Standortangepasste vollautomatische Echtzeitprocessoptimierung solarbetriebener Bewässerung in der Landwirtschaft

Patrick Keilholz[1], Dominic Spinnreker-Czichon[2], Kyle Egerer[2]

Einleitung

Der Sommer 2018 zeigte, wie verletzbar Deutschlands Landwirtschaft ist. Die Bewässerung wird in der Zukunft zum entscheidenden Faktor zur Ertragssicherung und –qualität. Die Frage, wie viel Wasser die Vegetation zu einer bestimmten Zeit aufnimmt, ist schwierig zu beantworten. Dieser Beitrag stellt einen Ansatz vor, wie in der Praxis die aktuelle Transpiration, Evaporation und Interzeption berechnet werden kann. Das gekoppelte Wasserhaushaltsmodell MIKE SHE wurde hierfür eingesetzt.

Die Landwirtschaft wirkt auf verschiedenste Kompartimente des Wasserkreislaufs (Evaporation, Oberflächenabfluss, un– und gesättigte Bodenzonen) ein (Abb. 1). Zeitliche und räumliche Aussagen zu Wassermengen und Stoffkonzentrationen können den Effekt der Landwirtschaft auf den Wasserkreislauf und die Wasserbilanz eines Felds offenlegen. In diesem Projekt wird deshalb ein ressourcensparendes und auf den Bedarf der Pflanze ausgerichtetes System realisiert.

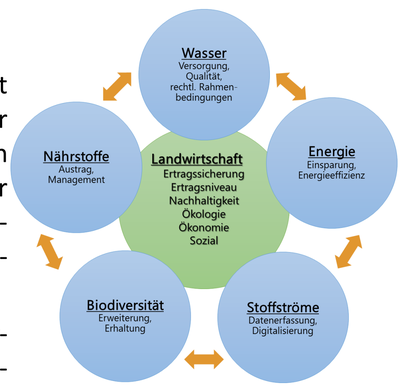


Abbildung 1: Problemstellung, Ziel und Nutzen für die Landwirtschaft in Sachsen-Anhalt © IrriMode

Lösungsansatz

Der Einsatz von Modellen gegenüber den Mess– und/oder Beobachtungsdaten ermöglicht einen signifikanten Informationsgewinn. Modelle sind ein Abbild der realen Situation. Sie stellen vereinfachte physische Zusammenhänge nach dem Ursache-Wirkungs-Prinzip dar oder bilden komplexe Prozesse holistisch ab (Abb. 2). Der Informationsgewinn eines Modells kann bei der Bewässerung helfen, weil es eine wichtige Grundlage für die Automatisierung von Prozessen und Optimierung von Wasser– und Stoffeinträgen sein kann. Eine Modellierung bietet die folgenden Möglichkeiten einer innovativen und nachhaltigen Landwirtschaft an:

1. Flächige Interpolation von Punktdaten
2. Berücksichtigung der Heterogenität und Störungen des Bodens und Wasserbedarfs
3. Planungswerkzeug
4. Der digitale Zwilling für Entscheidungsunterstützung und Echtzeitsteuerung

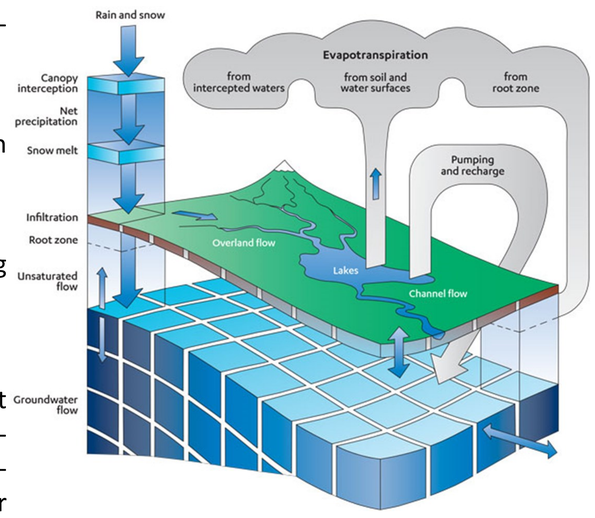


Abbildung 2: Schematische Darstellung der berechneten physikalischen Prozesse und deren Verkopplung innerhalb des MIKE SHE Modells © DHI

Der Berechnungsansatz

Der hier vorgestellte Berechnungsansatz (Abb. 3) hat den Anspruch, praktisch anwendbar zu sein und trotzdem das System möglichst physikalisch abzubilden. Zudem gilt es, das räumlich-zeitliche Skalenproblem der einzelnen Wasser- und Stofftransportprozesse möglichst korrekt abzubilden, um ein stabiles Ineinanderwirken der Wassersysteme zu erzielen.

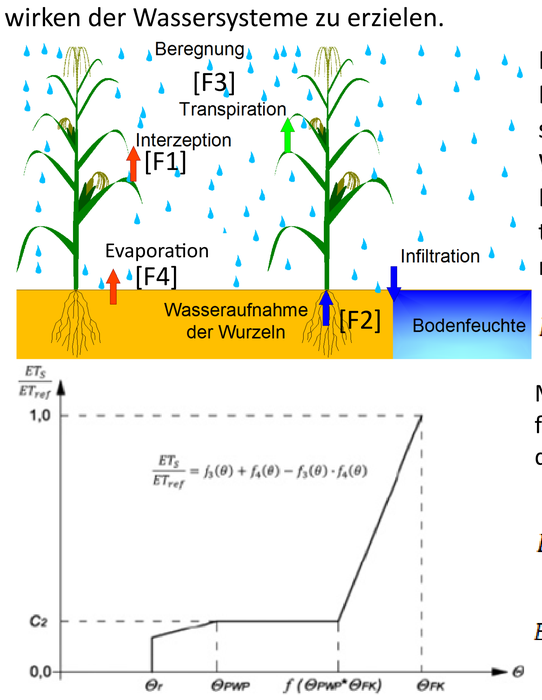


Abbildung 3: Vegetationsrelevante Prozesse bei der Beregnung von Agrarflächen [oben]; Verhältnis der Bodenverdunstung zur potenziellen Evapotranspiration einer vegetationsfreien Fläche als Funktion der Bodenfeuchte [unten]© DHI / Patrick Keilholz

Der Penman-Monteith Ansatz [1] beschreibt die potenzielle Evapotranspiration (ET_O), welche die bei ständiger Bodensättigung mögliche ET auf Grasvegetation ergibt. Dieser Wert mit dem pflanzenspezifischen kc-Faktor ermittelt die Referenz-Evapotranspiration (ET_{ref}). Weiteres zurückgehaltenes Wasser durch Interzeption [F1] steht den Pflanzen nicht zur Verfügung.

$$E_{can} = min\left(C_{int} \cdot LAI, ET_{ref} \cdot \Delta t\right) \qquad [F1]$$

MIKE SHE verwendet das Kirsten & Jensen-Modell [2], den Blattflächenindex und die Wurzelverteilungsfunktion [3 & 4] [F2], um die aktuelle Evapotranspiration (ET_{aT}) [F3] zu berechnen:

$$RDF_i = \frac{\int_{z1}^{z2} e^{(\log R_0 - A_{ROOT} - z)} dz}{\int_0^{L_R} e^{(\log R_0 - A_{ROOT} - z)} dz} \qquad [F2]$$

$$ET_{aT} = f_1(LAI) \cdot f_2(\theta) \cdot RDF \cdot ET_{ref} \qquad [F3]$$

Der Anteil des Wassers, der durch Verdunstung aus dem Boden entweicht, wird als Bodenevaporation [F4] bezeichnet. Der Bodenfeuchtegehalt und die nutzbare Feldkapazität, die sich in der oberen 10 cm Schicht des Bodens befinden, sind für diese Berechnung nötig.

$$ET_{aS} = ET_{ref} \cdot f_3(\theta) + \left(ET_{ref} - ET_{aT} - \left(ET_{ref} \cdot f_3(\theta)\right)\right) \cdot f_4(\theta) \cdot \left(1 - f_1(LAI)\right) \qquad [F4]$$

Die beschriebene Verdunstungsberechnung interagiert direkt mit der ungesättigten Zone. Die Berechnung des Bodenwasserhaushalts erfolgt mit dem van Genuchten-Mualem Modell [5 & 6] auf Basis der Richards-Gleichung [7]. Die ungesättigte Zone ist bilateral mit der gesättigten Zone verbunden, die die untere Randbedingung für die ungesättigte Zone bildet. Das Grundwasser wird mit der 3-dimensionalen Darcy-Gleichung berechnet. Wenn die Infiltrationskapazität an der obersten Bodenschicht der ungesättigten Zone erschöpft ist, kann sich Oberflächenwasser bilden. Die Berechnung von flächigen 2-dimensionalen Strömungen erfolgt für gewöhnlich zellenbasiert. Mit der finiten Differenzen Methode werden viereckige Rasterzellen erzeugt, für die die Fließvektoren bestimmt werden. Grundlage der Berechnung ist die 2-dimensionale Bewegungsgleichung der Diffusionswelle.

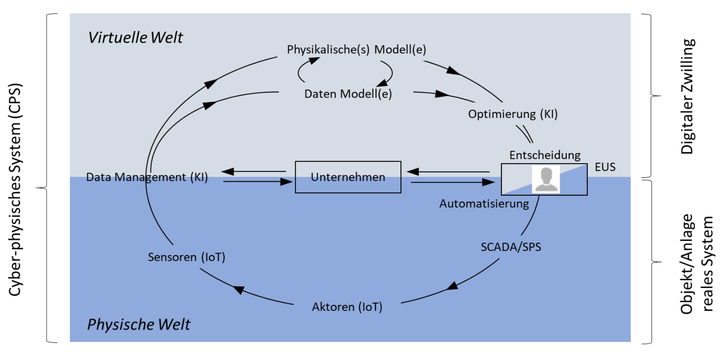


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Einbindung des Digitalen Zwillings in ein cyber-physisches System (CPS): Datenaustausch, Entscheidungsfindung und Umsetzung © 2019 Vestner

Die Umsetzung: IrriMode

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 aus Wirtschafts– und Wissenschaftspartnern zusammen (siehe unten).

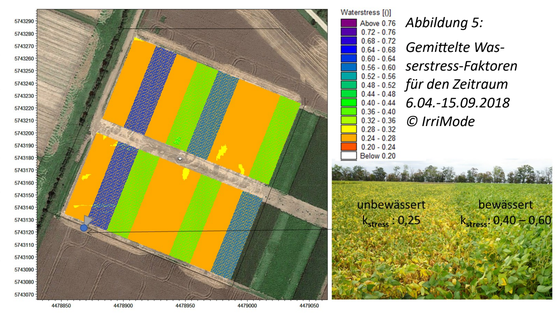


Abbildung 5: Gemittelte Wasserstress-Faktoren für den Zeitraum 6.04.-15.09.2018 © IrriMode

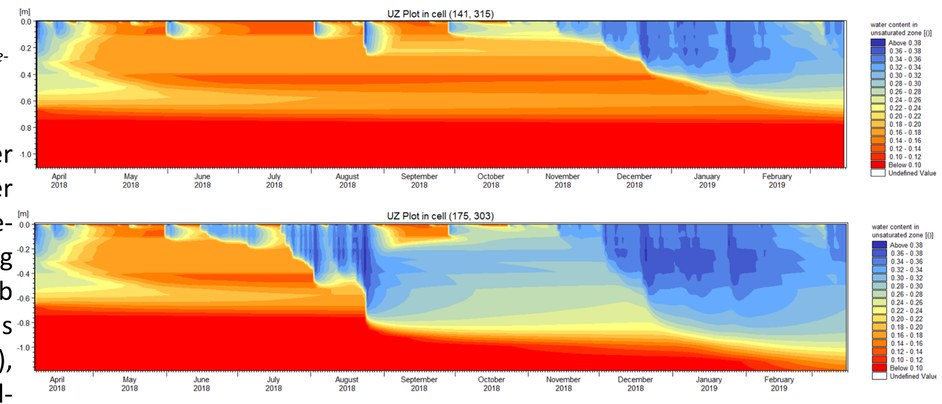
1	Zwischenspeichertank	6	Wetterstation/Solarbetrieben
2	Solarpanel Steuergerät Bewässerung	7	Pumpencommunicator
3	Solarpanels - Energieversorgung Solarpumpe	8	Pumpensteuerung
4	Solarpumpe	9	PV-Disconnect
5	Wasserzähler mit optoelektronischem Abgriff	10	Bewässerungssteuergerät

Abbildung 6: Messgeräte, Sensoren und Steuerungstechnik © IrriMode

Auf der Versuchsfläche des internationalen Pflanzenbauzentrums der DLG in Bernburg wird eine Unterflur-Tröpfchenbewässerung betrieben (Abb. 5, 6, 8). Diese ist durch Bodenfeuchtesensoren bis in 1 m Tiefe, Solarpumpen am Wasserspeicher, Wasserstandssensoren im Wasserspeicher und hydrometeorologische Messungen erfolgt. Auf den 16 Parzellen (je 18 m × 71 m) wurden 2018 und 2019 Soja und Winterweizen angebaut. Eine optimale Bewässerung entsprechend des Pflanzenwasserbedarfs wird mit dem hier vorgestellten Berechnungsansatz in Echtzeit modelliert und erzielt.

Im Versuchsjahr 2018 wurden ausgewählte Parzellen bewässert und einige andere bewusst nicht. Die langanhaltende Trockenheit während der Pflanzenentwicklung in 2018 verursachte deutliche Defizite auf den unbewässerten Flächen (Abb. 5 & 7). Während der Vegetationsperiode (Apr.-Sept.) im Jahr 2018 sind 188 mm Regen gefallen. Dies zeigt sich in den modellierten Bodenfeuchten, die sensitiv auf die Bewässerungsgaben der Tröpfchenbewässerung reagieren. Die Modellierung des Wasserstressfaktors [Et_a/ET_{ref}] erlaubt eine Beurteilung der räumlichen Auswirkungen des Wassermangels. Deutlich erkennbar ist, ein Wasserstress von ca. 0,25 für die Pflanzen auf den nicht bewässerten Flächen (Abb. 5). Deshalb wurde eine deutliche Degradation der Vegetation auch vor Ort dokumentiert. Eine Bewässerung verringerte den Wasserstress abhängig von der Entfernung zum Tropfschlauch bis auf 0,40—0,60.

Abbildung 7: Bodenfeuchteprofile von: [oben] Schlag 707A unbewässert (2018: WW 2019: Soja); [unten] Schlag 706A bewässert (2018: WW; 2019: Soja) © IrriMode



Die Digitalisierung der Agrarwirtschaft (Wasser 4.0) zielt auf die grundlegende Neustrukturierung der Betriebsprozesse ab [8]. Ein Teil derer ist das Internet of Things (IoT), welches eine nahezu vollständige Vernetzung, Messung und Steuerung von Betriebsanlagen gestattet. Ziel eines kontinuierlichen Datenaustausches ist es, zu jeder Zeit Vorhersagen, Echtzeitsteuerungen und Visualisierungen sowohl über das gesamte System, als auch über seine einzelnen Komponenten treffen zu können. Indem das Sensornetz auf dem Feld, in der Umgebung und innerhalb des Bewässerungssystems dauerhaft Daten liefert, die Modelltechnik diese als neue Randbedingungen verwendet und so eine flächenhafte Modellierung ermöglicht, erhält der Nutzer einen Digitalen Zwilling (Abb. 4).

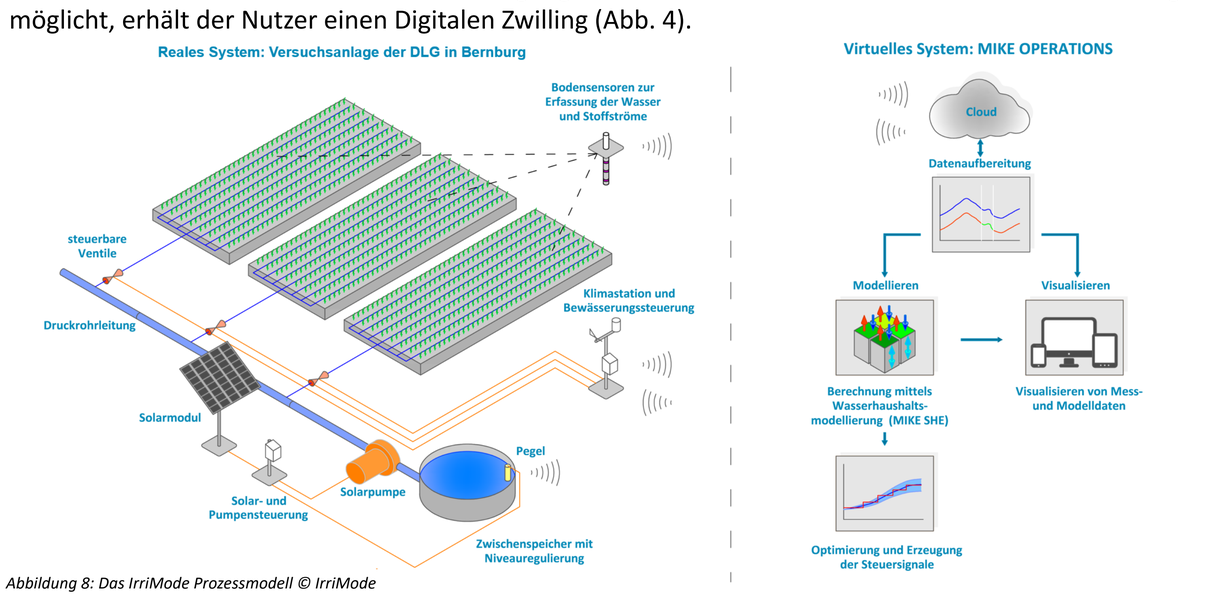


Abbildung 8: Das IrriMode Prozessmodell © IrriMode

Fazit:

Dieser Beitrag stellt einen Ansatz vor, wie die aktuelle Transpiration, Evapotranspiration und Interzeption in der landwirtschaftlichen Praxis mit dem Wasserhaushaltsmodell MIKE SHE berechnet werden können. Anhand der resultierenden aktuellen Evapotranspiration können Bewässerungsgaben abgeleitet und in Echtzeit optimiert werden. Das Modell kann Szenarien analysieren, um die Auswirkung von Trockenphasen auf den Bodenfeuchtehaushalt zu untersuchen. Weiter kann im Zusammenspiel mit einer statistischen Klimavorhersage eine bessere Feldbewirtschaftung erfolgen. Dies kann die Aussaat, Düngung, Pflege und den Erosionsschutz betreffen. Mit diesem Fall wurde der Einsatz der Berechnungsmethode erfolgreich getestet. Das Potenzial der Bewässerungsoptimierung zeigt sich, wenn die Lösung als automatisierte Wasser 4.0 -Anwendung umgesetzt wird.

Literatur:

[1] Monteith, J., 1981. Evaporation and surface temperature. Quart. J. Roy. Met. Soc, pp. 1-27.
[2] 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.
[3] 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.
[4] 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.
[5] Mualem, Y., 1976. *A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media*. Water Resources Research, Band 12(3), pp. 513-522.
[6] Van Gunuchten, M.T., 1980. *A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils*. Soil Society of America Journal, Band 44(5), pp. 892-898.
[7] Richards, L., 1931. Capillary conduction of liquids through porous mediums. Journal of Applied Physics, Band 1, pp. 318-333.
[8] Vestner, R.J., 2019: Der Digitale Zwilling in der Wasserwirtschaft. Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2019 (12), Nr. 10, pp. 581-586.

Kontakt:

Patrick Keilholz
Email: pak@dhigroup.com

Institut:

[1] **DHI WASY GmbH**
Rosenheimer Str. 143
D-81671 München

[2] **DHI WASY GmbH**
Knochenhauerstr. 20/25
28195 Bremen

The expert in WATER ENVIRONMENTS