

# Analyse wasserwirtschaftlicher Steueroptionen für grundwassernahe Standorte mittels moderner, wägbarer Grundwasserlysimeter

Ute Appel<sup>1\*</sup>, Otfried Dietrich<sup>1</sup> und Manfred Seyfarth<sup>2</sup>

## Zusammenfassung

Für Ostdeutschland stellen die ohnehin geringen und nach gegenwärtig diskutierten Klimaszenarien zukünftig weiter abnehmenden Sommerniederschläge sowie die ansteigende potentielle Verdunstung ein gravierendes Problem für den Erhalt und die Nutzung in den ausgedehnten Feuchtgebieten dar. Gleichzeitig wird eine Zunahme der Witterungsextreme erwartet. Beides erfordert von der zukünftigen Wasserbewirtschaftung in diesen Gebieten eine Anpassung an die veränderten Bedingungen und ein hohes Maß an Flexibilität. Ziel der hier dargestellten Untersuchungen ist die Analyse der Wirkung ausgewählter wasserwirtschaftlicher Anpassungsoptionen auf Evapotranspiration, Wasserentnahme, -abfluss und -speicherung in den betroffenen Flächen.

Die Untersuchungen werden in situ mit modernen wägbaren Grundwasserlysimetern durchgeführt. Durch eine erweiterte Steuereinheit lassen sich mit den 4 Lysimetern verschiedene Optionen der Steuerung der Grundwasserstände auf unterschiedliche Art und Weise simulieren. In der Untersuchungsperiode 2010 wurden Varianten untersucht, die auf einen verstärkten Wasserrückhalt in Überschussperioden orientieren. Diese wurden mit der gegenwärtig praktizierten Bewirtschaftung sowie einer Variante mit sehr tiefen Grundwasserständen verglichen. Die Ergebnisse zeigen zum einen, dass es mit der hier vorgestellten Lysimetertechnik möglich ist die unterschiedlichen Steueroptionen für grundwassernahe Standorte zu simulieren und zum anderen, dass das Wassermanagement einen deutlichen Einfluss auf die Entwicklung der Wasserhaushaltsparameter hat. Da der Fokus der Untersuchungen auf zunehmender Trockenheitsgefährdung liegt, wird hier der Juni als Betrachtungszeitraum herausgegriffen und erste Ergebnisse der Analyse vorgestellt.

## Summary

In north-eastern Germany the shifting precipitation patterns with resulting decreases of precipitation in summer together with increasing potential evapotranspiration can cause severe problems for the preservation of extended wetlands. In future, water management of large, agricultural used wetlands must be designed in a more flexible way in order to adapt to increasing extreme weather situations and heterogeneous requirements of stakeholders. Main objective of the measures presented here is an impact assessment of chosen water management options on evapotranspiration, water withdrawal, -discharge and -storage in the affected areas.

Regarded measures in the first test period are the modification of ditch water levels, like increasing the already practiced winter water retention through increased ground- and ditch water levels and their later lowering in spring. The experimental proof of the effects of water management options is provided by modern weighable groundwater lysimeter. With the 4 lysimeter it is possible to simulate different water management options. Target water levels can be set as time series or depending on actually measured hydrological parameters like water level, in- and outflow of another lysimeter or a reference gauge in the surrounding area. In the vegetation period of 2010 the focus was on measures regarding increased water retention in dry periods. Those were compared with the present management and an option with very low groundwater levels. The results confirm that the applied lysimeter technique is suitable to simulate water management options and that the management options have a distinct impact on the developments of the water balance. Because the focus of the measures was on low water problems, June 2010 is chosen to be further investigated and first results are presented.

## Einleitung

Untersuchungen zu den Folgen des Klimawandels zeigen, dass der Wasserhaushalt großer Feuchtgebiete im nordostdeutschen Raum voraussichtlich besonders von zunehmender Trockenheitsgefährdung betroffen sein wird (KREIENKAMP 2007, ORLOWSKY 2008, ZEBISCH et al. 2005). Entsprechend den aktuellen IPCC Szenarien (IPCC 2007) werden die Jahresdurchschnittstemperaturen ansteigen,

damit auch die Verdunstung in den Feuchtgebieten während der Sommermonate, und Niederschläge sowie Zuflüsse aus den Einzugsgebieten werden zurückgehen. Das verfügbare Wasserdargebot wird bei den gegenwärtigen Praktiken der Landnutzung und Wasserbewirtschaftung nicht mehr ausreichen und große Teile der Gebiete werden ihren heute noch vorhandenen Feuchtgebietscharakter verlieren (DIETRICH 2006, RENGER et al. 2002, SCHWARZEL et al. 2006).

<sup>1</sup> Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V. Müncheberg, Institut für Landschaftswasserhaushalt, Eberswalder Str. 84, D-15374 MÜNCHEBERG

<sup>2</sup> Umwelt-Geräte-Technik GmbH, Eberswalder Str. 58, D-15374 MÜNCHEBERG

\* Ansprechpartner: Dipl. Geoökol. Ute Appel, [appel@zalf.de](mailto:appel@zalf.de)

Die Wasserbewirtschaftung in den großen Feuchtgebieten muss daher zukünftig flexibler gestaltet werden, um besser auf zunehmende Witterungsextreme und heterogene Anforderungen der Flächennutzer reagieren zu können. In diesem Zusammenhang sollen die Wirkung ausgewählter wasserwirtschaftlicher Handlungsoptionen auf Verdunstung, Wasserentnahme, -abfluss und -speicherung im Gebiet untersucht und Grundlagen für flexible Wasserbewirtschaftungssysteme der Zukunft entwickelt werden.

Als Anpassungsoptionen werden unter anderem Modifizierungen der Stauziele, z.B. die Anhebung der Winterstauziele und ihre spätere Absenkung im Frühjahr sowie eine Optimierung der Steuerung wasserwirtschaftlicher Anlagen in Abhängigkeit der jeweils herrschenden meteorologischen und hydrologischen Situation betrachtet. Wasserhaushalt, Landnutzung, Umwelt- und Ressourcenschutz stehen hier in enger Wechselbeziehung und bei begrenzter Wasserverfügbarkeit in zunehmendem Nutzungskonflikt miteinander und mit anderen Wassernutzern im Einzugsgebiet. Ergebnisse von Modellierungen anderer Forschungsprojekte (DIETRICH et al. 2007) werden von der Praxis nur zögernd angenommen, da hier ein praktischer Nachweis gewünscht wird. Dafür werden nun in situ mit modernen, wägbaren Grundwasserlysimetern Wassermanagementoptionen simuliert und ihre Wirkung auf Wasserhaushaltsparameter analysiert.

## Material und Methoden

### *Standort*

Die Versuchsfläche befindet sich im Oberspreewald, in der Stauabsenkung Nord. Maßnahmen zur Intensivierung der Landwirtschaft in den 1970er Jahren führten zur Anlage von Grabensystemen, Staubauwerken und Schöpfwerken. Dieses stark ausgebaute Regulierungssystem ermöglicht auch heute noch eine differenzierte Steuerung der Wasserstände in den Fließen und Flächen des Spreewaldes. Die Versuchsfläche selbst wird als zweischürige Mähweide genutzt. Die Böden sind in Senken als Anmoor und sonst als Humusgleye anzusprechen (FIEGERT 2010). Lokal wurden Lehmbänder vorgefunden, die als standorttypische Klockschichten einzuordnen sind. Die Grundwasserflurabstände unterliegen jahreszeitlichen Schwankungen. Sie variieren zwischen Überstau und 60 cm unter Flur.

### *Lysimeterstation*

Der praktische Nachweis der Wirkung von Wassermanagementoptionen wird in diesem Projekt mittels moderner, wägbarer Grundwasserlysimeter geführt. Der Typ wurde von MEISSNER (2000) entwickelt und von BETHGE STEFFENS et al. (2005) erprobt, um die Wasserbilanz von Flussauenstandorten zu untersuchen. Die Idee hinter der technischen Realisierung war eine direkte Übertragung der natürlichen Dynamik der Wasserstände der Auenstandorte per Funk auf eine automatische Steuerung eines Lysimeters in einer nahe gelegenen Station. Im Unterschied dazu ist die Lysimeterstation, mit der im Rahmen dieses Projektes die Wasserhaushaltsgrößen bei unterschiedlichen Wasser-

managementoptionen erfasst werden sollen, in situ in die Fläche eingebracht. Dadurch können mögliche Oaseneffekte reduziert werden.

Die automatische Grundwassersteuerung von MEISSNER (2000) wurde erweitert, um auch komplexe Wassermanagementoptionen simulieren zu können. Neben der Regulierung der Grundwasserstände können Zielwasserstände, Zu- oder Abflüsse auch als Zeitreihen vorgegeben werden oder es können aktuelle Messwerte anderer Lysimeter, wie der dort gemessene Wasserstand, der Zu- oder Abfluss, direkt als Steuergröße übernommen werden. Eine Kombination unterschiedlicher Steuergrößen ist ebenfalls möglich, so dass sich daraus ein großes Spektrum an Möglichkeiten für die Steuerung der Lysimeter ergibt.

Die 2 m tiefen Bodensäulen mit einer Oberfläche von 1m<sup>2</sup> wurden zerstörungsfrei vor Ort auf einer Fläche von ca. 20 m<sup>2</sup> entnommen und an die gleiche Stelle nach Verschluss wieder eingebracht. Die Monolithen sind jeweils mit FDR-Sonden, Temperaturfühlern und Tensiometern in den Tiefen 30, 60 und 90 cm ausgestattet. Die Monolithe selbst stehen auf drei Präzisions-Scherstab-Wägezellen. Die Zu- und Abflüsse jedes Monolithen werden separat gemessen. Alle Messdaten werden im 10 min Zeittakt erfasst und gespeichert. Die Steuerung der Lysimeter erfolgt stündlich. Direkt neben der Lysimeterstation befinden sich die Wetterstation und ein bodenhydrologischer Referenzmessplatz. Zudem ist noch ein Referenzpegel in die Fläche eingebaut worden, der die Wasserstände der umliegenden Fläche repräsentiert.

### *Managementoptionen der ersten Vegetationsperiode*

Da ein Lysimeter als Referenz den Wasserhaushalt der Fläche repräsentiert, konnten in der Vegetationsperiode 2010 noch drei Managementoptionen untersucht werden. Zunächst wurden eine trockene und eine nasse Variante gewählt, um das Spektrum der möglichen Entwicklung der Wasserhaushaltsgrößen abzubilden. Als dritte Variante wurde eine von Praxisvertretern bevorzugte und z.T. schon angewandte Variante gewählt, die in *Abbildung 1* als „Status Quo“ bezeichnet wird.

Die Status Quo-Variante orientiert sich wie die nasse Variante an einem verstärkten Wasserrückhalt in Überschussperioden, was durch eine spätere Absenkung des Winterstaus im Frühjahr realisiert wird. Im Gegensatz zur nassen Variante werden hier die Grundwasserstände schon 2 Wochen früher abgesenkt, um eine Befahrbarkeit der Flächen zu gewährleisten. Im Sommer werden die Grundwasserstände stärker abgesenkt als bei der nassen Variante in Erwartung einer dadurch verminderten Evapotranspirationsleistung. Hiermit soll eine geringere Wasserentnahme aus dem Vorfluter in Zeiten begrenzten Wasserangebots erreicht werden.

## Ergebnisse

Der Untersuchungszeitraum vom 01.04.-31.10.2010 zeichnete sich durch extreme Witterungsverhältnisse aus. Im April und Juni herrschte eine große Trockenheit, die ab Mitte Juli von einer niederschlagsreichen Periode in der zweiten Sommerhälfte abgelöst wurde. Im Juni fielen nur 2 mm

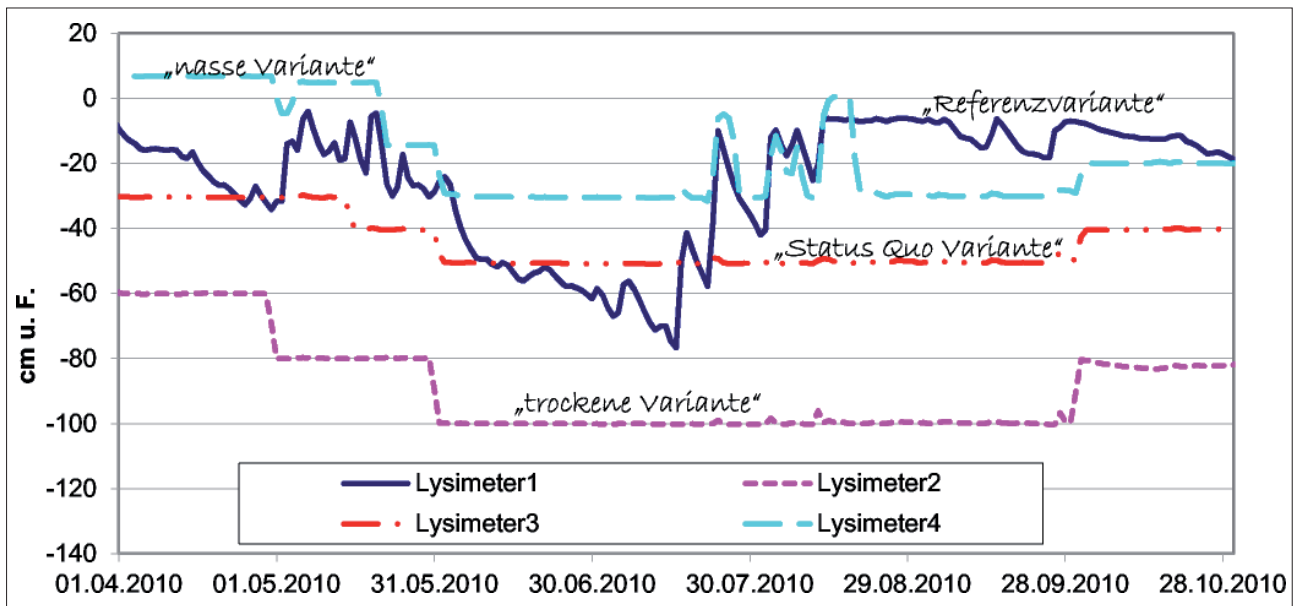


Abbildung 1: Verlauf der Grundwasserstände der 4 Lysimeter in der Untersuchungsperiode 2010

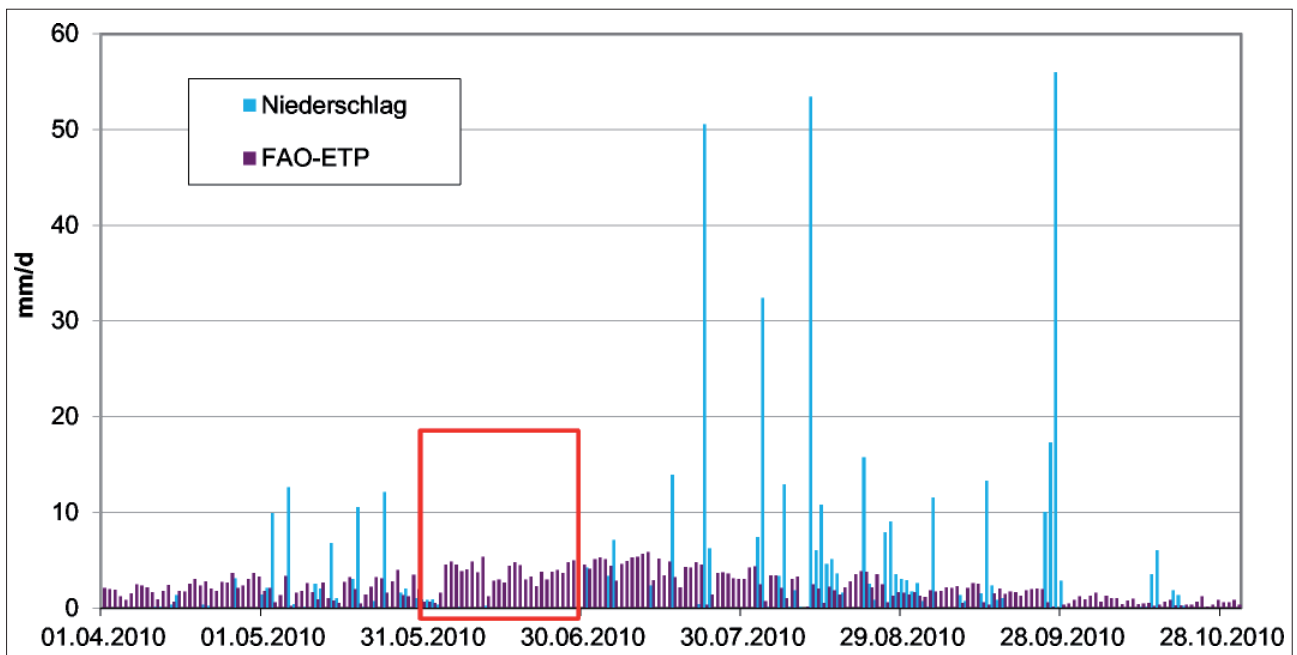


Abbildung 2: Tagessummen des Niederschlags und der FAO-Grasreferenzverdunstung im Untersuchungszeitraum 01.04.-31.10.2010 mit Trockenperiode Juni 2010

Niederschlag, während im August und September mit 312 mm rd. 55% des langjährigen mittleren Jahresniederschlags der Wetterstation Cottbus fielen. *Abbildung 2* zeigt die meteorologischen Randbedingungen am Lysimeterstandort im gesamten Untersuchungszeitraum. Dabei ist zu sehen, dass in der niederschlagsarmen Zeit im Juni die Situation zudem durch die hohe potentielle Evapotranspiration bestimmt wird. Da der Fokus der Untersuchungen auf zunehmender Trockenheitsgefährdung liegt, wird hier im Weiteren der Juni als Betrachtungszeitraum herausgegriffen und weitergehend analysiert. Entsprechend den simulierten Wassermanagementoptionen entwickelte sich der Wasserhaushalt der 4 Lysimeter

unterschiedlich. In *Abbildung 3* ist die kumulierte Evapotranspiration der einzelnen Lysimeter im Vergleich zur FAO-Grasreferenzverdunstung für den Juni 2010 dargestellt. Die tatsächliche Evapotranspiration aller Lysimeter liegt dabei über der FAO-Grasreferenzverdunstung. Die größte Differenz der tatsächlichen Verdunstung gibt es zwischen der „Status Quo Variante“ und der „nassen Variante“. Dazwischen kommen mit ähnlichem Verlauf die „trockene Variante“ und die „Referenzvariante“. Die „nasse Variante“ hat die geringste Verdunstung, obwohl hier die Wassernachlieferung zu keinem Zeitpunkt limitiert ist. Der Grund ist die trotz gleicher Ausgangsvegetation unterschiedliche Vegetationsentwicklung in den Lysimetern. In der nassen

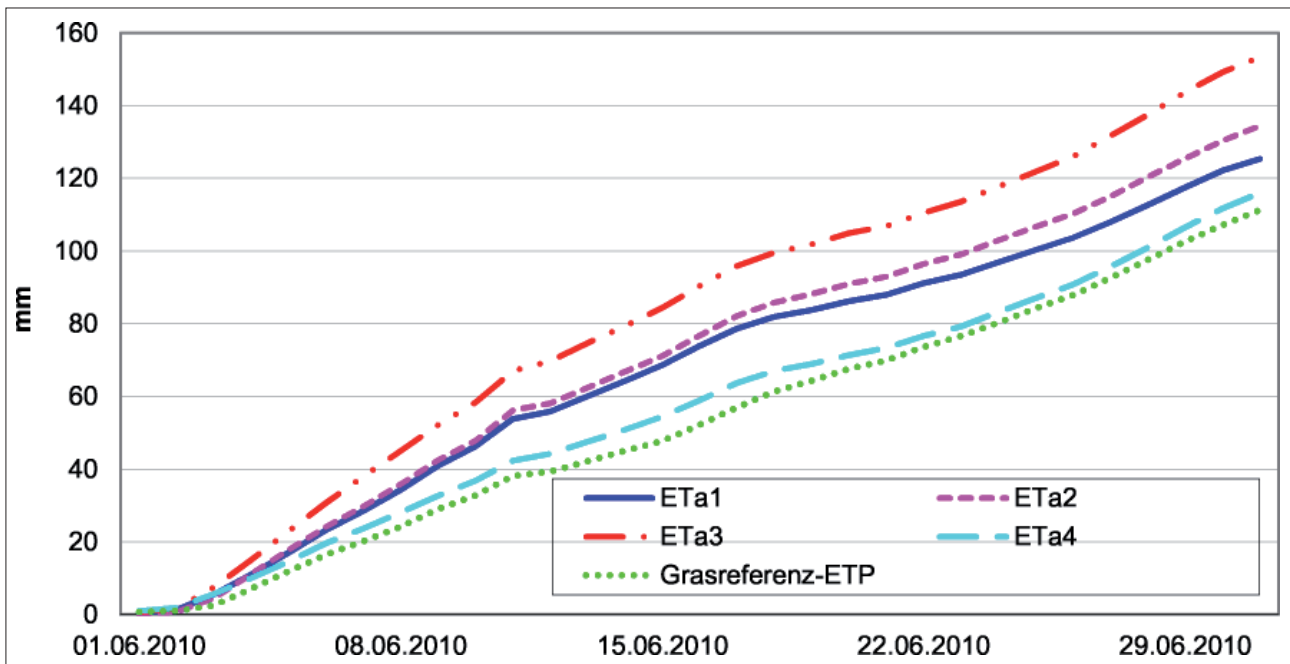


Abbildung 3: Kumulierte Evapotranspiration der Lysimeter und Grasreferenzverdunstung im Juni 2010

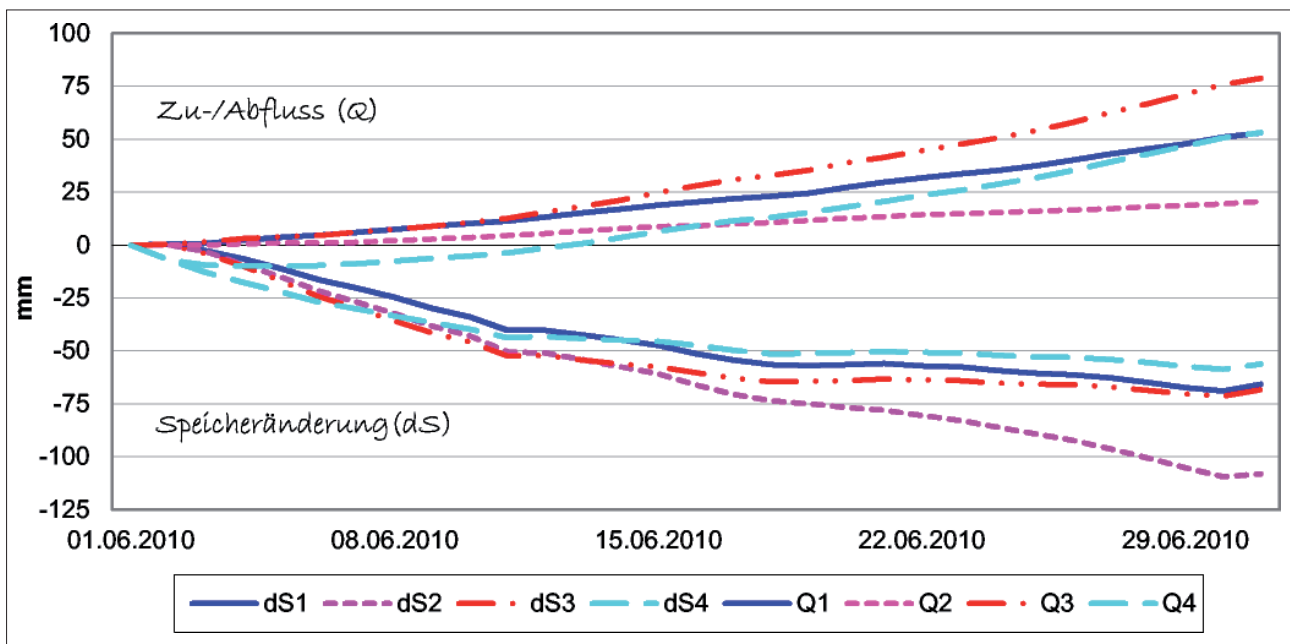


Abbildung 4: Kumulierte Speicheränderung und Zu- und Abflüsse der Lysimeter im Juni 2010

Variante hat sich die Vegetation durch die hohen Wasserstände im Frühjahr erst später entwickelt und es dominieren hygrophyte Pflanzengesellschaften (z.B. *Phalaris arundinacea*, *Carex riparia*). Dieses Ergebnis ist interessant, da oftmals davon ausgegangen wird, dass die Anhebung der Wasserstände um einige Dezimeter in jedem Falle zu einem erhöhten Wasserverbrauch führt. Nach unseren ersten Ergebnissen muss dieses aber nicht zwangsläufig der Fall sein. Die hohen Evapotranspirationen der „Status Quo Variante“ sind vor allem auf die Entwicklung einer Weißklee-Deckschicht durch die im Frühjahr dafür günstigen Bedingungen bei dieser Managementoption zurückzuführen. Da

die Grasnarbe beim Stechen der Lysimeter nicht beschädigt wurde, wurden die ursprünglichen Pflanzengesellschaften der Wiese nicht verändert. So konnten sich die Pflanzengesellschaften entsprechend der eingestellten Wasserstände der Managementoptionen unterschiedlich entwickeln. Der Mittelwert des LAI im Juni ist bei dem Lysimeter mit der „Status Quo Variante“ mit 5,8 ungefähr doppelt so hoch wie der aller übrigen Lysimeter, der zwischen 2 und 3 liegt. Anders sieht das Bild aus, wenn betrachtet wird, woher das Wasser genommen wird, um diese Evapotranspirationsleistungen zu erzielen. In *Abbildung 4* sind die kumulierten Speicheränderungen ( $dS$ ) und die kumulierten Zu- und

Abflüsse aus bzw. in die Lysimeter zu sehen. So unterscheidet sich gerade die „trockene Variante“ (Lysimeter 2) von den anderen Lysimetern. Das verdunstete Wasser wird hier zum größten Teil direkt aus dem Bodenwasserspeicher der ungesättigten Zone entnommen und am wenigsten aus dem Zufluss. In der Folge übersteigen zum Ende des Monats die Saugspannungen in der oberen Bodenschicht hier sogar den Messbereich der Tensiometer. Es kommt also zu einer Austrocknung des Oberbodens, die gerade auf Niedermoorstandorten dem Ressourcenschutz zu wider läuft.

Die „nasse Variante“ (Lysimeter 4) hat zu Beginn des Monats eine größere Speicheränderung als die anderen Varianten, da sich die Grundwasserstandsabsenkung von Ende Mai noch auswirkt und Wasser aus dem Lysimeter abgepumpt wird. Danach hat diese Variante die geringste Speicheränderung, was auch bedeutet, dass der Boden am wenigsten austrocknet. Der Wasserbedarf wird vorwiegend aus dem Zufluss gedeckt, liegt aber deutlich unter dem der „Status Quo Variante“. Dieses würde einem Ziel der Wasserwirtschaft, die Wasserentnahmen der Feuchtgebietsflächen in Perioden mit geringem Wasserdargebot zu reduzieren, entgegenkommen.

Die „Status Quo Variante“ (Lysimeter 3) und die Referenzvariante (Lysimeter 1) haben im Juni vergleichbare Speicheränderungen. Obwohl die Wasserstände des Referenzlysimeters im Juni tiefer absinken, gleichen sich der Effekt der Wasserstandsabsenkung im Frühjahr bei der „Status Quo Variante“ und der der sinkenden Grundwasserstände der Referenzvariante aus. Die höhere Evapotranspiration der „Status Quo Variante“ wird durch einen größeren Zufluss ausgeglichen. Den zweitgrößten Zufluss hat das Referenzlysimeter, welches ja keiner Zeitlinie folgt, sondern welches die sich frei entwickelnden Grundwasserstände der Fläche repräsentiert. Hier entsprechen also die zugepumpten Wassermengen, dem aus den Gräben erfolgenden Zufluss an Grundwasser der umgebenden Fläche. Sie werden damit vom verfügbaren Dargebot aus dem Einzugsgebiet und dessen Verteilung über das Grabensystem begrenzt. In der Folge der im gesamten Spreewald herrschenden Trockenheit sinken im Juni auch die Wasserstände in der umgebenden Fläche auf über 70 cm u. F. ab.

## Ausblick

Die eingesetzte Lysimeteranlage mit der weiterentwickelten Steuereinheit ist geeignet, um unterschiedliche Steueroptionen für grundwassernahe Standorte in Lysimetern zu simulieren. Diese Ergebnisse zeigen, dass das Wassermanagement einen deutlichen Einfluss auf die Entwicklung der Wasserhaushaltsparameter hat. Die unterschiedlichen Vorgaben für die Grundwasserstände in den Lysimetern führten bei annähernd gleicher Ausgangslage für den Standort und die Vegetation sehr schnell zu unterschiedlichen Entwicklungen in den Lysimetern mit der Folge deutlicher Unterschiede in der Evapotranspiration. Auch gab es Unterschiede in der Speicherentleerung und den Zuflussmengen in der Trockenperiode im Juni 2010. Weitere Versuche in den folgenden Jahren müssen zeigen, ob diese ersten Ergebnisse verallgemeinerbar sind. So sollen in der Vegetationsperiode 2011 einige Effekte durch komplexere

Steueroptionen noch näher beleuchtet werden und ein Rotieren einiger Optionen auf den Lysimetern soll die Effekte der Vegetationsentwicklung bestätigen und mögliche Einflüsse der Bodensäule ausschließen.

Interessant ist aber schon zu sehen, dass sich die Annahme, die Evapotranspiration grundwassernahe Standorte ließe sich durch die Absenkung der Grundwasserstände verringern, bislang nicht bestätigt hat. Der Zeitpunkt von Grundwasserstandsänderungen im Frühjahr scheint ebenso von Bedeutung für den Wasserbrauch zu sein, da sich entsprechend den vorherrschenden Wasserständen im Frühjahr die Vegetation sehr stark sortiert und damit den folgenden Wasserverbrauch beeinflusst.

## Danksagungen

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Förderung des Vorhabens INKA BB, wie auch dem Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg für die finanzielle wie auch fachliche Unterstützung. Desweiteren danken wir dem Wasser- und Bodenverband „Oberland Calau“ für die Betreuung der Versuchsanlagen und der Firma Umwelt-Geräte-Technik GmbH Müncheberg für die Unterstützung bei der Entwicklung der neuen Lysimetertechnik und den fachlichen Beratungen.

## Literatur

- BETHGE-STEFFENS, D., R. MEISSNER und H. RUPP, 2005: Quantifizierung des Bodenwasserhaushaltes mit Hilfe eines neu entwickelten wägbarer Grundwasserlysimeters. *Wasserwirtschaft*, 12, 45-48.
- DIETRICH, O., 2006: Wirkungen des globalen Wandels auf den Wasserhaushalt des Spreewaldes. In: *Klimaänderungen - Herausforderungen für den Bodenschutz*. Umweltbundesamt.
- DIETRICH, O., M. REDETZKY und K. SCHWARZEL, 2007: Wetlands with controlled drainage and sub-irrigation systems - modelling of the water balance. *Hydrological Processes*, 21(14), 1814-1828.
- FIGERT, E., 2010: Personal Communication.
- HOLSTEN, A., T. VETTER, K. VOHLAND und V. KRYSANOVA, 2009: Impact of climate change on soil moisture dynamics in Brandenburg with a focus on nature conservation areas. *Ecological Modelling*, 220(17), 2076-2087.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC.
- KREIENKAMP, F., A. SPEKAT und W. ENKE, 2007: Climate change in Germany and its regional consequences. *Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft*, 67(6), 246-250.
- MEISSNER, R., 2000: Grundwasserlysimeter\_Patent\_19902462. Deutsches Patent- und Markenamt, 21.6.2000.
- ORLOWSKY, B., F.W. GERSTENGARBE und P.C. WERNER, 2008: A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM. *Theoretical and Applied Climatology*, 92(3-4), 209-223.
- RENGER, M., G. WESSOLEK, K. SCHWARZEL, R. SAUERBREY und C. SIEWERT, 2002: Aspects of peat conservation and water management. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 165(4), 487-493.
- SCHWARZEL, K., J. SIMUNEK, M.T. van GENUCHTEN und G. WESSOLEK, 2006: Measurement and modelling

of soil-water dynamics and evapotranspiration of drained peatland soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 169(6), 762-774.

ZEBISCH, M., T. GROTHMANN, D. SCHRÖTER, C. HASSE, U. FRITSCH und W. CRAMER, 2005: Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver. Umweltbundesamt. Forschungsbericht 201 41 253.