

Nutzung von Lysimetern zur nachhaltigen Bewirtschaftung des chinesischen Miyun-Trinkwassereinzugsgebietes

Ralph Meißner^{1*}, Jens Hagenau¹, Holger Rupp¹, Michael Gebel², Stefan Halbfass²
und Shuhuai Duan³

Zusammenfassung

Das ca. 100 km nördlich von Peking gelegene Wasserreservoir Miyun ist einer der wichtigsten Trinkwasserlieferanten für den Großraum Peking. Die zunehmende Bevölkerungsdichte, eine nicht auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Landwirtschaft im Einzugsgebiet und mangelnde Abwasser- bzw. Abfallbehandlung im ländlichen Raum führten zu einer permanenten Verschlechterung der quantitativen und qualitativen Bereitstellung von Trinkwasser. Das Ziel des deutsch-chinesischen Forschungsprojektes besteht in der Entwicklung und Implementierung eines wissenschaftlich fundierten Managementsystems zur Reduktion von diffusen Stoffeinträgen in das Miyun-Trinkwasserreservoir. Der Beitrag beinhaltet die Vorstellung der Lösungsstrategie und fokussiert auf den Einsatz von Lysimetern zur Kalibrierung des mesoskaligen Modells STOFFBILANZ.

Schlagwörter: Lysimeteranwendung, Bodenwasser- und Stoffhaushalt, Modellkalibrierung, Einzugsgebietsmanagement, China

Summary

The Miyun reservoir is one of the main drinking water supply sources for the Beijing agglomeration. It suffers from increasing water quantity and quality problems caused by a relatively high population density, inadequate land use, over-fertilization, excessive livestock breeding and uncontrolled disposal of wastes in the catchment. The aim of the joint German-Chinese research project is the development and implementation of a scientific based management system for non-point source pollution control in the Miyun basin. The paper describes the research strategy and focuses on the use of lysimeter measurement results to calibrate the mesoscale model STOFFBILANZ.

Keywords: lysimeter application, soil water and solute balance, model calibration, catchment management, China

Einleitung

Aufgrund der in China durchgeführten strukturellen Veränderungen konnte die landwirtschaftliche Produktion in den letzten Jahren erheblich gesteigert werden. Jedoch basiert diese Effizienzsteigerung meist nicht auf einer nachhaltigen Landwirtschaft, so dass es häufig zu einer Überbeanspruchung der Wasserressourcen, verbunden mit einem erhöhten Einsatz von organischen und mineralischen Düngemitteln kam. Die zunehmend unausgeglichene Nährstoffbilanz führte zu einem erhöhten Eintrag von Nährstoffen in die Gewässer und damit zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Wasserqualität. Davon betroffen ist auch das ca. 100 km nördlich von Peking gelegene Wasserreservoir Miyun (Abbildung 1). Momentan erfolgt die Trinkwasserversorgung der chinesischen Hauptstadt zu 80 % aus diesem Reservoir. Der am Zusammenfluss der Flüsse Bai und Chao errichtete Miyun-Stausee mit einem Speichervolumen von 4,4 Milliarden Kubikmeter und einer Wasseroberfläche von 188 km² ist 1960 fertiggestellt worden. Eigentlich sollte der See der Hochwasserkontrolle, der Bewässerung sowie der Fischerei dienen, aber aufgrund des Ausfalls anderer

Stauseen und der rasanten Bevölkerungsentwicklung nahm seine Bedeutung für die Bereitstellung von Trinkwasser für Peking stetig zu.

Das ca. 16.000 km² umfassende Einzugsgebiet des Miyun-Reservoirs (entspricht etwa der Fläche des Freistaates Sachsen) befindet sich in einer teilweise stark zerklüfteten Berglandregion mit Höhenlagen von ca. 100 bis 2000 m ü. NN. Die langjährige mittlere Jahresdurchschnittstemperatur im Gebiet variiert zwischen etwa 6 und 11 °C. Die durchschnittliche Jahresniederschlagssumme liegt zwischen 500 und 600 mm. Der Niederschlag ist jahreszeitlich sehr ungleich verteilt, denn 80 % davon fallen in der Zeit von Juni bis August. Die potenzielle Evapotranspiration liegt bei etwa 1200 mm. Aufgrund der seit einigen Jahren deutlich gesunkenen Niederschlagsmenge und dem steigenden Wasserbedarf ist der Wasserspiegel des Reservoirs deutlich rückläufig. In den letzten 10 Jahren sank der Wasserspiegel um etwa 1 bis 2 m pro Jahr! Parallel dazu ist eine erhebliche Verschlechterung der Wasserqualität zu verzeichnen; sie liegt mittlerweile weit unter der für Deutschland zulässigen Grenze für eine Trinkwassernutzung.

¹ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Department Bodenphysik, Lysimeterstation, Dorfstraße 55, D-39615 FALKENBERG

² Gesellschaft für Angewandte Landschaftsforschung (GALF) bR, Am Ende 14, D-01277 DRESDEN

³ Beijing Soil and Water Conservation Center, No.5 Yuyuantan South Road, Haidian District, Beijing, 100038, China

* Ansprechpartner: Prof. Dr. Ralph Meißner, ralph.meissner@ufz.de



Ackerbaulich bewirtschaftete Flächen konzentrieren sich auf die Tallagen und unteren Hanglagen (Terrassenfeldbau) sowie auf ehemals überflutete Talböden im direkten Einflussbereich des Reservoirs. Aufgrund der von den chinesischen Partnern durchgeführten Voruntersuchungen sowie eigenen Gebietsbereisungen wurden vor allem die landwirtschaftlich genutzten Flächen (speziell Bodenerosion und Nährstoffauswaschung) sowie die im Einzugsgebiet befindlichen Siedlungsgebiete (ca. 660.000 Einwohner) als Hauptverursacher für den permanent steigenden diffusen Stickstoff- und Phosphoreintrag in das Reservoir identifiziert.

Das Ziel des von 10/2009 bis 12/2012 durchgeführten deutsch-chinesischen Forschungsprojektes bestand in der Erarbeitung eines wissenschaftlich fundierten Managementsystems zur Reduktion von diffusen Stoffeinträgen in das Miyun-Reservoir und dessen Implementierung. Zur Realisierung dieser Zielstellung wurden zunächst Analysen zur Identifikation von Wasser- und Stoffströmen im Einzugsgebiet vorgenommen. Ergänzt wurden diese Untersuchungen durch den Aufbau eines hydrologischen Messnetzes in repräsentativen Teileinzugsgebieten, bestehend aus Lysimetern, hydrologischen Feldmessstationen und Durchflussmessstationen. Dieser skalenerübergreifend aufgebaute Monitoringansatz wird zur Quantifizierung

wichtiger Elemente des Gebietswasserhaushaltes sowie zur Kalibrierung von Wasser- und Stoffhaushaltsmodellen genutzt.

Im Fokus dieses Beitrags stehen i) der Aufbau einer Lysimeterstation im Miyun-Einzugsgebiet, ii) die Vorstellung von Messergebnissen zum Bodenwasser- und Bodenstoffhaushalt und iii) die Nutzung von Lysimeterdaten zur Kalibrierung von Modellen.

Material und Methoden

Ein erster wichtiger Meilenstein bei der Projektbearbeitung bestand in der Errichtung eines Messnetzes zur Erfassung von hydrologischen Messgrößen im Miyun-Einzugsgebiet. Dieser skalenerübergreifend aufgebaute Monitoringansatz wird zur Quantifizierung wichtiger Elemente des Gebietswasserhaushaltes genutzt. Zur Realisierung der Zielstellung wurde in Zusammenarbeit mit den chinesischen Partnern eine Reihe von Sensoren zur Durchflussmessung in Fließgerinnen sowie zur Erfassung von Bodenwasserhaushaltsparametern im Einzugsgebiet eingebaut (MEISSNER et al. 2011). Die bereits zuvor erwähnte *Abbildung 1* enthält ebenfalls eine zusammenfassende Darstellung über die Nutzung des Miyun-Einzugsgebietes und die dort im Rahmen des Projektes errichteten Messeinrichtungen, die sich im

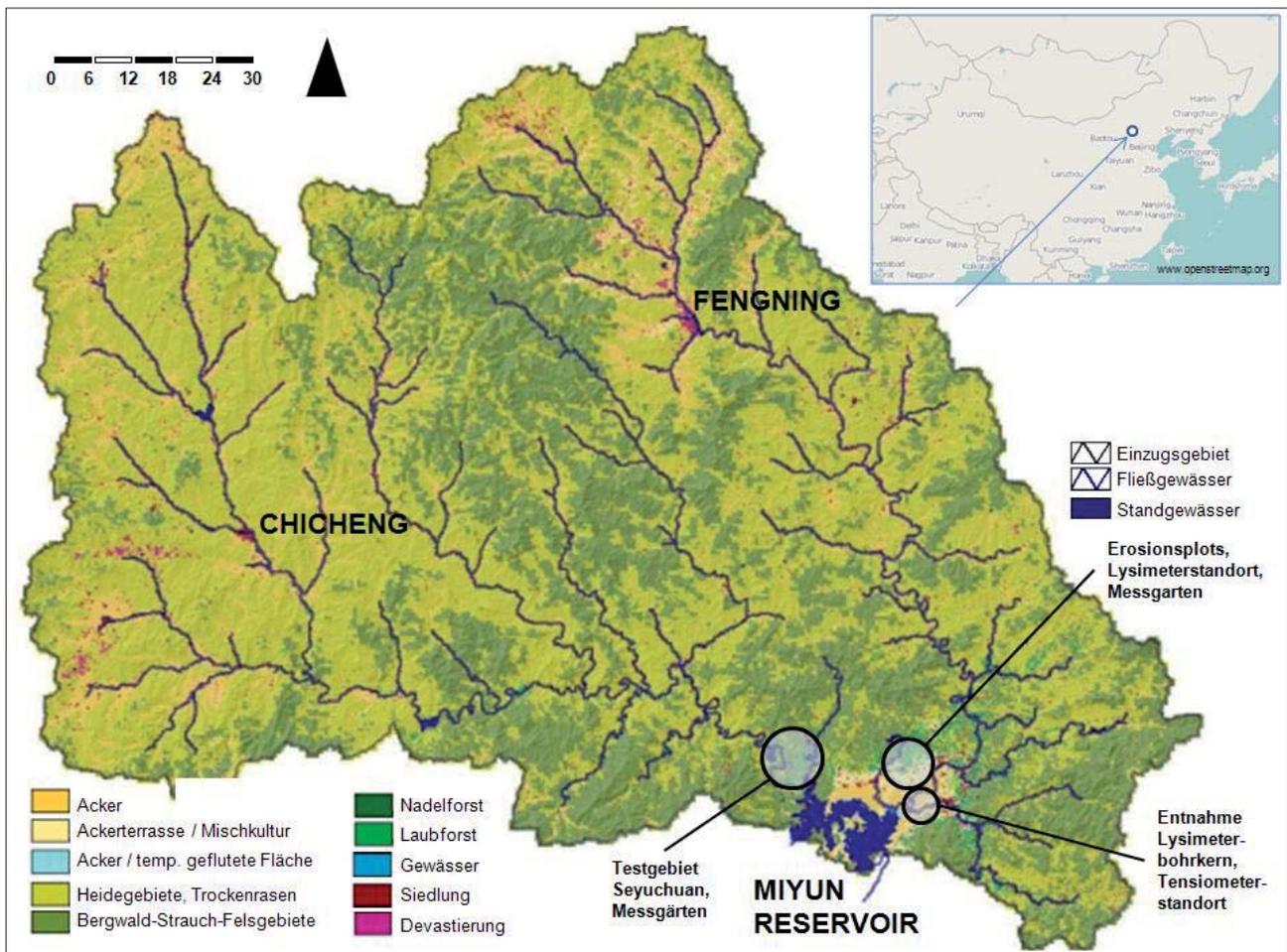


Abbildung 1: Lage des chinesischen Miyun-Einzugsgebietes, Landnutzung und installierte Messeinrichtungen

Tabelle 1: Kurzcharakteristik der im Miyun-Gebiet eingerichteten Untersuchungsstandorte

Name	Lagebeschreibung	Vegetation	Geo-Koordinaten
Shixia Lysimeterentnahmestelle	Schwemmebene 4 km vor Miyun-Reservoir	Mais	40°32'30.99"N 117° 2'46.36"E
Seyuchuan Terrasse West	Terrassensystem nördlich von Shenmiao	Kastanie und Bohnen/Mais	40°39'1.46"N 116°48'32.97"E
Seyuchuan Terrasse Ost	Terrassensystem (Steinmauer) nördlich von Shenmiao	Kastanie und Bohnen/Mais	40°39'0.01"N 116°48'38.54"E
Huairou-Kleineinzugsgebiet	„Bench“-Terrasse, Abflussmessung	Aprikosenplantage	40°21'49.15´N 116°32'5025´E
Huairou Gully	Ephemerer „Gully“, steile Hänge, kaum Boden	Kastanie	40°23'25.15´N 116°33'30.31´E
Renji Golf Resort	Ephemeres Kleineinzugsgebiet, Abflussmessung	Natürliche Vegetation	40°21'14.01"N 116°32'37.82"E

Bereich der Shixia-Erosionsmessstation und im Seyuchuan Teileinzugsgebiet konzentrieren.

Da in dem untersuchten Gebiet keine Informationen über die Grundwasserneubildungsrate, die Qualität des Sickerwassers sowie die Höhe der tatsächlichen Evapotranspiration vorlagen, wurde im Jahr 2010 eine vom UFZ in Kooperation mit der Firma Umwelt-Geräte-Technik-Müncheberg (UGT-Müncheberg) patentierte Container-Lysimeterstation nach China geliefert (MEISSNER et al. 2008). Die Station wurde in Deutschland vorgefertigt, per Schiff nach China transportiert und in der bereits im Miyun-Gebiet bestehenden Shixia-Erosions-Versuchsstation des Beijing Soil and Water Conservation Center eingebaut. Aus dem Untersuchungsgebiet wurden mit einer speziellen und ebenfalls patentierten Entnahmetechnik zwei ungestörte Bodensäulen (1 m² Oberfläche, 1,80 m tief) an zuvor ausgewählten repräsentativen Standorten entnommen und in die zwischenzeitlich installierte Container-Lysimeterstation eingesetzt. Nach einer kurzen Einarbeitungs- und Anpassungsphase wurde die Routinemessung an den beiden wägbaren Gravitationslysimetern von den chinesischen Partnern in Eigenverantwortung durchgeführt.

Wie bereits eingangs erwähnt, wurden an sechs Positionen im Untersuchungsgebiet Bodenintensivmessplätze errichtet, die neben der Bodensaugspannung und -temperatur auch die Möglichkeit der ereignisbezogenen Porenwasserentnahme durch Saugplatten zur Nährstoffanalyse ermöglichen (Tabelle 1). Durch die Auswahl von unterschiedlich genutzten Standorten und der Möglichkeit des Vergleichs mit einem nahezu naturbelassenen Standort, dem Renji Golf Ressor sowie den Lysimetermessdaten können sowohl weitere Erkenntnisse über die Bildung von schnellen Abflusskomponenten als auch der Sickerwasserbewegung gewonnen werden.

Im ungefähr 25 km² umfassenden Seyuchuan-Einzugsgebiet, in dessen terrassiertem Oberlauf sich zwei Bodenintensivmessplätze befinden, wurde ein genesteter Ansatz zur Analyse der Abflussbildung aufgebaut. Dazu wurden beginnend im Oberlauf nach 0,8 km Laufstrecke, dann im Bereich eines nach etwa 5 km auftretenden Fazieswechsels und vor dem Teilgebietsauslass nach ca. 7 km Fließstrecke Gerinnestrecken zur Durchflussbestimmung mit Wasserbau-

steinen zu einem offenen V-Profil mit 150 bis 170° Öffnung ausgebaut. Auf die Konstruktion eines freien Überfalls wurde aus Gründen der ökologischen Durchgängigkeit verzichtet.

Die gewonnenen Daten aus der Durchflussmessung, den bodenhydrologischen Messplätzen und den Lysimeteruntersuchungen sollen sowohl zur Kalibrierung des prozessbasierten Modellsystems IWAN (Integrated Winter Erosion And Nutrient Load Model; OLLESCH 2009) als auch des mesoskaligen Modells STOFFBILANZ (GEBEL et al. 2010) genutzt werden. Letzteres verfügt über eine Web-GIS basierte Oberfläche, ermöglicht die Berechnung der ober- und unterirdischen Abflüsse, des erosiven Stofftransports sowie der Nährstoffeinträge von Stickstoff und Phosphor in die Gewässer. Es soll von den chinesischen Projektpartnern zur Simulation und Erarbeitung von nachhaltigen Managementstrategien für das Miyun-Einzugsgebiet genutzt werden.

Ergebnisse und Diskussion

Lysimetermessungen

Der Lysimetermessbetrieb begann am 21. April 2011. Dieser für den Beginn der Bodenwasser- und -stoffhaushaltsmessungen günstige Termin deckt sich in etwa mit dem Beginn der Vegetationsperiode. Die Aussaat von Mais, der typischen Fruchtart im Untersuchungsgebiet, erfolgte auf beiden Lysimetern am 5. Mai 2011. Die Bewirtschaftung eines der Lysimeter (im folgenden Lys. 1 genannt) erfolgte analog des Entnahmestandortes mit einer Mineraldüngermenge von 132 kg Stickstoff N/ha sowie 15 kg P/ha (appliziert als Harnstoff bzw. Diammoniumphosphat). Beim zweiten Lysimeter (Lys. 2) wurden die mineralische N-Düngermenge um 50% auf 66 kg/ha, die Phosphormenge auf 7,5 kg/ha reduziert.

Die hohe Präzision der mit den Lysimetern durchgeführten Wägungen zur Bestimmung der Bodenwasservorratsänderung als Grundlage zur Bestimmung der tatsächlichen Evapotranspiration (ETa) wird anhand der in *Abbildung 2* dargestellten Masseverläufe deutlich. Die Masseänderungen weisen für beide Lysimeter eine sehr hohe Übereinstimmung auf. Die unterschiedlichen Massen resultieren zum einen aus den nicht völlig im Bodenmaterial identischen

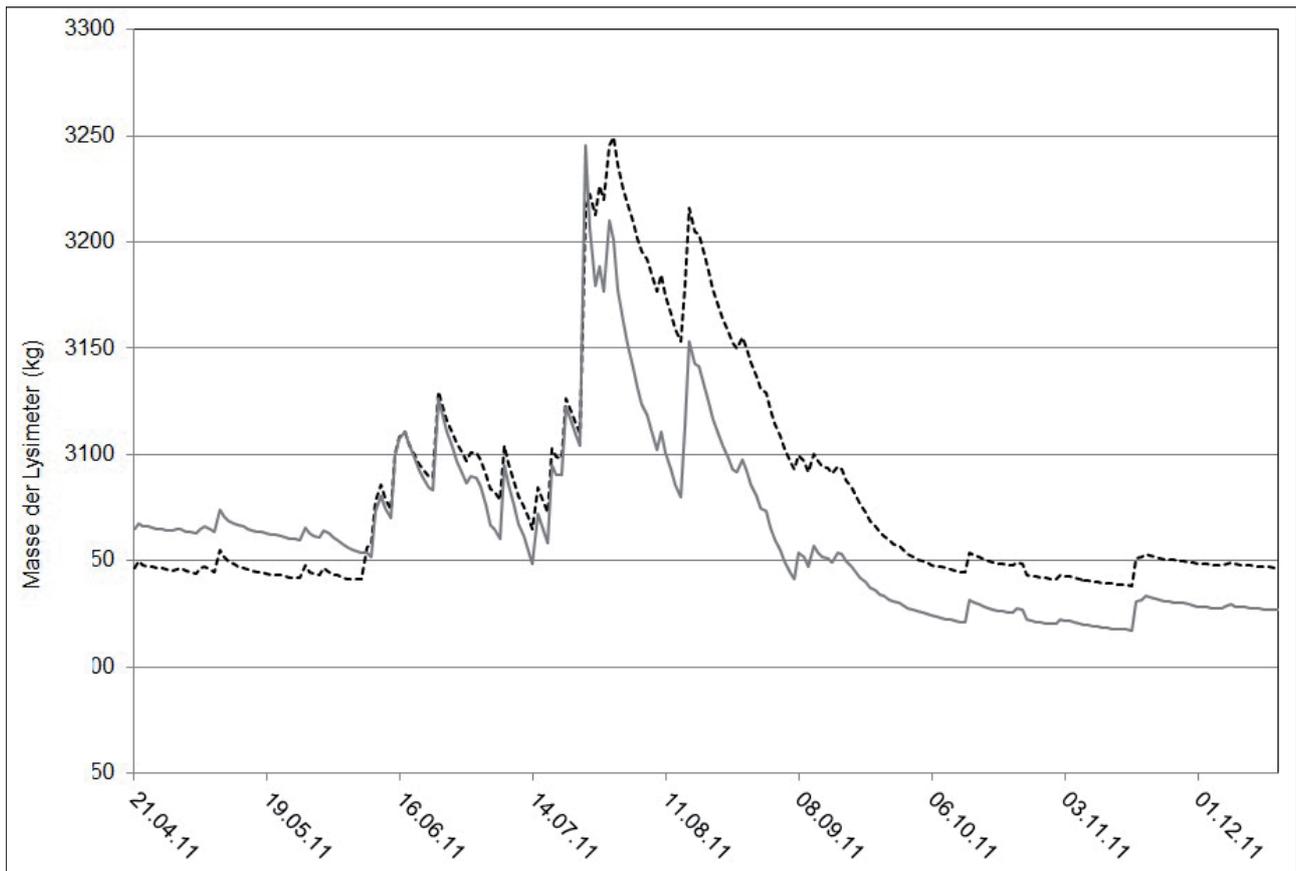


Abbildung 2: Masseverläufe von Lys 1 (unterbrochene schwarze Linie) und Lys 2 (durchgehende graue Linie) von Beginn der Vegetationsperiode bis Dezember 2011

Lysimetermonolithen und der durch die unterschiedliche Düngungszufuhr bedingten differenzierten Biomasseproduktion, die sich auf den Bodenwasserhaushalt auswirkt.

Die Ermittlung von Niederschlagsmenge und ET_a erfolgen direkt durch die Erfassung der Masseänderung des Lysimeters. Bei einer Auflösung von einer Stunde kann angenommen werden, dass eine positive Masseänderung in der Regel durch Niederschlag bedingt ist, eine negative Masseänderung durch Evapotranspiration oder direkten Sickerwasserabfluss.

Die *Abbildung 3* zeigt beispielhaft für Lys. 2 die mit dieser Methodik ermittelten Daten für Niederschlag, ET_a und Sickerwassermenge während des Untersuchungszeitraumes im Jahr 2011. Deutlich erkennbar sind geringe ET_a -Werte an Tagen mit nennenswerten Niederschlägen sowie das erste Auftreten von Sickerwasser im Lys. 2 einen Tag nach dem Starkregen am 24. Juli 2011.

Die durch Lysimetermessungen festgestellte Sickerwasserbildung und daraus resultierende Grundwasserneubildung wurde von den chinesischen Fachkollegen nicht erwartet, da die klimatische Wasserbilanz (KWB) des Untersuchungsgebietes hochgradig negativ ist (zwischen -700 und -600 mm).

Kalibrierung des Modells STOFFBILANZ

Zur Beschreibung des Bodenwasserhaushaltes wurde in das Modell STOFFBILANZ der „FAO Crop Evapotranspirati-

on“- Ansatz implementiert (ALLEN et al. 1998). Grundlage bildet die Penman-Monteith-Gleichung zur Berechnung der Gras-Referenzverdunstung. Diese beschreibt die tägliche hypothetische Evapotranspiration von einer standardisierten grasbewachsenen Fläche je Rasterzelle. Die Modellierung der täglichen realen Verdunstung ($ET_{c,adj}$) je Rasterzelle erfolgt unter Berücksichtigung der Gras-Referenzverdunstung, pflanzenspezifischen Koeffizienten, Bodenkoeffizienten und dem Wasserstresskoeffizienten. Sickerwasserraten können damit tagesbasiert und unter Berücksichtigung von Wasserstress anhand von Niederschlägen, Evapotranspirationsraten und Bodenwasserspeicherung berechnet werden.

Abbildung 4 zeigt den Vergleich von Lysimeterbeobachtungsdaten mit Modellergebnissen von STOFFBILANZ für die Fruchtart Mais und das Jahr 2011. Die simulierte Tiefenversickerung stimmt sehr gut mit der im Lys. 2 gemessenen Sickerwassermenge überein. Die durch das Starkregenerereignis vom 24.07.2011 ausgelöste Tiefenversickerung wird sowohl bezüglich des Zeitpunktes als auch der Menge mit hoher Präzision vom Modell widergespiegelt. Des Weiteren werden mit dem Modell die mit dem Lysimeter direkt gemessenen Masseänderungen und die daraus abgeleiteten Verdunstungsraten in ihrem Verlauf und in ihrer Höhe mit hoher Genauigkeit abgebildet. Geringe Abweichungen ergeben sich in der Phase nach der Ernte der Fruchtart Mais im November, wo das Modell die Verdunstung etwas unterschätzt. Für die Kalibrierung wurden die in der Modeller-

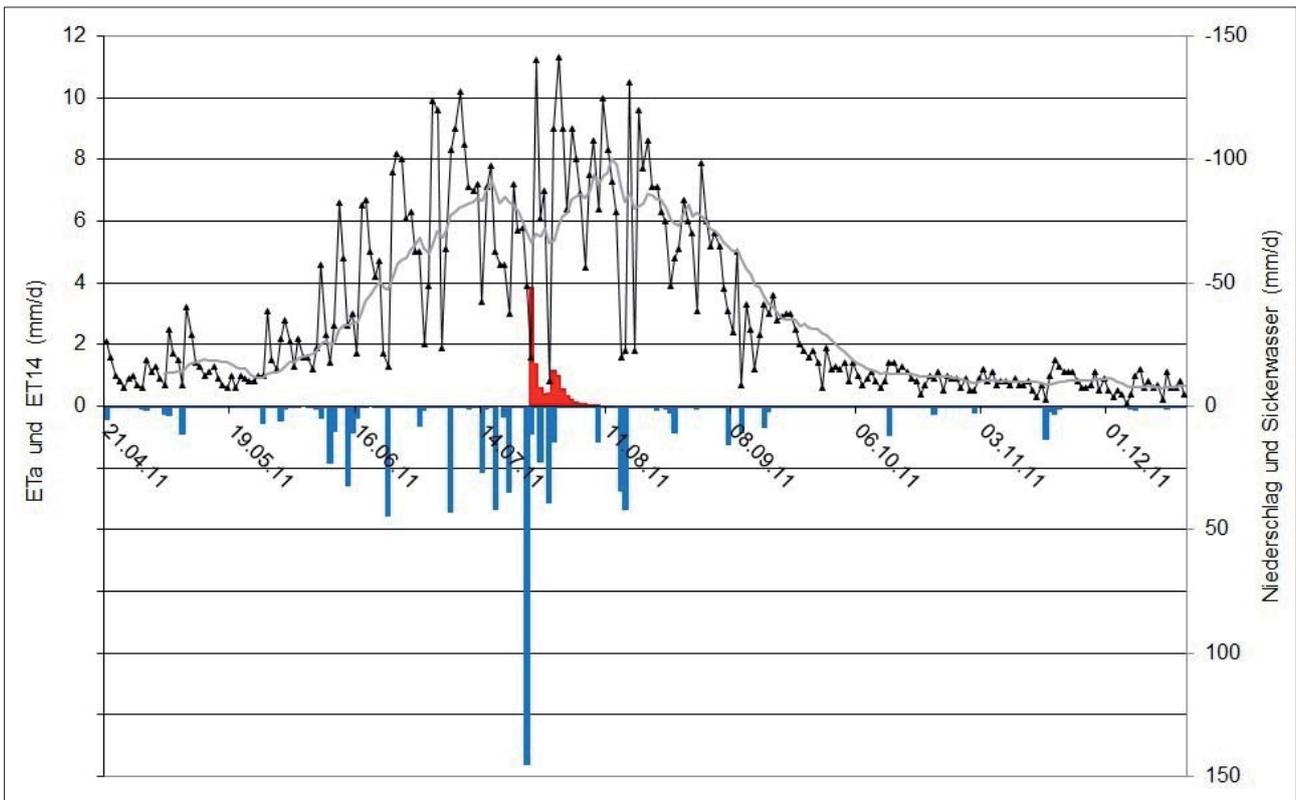


Abbildung 3: Verläufe von Niederschlag (Säulen nach unten), Sickerwassermenge (Säulen nach oben) und tatsächlicher Evapotranspiration E_{Ta} (Tageswerte und 14-Tage-Mittel) für Lys. 2

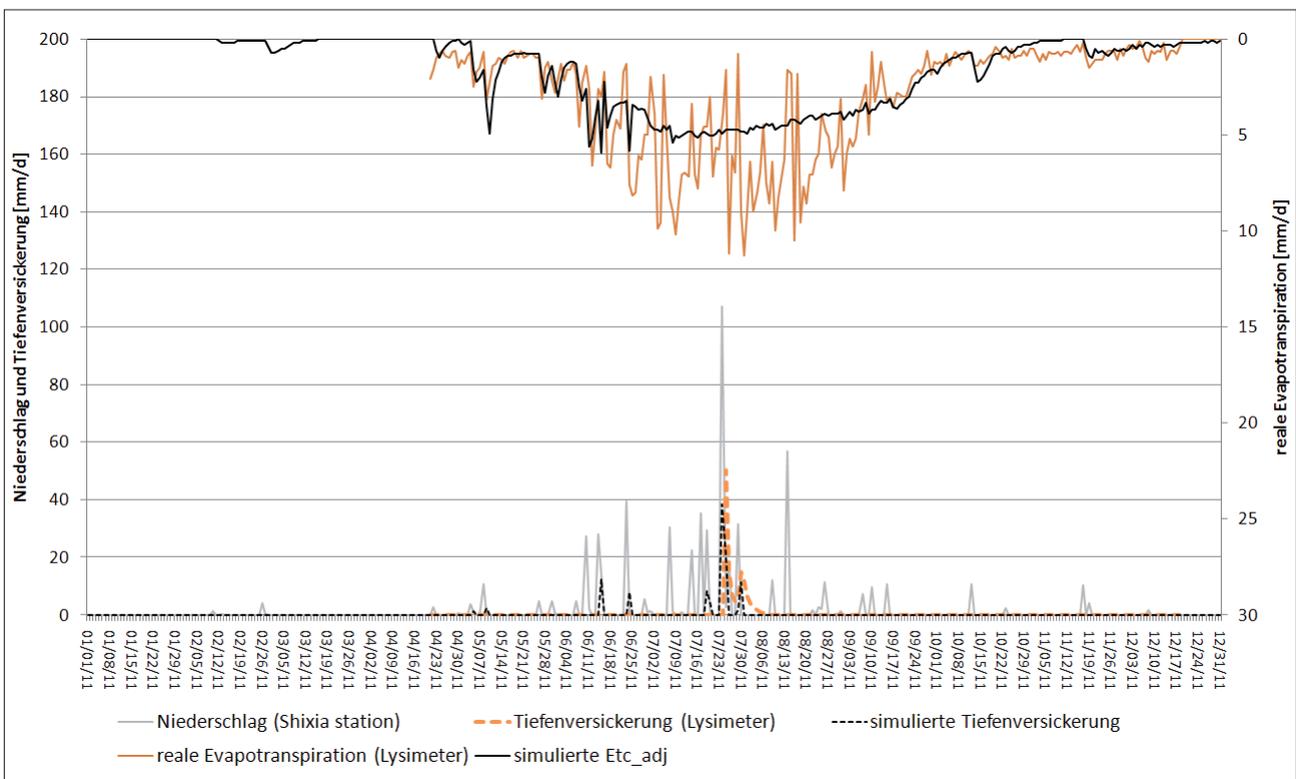


Abbildung 4: Vergleich von Lysimetermess- und Modellierungsergebnissen mit STOFFBILANZ für die Parameter reale Evapotranspiration (E_{Ta} bzw. E_{Tc_adj}) und Tiefenversickerung für 2011

läuterung vorgeschlagenen Pflanzenparameter übernommen (ALLEN et al. 1998). Aufgrund der am Lysimeter festgestellten Abweichungen zwischen Bestandsniederschlag im Maisfeld und korrigiertem Freilandniederschlag nach der Hellmann-Methode wurden die Stationsniederschläge für die Monate Juni bis August um den Faktor 1,15 korrigiert, um das Auftreten von abgesetzten Niederschlägen (Nebel und Tau) im Bestand zu berücksichtigen. Insgesamt erhöhten sich die Niederschläge damit um ca. 60 mm, bezogen auf das Gesamtjahr. Um den Wasserhaushalt auszugleichen, wurde die Gras-Referenzverdunstung für den genannten Zeitraum um 10% vermindert. Beim Vergleich von Lysimetermessung und Modellierung ist weiterhin zu beachten, dass Parameter, wie Sonnenscheindauer und Wind nicht für die entsprechende Klimastation vorlagen und somit Unschärfen in Kauf genommen werden müssen. Insgesamt zeigte sich, dass die spezielle Prozesscharakteristik im Gebiet mit dem Modell zuverlässig abgebildet werden kann und der gewählte Ansatz zur Beschreibung des Wasserhaushaltes für das gesamte Miyun-Einzugsgebiet geeignet ist.

Schlussfolgerungen

Aufgrund der auch im Folgejahr 2012 festgestellten Sickerwasserbildung muss mit einer Verlagerung von Nähr- und Schadstoffen über den Sickerwasser- und Grundwasserpfad gerechnet werden. Dies ist besonders problematisch für die unmittelbar um das Reservoir gelegenen Flächen, denn diese sind durch den Rückgang des Seewasserspiegels entstanden und werden intensiv landwirtschaftlich genutzt.

Innerhalb des hier konzipierten skalenübergreifenden Monitoringansatzes bildeten Lysimeter eine wichtige

Stützstelle zur Kalibrierung des Modells STOFFBILANZ. Es ist vorgesehen, dieses Modell als Grundlage zur Ableitung von nachhaltigen Bewirtschaftungsstrategien für das Miyun-Gebiet zu nutzen und den chinesischen Behörden zur Verfügung zu stellen.

Danksagung

Das diesem Beitrag zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) mit den Förderkennzeichen 02WM1047, 02WM1048, 02WM 1049 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Literatur

- ALLEN, R.G., L.S. PEREIRA, D. RAES and M. SMITH, 1998: Crop Evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, NO 56.
- GEBEL, M., S. HALBFASS, S. BÜRGER, H. FRIESE and S. NAUMANN, 2010: Modelling of nitrogen turnover and leaching in Saxony. Adv. Geosci. 27: 139-144.
- MEISSNER, R., H. RUPP and M. SEYFARTH, 2008: Advances in outdoor lysimeter techniques. Water Air Soil Pollution: Focus 8: 217-225.
- MEISSNER, R., G. OLLESCH, C. KRÖGER, P. ENGELKE, M. GEBEL und S. HALBFASS, 2011: Einzugsgebietsbezogenes Wassermanagement im Miyun-Reservoir – Ein Beitrag zur Sicherung der Trinkwasserversorgung von Peking. Korrespondenz Wasserwirtschaft, 4: 674-679.
- OLLESCH, G., 2009: Erfassung und Modellierung der Schneeschmelzerosion am Beispiel der Kleineinzugsgebiete Schäfertal (Deutschland) und Lubazhinka (Russland). Habilitationsschrift, Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau der TU Bergakademie Freiberg.