

Der Einfluss von Klima- und Landnutzungswandel auf den Wasserhaushalt – Vergleichende Untersuchungen in zwei Flusseinzugsgebieten Sachsen-Anhalts

Dr. Daniel Wurbs

Einleitung und Untersuchungsgebiete

Auf Grundlage der Erkenntnisse zum globalen Klimawandel (HOUGHTON et al. 2001) konnte für Deutschland im 20. Jahrhundert eine durchschnittliche Erwärmung um 0,9°C festgestellt werden. Als räumlich differenzierter ist der Trend der Niederschlagsentwicklung zu bewerten. Einer Niederschlagszunahme im Westen und Süden des Landes steht eine Niederschlagsabnahme in den kontinental geprägten Gebieten Ostdeutschlands, speziell im Sommerhalbjahr, gegenüber (RAPP 2002). Legt man die Ergebnisse regionaler Klimaszenarienmodelle zu Grunde, so ist im 21. Jahrhundert für große Teile des ostdeutschen Raumes von einem Temperaturanstieg um etwa 2°C und einem weiteren Rückgang des Niederschlagsdargebotes im Sommerhalbjahr auszugehen (vgl. u.a. ENKE et al. 2001; GERSTENGARBE 2003; WECHSUNG et al. 2005).

Neben den Erkenntnissen zu Ursachen und Ausmaß von Klimaänderungen stehen vor allem die Folgewirkungen für diejenigen Bereiche im Mittelpunkt des Interesses, welche in direkter Wechselwirkung zum Klimasystem stehen. Hierzu zählt das komplexe Wirkungsgefüge zwischen Klimawandel, Landnutzungsänderungen und Wasserkreislauf, in dem Veränderungen einer dieser Kompartimente tief greifende Auswirkungen auf die anderen Teilbereiche haben können. Dies trifft im Besonderen auf große Teile

des Bundeslandes Sachsen-Anhalt zu, in denen sowohl aufgrund der naturräumlichen und klimatisch-hydrologischen Situation als auch des sich seit Beginn der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts vollziehenden Landnutzungswandels spezielle Ausprägungen klimatischer Veränderungen mit den entsprechenden Folgen für die qualitative und quantitative Sicherung der Ressource „Wasser“ erwarten lassen. Die Auswahl der Untersuchungsräume erfolgte vor dem Hintergrund, die klimatischen Folgewirkungen auf den Wasserhaushalt und das Abflussverhalten der Gewässer unter Berücksichtigung des natürlichen und nutzungsabhängigen Inventars vergleichend zu untersuchen. Hierzu wurden zwei Flusseinzugsgebiete im Saale-Einzugsgebiet ausgewählt, welche sich trotz ihrer räumlichen Nähe diesbezüglich maßgeblich voneinander unterscheiden (Abb. 1). Das im Mitteldeutschen Trockengebiet gelegene Einzugsgebiet der **Querne/Weida** weist durch seine klimatische Lage, in Verbindung mit einer intensiven Flächennutzung (Ackerbau), eine angespannte Wasserhaushaltssituation auf, die sich bereits gegenwärtig in einer langjährig defizitären Wasserbilanz widerspiegelt. Hier sind durch die geplante Wiederentstehung des Salzigen Sees mittelfristig großflächige Nutzungsänderungen mit entsprechenden Auswirkungen auf den regionalen Wasserhaushalt zu erwarten. Demgegenüber lassen sich die im Mittel- und Unterharz gelegenen Bereiche des

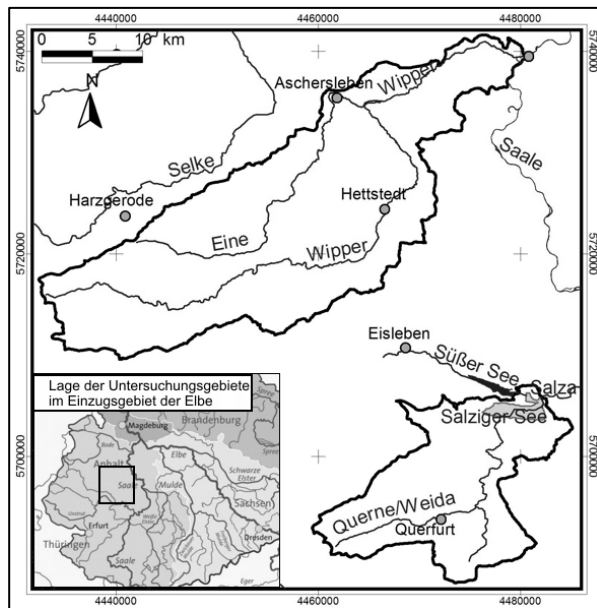


Abb. 1: Lage der Untersuchungsgebiete

Einzugsgebietes der **Wipper** sowohl nutzungsbedingt (hoher Waldanteil) als auch klimatisch und hydrologisch als begünstigt charakterisieren.

Methodischer Ansatz

Die Umsetzung der Untersuchungsziele erforderte die Auswahl und integrative Anwendung verschiedener Methoden und Techniken mit der **hydrologischen Modellierung** als maßgeblichem Bezugspunkt. Unter Verwendung des Modellierungssystems ARC-EGMO (BECKER et al. 2002) wurden GIS-basierte hydrologische Modelle erstellt und verifiziert, auf deren Grundlage zunächst die Bewertung des hydrologischen „Ist-Zustandes“ in den Untersuchungsgebieten für den Zeitraum 1951-2000 erfolgte. Anschließend diente die Anwendung der Modelle auf verschiedene **regionale Klimaszenarien** (2001-2050) der eigentlichen Untersuchung der hydrologischen Folgewirkungen von Klimaänderungen. Neben der Integration von komplexen Klimaszenarien der regionalen Klimaszenarienmodelle STAR (GESTENGARBE & BECKER 2003) und

ECHAM/REMO (REIMER et al. 2003), deren Erstellung im Rahmen des GLOWA-Elbe-Projektes erfolgte (WECHSUNG et al. 2005), wurden hierzu eigene, vereinfachte Klimaszenarien (MAGICC/SCENGEN-Szenario - WIGLEY ET AL. 2000) entwickelt. Ergänzend diente eine beschreibende und semiquantitative Bewertung der Klimaszenarien der Abschätzung ihrer Verwendbarkeit für hydrologische Fragestellungen. Als eine solche kann die Realisierbarkeit der Wiederentstehung des Salzigen Sees, unter Berücksichtigung der an ihn und seinen Abfluss, die Salza, gestellten, ökologisch begründeten Ansprüche gelten. Zur Abschätzung der Bilanzsicherheit wurde auf Grundlage eines **Landnutzungsszenarios** ein **Wasserbilanzmodell** entwickelt, validiert und auf verschiedene Bilanzierungsvarianten angewendet, um sowohl unter gegebenen als auch veränderten klimatischen Bedingungen Aussagen zur Unterschreitungshäufigkeit der hydrologischen Grenzwerte innerhalb ausgewählter Betrachtungszeiträume treffen zu können.

Ergebnisse

Klima- und Abflussveränderungen in den Untersuchungsgebieten

In Abhängigkeit von den verwendeten Klimaszenarien weisen beide Untersuchungsräume für den Zeitraum 2001-2050 Temperaturerhöhungen zwischen 1,1 und 2,7 ° C auf (Tab. 1). Mit unterschiedlichem Ausmaß ist von einem ganzjährigen Niederschlagsrückgang auszugehen, wobei, mit Ausnahme des STAR-Szenarios, einer Zunahme der Winterniederschläge eine umso stärkere Abnahme der Sommerniederschläge entgegensteht, was dem beobachteten Trend in beiden Gebieten entspricht. Vor allem die niederschlagsarmen Regionen im Regenschatten des Harzes sind in besonderem Maße vom Rückgang der Niederschläge betroffen. Als Folge von Temperaturerhöhung und Niederschlagsrückgang erhöhen sich in beiden Untersuchungsräumen Ausmaß und räumliche Verbreitung des Wasserbilanzdefizites im Sommerhalbjahr. Als direkte Konsequenz des verringerten Niederschlagsdargebotes, verbunden mit einem Anstieg der Verdunstungsraten, weisen beide Gebiete einen deutlichen Rückgang der Grundwasserneubildungsraten auf. Dieser spiegelt sich zum einen in einer überdurchschnittlichen Redu-

zierung der Sickerwasserraten in den heutigen Gunstregionen (Mittel- und Unterharz) sowie einer flächendeckenden Ausdehnung der Grundwasserzehrgebiete (Harzvorland, Salziger See) wider. Die Veränderung des Abflussverhaltens der Gewässer, das sowohl durch die klimatischen als auch die hydrologischen und nutzungsabhängigen Randbedingungen maßgeblich gesteuert wird, beweist, dass klimatische Veränderungen keineswegs in gleichem Maße eine Veränderung des Gewässerabflusses zur Folge haben. Trotz des geringeren absoluten Rückganges der Abflussraten (v. a. Grundwasserabfluss) zeigt insbesondere die Querne/Weida überdurchschnittliche Veränderungen im Abflussverhalten (Tab. 2). So weisen die Modellergebnisse für die Querne/Weida auf einen Abflussrückgang um nahezu zwei Drittel für die Klimaszenarien der Modelle STAR und MAGICC/SCENGEN hin. Demgegenüber verringert sich der Gesamtabfluss der Wipper um 54 bzw. 37 %. Noch gravierender sind die Unterschiede beim Niedrigwasserabfluss, der sich in der Querne/Weida um etwa 85 % verringert. Gleichzeitig konnte eine Homogenisierung des innerjährlichen Abflusses und eine Zunahme abflussschwacher Perioden festgestellt werden.

Tabelle 1: Veränderung von Klima und Wasserhaushalt in Abhängigkeit vom Klimaszenario

| Querne/Weida | Temperatur [°C] | Niederschlag [mm] | Klimatische Wasserbilanz [mm] | Grundwasserneubildung [mm] |
|---------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 1951-2000 | 8,7 | 559 | - 18 | 12 |
| MAGICC/SCENGEN | + 1,6 | - 4 | - 76 | - 32 |
| STAR | + 1,1 | - 25 | - 77 | - 32 |
| ECHAM/REMO | + 2,7 | - 11 | - 50 | - 6 |
| Wipper | | | | |
| 1951-2000 | 8,1 | 649 | 112 | 118 |
| MAGICC/SCENGEN | + 1,6 | - 1 | - 73 | - 50 |
| STAR | + 1,1 | - 54 | - 106 | - 74 |
| ECHAM/REMO | + 2,3 | 0 | - 45 | - 15 |

Tabelle 2: Veränderung der Gewässerabflüsse in Abhängigkeit vom Klimaszenario

| Querne/Weida (Pegel Stedten) | Mittlerer Abfluss (MQ) [m³/s] | Mittlerer Niedrigwasserabfluss (MNQ) [m³/s] |
|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------|
| 1951-2000 | 0,280 | 0,133 |
| MAGICC/SCENGEN | 0,094 | 0,021 |
| STAR | 0,093 | 0,020 |
| ECHAM/REMO | 0,232 | 0,102 |
| Wipper (Pegel Mansfeld) | Mittlerer Abfluss (MQ) [m³/s] | Mittlerer Niedrigwasserabfluss (MNQ) [m³/s] |
| 1951-2000 | 1,265 | 0,159 |
| MAGICC/SCENGEN | 0,877 | 0,104 |
| STAR | 0,704 | 0,091 |
| ECHAM/REMO | 1,292 | 0,167 |

Wasserhaushaltsbilanzierung für den Salzigem See

Ausgehend von den vorliegenden Untersuchungen konnte der Salzige See und sein Umfeld als eine Region identifiziert werden, für die bezüglich der perspektivischen Sicherung der Ressource „Wasser“ ein ausgesprochen hoher Handlungsbedarf hinsichtlich möglicher Klimafolgen besteht.

Die Zukunft des 1894 zur Sicherung des Bergbaus trocken gelegten Gewässers ist vorwiegend aus finanziellen Gründen, trotz positiver Landtagsbeschlüsse, zum gegenwärtigen Zeitpunkt ungewiss. Eine mögliche Wiederentstehung des Salzigen Sees lässt, nicht zuletzt unter Berücksichtigung der in über 100 Jahren erfolgten Veränderungen, einen erneuten Eingriff in die bestehenden Ökosysteme und den regionalen Wasserhaushalt erwarten. Um den vielfältigen hydrologischen, ökologischen und nutzungsabhängigen Randbedingungen und Ansprüchen an den See und die durch ihn gespeiste Salza gerecht zu werden, dienen als hydrologische Zielvorgaben ein Mindestwasserstand des Sees von 85,5 mNN ($\pm 0,5$ m) (nach BENDEL 1993 und PFÜTZNER 1997) sowie eine Mindestabgabemenge an die Salza von 0,4 (Oktober-April) bzw. 0,5 m³/s (Mai-September) (nach ARGE HPI-BAH 1998). Im Rahmen der Wasserbilanzmodellierung wurden für den „Ist-Zustand“ 1951-2000 und den Szenarienzeitraum 2001-2050 in Ta-

gesschritten Wasserstand, Speichervolumen und Wasserfläche ermittelt und daraus die tägliche Wasserverfügbarkeit für den Salzigem See und die Salza ermittelt. Dem ging eine umfangreiche Erfassung und Quantifizierung der die zukünftige Wasserhaushaltsbilanz des Salzigen Sees bestimmenden Größen (u. a. Niederschlag, Verdunstung, Zuflüsse, Abwasserbehandlung) sowie eine Validierung des Modells anhand der für das Pumpwerk Wansleben vorliegenden Fördermengen voraus.

Fokussiert man auf die heutigen klimatischen Randbedingungen (1951-2000), so konnte aus den Modellergebnissen für den Salzigem See und sein Umfeld im langjährigen Mittel eine Gewährleistung der erforderlichen Wasserbilanz abgeleitet werden (Tab. 3). Allerdings zeigten die Ergebnisse auch, dass die alleinige Betrachtung mittlerer Verhältnisse unzureichend ist. Die zeitlich differenzierte Analyse ergab, dass, begründet durch die begrenzte Funktion des Sees als Wasserspeicher, in niederschlagsarmen und demzufolge abflussschwachen Perioden eine dauerhafte Sicherung von Mindestwasserstand des Salzigen Sees und Mindestabfluss der Salza nicht gewährleistet werden kann. An durchschnittlich 125 Tagen im Jahr würde der geforderte Wasserstand des Sees zu Gunsten der erforderlichen Mindestabgabemenge an die Salza unterschritten werden (Tab. 3).

Tabelle 3: Kennwerte der Wasserbilanz des Salzigen Sees

| | 1951-2000 | Klimaszenarien 2001-2050 | |
|------------------------------------------------|-----------|--------------------------|----------------|
| | | STAR | MAGICC/SCENGEN |
| Wasserbilanz im langjährigen Mittel | 109 l/s | - 190 l/s | - 183 l/s |
| Anzahl der Jahre mit Bilanzdefizit | 14 | 48 | 50 |
| Unterschreitung Mindestwasserstand (Tage/Jahr) | 125 | 365 | 365 |

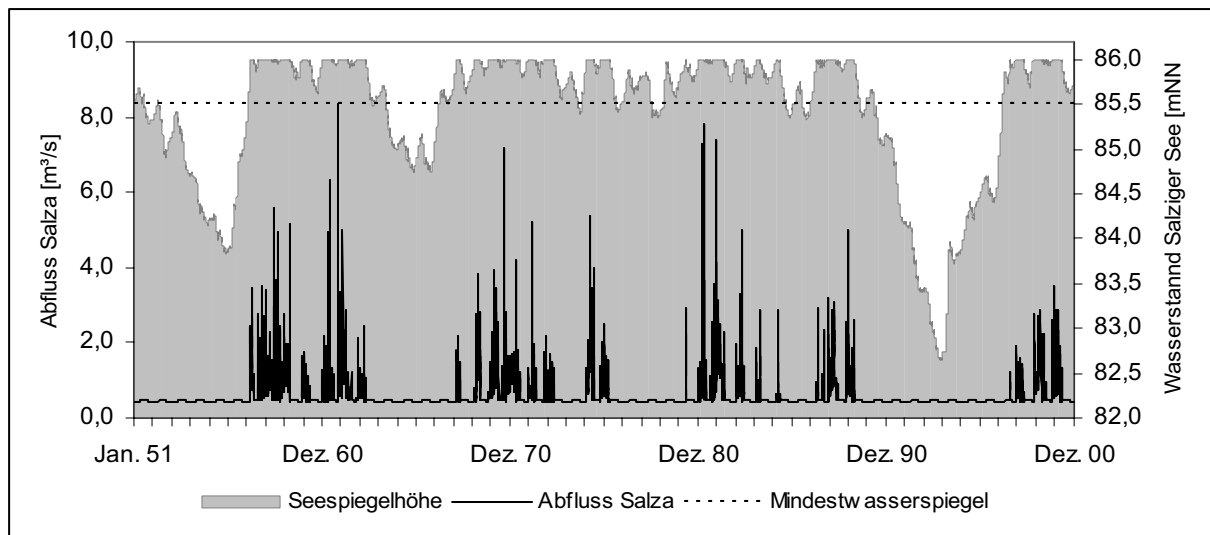


Abbildung 2: Wasserstand des Salzigen Sees und Abfluss der Salza 1951-2000

Speziell für die Jahre 1990 bis 1993 zeigte sich, dass die in diesem Zeitraum um etwa 10 % unter dem Durchschnitt liegenden Niederschlagsmengen und eine damit verbundene Abflussreduzierung im Einzugsgebiet zum Teil gravierende Konsequenzen für die Bilanzstabilität des Salzigen Sees nach sich ziehen würden (Abb. 2).

Bereits die Bilanzierungsergebnisse für den Zeitraum 1951-2000 lassen erkennen, dass unter veränderten klimatischen Bedingungen eine weitere Verschärfung der Wasserbilanzsituation zu erwarten ist. Sowohl die Reduzierung der Gewässerzuflüsse (Tab. 2) als auch die temperaturbedingte Erhöhung der Gewässerverdunstung führen zum einen zu defizitären mittleren Wasserbilanzverhältnissen (Tab. 3). Als Folge führt die uneingeschränkte Abgabe einer ökologisch begründeten Mindestabgabemenge an die Salza (0,4 bzw. 0,5 m³/s) zu einer kontinuierlichen

Ausschöpfung des Wasserspeichers und somit einem Rückgang von Seefläche und Wasserstand bis hin zum vollständigen Trockenfallen des Gewässers. Ab diesem Zeitpunkt würde auch der Abfluss der Salza mit zunehmender Häufigkeit den erforderlichen Mindestabfluss unterschreiten.

Schlussfolgerungen

- Die natürlichen Bedingungen und Landnutzungsverhältnisse gelten als wesentliche Steuerfaktoren für die hydrologische Sensibilität der Untersuchungsgebiete. Dies trifft verstärkt auf Regionen zu, die bereits gegenwärtig eine angespannte Wasserhaushaltssituation aufweisen. Als solche weisen das Einzugsgebiet der Querne/Weida sowie der gesamte Harzvorlandbereich ein besonderes Konfliktpotenzial auf. Dies verdeutlicht, dass im Rah-

men von Untersuchungen zu den Folgewirkungen des regionalen Klimawandels eine verstärkte landschaftsspezifische Betrachtung erforderlich ist.

- Hinsichtlich ihrer Eignung für hydrologische Fragestellungen ließen die eingesetzten Klimaszenarien aufgrund ihrer unterschiedlichen Modellphilosophien Fragen offen, die sowohl die methodischen Ansätze ihrer Entwicklung als auch die Wiedergabe der klimatischen Verhältnisse betreffen. Die hieraus resultierenden Unsicherheiten erfordern deshalb einen kritischen Umgang mit der verwendeten Datengrundlage und eine verstärkte Abschätzung der Plausibilität der Ergebnisse. Insbesondere die Klimaszenarien des ECHAM/REMO-Modells mussten als ausgesprochen unsicher hinsichtlich der Wiedergabe der innerjährlichen Niederschlagsverteilung und der Wiedergabe der Niederschlagstrends bewertet werden.
- Für den Salzigem See und die Salza konnte eine Diskrepanz zwischen den natürlichen Verhältnissen und den hydrologischen Mindestvorgaben ermittelt werden. Deren Gewährleistung erscheint insbesondere während länger anhaltender Trockenperioden fraglich. Eine mögliche Klimaveränderung könnte langfristig die Wasserbilanzstabilität und somit die Existenz des Salzigem Sees, seines Abflusses und somit auch der hier verbreiteten Schutzgebiete gefährden.
- Aus den vielfältigen Handlungsoptionen lassen sich die Verbesserung des Speicher- und Rückhaltevermögens im Einzugsgebiet sowie die Anpassung der Nutzungsansprüche an die gegenwärtigen und sich wandelnden klimatischen Rahmenbedingungen hervorheben, um Extremsituationen zukünftig zu vermeiden oder abzuschwächen.

Literatur

- BECKER, A., KLÖCKING, B., LAHMER, W. und B. PFÜTZNER (2002):** The Hydrological Modelling System ARC/EGMO. – SINGH, V.P. & D.K. FREVERT [Hrsg.]: Mathematical Models of Large Watershed Hydrology. Water Resources Publications, S.321-384. Littleton/Colorado.
- ENKE, W., KÜCHLER, W. & W. SOMMER (2001):** Regionalisierung von Klimamodell-Ergebnissen mittels des statistischen Verfahrens der Wetterlagen-Klassifikation und nachgeordneter multipler Regressionsanalyse für Sachsen. Zusammenfassender Abschlussbericht. Berlin/ Dresden.
- GERSTENGARBE, F.-W. [Hrsg.] (2003):** Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. – PIK-Report 83. Potsdam.
- GERSTENGARBE, F.-W. & P.C. WERNER (2003):** Entwicklung von Klimaszenarien bis 2050 für ausgewählte Flusseinzugsgebiete von Deutschland. Bericht zum GLOWA-Elbe-Teilprojekt. Potsdam.
- HOUGHTON, J.T., DING, Y., GRIGGS, D.J., NOGUER, M., VAN DER LINDEN, P.J. & D. XIAOSU [Hrsg.] (2001):** Climate Change 2001 - The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). – Cambridge Univ. press. Cambridge.
- RAPP, J. (2002):** Regionale Klimatrends in Deutschland im 20. Jahrhundert. – DWD - Deutscher Wetterdienst [Hrsg.] (2002): Klimastatusbericht 2001. S.175-184. Offenbach.
- REIMER, E., SODOUDI, S., MIKUSKY, E. & W. ENKE (2003):** GLOWA-Elbe. Prognose von Temperatur, potentieller Verdunstung und Niederschlag für den Zeitraum 2000-2055 unter Verwendung

von ECHAM/REMO-Simulationen und Neuro-Fuzzy-Modellen. Abschlussbericht zum BMBF-Forschungsprojekt GLOWA-Elbe. Freie Universität Berlin.

WECHSUNG, F., BECKER, A. & P. GRÄFE (2005): Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Weißensee-Verlag. Berlin.

WIGLEY, T.M.L., RAPER, S.C.B., HULME, M. & S. SMITH (2000): The MAGICC/SCENGEN Climate Scenario Generator - Version 2.4. Technical Manual. Climatic Research Unit, UEA, Norwich, UK.

WURBS, D. (2005): Vergleichende Untersuchungen zu den Folgewirkungen von Klima- und Landnutzungsänderungen auf den Wasserhaushalt in Flusseinzugsgebieten. Diss., Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, FB Geographie. Halle.

Dr. Daniel Wurbs
Geoland – Umwelt- & Geodienstleistungen
Herweghstraße 98
06114 Halle (Saale)
info@geoland-halle.de
www.geoland-halle.de