

Auswirkungen des Klimawandels auf den Bodenwasserhaushalt in Sachsen - Modellierung und Lysimeterbeobachtungen

Beate Klöcking^{1*}, Ulrike Haferkorn² und Arndt Bräunig³

Zusammenfassung

Auf der Grundlage des Klimaszenarios WEREX IV (ECAM5, A1B, 1961-2100) wurden mit dem Modell ArcEGMO-PSCN nach der Validierung an Lysimetermessungen für repräsentative Böden im Freistaat Sachsen Berechnungen zum Bodenwasserhaushalt durchgeführt. Ziel des Projektes ist die standortbezogene Analyse der Folgen des Klimawandels in verschiedenen Klimaregionen Sachsens für verschiedene Bodenformen und Landnutzungsarten.

Schlagwörter: öko-hydrologische Modellierung, Phänologie, Verdunstung, Sickerwasserraten

Summary

Based on the climate scenario WEREX IV (ECAM5, A1B, 1961-2100) calculations on soil water budget have been done using the model ArcEGMO-PSCN after validation at lysimeter data for representative soils in Saxony. The project aims to analyse site-specifically the impact of climate change on various climatic areas in Saxony with respect to different kinds of soil and land use.

Keywords: eco-hydrological modelling, phenology, evaporation, rates of seepage water

Einleitung/Methodik

Der Bodenwasserhaushalt nimmt eine Schlüsselstellung für viele Fragen der Landnutzung und des Bodenschutzes ein. Auf der Grundlage repräsentativer Boden- und Klimadaten für den Freistaat Sachsen erfolgten deshalb Szenariosimulationen mit dem Ziel, die Auswirkungen eines potenziellen Klimawandels auf den Wasserhaushalt repräsentativer Böden Sachsens besser abschätzen zu können.

Entsprechend der klimatischen Bedingungen in Sachsen wurden acht Klimastationen ausgewählt, denen jeweils sechs, für diese klimatischen Regionen typische, Leitbodenformen (SLULG 2007) zugeordnet wurden. Als Klimaszenarien wurden die mit der Regionalisierungsmethodik WEREX IV auf der Grundlage des globalen Klimamodells ECHAM5 und dem SRES-IPCC-Emissionsszenario A1b für diese Standorte simulierten Normalreihen (nor) genutzt (CEC 2008). Diese Regionalisierungsmethodik verbindet ein objektives Wetterlagenkonzept mit Zeitreihensimulationen und nutzt langjährigen meteorologischen Messdaten an den Beobachtungsstationen des DWD. Für den Kontrolllauf wurde die Periode 1961-2000 genutzt. Dieser dient zur Kalibrierung und Validierung der Regionalisierungsmethodik an das Ist-Klima und erbrachte für die Mehrzahl der Attribute gute Ergebnisse.

Bezüglich der Landnutzung erfolgte eine Beschränkung auf die standardisierten Hauptnutzungsarten Ackerbau (konventionell), Grünland, Laubwald und Nadelwald ohne Berücksichtigung langfristiger Bewirtschaftungsmaßnahmen, jedoch bei Modellierung der Phänologie in Abhängigkeit

von der Witterung. Durch diese Kombination ergeben sich insgesamt 192 Standortvarianten. Außerdem wurden gebietsmorphologische Eigenschaften wie z.B. mittlere Hangneigungen und typische Grundwasserflurabstände in den acht Landschaftsregionen berücksichtigt, da sie neben den vorab genannten Einflussgrößen stark den Bodenwasserhaushalt beeinflussen (Oberflächenabfluss, Interflow und Kapillaraufstieg).

Eine gute Möglichkeit der Qualitätssicherung der modellgestützten Analysen der Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Bodenwasserhaushalt stellt eine Überprüfung der Simulationsergebnisse anhand langjähriger Beobachtungsergebnisse dar. Deshalb wurde eine Modellvalidierung an den Messdaten der Lysimeterstation Brandis (HAFERKORN 2000) zum Bodenwasserhaushalt und der Vegetationsdynamik durchgeführt. Ziel war hierbei vor allem, die Tauglichkeit des genutzten Modells ArcEGMO-PSCN auf der Basis allgemeiner Frucht- und Bodenartspezifischer Parameter für Szenariountersuchungen am Standort nachzuweisen.

Klimatische Bedingungen am Standort Brandis

Die Lysimeterstation Brandis und die Herkunftsflächen der Lysimeterböden liegen in der nördlichen gemäßigten Zone in der Übergangszone zwischen maritimem und kontinentalem Klima in der mitteldeutschen Trockenregion des Norddeutschen Tieflandes (Jahresmitteltemperatur 9.3°C; Jahresniederschlag 660 mm/a). Entsprechend WEREX IV A1b (nor) nehmen im langjährigen Mittel die Niederschläge

¹ Büro für Angewandte Hydrologie, Murnauer Straße 102a, D-81379 MÜNCHEN

² Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Kleinsteinberger Straße 13, D-04821 BRANDIS

³ Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, PF 540137, D-01311 DRESDEN

* Ansprechpartner: kloecking@bah-muenchen.de

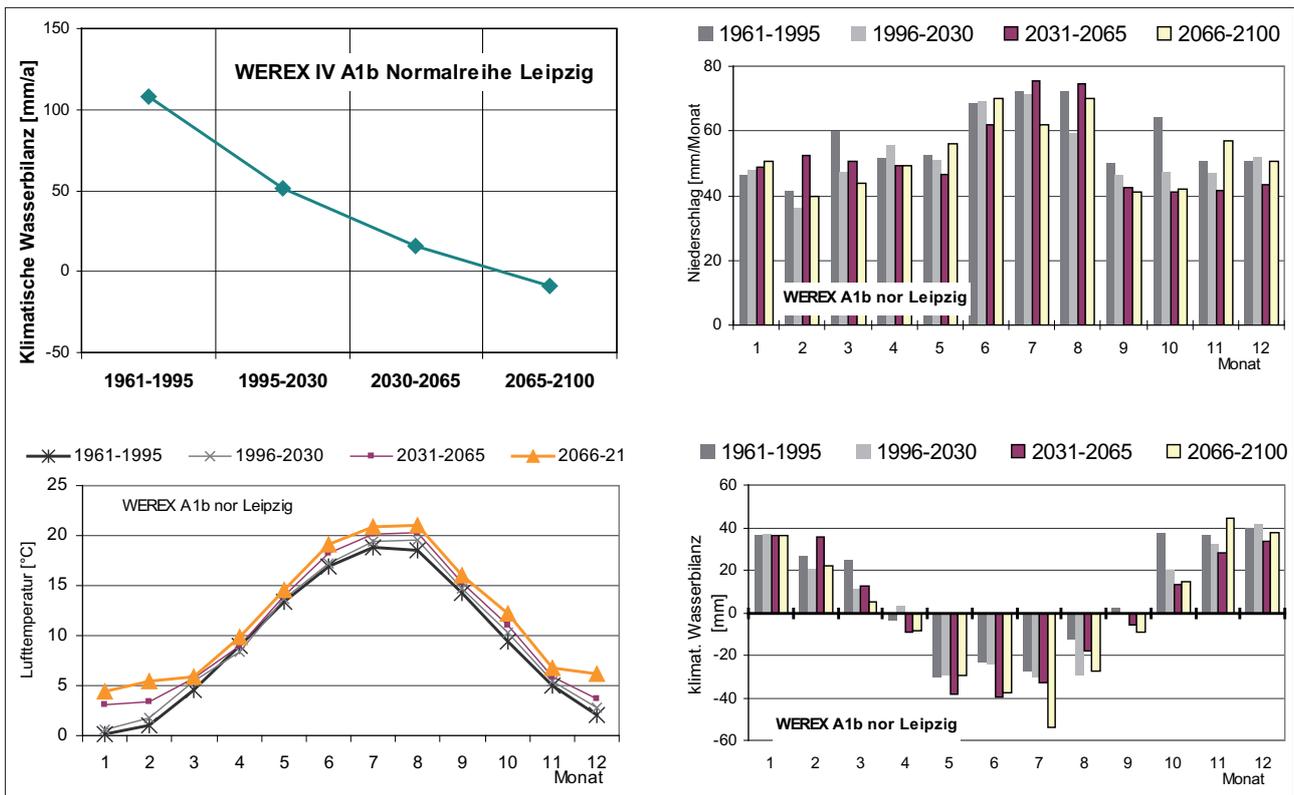


Abbildung 1: Prognostizierte Klimaentwicklung für Leipzig nach WEREX IV A1b (nor), langjähriger Trend und innerjährliche Veränderungen

im Leipziger Raum um 8 % bei gleichzeitigem Anstieg des Verdunstungspotenzials um 11 % ab. Das führt zu einer drastischen Verschlechterung der klimatischen Wasserbilanz als Differenz zwischen Niederschlag und potenzieller Evapotranspiration, wie *Abbildung 1* verdeutlicht. Von April bis September werden die monatlichen klimatischen Wasserbilanzen wie schon bisher im Mittel immer unter Null liegen, aber noch mit deutlich höheren negativen Bilanzwerten.

Das Simulationsmodell ArcEGMO-PSCN

Die Untersuchungen wurden mit dem ökohydrologischen Modell ArcEGMO-PSCN durchgeführt. Dieses primär für die kontinuierliche Simulation der Abflussbildungs- und Abflusskonzentrationsprozesse sowie des Kohlenstoff/Stickstoffhaushalts im Einzugsgebietsmaßstab entwickelte Modell entstand durch die Kopplung des GIS-basierten hydrologischen Modells ArcEGMO (PFÜTZNER 2002, BECKER et al. 2002) mit komplexen Wachstumsmodellen für land- und forstwirtschaftliche Flächen und einem detaillierten Bodenmodell. Die Simulation der Vegetationsdynamik erfolgte in diesem Projekt auf Basis eines Wärmesummenansatzes zur Simulation der phänologischen Entwicklung.

Durch die GIS-Kopplung werden Flächen mit bestimmten Eigenschaften ausgewiesen und flächengenau die einzelnen hydrologischen Teilprozesse simuliert. Dadurch ist es problemlos möglich, dieses Modell auch für Standortsimulationen einzusetzen (s. KLÖCKING et al. 2008).

Modellvalidierung an Lysimetermessungen

Schwerpunkt der Modellvalidierung war neben der Überprüfung der simulierten Sickerwasser- und Verdunstungsdynamik der Test des Vegetationsmodells. Bis auf wenige Ausnahmen stimmen die simulierten Vegetationsperioden gut mit den beobachteten überein. Die Bewertung der simulierten Pflanzenentwicklung erfolgte u.a. indirekt über den Vergleich von simulierter und gemessener Evapotranspiration, da diese neben den meteorologischen Bedingungen und dem Bodenwasservorrat entscheidend vom Vegetationsstatus (Bedeckungsgrad, Wurzeltiefe, Phänophase) bestimmt wird. Auch hier konnte ein befriedigendes Ergebnis erreicht werden.

Von den insgesamt acht Lysimetergruppen der Lysimeteranlage Brandis wurden drei für die Modellvalidierung ausgewählt: LG5 (Erodierte Braunerde BB); LG7 (Braunerde-Pseudogley BB-SS) und LG9 (Parabraunerde aus Löss LL). Es zeigte sich, dass die deutlich unterschiedlichen Verdunstungsleistungen und Sickerwasserverhältnisse der drei Böden gut durch das Modell abgebildet werden. Die absoluten Abweichungen zwischen Simulation und Beobachtung betragen weniger als 20 mm/a im Durchschnitt, was bei der Verdunstung einer prozentualen Abweichung < 10 % entspricht (*Tabelle 1*).

Szenariosimulationen für Leitbodenformen im Leipziger Raum

In die Untersuchungen wurden typische Böden der Region wie eine Pseudogley-Parabraunerde (SS-LL), ein Pseu-

Tabelle 1: Bodentypen in den untersuchten Lysimetergruppen mit nutzbarer Feldkapazität nFK bis 2m Tiefe, mittlere jährliche Sickerwasserspenden SWR in 3 m Tiefe und Verdunstungswerte AET [mm] 1993-2006, MW - Messwert, sim - Simulation

Bodentyp	nFK [mm]	Niederschlag -SWR	AET _{MW}	AET _{sim}	Δ AET [%]	SWR _{MW}	SWR _{sim}
BB	125	455	477	459	-3.8	196	193
BB-SS	270	515	554	535	-3.4	133	119
LL	352	559	610	559	-8.3	72	98

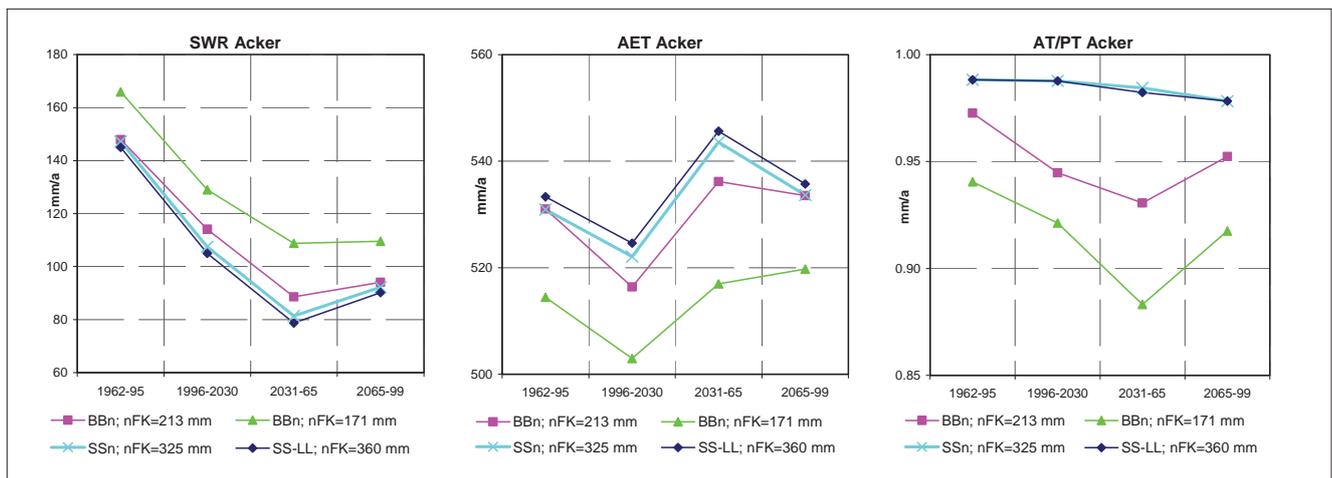


Abbildung 2: Veränderung der Sickerwasserspende, Verdunstung und des Transpirationsdefizits zwischen 1961 und 2100 (WEREX IV A1b nor) im 35 jährigen Mittel unter Ackernutzung

dogley (SSn), zwei Braunerden (BBn) unterschiedlicher Speicherkapazität nFK sowie zwei Auenböden einbezogen. Die Parametrisierung erfolgte bei Berücksichtigung ihrer Nutzung nach SLULG (2007). Entsprechend ihrer unterschiedlichen Eigenschaften wurden für den Referenzzeitraum 1961-1995 Sickerwasserspenden in 2 m Tiefe im Bereich 145 (SS-LL) - 166 (BBn) mm/a und eine mittlere Verdunstung von 514 (BBn) - 533 (SS-LL) mm/a auf grundwasserfernen Standorten simuliert. Die Spannweite ist damit nicht ganz so extrem wie für die beim Modelltest an der Großlysimeteranlage Brandis genutzten Böden.

In *Abbildung 2* sind die für vier nicht grundwasserbeeinflussten Leitbodenformen unter Ackernutzung simulierten Veränderung der Sickerwasserspende, der Verdunstung und des Transpirationsdefizits als Verhältnis zwischen realisierter und potenzieller Transpiration im 35jährigen Mittel unter den Bedingungen des Klimaszenarios WEREX IV A1b (Normalreihe 1961 bis 2100) dargestellt. Entsprechend der Szenarioprognosen führt die kontinuierliche Erwärmung bei gleichzeitiger Abnahme der Niederschläge in dieser, heute schon trockenen, Region zu deutlichen Rückgängen bei der Sickerwasserspende aller untersuchten Böden. Trockenstressbedingte Ertragsverluste bei landwirtschaftlicher Nutzung sind auf Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität (z.B. Braunerden) zu erwarten. Die Abflussspenden dieser Böden werden sich jedoch in geringerem Umfang verändern als in den Böden mit hoher Wasserspeicherkapazität. Es kommt aber zu einer Verschiebung der Aufteilung der Abflusskomponenten zu Lasten der Grundwasserneubildung. Damit besteht hier weiterhin ein hohes Risikopotenzial durch die schnellen Abflusskomponenten nach Starkregenereignissen.

Auf den Pseudogleyen ist auch unter den Bedingungen des A1b-nor-Szenarios auf den meisten Standorten die Versorgung der Feldfrüchte mit Bodenwasser nur mit geringen Einschränkungen gewährleistet. Wesentlich kritischer stellt sich die Situation unter forstlicher Nutzung dar. Hier geht einerseits die Sickerwassernachlieferung drastisch zurück, und außerdem steigt die Wahrscheinlichkeit von Dürreschäden.

Auf den grundwasserbeeinflussten Standorten ist zwar weitestgehend die Versorgung der Pflanzen mit Wasser gesichert. Das ist aber nur durch die Zehreigenschaft dieser Flächen gewährleistet. Somit ist mit einer drastischen Verschlechterung des Gebietswasserhaushaltes zu rechnen.

Große Veränderungen sind entsprechend des WEREX A1b-Szenarios erst in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts zu erwarten. Da jedoch heute schon die Jahresmitteltemperaturen stärker steigen als es durch das IPCC-Szenario A1b 2000 prognostiziert wurde, sollte auch bei der mittelfristigen Maßnahmenplanung die prognostizierte Entwicklung bis 2100 berücksichtigt werden.

Literatur

- BECKER, A., B. KLÖCKING, W. LAHMER and B. PFÜTZNER, 2002: The Hydrological Modelling System ArcEGMO. In: Mathematical Models of Large Watershed Hydrology (Eds.: Singh, V.P. and Frevert, D.K.). Water Resources Publications, Littleton/Colorado, 321-384. ISBN 1-887201-34.
- CLIMATE & ENVIRONMENT CONSULTING (CEC), 2008: Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für den Freistaat Sachsen und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31

- 2010 bis 2100 für die Szenarios B1, A1B und A2 (WEREX IV). Abschlussbericht an das SLULG, Dresden.
- HAFERKORN, U., 2000: Größen des Wasserhaushaltes verschiedener Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung im klimatischen Grenzraum des Mitteldeutschen Trockengebietes - Ergebnisse der Lysimeterstation Brandis. Diss., Fakultät für Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen, 184 S.
- KLÖCKING, B., F. SUCKOW, S. KNOBLAUCH and B. BEUDERT, 2008: Using plot measurement data for the validation of an eco-hydrological river basin model. In: Fank, J., Lanthaler, Ch. (Hrsg.):
- Diffuse Einträge in das Grundwasser: Monitoring - Modellierung – Management. - Beiträge zur Hydrogeologie, Band 56, Graz (in press).
- PFÜTZNER, B. (ed.), 2002: Description of ArcEGMO. Official homepage of the modelling system ArcEGMO, <http://www.arcegmo.de>, ISBN 3-00-011190-5.
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (SLULG), 2007: Bodenatlas des Freistaates Sachsen im Übersichtsmaßstab 1: 200.000, Teil 4: Auswertungskarten zum Bodenschutz, DVD.