

Bewässerung 4.0: ein möglicher Ansatz zur weiteren Optimierung der Bewässerung

Patrick Keilholz (München), Dominic Spinnreker-Czichon (Bremen), Philipp Huttner (München), Antje Augstein (Köthen), Dirk Borsdorff (Potsdam), Klaus Erdle, Siv Ahlers (Bernburg-Strenzfeld) und Annette Deubel (Bernburg)

Zusammenfassung

Das Dürrejahr 2018 hat gezeigt, wie verletzlich die Landwirtschaft in großen Teilen Deutschlands ist. Die Bewässerung wird in Zukunft mehr Bedeutung bekommen, nicht nur zur Ertragssteigerung, sondern auch zur Ertragssicherung. Die Frage, wie viel Wasser die Vegetation zu einem bestimmten Zeitpunkt aufnimmt ist nicht einfach zu beantworten. Denn neben den Böden und deren aktuellem Wassergehalt beeinflussen zahlreiche andere Faktoren die aktuelle Transpiration der Pflanze. Mit diesem Artikel soll ein praktischer Ansatz vorgestellt werden, wie in der Praxis die aktuelle Transpiration, Evaporation und Interzeption berechnet werden kann. Grundlage hierfür bildet das Berechnungsprogramm MIKE SHE, mit dem die Berechnungen einfach durchgeführt werden können. Zur Veranschaulichung wird der Einsatz der Berechnungsmethode an drei Fallbeispielen dargestellt. Anhand der berechneten aktuellen Evapotranspiration können Bewässerungsgaben abgeleitet und optimiert werden. Dies bildet die Grundlage zur automatisierten wasser- und energiesparenden Bewässerung. Die Technologie der Modellierung ist vor allem unter dem Gesichtspunkt des „Digital Farming“ relevant. Durch die Echtzeitberechnung, Vorhersage und Optimierung der Bewässerungswassermengen ist ein wichtiger Schritt in Richtung Automatisierung möglich. Denn entsprechend des „Wasser 4.0-Ansatzes“ können Sensoren, Modelle und Akteure vernetzt kommunizieren und entweder das System entscheidungsunterstützend oder vollautomatisch optimal regulieren.

Schlagwörter: Bewässerung, Landwirtschaft, Grundwasser, Evaporation, Transpiration, Wassergehalt, Interzeption, Digital Farming

10.3243/kwe2019.09.002

Abstract

Irrigation 4.0: a potential approach to further optimising irrigation

The 2018 drought showed the vulnerability of farming in large parts of Germany. Irrigation will become more important in the future, to both raise and safeguard yields. The question of how much water vegetation absorbs at a specific point in time is not easy to answer. After all, many other factors influence crops' current transpiration besides the soil and current water content. This article seeks to present a practical approach to calculating current transpiration, evaporation and interception in practice. It is based on the MIKE SHE calculation programme, which allows calculations to be carried out easily. The use of the calculation method is displayed using three case studies by way of illustration. Irrigation phases can be derived and optimised based on the calculated current evaporation. This creates the foundation for automated irrigation that saves water and energy. Modelling technology is mainly relevant from the perspective of digital farming. A key step towards automation can be taken with real-time calculations, projections and optimising the amount of water used for irrigation. After all, the Water 4.0 approach allows sensors, models and actuators to communicate in a network and perfectly regulate the system either to support decision-making or in a fully automated fashion.

Key words: irrigation, agriculture, groundwater, evaporation, transpiration, water content, interception, digital farming

1 Einführung

Weltweit werden 70 % der globalen Frischwasserressourcen in der Landwirtschaft verwendet [1]. Damit hat die Landwirtschaft einen erheblichen Einfluss auf den natürlichen Wasserhaushalt. Neue Ansätze, die bei der Bewässerung den Wasser-Energie-Nahrungsmittel Nexus betrachten und robuste digitale Technologien zum Einsatz bringen, machen neue skalierbare Geschäftsmodelle im globalen Kontext möglich [2].

In der gesamten Wasserbilanz wirkt die Landnutzung auf die Interzeption, Evaporation und Transpiration. Dies bewirkt

wiederum eine Veränderung in der Bodenfeuchte. Durch die Bodenbearbeitung kommt es zudem zu einer Veränderung im Bodenaufbau, was ebenfalls die Bodenfeuchte beeinflussen kann. Kommen Drainagen zum Einsatz oder wird für die Bewässerung Grundwasser entnommen, können auch Grundwasserstände beeinflusst werden. Es zeigt sich, dass die Landwirtschaft auf verschiedenste Kompartimente (Evaporation, Oberflächenabfluss, ungesättigte und gesättigte Bodenzone) des Wasserkreislaufs einwirkt. Durch Bewässerung wird zudem

Wasser von einer Stelle des Wasserkreislaufs zu einer anderen transferiert, so dass dies ebenfalls die Wasserbilanz verändert. Damit der Effekt der Landwirtschaft sichtbar wird, kann mit dem hier beschriebenen Berechnungsansatz eine ganzheitliche Betrachtung durchgeführt werden. Dadurch kann das Wasser im gesamten Wasserkreislauf beschrieben werden. Es können Aussagen zu Wassermengen als auch zu aktuellen Stoffkonzentrationen räumlich und zeitlich getätigt werden, ohne kumulative Fehler an einzelnen Systemgrenzen zu bekommen. Aufgrund der Komplexität ist dies nur durch Computermodelle möglich, mit deren Hilfe die wasserhaushaltsrelevanten Prozesse berechnet werden können.

Modelle sind ein Abbild der realen Situation. Sie können Zusammenhänge vereinfacht nach dem Ursache-Wirkungs-Prinzip darstellen oder die komplexen Prozesse holistisch abbilden. Modelle können uns bei der Bewässerung helfen, indem sie folgende Möglichkeiten bieten:

- **Von Punktdaten in die Fläche:** Oft stehen nur punktuelle Informationen zur Verfügung, die nicht ohne weiteres auf andere Regionen übertragbar sind. Modelle können diese Lücke schließen, indem sie die räumlichen Daten mitberücksichtigen. Dadurch entsteht ein lückenloses Abbild, welches entsprechend bilanzierbar wird. Ein Beispiel sind räumliche Niederschläge, die anstatt punktueller Regenschreiberdaten verwendet werden können. Dadurch werden die Auswirkungen des Niederschlags auf den Bodenwasserhaushalt deutlich korrekter berechnet.
- **Inhomogenitäten** und Störungen können berücksichtigt werden. Sind beispielsweise die Böden auf einem Gebiet

sehr inhomogen, kann mithilfe des Modells die Bewässerung entsprechend angepasst werden. Auch mit Fernerkundung beobachtete Unterschiede in der Vegetation können im Modell assimiliert werden.

- Modelle können als **Planungswerkzeug** benutzt werden. Dies kann zum Beispiel zur Optimierung der Bewässerungsanlage eingesetzt werden, indem unterschiedliche Bewässerungsstrategien zuerst am Modell getestet werden, bevor sie in Realität angewendet werden.
- Der digitale Zwilling: Dieser innovative Ansatz sieht vor, dass das Modell immer das aktuelle Geschehen mitberechnet und zur **Entscheidungsunterstützung** oder **Echtzeitsteuerung** verwendet werden kann. So kann auf außergewöhnliche Situationen (Dürre, Starkregen, Schädlingsbefall) möglichst schnell und effektiv reagiert werden.
- Wasser- und Stoffbilanzen zur **Beweissicherung**. Durch die flächendeckende Abbildung der Zustände können sehr schnell genaue Bilanzen erstellt werden. Zudem können mit Modellen auch Nachweise geführt werden wie sich die Bewässerung sowohl quantitativ als auch qualitativ auf die Grundwasserressourcen auswirkt.

Es zeigt sich, dass der Einsatz von Modellen einen signifikanten Informationsgewinn gegenüber den Mess- und/oder Beobachtungsdaten ermöglicht. Dieser Informationsgewinn ist insbesondere für die Automatisierung von Prozessen als auch zur Optimierung des Ernteertrags eine wichtige Grundlage, um eine innovative und nachhaltige Landwirtschaft zu gewährleisten.

2 Berechnungsansatz

Der hier vorgestellte Berechnungsansatz hat den Anspruch, praktisch anwendbar zu sein und trotzdem das System möglichst physikalisch abzubilden. Zudem gilt es, das räumlich-zeitliche Skalensproblem der einzelnen Wasser- und Stofftransportprozesse möglichst korrekt abzubilden, um ein stabiles Ineinanderwirken der Wassersysteme zu erzielen. Aufgrund der zum Teil schwierig zu lösenden Differentialgleichungen ist dieser Ansatz nur durch EDV anwendbar.

Potenzielle Evapotranspiration

Die potenzielle Evapotranspiration beschreibt die bei ständiger Bodensättigung mögliche Evapotranspiration auf Grasvegetation. Dieser Wert stellt eine Eingangsgröße dar, aus der die aktuelle Evapotranspiration ermittelt wird. Mit dem Ansatz von Penman-Monteith [3] kann aus den meteorologischen Messdaten Windgeschwindigkeit, relative Luftfeuchte, Solarstrahlung, Lufttemperatur und Luftdruck unter Berücksichtigung der Strahlungsbilanz die potenzielle Grasreferenz-Evapotranspiration (ET₀) berechnet werden. Das Verfahren lässt sich zudem auf beliebige Zeitintervalle anwenden, so dass beispielsweise auch der Tagesgang der potenziellen Evapotranspiration mit abgebildet werden kann. Durch Multiplikation von ET₀ mit dem pflanzenspezifischen kc-Faktor ergibt sich die potenziellen Referenz-Evapotranspiration (ET_{ref}).

Interzeption

Bei intensiver Pflanzenbedeckung können Niederschläge und auch Beregnungswasser an der Pflanzenoberfläche zurückge-

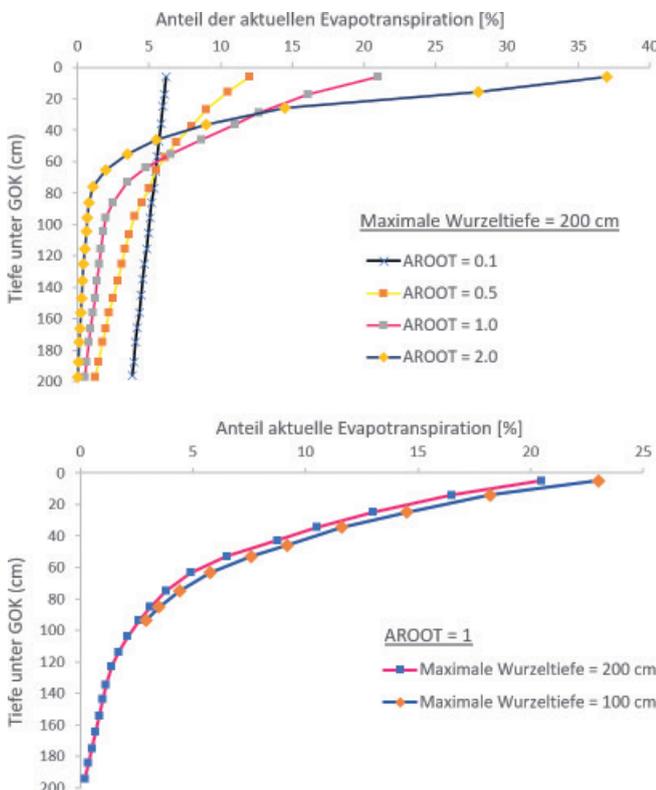


Abb. 1: Anteile der aktuellen Transpiration über die Wurzeltiefe in Abhängigkeit zu unterschiedlichen A_{ROOT} -Werten und konstanter Wurzeltiefe (oben) sowie bei unterschiedlichen Wurzeltiefen und konstantem A_{ROOT} -Wert (unten)

halten werden und von dort verdunsten. Das durch Interzeption zurückgehaltene Wasser steht den Pflanzen nicht mehr zur Verfügung und muss in der Wasserbilanz entsprechend berücksichtigt werden (Formel 1).

$$E_{can} = \min(C_{int} \cdot LAI, ET_{ref} \cdot \Delta t) \quad (1)$$

C_{int} = Interzeptionskoeffizient (≈ 0.05 mm)

LAI = Blattflächenindex [m^2/m^2]

Δt = Simulationszeitschritt [dt]

Aktuelle Evapotranspiration

Die tatsächliche oder auch aktuelle Evapotranspiration kann über verschiedene Ansätze beschrieben werden [4,5]. Ein in hydrologischen Modellen (MIKE SHE) verwendeter Ansatz ist das Kirstensen & Jensen-Modell, das als Eingangsdaten die Bodenart, den Blattflächenindex ($LAI = \text{Leaf Area Index}$) und die Wurzeltiefe benötigt [6]. Die aktuelle Pflanzentranspiration wird in Abhängigkeit zur nutzbaren Feldkapazität und dem Blattflächenindex berechnet (Formel 2). Zudem fließt in die Formel die Wurzelverteilungsfunktion (RDF) mit ein (Formel 3).

$$ET_{aT} = f_1(LAI) \cdot f_2(\theta) \cdot RDF \cdot ET_{ref} \quad (2)$$

$f_i(LAI, \theta)$ = Funktionen des Blattflächenindex und der Bodenfeuchte

$$RDF_i = \frac{\int_{z_1}^{z_2} e^{(\log R_0 - A_{ROOT} - z)} dz}{\int_0^{L_R} e^{(\log R_0 - A_{ROOT} - z)} dz} \quad (3)$$

z_i = Tiefe der betrachteten Bodenlamelle [m]

R_0 = Wurzelausdehnung an der Bodenoberkante [m]

A_{ROOT} = Formparameter der Wurzelverteilung [-]

In dem Berechnungsansatz zur Bestimmung der aktuellen Transpiration werden die Funktionen f_1 und f_2 verwendet [6]. Diese verfügen über empirische Evaporationskoeffizienten C_1 , C_2 , C_3 , mit denen der vegetationspezifische Blattflächenindex (C_1 , C_2) und die Wasseraufnahme über die Wurzeln (C_3) angepasst werden kann. C_1 ist ein pflanzenabhängiger Wert, der für Gras und Feldfrüchte ca. 0,3 beträgt. In den C_2 -Wert fließen die Bodeneigenschaften mit ein. Für Gras und Feldfrüchte, die auf tonigem oder lehmigem Boden wachsen, beträgt dieser Wert ca. 0,2. Mit dem Koeffizienten C_3 (10–20 mm/d) kann die Dichte und die tiefenabhängige Verteilung des Wurzelgeflechts angepasst werden, welche auf die Bodenfeuchte wirkt. Die Wurzelverteilungsfunktion (RDF) kann für beliebige Bodenlamellen berechnet werden. Ausgangsparameter ist die Wurzelausdehnung an der Bodenoberkante. Durch die Wahl eines A_{ROOT} -Werts größer 1 können oberflächennahe Wurzeln beschrieben werden, wohingegen ein kleiner A_{ROOT} -Wert eine über die gesamte Wurzeltiefe gleichbleibende Verteilung beschreibt (Abbildung 1).

Der Anteil des Wassers, der durch Verdunstung aus dem Bodenkörper entweicht, wird als Bodenevaporation bezeichnet. Für die Berechnung der aktuellen Bodenevaporation sind vor allem der Bodenfeuchtegehalt und die nutzbare Feldkapazität wichtig, die sich in der oberen Schicht (maximal 10 cm) des Bodens befinden (Formel 4).

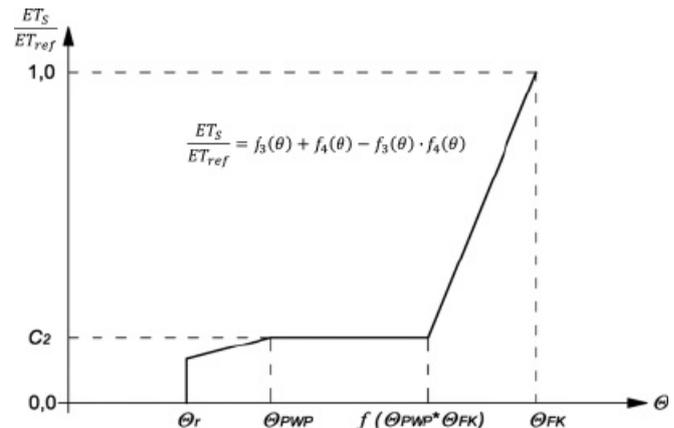


Abb. 2: Verhältnis der Bodenverdunstung zur potenziellen Evapotranspiration einer vegetationsfreien Fläche als Funktion der Bodenfeuchte

$$ET_{aT} = ET_{ref} \cdot f_3(\theta) + \left(ET_{ref} - ET_{aT} - \left(ET_{ref} \cdot f_3(\theta) \right) \right) \cdot f_4(\theta) \cdot (1 - f_1(LAI)) \quad (4)$$

Die Funktionen f_3 und f_4 der Bodenfeuchte haben in dem Gleichungssystem die Aufgabe, die Intensität der Bodenverdunstung in Abhängigkeit von der aktuellen Bodenfeuchte zu ermitteln [6]. Dieser Effekt kann auch dann abgebildet werden, wenn keine Vegetation vorhanden ist. Dadurch wird der Wert der Funktion f_1 und damit die Pflanzentranspiration gleich 0. In diesem Fall kann das Verhältnis von Bodenevaporation zur potenziellen Evapotranspiration vereinfacht abgebildet werden (Abbildung 2). Es zeigt sich, dass über den Parameter C_2 , der Anteil der Bodenverdunstung im Bereich der nutzbaren Feldkapazität beschrieben werden kann.

Ungesättigte Zone

Die beschriebene Verdunstungsberechnung interagiert direkt mit der ungesättigten Zone. Die Berechnung des Bodenwasserhaushalts erfolgt mit dem van Genuchten-Mualem Modell [7,8] auf Basis der Richards-Gleichung [13]. Die relevanten Parameter ergeben sich aus der Saugspannungskurve des Bodens. Weil diese Werte nur durch aufwendige Labor- bzw. Feldversuche ermittelt werden können, werden oft Pedotransferfunktionen verwendet. Beispiele hierfür sind die Pedotransferfunktionen nach Carsel & Parrish [9] oder Twarakavi [10] die auf der ROSETTA-Datenbank basieren [11].

Die ungesättigte Zone ist bilateral mit der gesättigten Zone verbunden, die die untere Randbedingung für die ungesättigte Zone bildet. Das Grundwasser wird mit der dreidimensionalen Darcy-Gleichung berechnet. Wenn die Infiltrationskapazität an der obersten Bodenschicht der ungesättigten Zone erschöpft ist, kann sich Oberflächenwasser bilden. Dieses kann sich durch Fließprozesse entsprechend der topografischen Geländesituation horizontal bewegen. Die Berechnung von flächigen zweidimensionalen Strömungen erfolgt für gewöhnlich zellenbasiert. Mit der finiten-Differenzenmethode werden viereckige Rasterzellen erzeugt, für die die Fließvektoren bestimmt werden. Grundlage der Berechnung ist die zweidimensionale Bewegungsgleichung der Diffusionswelle.

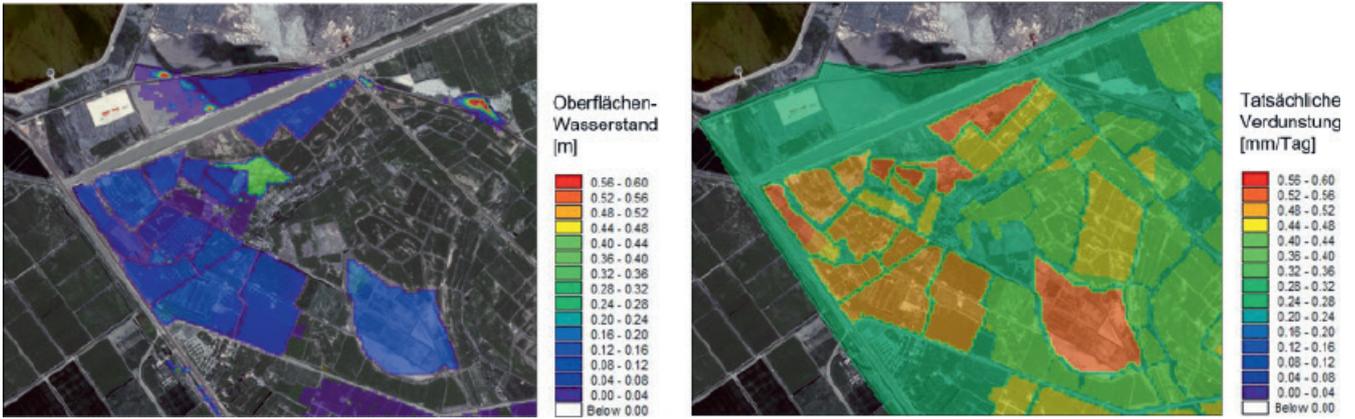


Abb. 3: Modellausschnitt von Feldern, die mit Einstaubewässerung bewirtschaftet werden. Das Oberflächenwasser verteilt sich auf den Feldern (links) und führt zu einer erhöhten Evapotranspiration (rechts).

3 Anwendungsbeispiele

Im Folgenden wird auf drei Anwendungsbeispiele eingegangen, die sich insbesondere in der Bewässerungstechnik unterscheiden. Bei allen Beispielen wurde der oben beschriebene Ansatz angewendet.

Einstaubewässerung

Bei der Einstaubewässerung werden Wassergaben als Oberflächenwasser auf ein ebenes und mit Dämmen abgegrenztes Feld gegeben. Das Wasser verteilt sich, infiltriert und wird im Bodenkörper gespeichert. Für eine gut funktionierende Einstaubewässerung ist ein sehr gutes Planum erforderlich, da sich das Wasser sonst an den Tiefpunkten sammelt und die Hochpunkte nicht ausreichend mit Wasser versorgt werden. Eine typische Anwendung für eine Einstaubewässerung ist die Auswaschung der Mineralien in ariden Gebieten.

In der Oase Aksu in der Taklamakan (Nordwestchina) wird überwiegend Baumwolle angebaut. Im Frühjahr und zum Teil auch im Herbst werden die Böden gespült, um den Salzgehalt an der Oberfläche zu verringern. Der Oberflächenabfluss wird zweidimensional gerechnet, so dass die Verteilung des Wassers realistisch erfolgt und auch der Einfluss topografischer Unebenheiten in der Bewässerung berücksichtigt wird. Aufgrund der hohen Bodenfeuchte stellt sich eine erhöhte aktuelle Evapotranspiration ein, die über das Modell abgebildet wird (Abbildung 3).

Das in den Boden infiltrierte Wasser spült die oberflächennahen Mineralien vertikal in tiefere Schichten. Abhängig vom Gradienten des Grundwasserstandes kann dieses das mineralhaltige Wasser in der gesättigten Zone horizontal weiter transportieren. In Bewässerungsgebieten, wo beispielsweise lokales Grundwasser zur Bewässerung verwendet wird und keine Felddrainagen vorhanden sind, kann dies problematisch sein, da ein Absenkrichter entsteht und die Mineralien sich innerhalb des Absenkrichters unter dem Bewässerungsgebiet aufkonzentrieren. Dadurch wird das Bewässerungswasser kontinuierlich belastet (Abbildung 4). Besteht dagegen ein Gradient im Grundwasser, kann das Wasser aus den Feldern abtransportiert werden. In dem hier vorliegenden Fall führt dies zu einem Anstieg der Salzkonzentration am Rand der Bewässerungsgebiete, da durch die natürliche Vegetation das mineralhaltige

Grundwasser in den durchwurzelten Boden transportiert wird. Durch die Bodenevaporation gelangt es an die Oberfläche.

Feldberegnung

Mobile Berechnungsanlagen stellen in der Modellierung eine besondere Herausforderung dar. Durch die räumliche Veränderung des Wassereintrags ist die Kenntnis des aktuellen Standorts essentiell. Im Zeitalter von Digital Farming und dem Internet of Things (IoT) ist dies allerdings eine lösbare Aufgabe geworden. Das folgende Beispiel zeigt den Einsatz von Trommelberegnern auf vier Feldschlägen, die über vier Tage mit 10 mm/h bei einer Geschwindigkeit von 50 m/Std bewässert werden (Abbildung 5).

Der Berechnungszeitraum ist der heiße und niederschlagsarme Juli 2015 und die zeitliche Auflösung basiert auf Stundenwerten. Die Stärke des Berechnungsansatzes ist eine Differenzierung der aktuellen Transpiration und der aktuellen Evaporation aus dem Bodenkörper. Dies ermöglicht eine transparente Bilanzierung der Wasserverluste, die bei der Bewässerung zwangsläufig entstehen.

Aus dem Verhältnis von aktueller (ETa) zur vegetationspezifischen potenziellen Evapotranspiration (ETref) kann der Wasserstress auf die Vegetation ermittelt werden. Dieser gibt

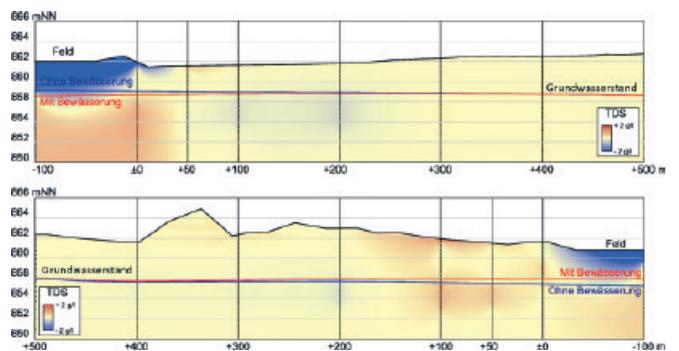


Abb. 4: berechneter Grundwasserstand und Stofftransport (TDS) infolge der Einstaubewässerung an unterschiedlichen Transekten. oben: Stoffakkumulation unter dem Bewässerungsgebiet infolge eines Absenkrichters; unten: Stofftransport in die Außengebiete des Bewässerungsgebiets infolge der Grundwasserströmung

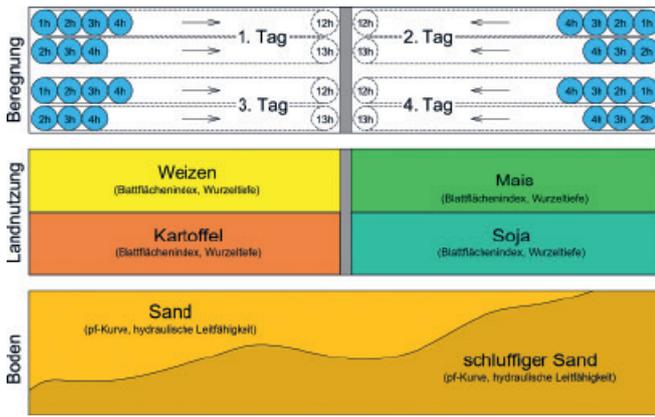


Abb. 5: Anordnung der Felder und der anstehenden Böden sowie des Bewässerungsablaufs mit zwei Trommelberegnern im Verbund

an, wann die Vegetation nicht ausreichend Wasser bekommt und dadurch das Pflanzenwachstum gehemmt wird. Alle Ergebnisse können entweder räumlich-zeitlich oder separat für jedes Rasterelement visualisiert werden (Abbildung 6).

Der Bodenkörper ist der Wasserspeicher, der abhängig von seiner Eigenschaft das Bewässerungswasser halten kann. Die Bodenfeuchte in der ungesättigten Bodenzone ist daher für eine optimierte Bewässerung besonders wichtig. Neben diesem Parameter können auch die Wasseraufnahmen an den Wurzeln, Düngemiteleinträge und Versalzung berechnet und visualisiert werden.

Abhängig von Grenzwerten des Wasserstresses oder der Bodenfeuchte kann die Beregnung der landwirtschaftlichen Flächen räumlich mit MIKE SHE optimiert werden. Zudem können die bestmöglichen Bewässerungsintervalle gewählt werden. Durch die Verwendung von Wettervorhersagen kann bereits im Vorfeld die Bewässerung so gesteuert werden, dass ein optimales wassersparendes Pflanzenwachstum möglich ist. Die Steuerung kann entweder im operationellen Betrieb oder durch SCADA-Steuerung im Echtzeitbetrieb erfolgen.

Tröpfchenbewässerung

Die standortangepasste vollautomatische Echtzeitprozessoptimierung von solarbetriebener Tröpfchenbewässerung ist Inhalt des Verbundprojekts Irrimode, das vom Land Sachsen-Anhalt im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP-AGRI) gefördert wird. Die Projektgruppe setzt sich zusammen aus Wirtschafts- und Wissenschaftspartnern (Autoren) sowie den Praxisbetrieben Gut Mennewitz GmbH und Obsthof Am Süßen See GmbH. Auf der Versuchsfläche des Internationalen Pflanzenbauzentrums der DLG in Bernburg wird eine Unterflur-Tröpfchenbewässerungsanlage betrieben, die mit dem hier vorgestellten Berechnungsansatz in Echtzeit modelliert wird, um die optimale Bewässerung zu überwachen und zu optimieren. Auf den 16 Versuchspartzellen (18 m × 71 m) wurde 2018 Soja und Winterweizen angebaut (Abbildung 7).

Im Versuchsjahr 2018 wurden ausgewählte Großparzellen bewässert und einige Großparzellen bewusst nicht bewässert. Aufgrund der langanhaltenden Trockenheit zeigten sich bereits

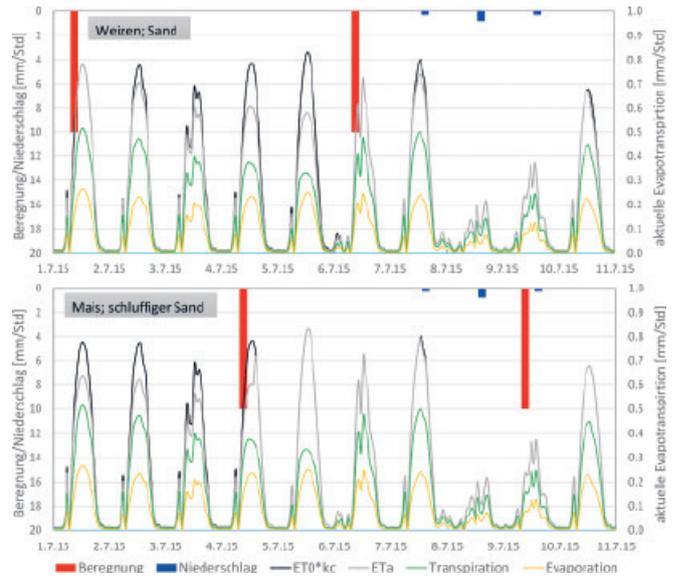


Abb. 6: Verdunstungsraten für ein beliebiges Rasterelement im sandigen Boden mit Weizenvegetation (oben) und einem schluffigen Sand mit Maisvegetation (unten)

während der Pflanzenentwicklung deutliche Defizite auf den unbewässerten Flächen. Dieses Ergebnis zeigt sich auch in der Modellierung der Bodenfeuchten (Abbildung 8).

Während der Vegetationsperiode (April–September) im Jahr 2018 sind 188 mm Niederschlag gefallen. Dies zeigt sich in den modellierten Bodenfeuchten, die sensitiv auf die Bewässerungsgaben der Tröpfchenbewässerung reagieren. Neben den punktuellen Auswertungen können zudem die räumlichen Auswirkungen beurteilt werden. Diese erfolgen über den Wasserstress-Faktor, der sich aus dem Verhältnis $ETa/ETref$ ergibt. Es ist deutlich zu erkennen, dass auf den nicht bewässerten Flächen ein Wasserstress von ca. 0,25 für die Vegetation vorhanden ist (Abbildung 9).

Die Folge daraus ist eine deutliche Degradation der Vegetation, wie sie auch vor Ort dokumentiert wurde. Mit der Bewässerung konnte der Wasserstress verringert werden. Abhängig von der Entfernung zum Tropfschlauch beträgt der Stressfaktor 0,40–0,60. Dadurch, dass im Modell die Lage der Tropfschläuche abgebildet wird, zeigt sich in der bewässerten Vegetation das Streifenmuster wie es auch in Realität zu erkennen war.



Abb. 7: Lage der 16 Versuchsfelder der DLG bei Bernburg mit Bewirtschaftung (Soja und Winterweizen) im Jahr 2018

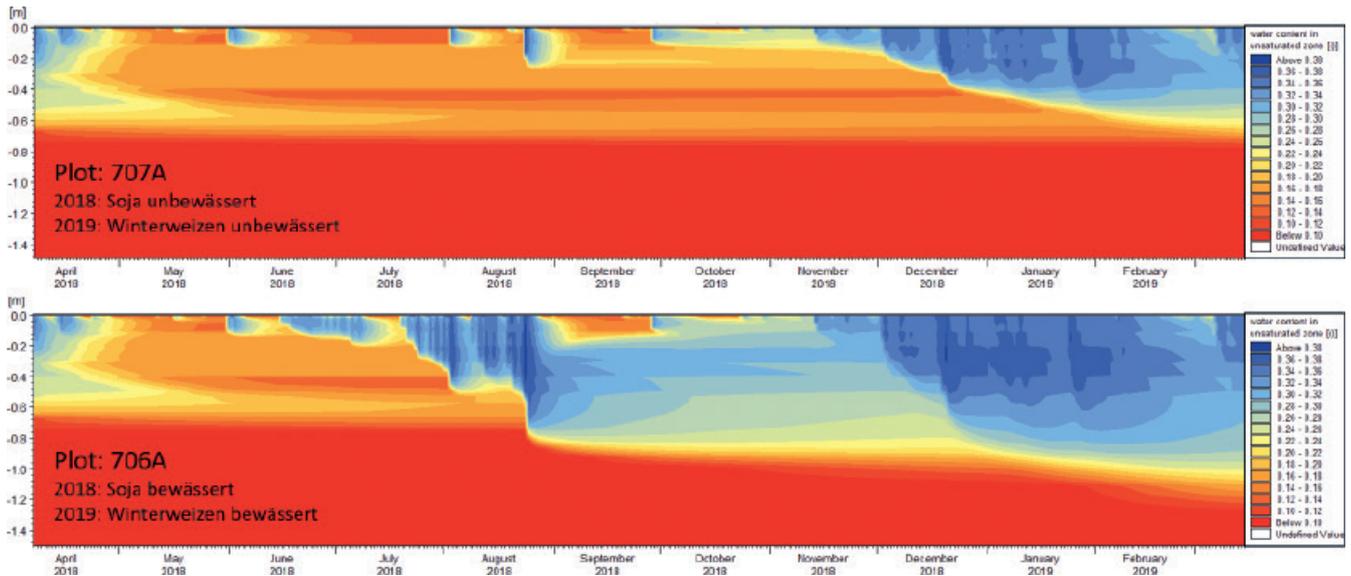


Abb. 8: Bodenfeuchtestprofile über die Vegetationsperiode (April 2018–März 2019). Die modellierten Bodenfeuchten reagieren auf die Bewässerungsintervalle (oben) bis in 0,8 m Tiefe. Auf den unverwässerten Flächen (unten) ist eine kontinuierliche Austrocknung der Böden zu erkennen

4 Digitalisierung der landwirtschaftlichen Produktion – Bewässerung 4.0

Die Digitalisierung nach dem 4.0 Prinzip [12] gilt als der aktuelle Megatrend und geht einher mit einer fundamentalen Veränderung in Produktion und Betrieb bestehender Systeme. Die Digitalisierung wird alle Bereiche der derzeitigen Gesellschaft und alle wirtschaftlichen Strukturen betreffen und nachhaltig verändern. Viele landwirtschaftliche Betriebe sind bereits heute von digitalen Strukturen durchzogen. Daher bietet es sich an, auf diesem Feld weitere Entwicklungen voranzutreiben. Ausgehend davon ist jedoch erst zu klären, was unter dem Begriff Digitalisierung zu verstehen ist. Die Digitalisierung zielt auf die grundlegende Neustrukturierung der Prozesse ab. Als Beispiel aus der Bauindustrie sei hier das Building Information Modelling (BIM) zu nennen. Analoge oder analog digitalisierte Strukturen können dabei schnell zum Hindernis werden, da diese immer noch auf den Beschränkungen eines analogen Vorgehens basieren. Erst wenn dieser Prozess in der vollständigen Tiefe einer Produktion durchdrungen ist kann eine wirkliche (neu-) Digitalisierung geschehen. Das

Internet of Things (IoT) erlaubt die nahezu vollständige Vernetzung, Messung und Steuerung von Betriebsanlagen. Durch den kontinuierlichen Austausch von Daten werden Vorhersagen, Echtzeit-Steuerungen und holistische Visualisierungen erst möglich.

In unserem Beispiel der Tröpfchenbewässerung am Internationalen Pflanzenbauzentrum der DLG in Bernburg ist diese Realisierung durch Bodenfeuchtesensoren bis in 1 m Tiefe, Solarpumpen am Wasserspeicher, Wasserstandssensoren im Wasserspeicher und hydrometeorologischen Messungen erfolgt. Ziel ist es, zu jeder Zeit eine Übersicht über die einzelnen Komponenten im System zu haben. Zudem werden kontinuierliche Daten von unterschiedlichen Herstellern aus der Cloud via REST-API abgerufen, um die Datenqualität weiter zu verbessern. Indem das Sensornetz auf dem Feld und in der unmittelbaren Umgebung und innerhalb des Bewässerungssystems dauerhafte Daten liefert, die Modelltechnik diese als neue Randbedingungen verwendet und so eine flächenhafte Modellierung ermöglicht, erhält der Nutzer einen digitalen Zwilling seines Feldes und seines Bewässerungssystems (Abbildung 10). Daraus ermöglichen sich nun Szenarioanalysen, welche z. B. unterschiedliche Bewässerungsintervalle und Pflanzentypen analysieren. Auch können Szenarien verwendet werden, um die Auswirkung von Trockenphasen auf den Bodenfeuchterhaushalt zu untersuchen.

Weiter kann im Zusammenspiel mit einer statistischen Klimavorhersage eine bessere Feldbewirtschaftung erfolgen. Dies kann die Aussaat, Düngung, Pflege und den Erosionsschutz betreffen. Dabei werden Konzepte wie Dashboard, Visualisierungen und auch digitale Assistenzsysteme verwendet, um den Betreiber in die Lage zu versetzen die Prozesse zu verstehen und eigenverantwortliche Entscheidungen zu treffen.

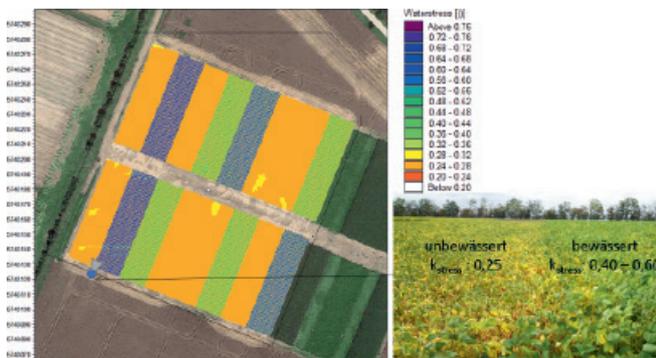


Abb. 9: Gemittelte Wasserstress-Faktoren für den Zeitraum vom 6. April 2018 bis zum 15. September 2018

5 Fazit

Dieser Artikel stellt einen Ansatz vor, wie in der landwirtschaftlichen Praxis die aktuelle Transpiration, Evaporation und Inter-

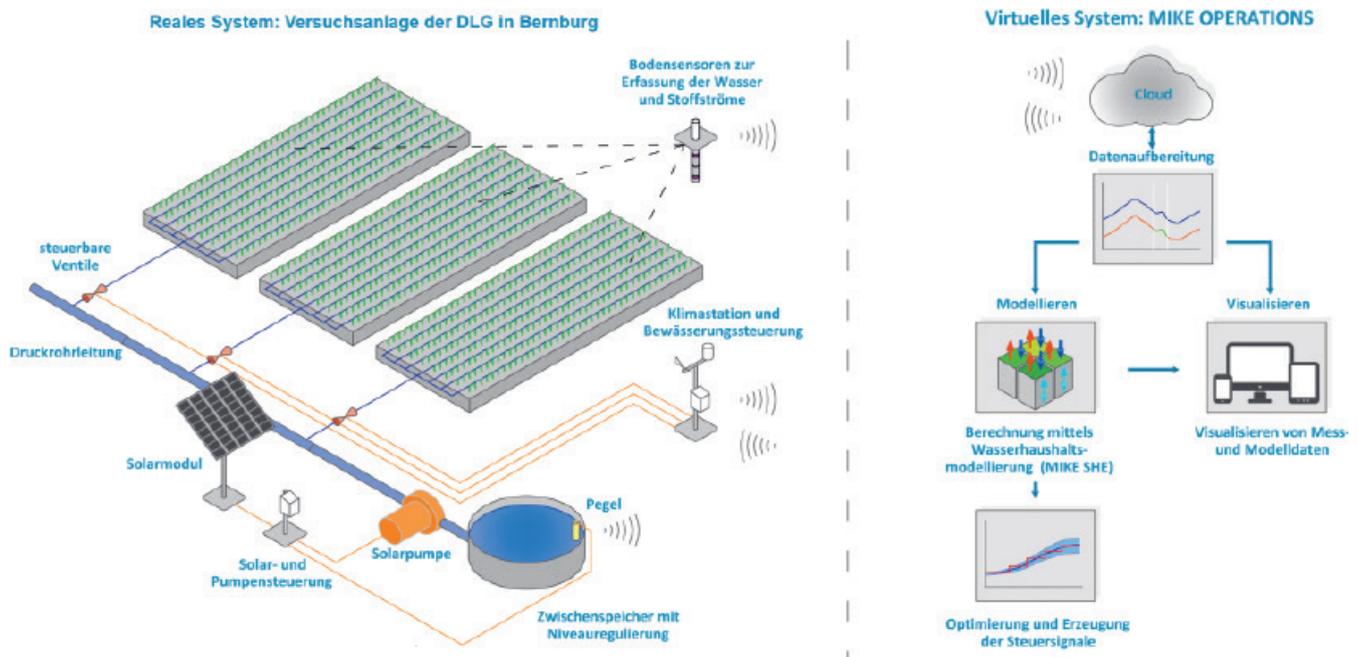


Abb. 10: Systemskizze des Testfelds

zeption mit dem Berechnungsprogramm MIKE SHE berechnet werden können. Anhand der resultierenden aktuellen Evapotranspiration können Bewässerungsgaben abgeleitet und in Echtzeit optimiert werden. Mit den drei Fallbeispielen wurde der Einsatz der Berechnungsmethode erfolgreich getestet. Das Potenzial der Bewässerungsoptimierung zeigt sich, wenn die Lösung als automatisierte Wasser 4.0-Anwendung umgesetzt wird. Dadurch können neue Geschäftsmodelle für Digital Farming ermöglicht werden. Diese verfolgen das Ziel das Optimum von Wasser, Energie und Düngemiteleininsatz zu finden, um Erträge zu sichern und im Optimalfall zu steigern.

Literatur

- [1] United Nations World Water Assessment Programme (WWAP), 2017:
- [2] Vestner, R.J., 2018: *Solare Bewässerung 4.0*. Vortrag auf dem IFAT-Länderforum MENA/Jordanien, in Kooperation von BMU und GWP e.V., 15.05.2018, München
- [3] Monteith, J., 1981. *Evaporation and surface temperature*. Quart. J. Roy. Met. Soc., pp. 1–27.
- [4] Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M., 1998. *FAO Irrigation and Drainage Paper – Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)*. Rome: FAO.
- [5] Renger, M. & Wessolek, G., 1990. *Auswirkungen von Grundwasserabsenkung und Nutzungsänderung auf die Grundwasserneubildung*. Mitteilungen des Instituts für Wasserwesen, Universität der Bundeswehr München, Band 386, pp. 295–307.
- [6] Kirstensen, K. & Jensen, S., 1975. *A model for estimating actual evapotranspiration from potential evapotranspiration*. Royal Veterinary and Agricultural University, Nordic Hydrology, Band 6, pp. 170–188.
- [7] Mualem, Y., 1976. *A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media*. Water Resources Research, Band 12(3), pp. 513–522.
- [8] van Genuchten, M. T., 1980. *A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils*. Soil Science Society of America Journal, Band 44(5), pp. 892–898.
- [9] Carsel, R. F. & Parrish, R. S., 1988. *Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics*. Water Resources Research, Band 24(5), pp. 755–769.
- [10] Twarakavi, N. K. C., Simunek, J. & Schaap, M. G., 2010. *Can texture-based classification optimally classify soils with respect to soil hydraulics?* Water Resources research, Band 46, pp. 1–11.
- [11] Schapp, M., Leij, F. & van Genuchten, M. T., 2001. *ROSETTA: A computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions*. Journal of Hydrology, Band 251(3), pp. 163–176.
- [12] Vestner, R.J. & Keilholz P. 2016. *Was bedeutet der „4.0-Ansatz“ für die Wasserwirtschaft?* 49. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, Aachen; 03/2016.
- [13] Richards, L., 1931. *Capillary conduction of liquids through porous mediums*. Journal of Applied Physics, Band 1, pp. 318–333.

Autoren

Dr.-Ing. Patrick Keilholz
DHI WASY GmbH
Rosenheimer Straße 143
81671 München

E-Mail: pak@dhigroup.com

Dipl.-Ing. Dominic Spinnreker-Czichon
DHI WASY GmbH
Knochenhauerstraße 20/25
28195 Bremen

E-Mail: dos@dhigroup.com

M. Sc. Philipp Huttner
DHI WASY GmbH
Rosenheimer Straße 143
81671 München

E-Mail: phhu@dhigroup.com

Dipl.-agr. Antje Augstein
 AGRO-SAT Consulting GmbH
 Schulstraße 3
 06388 Köthen (Anhalt)

E-Mail: aa@irrimode.de

Dipl.-Ing. (FH) Dirk Borsdorff
 Irriproject
 Ingenieurbüro Bewässerung | Wassertechnik
 Potsdamer Centrum für Technologie
 David-Gilly-Straße 1
 14469 Potsdam

E-Mail: db@irrimode.de

Dr. Klaus Erdle
 Siv Ahlers
 DLG e. V.
 Internationales DLG-Pflanzenbauzentrum
 Am Gutshof 3
 06406 Bernburg-Strenzfeld

E-Mail: k.erdle@dlg.org

Prof. Dr. Annette Deubel
 Hochschule Anhalt
 Strenzfelder Allee 28
 06406 Bernburg

E-Mail: annette.deubel@hs-anhalt.de



Anzeige

Unser Expertentipp



DWA-M 590
 Wechselwirkungen zwischen Grundwasserleitern und Oberflächengewässern
 26. November 2019
 in Würzburg
 420,00 € / **340,00 €****



DWA-A 912
 Grundsätze und Maßnahmen einer gewässerschützenden Landbewirtschaftung
 Juni 2019
 46 Seiten, A4
 ISBN 978-3-88721-838-6
 67,00 € / **53,60 €***

* für fördernde DWA-Mitglieder
 ** für DWA-Mitglieder

KW **Korrespondenz Wasserwirtschaft**

**Organ der DWA –
 Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.**

Herausgeber und Verlag:
 GFA
 Theodor-Heuss-Allee 17, D-53773 Hennef
 Postfach 11 65, D-53758 Hennef
 Telefon +49 2242 872-0, Telefax +49 2242 872-151
 Internet: www.gfa-kw.de

Redaktionsbeirat:

1. Prof. Dr. Uli Paetz, DWA-Präsident
2. Prof. Dr.-Ing. Norbert Dichtl, DWA-HA „Kreislaufwirtschaft, Energie und Klärschlamm“
3. Prof. Dr.-Ing. Markus Disse, Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften in der DWA
4. Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Dittrich, DWA-HA „Wasserbau und Wasserkraft“
5. Rechtsanwalt Stefan Kopp-Assemmacher, DWA-HA „Recht“
6. Bauass. Dipl.-Ing. Werner Kristeller, DWA-HA „Kommunale Abwasserbehandlung“
7. Bauass. Dipl.-Ing. Johannes Lohaus, Sprecher der DWA-Bundesgeschäftsführung
8. Prof. Dr.-Ing. Hubertus Milke, DWA-Vorstand
9. Dr.-Ing. habil. Uwe Müller, DWA-HA „Hydrologie und Wasserbewirtschaftung“
10. Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Patt, DWA-HA „Gewässer und Boden“
11. Prof. Dr.-Ing. Johannes Pinnekamp, DWA-HA „Entwässerungssysteme“
12. Dr. Andrea Poppe, DWA-HA „Industrieabwässer und anlagenbezogener Gewässerschutz“
13. StadtDir Dipl.-Ing. Robert Schmidt, DWA-HA „Bildung und Internationale Zusammenarbeit“
14. Rolf Usadel, GFA-Geschäftsführer
15. Georg Wulf, DWA-HA „Wirtschaft“

Redaktion:

Dipl.-Volksw. Stefan Bröker (v. i. S. d. P.), Tel. +49 2242 872-105,
 E-Mail: broeker@dwa.de
 Dr. Frank Bringewski (ChR), Tel. +49 2242 872-190,
 E-Mail: bringewski@dwa.de

Anzeigen:

Christian Lange, Tel. +49 2242 872-129, E-Mail: anzeigen@dwa.de
 Monika Kramer, Tel. +49 2242 872-130

Sekretariat:

Annette Wollny, Tel. +49 2242 872-138
 E-Mail: wollny@dwa.de

Erscheinungsweise: monatlich

Anzeigenpreise: Zurzeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 6 vom 01. Januar 2019

Satz: inpuncto:asmuth gmbh, Bonn

Druck, Bindung: DCM Druck Center Meckenheim GmbH, Meckenheim

Bezugspreis: Der Verkaufspreis ist durch den DWA-Mitgliedsbeitrag abgegolten. DWA-Mitglieder, die Mehrere Exemplare der KW erwerben möchten oder die sich für die Zeitschrift *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* als kostenlose Mitgliederzeitschrift entschieden haben, können die KW zusätzlich für 68,00 Euro zzgl. Versandkosten bestellen.

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Von einzelnen Beiträgen oder Teilen von ihnen dürfen nur einzelne Vervielfältigungsstücke für den persönlichen und sonstigen eigenen Gebrauch hergestellt werden. Die Weitergabe von Vervielfältigungen, gleichgültig zu welchem Zweck sie hergestellt werden, ist eine Urheberrechtsverletzung. – Der Inhalt dieses Heftes wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung. Insbesondere unterliegen die Angaben in Industrie- und Produktberichten nicht der Verantwortung der Redaktion.

Richtlinien zur Abfassung von Manuskripten können beim Redaktionssekretariat angefordert werden.

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier mit Recyclingfasern.

© GFA
 D-53773 Hennef

ISSN 1865-9926

