

Zum Wasserhaushalt grundwassernaher Standorte im Wechselspiel von Nass- und Trockenjahren

Ottfried Dietrich^{1*}, Axel Behrendt¹ und Martin Wegehenkel¹

Zusammenfassung

Grundwassernahe Standorte sind durch einen besonderen Wasser- und Stoffhaushalt gekennzeichnet, welcher sehr sensibel auf Veränderungen im hydrologischen System reagiert. In den letzten Jahren kam es in Deutschland zunehmend zu klimatischen Extremen wie Nass- und Trockenjahren. An zwei typischen, als Grasland genutzten, grundwassernahen Standorten wurden Untersuchungen zur Verdunstung und zur Entwicklung der Grundwasserstände durchgeführt. Dabei wurden eine Grundwasser-Lysimeter-Anlage und eine Eddy-Kovarianz-Station zur Messung der Verdunstung genutzt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Standorte insbesondere extreme Trockenbedingungen nicht ausreichend kompensieren können, wenn sie nur über geringe Zuflüsse aus größeren Einzugsgebieten verfügen.

Schlagwörter: Grundwasser-Lysimeter, Feuchtgebiet, Grundwassergang, Verdunstung, Bestandskoeffizient

Summary

Shallow groundwater sites are characterised by a special water and matter balance. They react very sensitively to changes in their hydrological system. The probability of climatic extremes such as wet or dry years increased during the last years in Germany. Evapotranspiration rates and groundwater levels were measured at two different managed grassland sites with shallow groundwater tables located in the Federal State of Brandenburg. A groundwater lysimeter station was used for the estimation of evapotranspiration in the Spreewald wetland and an eddy covariance station in the Havelländisches Luch wetland. An average, wet and a dry year were selected for the analyses of the impacts on the water balance. The results show that the sites are not able to compensate the dry conditions sufficiently if these sites are not supplied with additional water from a sufficiently large catchment area.

Keywords: Groundwater lysimeter, wetland, groundwater table, evapotranspiration, crop coefficient

Einführung

Grundwassernahe Standorte prägen weite Teile des norddeutschen Tieflands. Häufig handelt es sich um Moor- oder grundwassernahe Sandstandorte, die heute größtenteils landwirtschaftlich als Grasland genutzt werden. Die Standorte stehen oftmals unter besonderem Schutz als Lebensraum für bedrohte Arten. Ihr Wasserhaushalt gilt als sehr sensibel gegenüber Veränderungen. Er weist eine Reihe von Besonderheiten gegenüber grundwasserfernen Sickerwasserstandorten auf und bestimmt eine Vielzahl von biogeochemischen Prozessen, welche die Standorte zu Quellen oder Senken für Nährstoffe und Treibhausgase werden lassen. Es ist daher von großer Bedeutung die Auswirkungen zunehmender klimatischer Extreme (Nass- und Trockenjahre) auf den Wasserhaushalt dieser Standorte zu untersuchen.

¹ Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Eberswalder Str. 84, D-15374 Müncheberg

* Ansprechpartner: Dr. Ottfried Dietrich, email: odietrich@zalf.de

Material und Methoden

Die Untersuchungsflächen befinden sich im Spreewald südöstlich von Berlin (51°52'N, 14°02'O) und in Paulinenaue im Havelländischen Luch westlich von Berlin (52°41'N, 12°44'O). Beide Standorte sind entwässerte Niedermoore mit flurnahen Grundwasser(GW) ständen, die als Grasland genutzt werden. Sie sind ca. 130 km Luftlinie voneinander entfernt. Die klimatischen Verhältnisse sind daher vergleichbar, jedoch kann es insbesondere bei lokal begrenzten Starkniederschlägen auch große Unterschiede geben. Ausgewertet werden im Beitrag Messdaten aus drei Jahren (2016 - 2018). Das Jahr 2016 entspricht langjährig mittleren Niederschlagsverhältnissen, 2017 ist ein vergleichsweise nasses Jahr und 2018 ein extrem trockenes Jahr.

Beide Standorte sind mit Wetterstationen zur Erfassung der meteorologischen Randbedingungen Lufttemperatur (TL), Niederschlag (P), Nettostrahlung, relative Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit ausgestattet. Die Daten werden für die Berechnung der FAO-Gras-Referenz-Verdunstung (ETp) nach Allen et al. (1998) und der klimatischen Wasserbilanz (KWB) genutzt. Mehrere GW-Logger messen die GW-Stände auf den Untersuchungsflächen. Von diesen werden für die Auswertung eine repräsentative Messstelle im Spreewald (Ref) und zwei Messstellen (M2, M8) im Havelluch ausgewählt, da die Unterschiede in Geländereief der Untersuchungsfläche im Havelluch größer sind.

Im Spreewald wird eine GW-Lysimeter-Station, deren technische Ausstattung, Datenerfassung und Datenauswertung in Dietrich et al. (2016) ausführlich beschrieben ist, für die Messung der tatsächlichen Verdunstung (ETa) genutzt. Ein Bodenmonolith der Anlage wird hierfür nach dem gemessenen GW-Stand der Messstelle „Ref“ gesteuert.

Auf der Untersuchungsfläche in Paulinenaue wird ETa mit einer Eddy-Kovarianz-Station gemessen. Die Station verwendet einen CSAT3 Ultraschall-Anemometer (Campbell Scientific Ltd.) für die Messung der Windkomponenten und einen LI-7500 (LI-COR Biosciences) für die Messung des Wassergehalts der Luft. Alle Strahlungskomponenten werden mittels eines CNR1 (Kipp & Zonen) und der Bodenwärmestrom mittels Bodenwärmestromplatten (Huxeflux) gemessen. Für die Datenaufbereitung der 20 Hz Messwerte wird das Software Paket TK3 der Universität Bayreuth genutzt (Mauder and Foken 2015). Auf der Basis der 30 Minuten Werte von Nettostrahlung, Bodenwärmestrom, latentem und sensiblem Wärmestrom wird anschließend die Energiebilanzlücke mit der Bowen-Verhältnis-Methode geschlossen (Mauder et al. 2018).

Alle Messwerte werden zu Tages-, Monats- und Jahreswerten aggregiert. Aus der tatsächlichen Verdunstung (ETa) und der Gras-Referenz-Verdunstung (ETp) wird der Bestandskoeffizient Kc berechnet.

$$Kc = ETa / ETp \quad (1)$$

Ergebnisse und Diskussion

Untersuchungsjahre 2016 bis 2018

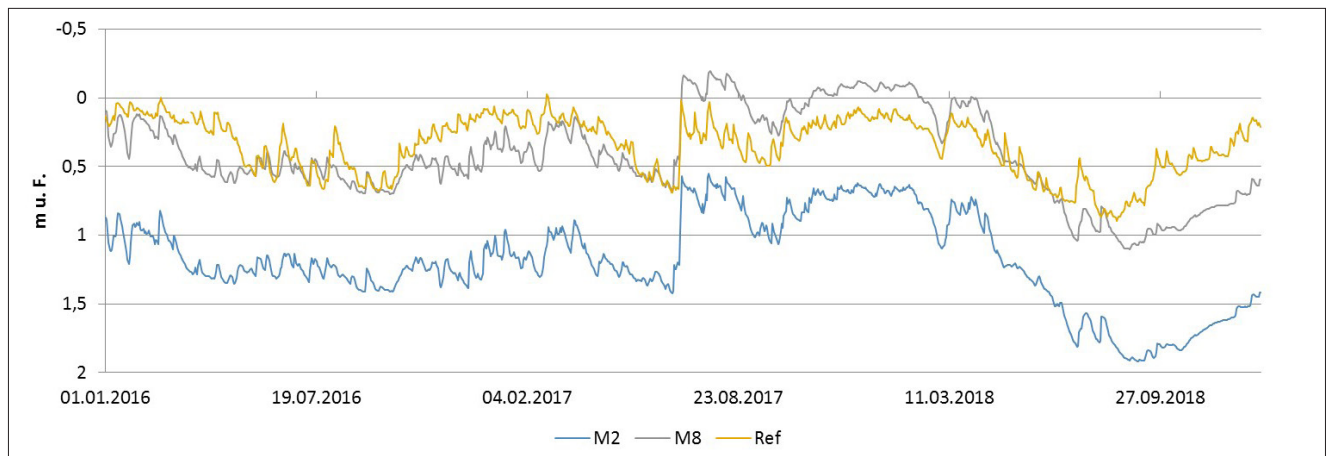
In *Tabelle 1* sind die wichtigsten meteorologischen Kennwerte der drei Untersuchungsjahre zusammengefasst. Sie verdeutlichen, dass sich die drei Jahre nicht nur in den Niederschlägen deutlich voneinander unterscheiden. Das trockene Jahr 2018 ist zusätzlich noch durch eine extrem hohe ETp gekennzeichnet, was in beiden Gebieten zu einem Defizit von über 500 mm in der KWB in der Vegetationsperiode führt.

Auswirkungen auf Grundwasserstände

Entsprechend den meteorologischen Bedingungen unterscheidet sich auch der Verlauf der GW-Stände in den drei Jahren deutlich voneinander (*Abbildung 1*). Im Jahr 2016 ist der GW-Gang an beiden Standorten relativ ausgeglichen. Im Frühjahr 2017 sinken

	Jahr	Spreewald				Havelluch			
		TL	P	ETp	KWB	TL	P	ETp	KWB
		in °C	in mm			in °C	in mm		
		Januar - Dezember							
trockenes Jahr	2018	10,1	325	787	-462	10,2	274	829	-555
mittleres Jahr	2016	9,2	502	636	-134	9,4	455	693	-238
nasses Jahr	2017	9,4	650	649	1	9,5	715	657	58
		April - September							
trockenes Jahr	2018	17,0	153	667	-514	16,8	121	696	-575
mittleres Jahr	2016	15,3	253	547	-294	15,4	238	585	-347
nasses Jahr	2017	14,8	400	529	-128	14,6	468	525	-57

Tabelle 1: Meteorologische Kennzahlen der Jahre 2016 bis 2018.



die Wasserstände bis Ende Juni ab, um dann im nassen 2. Halbjahr mit den extremen Niederschlägen Ende Juni/Anfang Juli stark anzusteigen. An der Messstelle M8 im Havelluch steigen sie für viele Wochen bis über Gelände an und sinken erst im Frühjahr 2018 wieder auf das für die Flächen normale Niveau ab. Danach folgt dann eine extrem trockene und verdunstungsintensive Phase, die zu extrem tiefen GW-Ständen führt. Der Verlauf des GW-Gangs ist in beiden Untersuchungsgebieten ähnlich. Jedoch sind die Auswirkungen im Havelluch wesentlich intensiver als im Spreewald. Das liegt daran, dass die meteorologischen Extreme im Havelluch stärker waren und an den grundverschiedenen hydrologischen Situationen in den beiden Einzugsgebieten. Die Untersuchungsflächen im Havelluch haben nur ein kleines Einzugsgebiet mit geringen Zuflüssen. Der Spreewald verfügt dagegen mit dem oberhalb liegenden Spree-Einzugsgebiet und den darin liegenden großen Wasserspeichern über eine relativ gute Wasserversorgung. So können insbesondere die extrem trockenen Bedingungen besser ausgeglichen werden.

Die Summenhäufigkeiten der GW-Flurabstände in *Abbildung 2* zeigen sowohl die Unterschiede zwischen den drei Jahren, als auch das grundsätzlich gleiche Verhalten der GW-Stände an beiden Standorten noch anschaulicher. Im Havelluch waren die GW-Flurabstände 2018 in rd. 30 % des Jahres noch geringer als im mittleren Jahr 2016. Dieses sind noch Auswirkungen aus dem nassen Jahr 2017, die bis ins Frühjahr 2018 reichten.

Auswirkungen auf Verdunstung

Die mit unterschiedlichen Methoden gemessenen ETa-Tageswerte beider Standorte zeigen den typischen Jahresgang, der jeweils der ETp folgt (*Abbildung 3*). Die Jahressummen der ETp-Werte und auch die Summen von April bis September sind 2018 an beiden Standorten deutlich höher als in den beiden anderen Jahren (*Tabelle 2*). Dieses

Abbildung 1: Tagesmittel der GW-Flurabstände an zwei Messstellen im Havelluch (M2, M8) und der Referenzmessstelle der Lysimeteranlage im Spreewald (Ref).

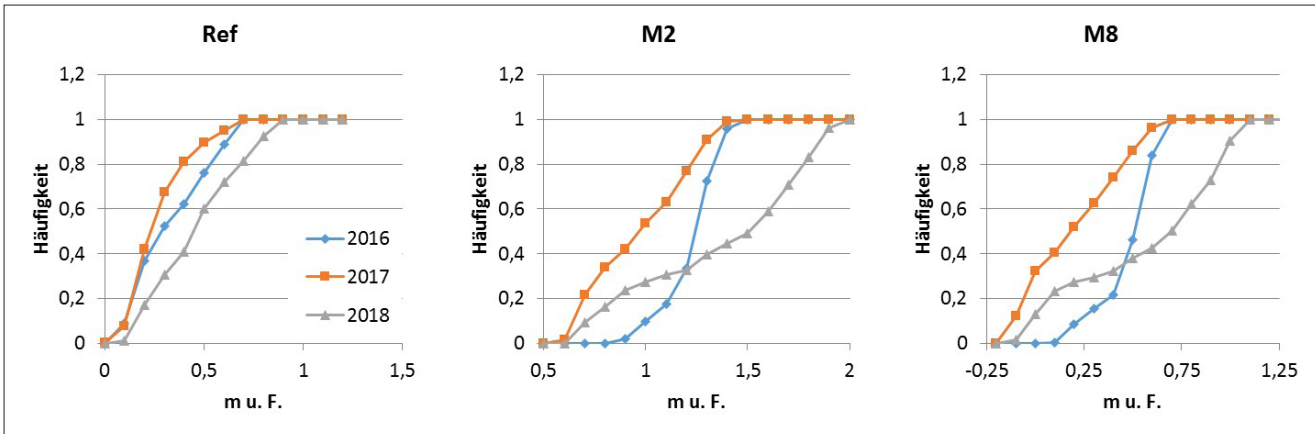


Abbildung 2: Summenhäufigkeit der GW-Flurabstände in den drei Untersuchungsjahren an den Messstandorten im Spreewald (Ref) und Havelluch (M2, M8).

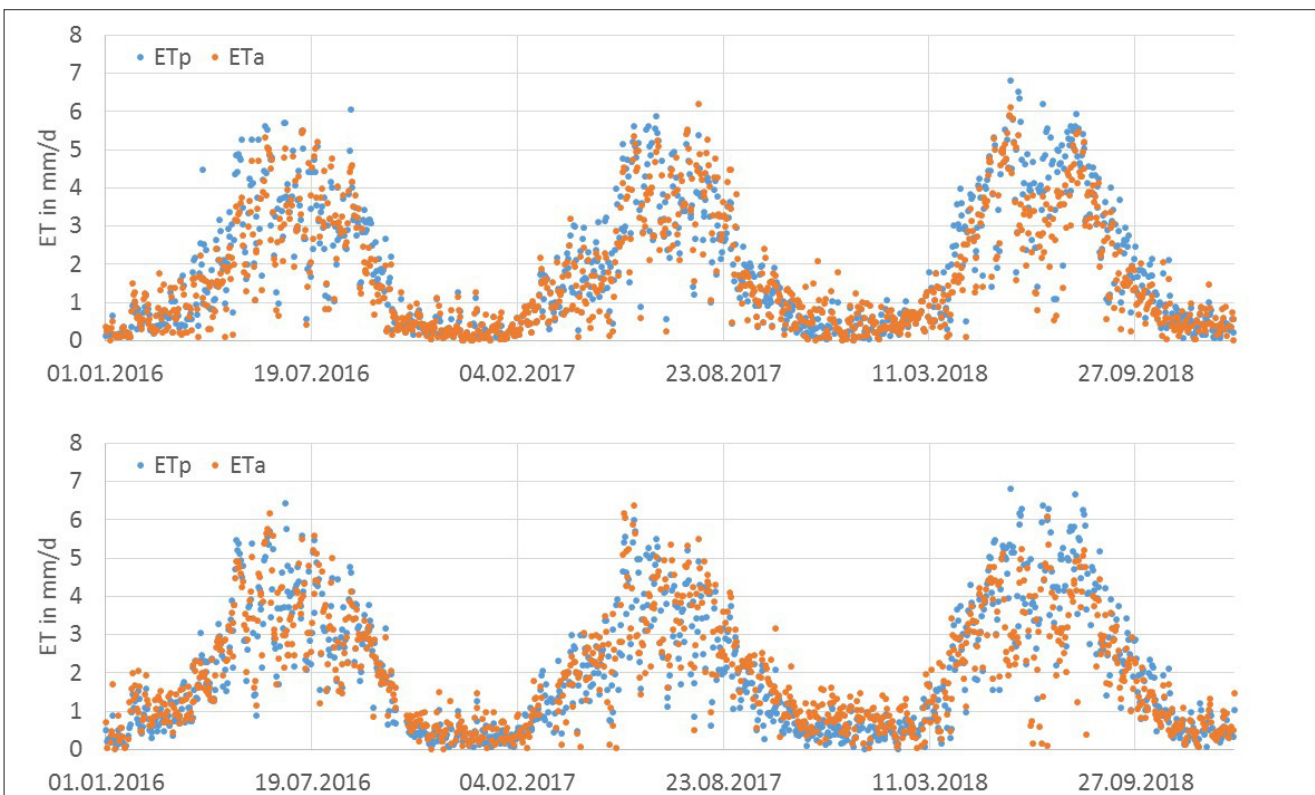


Abbildung 3: Tagessummen der FAO-Gras-Referenz-Verdunstung (ETp) und der tatsächlichen Verdunstung (ETa) im Spreewald (oben) und Havelluch (unten).

Verhalten spiegelt sich bei den ETa-Summen nicht wider. Sowohl bei den Tageswerten als auch die Summenwerte der ETa zeigen eine Unterschreitung der ETp-Werte im trockenen Jahr 2018 durch unzureichende Wasserversorgung des Pflanzenbestandes als Folge der tief abgesunkenen GW-Stände (Abbildungen 1,2).

Auswirkungen auf Kc-Wert

Die Kc-Werte der drei Jahre bzw. der drei Vegetationsperioden unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,01$). Sie sind in beiden Gebieten im nassen Jahr 2017 am höchsten und im trockenen Jahr 2018 am niedrigsten (Abbildung 4). Es unterstreicht die zeitweise unzureichende Wasserversorgung des Pflanzenbestandes 2018. Die größere Schwankungsbreite der Werte aus dem Havelluch ist vor allem der Mess-

	Jahr	Spreewald				Havelluch			
		ETp	ETa	nETa	Kc	ETp	ETa	nETa	Kc
		in mm				in mm			
		Januar - Dezember							
trockenes Jahr	2018	787	653	364	0,83	829	680	358	0,82
mittleres Jahr	2016	636	581	364	0,91	693	705	354	1,02
nasses Jahr	2017	649	646	365	1,00	657	689	343	1,05
		April - September							
trockenes Jahr	2018	667	547	183	0,82	696	542	177	0,78
mittleres Jahr	2016	547	487	183	0,89	585	572	183	0,98
nasses Jahr	2017	529	508	183	0,96	525	540	179	1,03

Tabelle 2: Summen der FAO-Gras-Referenz-Verdunstung (ETp), der tatsächlichen Verdunstung (ETa), der Anzahl der Messwerte (nETa) und der mittleren Kc-Werte in Spreewald und Havelluch.

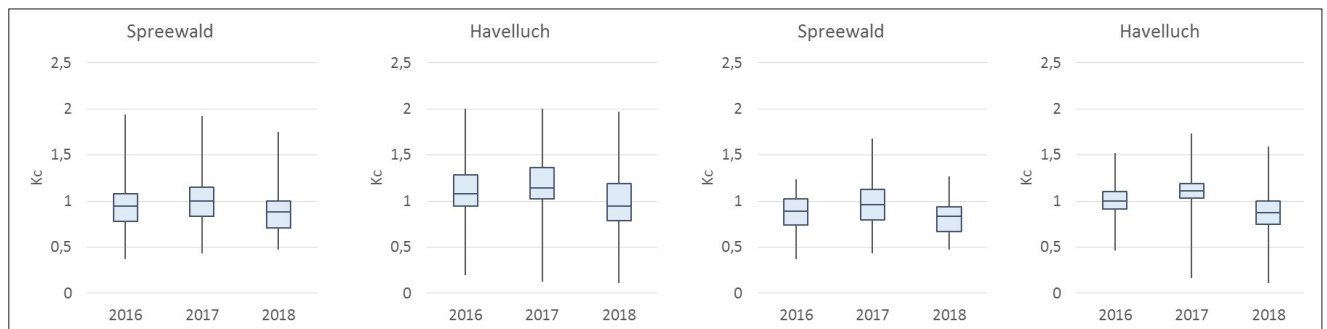


Abbildung 4: Whisker-Plots der Kc-Werte an den Standorten Spreewald und Havelluch im gesamten Jahr (links) und in der Vegetationsperiode von April bis September (rechts).

methode geschuldet. So erfasst der Footprint der Eddy-Kovarianz-Messung eine vielfach größere Fläche als die Grundfläche des Lysimeters und beinhaltet selbst schon eine große Heterogenität im Pflanzenbestand, welche durch die ETa-Werte widergespiegelt wird.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen die Auswirkungen der unterschiedlichen meteorologischen Randbedingungen auf die ETa und infolge der damit verbundenen Ausschöpfung des Bodenwasserspeichers auf den GW-Gang im Jahresverlauf. Grundwassernahe Standorte mit Grasland-Nutzung haben aufgrund der guten Wasserversorgung des Pflanzenbestandes eine sehr hohe ETa, welche die ETp häufig noch übersteigt. In extrem trockenen Jahren, wie 2018, kann es infolge der hohen ETa auch auf diesen Standorten zur Ausschöpfung des Bodenwasserspeichers und tief absinkenden GW-Ständen kommen, was wiederum auch zu einer Reduzierung der ETa führt. Insbesondere Standorte ohne ausreichende Zuflüsse aus dem Einzugsgebiet können daher in ihrem zukünftigen Bestand gefährdet sein.

Literatur

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998) Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56.

Dietrich O., Fahle M., Seyfarth M. (2016) Behavior of water balance components at sites with shallow groundwater tables: Possibilities and limitations of their simulation using different ways to control weighable groundwater lysimeters. Agricultural Water Management, 163: 75-89.

Mauder M., Foken T. (2015) Documentation and Instruction Manual of the Eddy-Covariance Software Package TK3 (update). Eigenverlag, Bayreuth. <https://epub.uni-bayreuth.de/2130/>

Mauder M. et al. (2018) Evaluation of energy balance closure adjustment methods by independent evapotranspiration estimates from lysimeters and hydrological simulations. *Hydrological Processes*, 32(1): 39-50.