwa bei der Untersuchung des Wärme- und Wasserhaushalts von anthropogen beeinflussten Gewässern, bei Kühltürmen und anderen technischen Einrichtungen, nicht einbezogen worden. Auch können keine speziellen Hinweise auf verfügbare Computerprogramme für die Berechnungsverfahren erfolgen.

Durch die Beteiligung von Fachleuten verschiedener Richtungen ließ sich in diesem Merkblatt ein weiter Bereich der Verdunstungsermittlungen behandeln. Neben den Verfahren, die für die praktische Anwendung aufgeführt sind, wurden auch theoretische Grundlagen und kurze Darstellungen wissenschaftlich weiterführender Methoden aufgenommen. Diese – wie auch die zahlreichen Literaturangaben – sollen dem Benutzer der Schrift den Zugang zu vertiefenden Arbeiten erleichtern.

Das hier veröffentlichte Merkblatt wurde erarbeitet von:

DEYHLE, Christoph	Dipl.-Met., Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
GLUGLA, Gerhard	Dr., Bundesanstalt für Gewässerkunde, Außenstelle, Berlin
GOLF, Walter	Dr.-Ing. habil., Technische Universität, Dresden
HOYNINGEN-HUENE, Jürgen v. †	Dr., Deutscher Wetterdienst, Braunschweig
KALWEIT, Heino	Dr.-Ing., LBD a. D., Landesamt für Wasserwirtschaft, Mainz
OLBRISCH, Heinz-Dieter	Prof. Dr.-Ing., FH Nordostniedersachsen, Suderburg
RICHTER, Dieter	Dr., Deutscher Wetterdienst, Berlin
WENDLING, Ulrich	Dr., Deutscher Wetterdienst, Zentralamt, Offenbach a. M. (Obmann)
WESSOLEK, Gerd	Priv. Doz. Dr. habil., Institut für Ökologie, Technische Universität, Berlin

1 Einleitung und Definitionen

Die Verdunstung ist der physikalische Prozeß des Übergangs von Wasser aus dem flüssigen bzw. festen in den gasförmigen Zustand bei Temperaturen unterhalb des Siedepunktes. Sie zählt zu den wichtigsten meteorologischen Vorgängen an der Erdoberfläche, ist durch die „Verdunstungskälte“ ein wesentlicher Teil des Energiehaushalts und liefert als Bestandteil des Wasserkreislaufs für die Wolkenbildung den notwendigen Wasserdampf. Dieser trägt bei dem gegenläufigen Prozeß der Kondensation des Wasserdampfes durch wieder freigesetzte Energie wesentlich zur Auslösung der Wettervorgänge in der Atmosphäre bei. Von den Landflächen der Erde verdunsten im Mittel 75 % des Niederschlagswassers, in Mitteleuropa sind es 65 bis 80 %, der Rest fließt von den Kontinenten zum größten Teil oberirdisch in die Meere ab.

Die Verdunstung spielt in vielen Bereichen eine wichtige Rolle. In der Meteorologie gewinnt die genaue Kenntnis der Verdunstung in den numerischen Modellen zur Wettervorhersage und in den Klimamodellen zur Abschätzung der Wirkungen des Treibhauseffekts an Bedeutung. In Verdunstungsmodellen der Mikrometeorologie werden die Vorgänge bis zur Erfassung des Energieumsatzes von unterschiedlich verdunstenden Kleinflächen und bis zu kurzen Zeitspannen (Stunde, Tag) differenziert. Je nach Jahreszeit und Wetterlage kann ein großer Teil der die Erdoberfläche erreichenden Strahlungsenergie bzw. der aus dem Strahlungsumsatz an der Erdoberfläche stammenden Energie zur Verdunstung verbraucht werden.

Die Verdunstung geht als Verlustgröße in die Wasserbilanz ein. Für die Ermittlung des nutzbaren Wasserdargebotes werden Zahlenwerte der Verdunstung von Land- und Wasserflächen seitens der Wasserwirtschaft benötigt. Bei wasserwirtschaftlichen Untersuchungen sind primär zeitlich und räumlich geringer aufgelöste Daten der Verdunstung von Interesse, z. B. Monatssummen für Wasserflächen und ganze Einzugsgebiete.

In der Landwirtschaft stellt die Verdunstung eine entscheidende Größe für die pflanzliche Produktion und den Bodenwasserhaushalt dar. Ähnliches gilt für andere Bereiche der Landnutzung wie Gartenbau und Forstwirtschaft. Die Verdunstung von Pflanzenbeständen muß dazu für kürzere Zeitintervalle (Dekade, Tag) ermittelt werden, insbesondere bei der Bewässerungsberatung und für Aussagen zur Befahrbarkeit von landwirtschaftlichen Nutzflächen. Die Bauwirtschaft und das Verkehrswesen interessieren sich ebenfalls für Verdunstungsangaben im Zusammenhang mit der Austrocknung des Bodens, z. B. im Erddammbau und für die Befahrbarkeit von Straßen und Wegen.

Die direkte Bestimmung der Verdunstung ist in der Regel nur an einzelnen Punkten oder für kleine, einheitliche Flächen und nur mit relativ hohem Aufwand möglich. Meist wird sie mit Hilfe von Berechnungsverfahren auf der Grundlage von Formeln oder von empirischen bzw.

deterministischen Modellen ermittelt, die aus aufwendigen Einzelmessungen abgeleitet sind. Eingangsgrößen sind dann meteorologische Daten aus dem Netz der Wetterstationen oder aus Sondermessungen, hydrologische Meßdaten sowie Boden-, Pflanzen- und andere Standortparameter.

Die Verdunstung wird meist analog zum Niederschlag als Höhe einer Wasserschicht in mm über der horizontalen Fläche angegeben, in Verbindung mit der Zeitspanne (Stunde, Tag, Dekade, Monat, Jahr), auf den sich der jeweilige Wert bezieht. Auch der Quotient aus Verdunstungshöhe und Zeit, z. B. mm/d für den Tageswert der Verdunstung ist gebräuchlich. Für die Verdunstungsgrößen gelten nach DIN 4049, Teil 3 „Begriffe zur quantitativen Hydrologie“ folgende Definitionen:

Verdunstung: Vorgang, bei dem Wasser bei Temperaturen unter dem Siedepunkt vom flüssigen oder festen Zustand in den gasförmigen (Wasserdampf) übergeht. Der umgekehrte Prozeß der Verflüssigung des Wasserdampfes heißt **Kondensation**, der Übergang von Wasserdampf in die Eisphase heißt **Sublimation**.

Evaporation: Verdunstung der unbewachsenen Erdoberfläche (Bodenverdunstung, Schneeverdunstung, Eisverdunstung), des auf Pflanzenoberflächen zurückgehaltenen Niederschlags (Interzeptionsverdunstung) und von freien Wasserflächen (Seeverdunstung). Dabei sind biotische Vorgänge ausgeschlossen.

Transpiration: Verdunstung von Pflanzenoberflächen aufgrund biotischer Prozesse.

Evapotranspiration: Summe von Evaporation und Transpiration, d. h. von Bodenverdunstung, Interzeptionsverdunstung und Transpiration.

Mögliche Verdunstung: Verdunstung von Oberflächen bei gegebenen meteorologischen Bedingungen und unbegrenzt verfügbarem Wasser. Die mögliche Verdunstung ist eine Rechengröße, die aus gemessenen meteorologischen Werten bestimmt wird. Man verwendet in der Fachliteratur meist den Begriff der potentiellen Verdunstung und unterscheidet zwischen potentieller Evaporation, potentieller Transpiration und potentieller Evapotranspiration. Letztere ist die mögliche Verdunstung einer natürlich bewachsenen Fläche und besteht aus den oben angeführten Komponenten der Boden- und Pflanzenverdunstung.

Tatsächliche Verdunstung: Verdunstung von Oberflächen bei gegebenen meteorologischen Bedingungen ohne obige Einschränkung, also bei dem tatsächlichen Wasservorrat im Boden. Man unterscheidet bei der tatsächlichen Verdunstung abweichend vom englischen Begriff zwischen realer Evaporation, realer Transpiration und realer Evapotranspiration. Letztere ist die tatsächliche Verdunstung einer natürlich bewachsenen Fläche und besteht aus den Komponenten der Boden- und Pflanzenverdunstung sowie ggf. der Verdunstung des Interzeptionswassers. Der Begriff „actual evapotranspiration“ sollte

nicht als aktuelle Verdunstung verwendet werden, da das Wort „aktuell“ im Deutschen nur den zeitlichen Bezug angibt.

Als abgeleitete Größen aus den Verdunstungswerten werden weiterhin verwendet:

Gebietsverdunstung: Verdunstungshöhe, gemittelt über ein bestimmtes Gebiet.

Klimatische Wasserbilanz: Differenz zwischen Niederschlagshöhe und Höhe der potentiellen Evapotranspiration eines Ortes in einer bestimmten Zeitspanne.

2 Grundlagen der Verdunstungsprozesse

2.1 Verdunstung als Teil der Wasser- und Energiebilanz

Der physikalische Vorgang der Verdunstung verbindet die Umwandlung von Energie aus Strahlung oder Wärme mit einer Aggregatzustandsänderung von Wasser aus flüssiger oder fester Form in die Gasform. Bezogen auf einen beliebigen Teil der Erdoberfläche ist somit die Verdunstung ein Glied sowohl der Energiebilanz als auch der Wasserbilanz. Diese Bilanzen beschreiben den Wasser- bzw. Energiehaushalt durch die folgenden Gleichungen.

Für die **Wasserbilanz** eines Ausschnitts der Erdoberfläche bis zu der Tiefe, aus der Wasser noch in den atmosphärischen Wasserkreislauf einbezogen ist, ausgedrückt in mm Wasserhöhe über einen bestimmten Zeitabschnitt, gilt (s. Bild 2.1):

$$P + E + R + \Delta W = 0 \quad (2.1)$$

Dabei sind E die Verdunstungshöhe, P die Niederschlagshöhe, R die Abflußhöhe (ober- und unterirdisch) und W der Wasservorrat im Gebiet. Die Größe ΔW als Änderung des Wasservorrats in dem betrachteten Zeitschritt wird durch die gegenläufigen Prozesse der Infiltration von Niederschlag in den Boden, des lateralen (seitlichen) Zu- und Abflusses sowie der Aufwärtsbewegung von Wasser in den Pflanzenwurzeln in Verbindung mit kapillarem Aufstieg des Wassers im Boden bestimmt.

Bild 2.1: Schematische Darstellung der Wasserbilanzkomponenten gemäß Gl. (2.1)(1)

Die Vorzeichen der Wasserbilanzelemente in Gl. (2.1), ausgehend von der Oberfläche, sind Bild 2.1 zu entnehmen. Der Niederschlag P führt, wenn vorhanden, der Oberfläche Wasser zu und hat positives Vorzeichen. Die Verdunstung E ist stets eine Verlustgröße und liegt nachts nahe bei Null. Sie geht also mit negativem Vorzeichen in die Wasserhaushaltsgleichung ein. Ein Wassergewinn der Oberfläche durch Tau oder Reif (dünner Pfeil) ist von untergeordneter Bedeutung. Die Größe ΔW ist die zeitliche Änderung des Wasservorrats W der Bodenschicht, zusammengesetzt aus dem Grundwasser und dem