

Klaus Spohrer, Christof Hübner, Kai Jotter, Tino Wagenknecht, Fridon Gaprindashvili, Constanze Müller und Karlheinz Köller

Teilflächenspezifische Tropfbewässerung mit drahtlosen Sensornetzen im Weinbau

Eine Effizienzsteigerung in der landwirtschaftlichen Bewässerungspraxis ist nötig, um der wachsenden Weltbevölkerung und den Folgen der Klimaveränderung nachhaltig begegnen zu können. Die teilflächenspezifische Tropfbewässerung bietet Lösungsansätze, da quantitativ gezielte und räumlich angepasste Wassergaben möglich sind. Räumliche Informationen über den Bewässerungsbedarf sind hierbei grundlegend wichtig, weshalb ein drahtloses Sensornetz zur Erfassung räumlicher Wassergehaltsunterschiede im Boden entwickelt wurde. Zur Realisierung differenzierter Wassergaben entlang eines Tropfschlauchs wurde ein druckgesteuertes Durchlassventil entworfen. Die Untersuchungen fanden exemplarisch in einem tropfbewässerten Weinberg statt.

Schlüsselwörter

Tropfbewässerung, teilflächenspezifische Bewässerung, Feuchtesensor, drahtloses Sensornetz

tent differences. A pressure-driven flow valve was designed in order to realize independent irrigation of single dripline sectors. The investigations exemplarily took place in a drip irrigated vineyard.

Keywords

Drip irrigation, Precision irrigation, soil moisture sensor, wireless sensor network

Abstract

Spohrer, Klaus; Hübner, Christof; Jotter, Kai; Wagenknecht, Tino; Gaprindashvili, Fridon; Müller, Constanze and Köller, Karlheinz

Site specific drip irrigation with wireless sensor networks in grapevine production

Landtechnik 66 (2011), no. 1, pp. 22-25, 4 figures

Increasing world population and climate change call for improved water use efficiency in agricultural irrigation practice. Site specific drip irrigation has the potential to meet this needs, because water is optimal applied with respect to quantity and location. Since spatial information about the water demand is mandatory, a wireless soil moisture sensor network was developed to identify spatial soil water con-

Der Tropfbewässerung kommt bei der Optimierung der Wasserausbringung eine Schlüsselrolle zu, da sie gezielt angewandt werden kann und vergleichsweise geringe Verluste (Verdunstung, Versickerung) mit sich bringt. Eine weitere Schlüsselrolle wird die teilflächenspezifische Bewässerung (Precision Irrigation) einnehmen. Darunter wird die Anpassung der Bewässerungshöhen an die räumlichen Unterschiede in der Wasserverfügbarkeit und Wasserspeicherkapazität der Böden verstanden, die u.a. durch wechselnde bodenhydraulische Eigenschaften und Topographie bedingt sind. Es liegt also nahe, Tropfbewässerung und Precision Irrigation zu kombinieren, um die Effizienz in der landwirtschaftlichen Bewässerung durch eine teilflächenspezifische Tropfbewässerung zu erhöhen.

Räumlich hoch aufgelösten Informationen über den Bodenwasserhaushalt und seine zeitliche Dynamik kommt bei der teilflächenspezifischen Bewässerungsplanung eine entscheidende Rolle zu. Zudem müssen zur Umsetzung der Bewässerungsplanung technische Lösungen vorhanden sein, die eine teilflächenspezifische Tropfbewässerung ermöglichen. Hier besteht insbesondere das Problem, dass zwar einzelne Tropfleitungen getrennt voneinander betrieben werden können, unterschiedliche Wassergaben entlang einer Tropfleitung aber nur

unter großem Aufwand möglich sind. Im Rahmen eines von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung geförderten Verbundprojektes wurde ein drahtloses Sensornetz entwickelt. Mit seiner Hilfe können die Messungen räumlich verteilter, stationärer Bodenfeuchtesensoren zentral gesammelt und als Entscheidungskriterien zur teilflächenspezifischen Bewässerungssteuerung herangezogen werden. Die Untersuchungen fanden exemplarisch in einem tropfbewässerten Weinberg statt. Ein weiterer Schwerpunkt der Projektarbeiten lag auf der teilflächenspezifischen Tropfbewässerung und somit auf der technischen Realisierung differenzierter Wassergaben entlang eines Tropfschlauchs.

Aufbau und Funktion des drahtlosen Sensornetzes

Räumlich-zeitliche Bodenfeuchtedaten wurden über Bodenfeuchtesensoren in ausgewiesenen Teilflächen erfasst, über Funkknoten an eine Zentralstation gesendet und von dort via Mobilfunk zu einer Datenbank gesendet. Die dort gesammelten Daten konnten über einen Webserver überwacht, ausgewertet und zur Planung der teilflächenspezifischen Tropfbewässerung herangezogen werden (**Abbildung 1**).

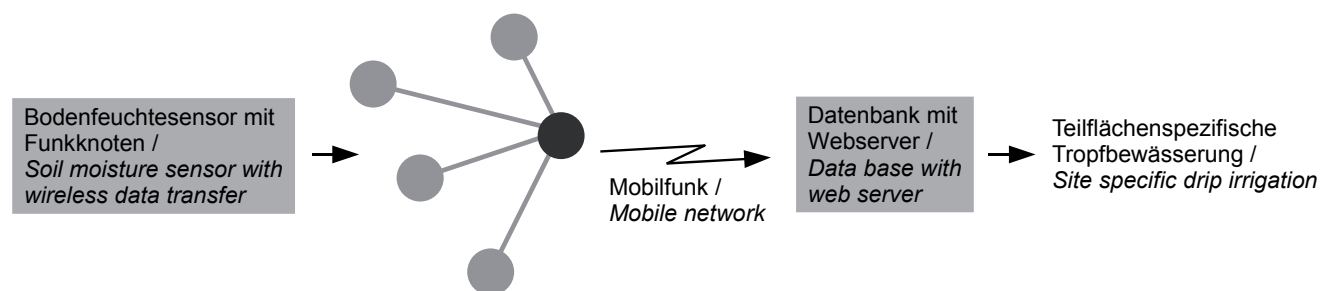
Die Bodenfeuchte wurde mit dielektrischen Sensoren der Hochschule Mannheim gemessen (**Abbildung 2**). Die Dielektrizitätszahl des Bodens hängt maßgeblich von seiner Feuchte ab und kann deshalb als indirekte Messgröße zur Bestimmung des Wassergehalts verwendet werden. Der Sensor bestand aus einer Ringleitung auf einer robusten, glasfaserverstärkten Platine mit Elektronik, die im Boden platziert wurde. Je nach umgebender Bodenfeuchte änderte sich die Dielektrizitätszahl und damit die Schwingfrequenz des Oszillators, der aus der Ringleitung und einem Inverter gebildet wurde. Ein Mikrocontroller zählte die Schwingfrequenz und rechnete sie in den Wassergehalt um, wobei der Einfluss der Bodentemperatur berücksichtigt wurde. Der Berechnungsalgorithmus konnte dabei entweder bodenspezifische Kalibrierungen oder bewährte empirische Beziehungen verwenden. Das Ausgangssignal des Sensors konnte wahlweise analog als Spannungs- oder Stromsignal ausgegeben oder über digitale Schnittstellen (RS485, RS232 oder USB) abgefragt werden.

Um die gemessenen Bodenfeuchtedaten zu einer zentralen Erfassungsstelle übertragen zu können, wurde im Rahmen des Forschungsprojektes ein drahtloses Sensornetz entwickelt. Es besteht aus Funkknoten, die im 868-MHz-Frequenzbereich senden und empfangen (**Abbildung 2**). Bei Sichtverbindung wurde eine Reichweite bis 20 km erzielt. Im funktechnisch schwierigen Umfeld der mit Drähten durchzogenen Weinberge waren die Reichweiten geringer, aber für typische Anwendungsfälle vollkommen ausreichend. Die Funkknoten sendeten ihre Messwerte in einstellbaren Zeitabständen an eine Zentralstation. Vier Mignonzellen stellten die nötige elektrische Spannung bereit. Bei einer stündlichen Messwerterfassung und -übertragung wurde eine Laufzeit von einem Jahr erreicht.



Abbildung 2: Bodenfeuchtesensoren (links, beim Einbau) und Funkknoten zur drahtlosen Datenübertragung der Bodenfeuchtemesswerte (rechts). Fotos: Universität Hohenheim
 Fig. 2: Soil moisture sensors (left) and wireless node for data transfer of soil moisture data (right)

Abbildung 1



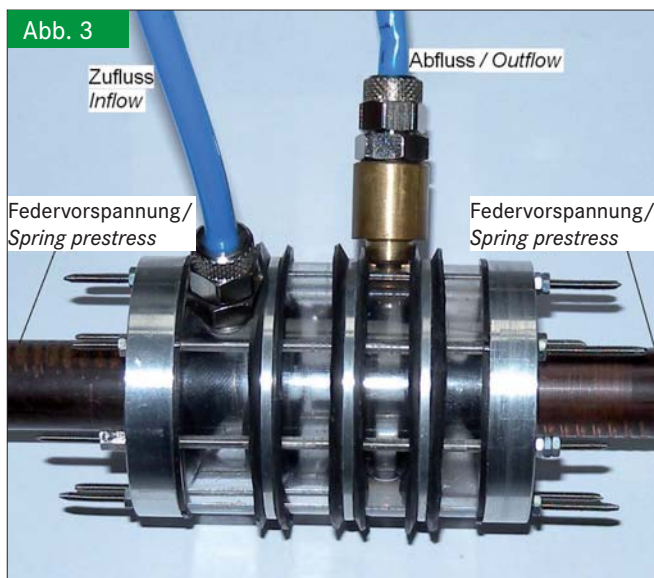
Systemkomponenten zur teilflächenspezifischen Tropfbewässerung
 Fig. 1: System components for site specific drip irrigation

Die Messdaten wurden im Feld durch die Zentralstation gesammelt und anschließend via Mobilfunk zu einer Datenbank gesendet. Ein Zugriff auf die Datenbank und eine grafische Auswertung der Messdaten war über eine webbasierte Benutzeroberfläche möglich. Außer der Möglichkeit zur Datenkontrolle und -auswertung konnten über einen Webserver auch Bewässerungsbefehle zum Weinberg gesendet werden. Die Ansteuerung der im Weinberg befindlichen Bewässerungssteuerung war optional über verschiedene Schnittstellen an der Zentralstation (RS232, RS485 über Konverter, digitale Schnittstelle mit 0-5 V I/O und 8 Kanälen) möglich.

Teilflächenspezifische Tropfbewässerung – Das Wasser als Informationsträger

Eine bereits praktizierte Lösung zur teilflächenspezifischen Bewässerung entlang von Tropfrohren ist die Aufteilung des Tropfschlauchs in einzelne Tropfabchnitte. Diese werden durch einen durchgängigen Zufuhrschlauch mit Wasser versorgt. Allerdings müssen diese einzelnen Tropfabchnitte durch Handventile zu- oder abgeschaltet werden. Eine Automation ist bisher nur durch die Nutzung von Magnetventilen möglich. Das erfordert aber Investitionen. Hinzu kommt die aufwändige Verkabelung der Magnetventile oder weitere Mehrkosten für eine optionale drahtlose Signalübertragung.

Im Rahmen der hier beschriebenen Versuche sollte eine preiswerte, robuste und wartungsarme Schalteinheit in Form eines mechanischen, druckgesteuerten Durchlassventils (DV) entwickelt werden. Dabei sollte das Wasser selbst als Informationsträger und -geber zur Auslösung des Schaltvorgangs fungieren (**Abbildung 3**). Das entwickelte DV sperrt grundsätzlich



Druckgesteuertes Durchlassventil (DV). Das DV sperrt grundsätzlich den Wasserfluss, öffnet sich aber innerhalb eines bestimmten Druckbereichs. Über Federvorspannungen kann der Durchlass-Druckbereich stufenlos eingestellt werden.

Fig. 3: Pressure-driven flow valve (fv). Water flow through the fv is disabled but possible within a predefined water pressure range adjusted with springs.

den Wasserfluss; öffnet sich aber innerhalb eines bestimmten Druckbereichs. Der Durchlass-Druckbereich kann über Federvorspannungen stufenlos eingestellt und so den Erfordernissen vor Ort angepasst werden. Durch die Nutzung mehrerer DV ist es möglich, einzelne Tropfabchnitte unabhängig voneinander durch Änderung des Leitungsdrucks mit Wasser zu versorgen.

Der Druckverlust an den für Pilotanwendungen entwickelten DV ist nur von den Fließraten, nicht aber von dem vorherrschenden Wasserdruck abhängig. Bei einer Versorgung von 10 Tropfern (mit je 2 l/h) ist der Druckverlust mit $\Delta p = 0,03$ bar gering, steigt aber mit zunehmendem Durchfluss auf $\Delta p = 0,38$ bar bei 40 Tropfern an. Die Druckverluste sind bauartbedingt und können durch größere Durchflussöffnungen in den DV reduziert werden.

Bei der Bestimmung der Wasserdurchflussmenge hat sich gezeigt, dass diese nach dem Öffnen des DV nicht konstant ist, sondern sich mit weiter ansteigendem Wasserdruck bis zu einem Maximalwert erhöht und danach bis zum Schließen des DV wieder sinkt. Diese Durchflussänderungen sind jedoch sehr klein ($< 1\%$ der mittleren Durchflussmenge), weshalb der Einfluss von geringfügigen Wasserdruckschwankungen während einer Bewässerung vernachlässigt werden kann.

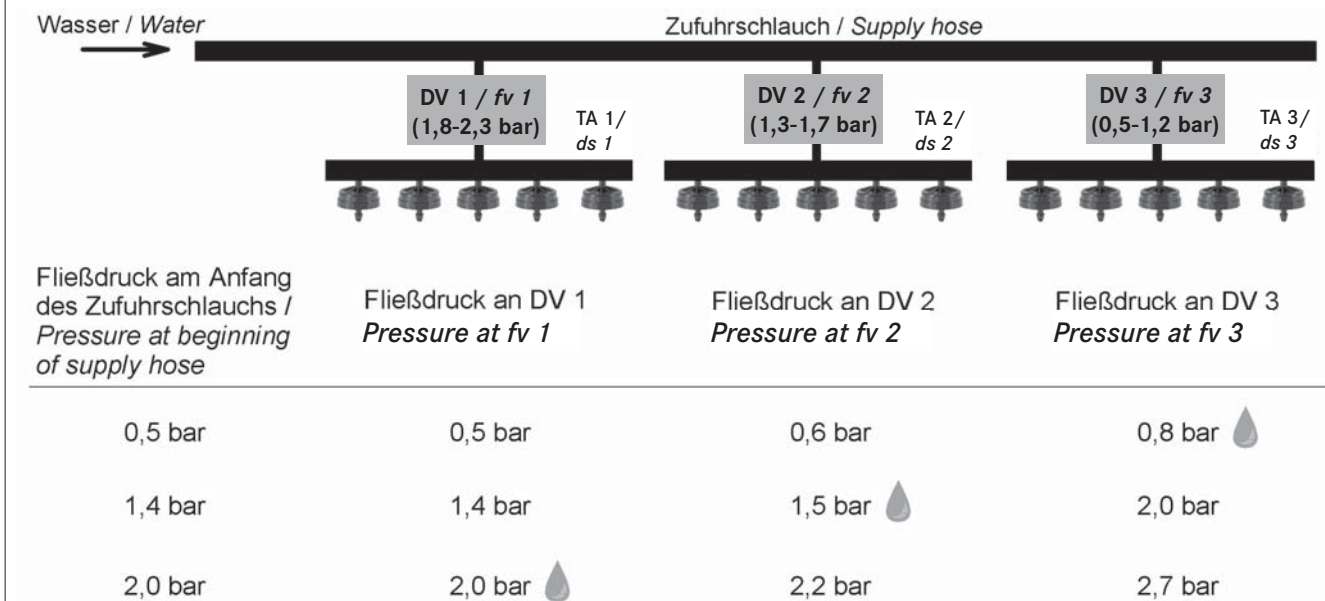
Die grundsätzliche Eignung der entwickelten DV wurde bei Bewässerungsversuchen im Freiland bestätigt (**Abbildung 4**). Bewässert wurden 50 Reben entlang eines Hanges mit ca. 20 m Höhenunterschied. Der Hang wurde in 3 Tropfabchnitte (TA) aufgeteilt.

Im TA 1 (Oberhang) wurden 15 Reben, im TA 2 (Mittelhang) 16 Reben und im TA 3 (Unterhang) 19 Reben mit Wasser versorgt. Pro Rebe wurde jeweils ein Tropfer (druckkompensiert, 2 l/h) installiert. Die Zufuhrleitung wurde am Oberhang mit Wasser versorgt. Die entsprechenden DV wurden auf Durchlass-Druckbereiche von 0,5–1,2 bar (DV 3), 1,3–1,7 bar (DV 2) und 1,8–2,3 bar (DV 1) eingestellt.

Aufgrund des Höhenunterschieds von 20 m nahm auch der statische Wasserdruck hangabwärts um 2 bar zu. Während der Bewässerung wirkten dieser Druckzunahme Reibungsdruckverluste entgegen, weshalb die Fließdruckdifferenzen zwischen Ober- und Unterhang durchweg geringer waren.

Mit einem Fließdruck am Anfang der Zufuhrleitung von 0,5 bar waren an DV 1 und DV 2 Fließdrücke von 0,5 bzw. 0,6 bar vorhanden. Die Durchlass-Druckbereiche dieser DV waren aber wesentlich höher eingestellt, weshalb die zugehörigen TA 1 und TA 2 nicht bewässert wurden. Dagegen fand in TA 3 eine Bewässerung statt, da sich der Fließdruck an DV 3 (0,8 bar) im Durchlass-Druckbereich (0,5–1,2 bar) befand. Durch eine anschließende Erhöhung des Fließdrucks am Anfang des Zufuhrschlauchs auf 1,4 bar wurde DV 3 geschlossen und DV 2 geöffnet. Nach einer weiteren Druckerhöhung am Zufuhrschlauchanfang auf 2,0 bar konnte DV 2 geschlossen und DV 1 zur Bewässerung von TA 1 geöffnet werden.

Abb. 4



Schematische Darstellung des Freiland-Bewässerungsversuchs (LVWO Weinsberg). Der Zufuhrschlauch wird am Oberhang mit Wasser versorgt und überwindet einen Höhenunterschied von ca. 20 m. Die Tropfabschnitte (TA) 1-3 werden getrennt voneinander bewässert, indem über unterschiedliche Wasserdrücke am Anfang des Zufuhrschlauchs die druckgesteuerten Durchlassventile (DV) 1-3 getrennt voneinander geschaltet werden (Bewässerungsvorgang ist durch einen Tropfen angedeutet)

Fig. 4: Sketch of the on-farm irrigation experiment (LVWO Weinsberg). Water is fed to the supply hose on plateau position. The dripline sectors (ds) 1 to 3 are irrigated independently by switching the pressure-driven flow valves (fv) 1 to 3 with different water pressures in the supply hose (actual irrigation is indicated with a water drop)

Schlussfolgerungen

Räumliche Informationen über die Dynamik des Wassergehaltes im Boden sind Voraussetzung für eine effiziente teilflächenspezifische Bewässerungsplanung. Die hierfür entwickelten Systemkomponenten (Feuchtesensor und drahtloses Sensornetz) haben in der praktischen Anwendung eine robuste Messwerterfassung bewiesen und können aufgrund ihrer optimierten Energieeffizienz sicher und langlebig mit Batterien betrieben werden. Die Messwerte werden via Mobilfunk in einer Datenbank gespeichert. Somit kann das drahtlose Sensornetz am Computerarbeitsplatz benutzerfreundlich überwacht und die Bewässerung manuell ausgelöst oder eine automatisierte webbasierte Bewässerungssteuerung implementiert werden.

Mit dem Einsatz von druckgesteuerten Durchlassventilen kann auch entlang von Tropfrohren eine teilflächenspezifische Tropfbewässerung durchgeführt werden. Allerdings sind neben den höheren Kosten auch planerische Zusatzleistungen nötig, da ein Druckmanagement gerechnet werden muss, das neben Rohrleitungslänge und Reibungsdruckverlusten auch die Topographie und unterschiedliche Fließraten aufgrund unterschiedlicher Bewässerungsmengen (unterschiedliche Tropferanzahl) mit einbezieht. Da bei der aufgezeigten Lösung der Wasserdruk die Entscheidungsgröße darstellt, ist zur Automation einer wasserdruckabhängigen teilflächenspezifischen Tropfbewässerung die Entwicklung eines automatisch verstellbaren Druckminderers nötig.

Autoren

Dr. Klaus Spohrer, Fridon Gaprindashvili und **Constanze Müller** sind Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik, Fachgebiet Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion (Institutsleiter: **Prof. Dr. Karlheinz Köller**) der Universität Hohenheim, 70599 Stuttgart, E-Mail: Klaus.Spohrer@uni-hohenheim.de

Kai Jotter und **Tino Wagenknecht** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Industrielle Datentechnik und Kommunikation (Institutsleiter: **Prof. Dr. Christof Hübner**) der Hochschule Mannheim, Paul-Wittsack-Straße 10, 68163 Mannheim

Danksagung

Die diesem Beitrag zugrunde liegende Untersuchung wurde mit Mitteln der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung im Rahmen des Programms „Elektronik für die Landwirtschaft“ gefördert. Die Autoren danken Dietmar Rupp von der LVWO Weinsberg für die erfolgreiche Zusammenarbeit bei den Feldversuchen.