
KLIFF – Klimafolgenforschung in Niedersachsen

Abschlussbericht – Forschungsthema 6: Binnengewässer

Auswirkungen von Klimaänderungen auf Wasserdargebot, Hochwasserrisiko und Gewässerbelastung in Niedersachsen (KLIFWA)

Hannover, 2013

M. Wallner, U. Haberlandt, F. Krause, S. van der Heijden, N. Maier, J. Dietrich, A. Fangmann, M. Gelleszun, K. Förster, M. Gocht, K. Stein, G. Meon, M. Herold, T. Ptak, M. Sauter, V. Spering, F. Verworn, K.H. Rosenwinkel, A. Heuer, S. Lange, C. Forberg, A. Haas, B. Restemeyer, B. Gerkensmeier, M. Anhalt, J. Hölscher

Einleitung

Das Forschungsvorhaben untersuchte die Folgen des Klimawandels auf die Hydrologie und die Wasserbewirtschaftung. Mittels Simulationsmodellen wurden der gegenwärtige Zustand und zukünftigen Prognosen simuliert und die daraus gewonnenen Ergebnisse analysiert. Zusätzlich wurden Anpassungsstrategien erarbeitet. Das Forschungsthema Binnengewässer wurde in die 3 Fachsäulen, Wasserdargebot, Hochwasserrisiko und Gewässerbelastung unterteilt. Die wissenschaftliche und administrative Koordination förderte den Austausch wissenschaftlicher Ergebnisse zwischen den einzelnen Teilprojekten und war in Kombination mit einer weiteren Säule, welche für die wasserwirtschaftliche Planung und den Ergebnistransfer verantwortlich war, an der Datenaufbereitung und -bereitstellung beteiligt. Abbildung 1 (links) zeigt die Vernetzung der einzelnen Teilprojekte.

Als Untersuchungsgebiet wurde primär das etwa 15.000 km² große Aller-Leine-Flusseinzugsgebiet ausgewählt, da es mit seinen physiographischen und klimatischen Charakteristiken repräsentativ für Niedersachsen ist (Abbildung 1, rechts). Desweiteren sind die Mittelgebirgsregionen des Harzes sowohl für das Wasserdargebot als auch das Hochwassermanagement von großem Interesse.

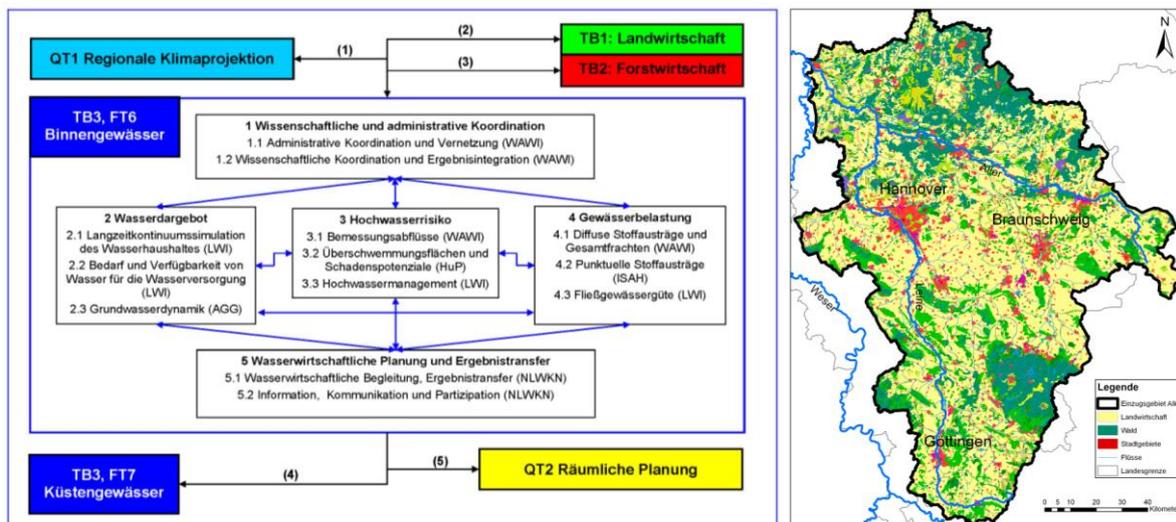


Abbildung 1: Vernetzung der Teilprojekte (links). Aller-Leine-Einzugsgebiet mit Landnutzung und Gewässernetz (rechts).

Die Gliederung des Berichts orientiert sich weitestgehend an der Aufteilung in die verschiedenen Säulen und Teilprojekte. Der Teil Wasserdargebot zeigt Ergebnisse zu dem Wasserhaushalt, -bedarf, -verfügbarkeit, und der Grundwasserdynamik. Das Hochwasserrisiko diskutiert die Entwicklung von Hochwasserabflüssen und das daraus resultierende Schadenspotential, sowie Anpassungsstrategien zum Hochwassermanagement. Das Kapitel der Gewässerbelastung setzt sich aus Studien zu punktuellen Stoffausträgern, diffusen Stoffausträgern und der Fließgewässergüte zusammen.

Wasserdargebot

Zur Quantifizierung von möglichen Auswirkungen des globalen Klimawandels auf den Wasserhaushalt des Aller-Leine-Einzugsgebiets wurde ein flächendifferenziertes hydrologisches Modell erstellt. Dieses Modell umfasst 4.500 Teilflächen, 62.000 Hydrotöpfe, 156 Pegelstationen, 6 Talsperren sowie zahlreiche weitere hydrologisch relevante Bauwerke. Als Modellsystem wurde das Wasserhaushaltsmodell PANTA RHEI verwendet (Riedel et al., 2011). Im Zuge des Projekts wurde das Modellsystem für die Klimafolgenforschung erweitert (z.B. Kreye et al., 2012; Förster et al., 2012). Es wurde ein sehr detailliertes Modell zur Beschreibung des Wasserhaushalts aufgebaut, welches für einen von der Kalibrierung unabhängigen Zeitraum aussagekräftig validiert werden konnte.

Auf Grundlage der A1B Emissionsszenarien der regionalen Klimamodelle REMO-BFG, REMO-UBA (Jacob et al., 2008) und 20 Realisationen von WETTREG2006 (Spekat et al., 2007) wurden anschließend Wasserhaushaltssimulationen für das Aller-Leine-Einzugsgebiet durchgeführt und ausgewertet. Da statistische Auswertungen von Zeitreihen aus Klimamodell Daten auf eine unterschiedliche Ausprägung von möglichen Klimaänderungen in den Jahreszeiten hinweisen, wurden die Saisonalitäten der Wasserhaushaltskomponenten im Detail betrachtet.

Abbildung 2 zeigt für einige Referenzpegel die Mittelwerte der sogenannten Pardé-Koeffizienten, berechnet aus den 20 WETTREG2006-Realisationen. Der Pardé-Koeffizient (Pardé, 1963; Pfaundler, 2006) für den Monat i im Wasserhaushaltsjahr j berechnet sich hier aus dem mittleren Abfluss des Monats i des Wasserhaushaltsjahrs j geteilt durch den mittleren Abfluss des Wasserhaushaltsjahrs j . Die Pardé-Koeffizienten wurden für jeden Pegel für jede der 20 WETTREG2006-Realisationen berechnet und anschließend gemittelt.

Das Ergebnis zeigt eine Zunahme der winterlichen Abflüsse insbesondere in den Monaten Januar und Februar (hohe Pardé-Koeffizienten). Der Übergang zu den nachfolgenden Frühjahrsmonaten ist dabei durch einen markanten Rückgang der Wasserführung gezeichnet. Unabhängig davon nimmt die Abflusshöhe des Winterhalbjahrs gegenüber dem Referenzzeitraum der Vergangenheit zu. Die Ergebnisse weisen damit auf eine insgesamt geringere Bedeutung saisonaler Schneedecken hin. Das Abflussverhalten geht damit, je nach Lage des untersuchten Teilgebiets, stärker in ein pluviales Regime über.

Um mögliche Änderungen der Wasserführung im Sommer einschätzen zu können, wurden zudem Niedrigwasserstatistiken durchgeführt. Die nach Pegeln und verschiedenen Zeiträumen differenzierte Auswertung weist zum jetzigen Zeitpunkt auf keine Änderung typischer Niedrigwasserkenngößen hin.

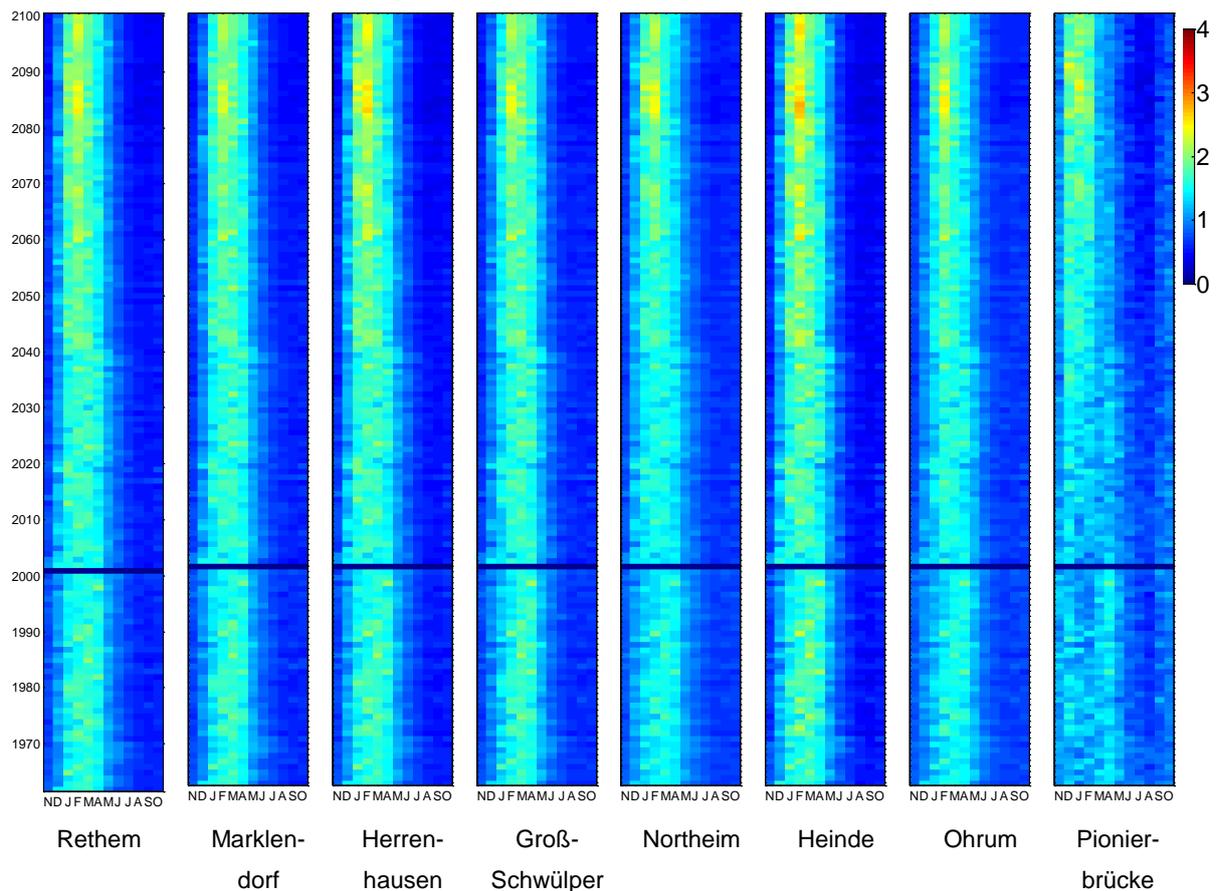


Abbildung 2: Pardé-Koeffizienten für den Abfluss. Zeitraum 1961–2100, das Jahr 2000 (blaue Linie) ist der Übergang von 20C zu A1B. Dargestellt sind die Mittelwerte der Pardé-Koeffizienten aus je 20 WETTREG2006-Realisationen.

Aufbauend auf der Analyse einer klimabedingten Änderung des Wasserhaushalts erfolgte eine flächendifferenzierte Auswertung der Wasserhaushaltskomponenten für das Aller-Leine-Einzugsgebiet. Basis hierfür waren die Ergebnisse der 20 Realisationen von WETTREG2006. Zusätzlich wurde nach einer Analyse des Pro-Kopf-Verbrauchs, für die zeitliche Entwicklung der Bedarfsseite die demografische Entwicklung analysiert.

Wesentlich für die Wasserverfügbarkeit ist die Grundwasserneubildung. Eine Überprüfung der berechneten Grundwasserneubildung mit Beobachtungen ist kaum möglich, da Lysimeterstationen sehr selten sind. Die Bilanzierung rechnerischer Wasserflüsse in PANTARHEI entspricht jedoch der Volumenbilanzierung eines konzeptionellen Grundwasserspeichers. Die zeitliche Änderung dieses Volumens korreliert mit Beobachtungen des Grundwasserstandes, die zahlreich vorhanden sind. Abbildung 3 zeigt exemplarisch für ein Teilgebiet in der Südheide den mittels linearer Regression aus der Simulation abgeleiteten Grundwasserstand und Beobachtungen einer repräsentativen Grundwassermessstelle.

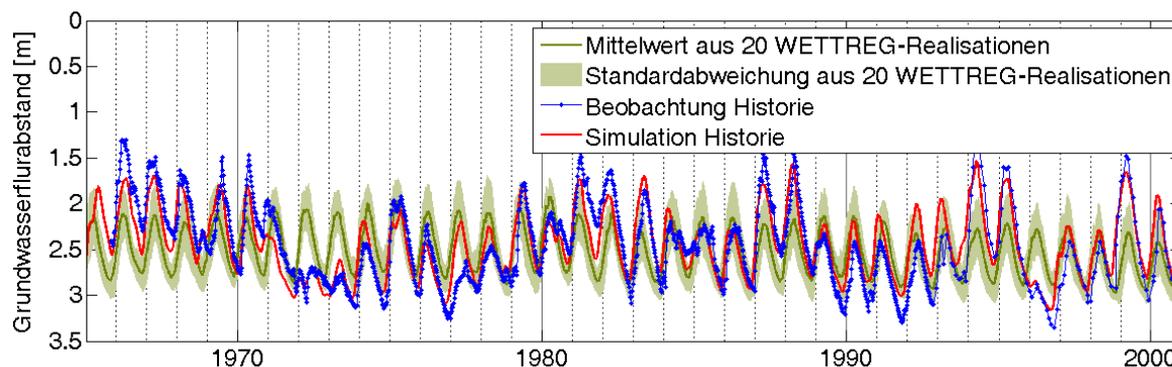


Abbildung 3: Vergleich von beobachteten und mittels linearer Regression aus dem berechneten Grundwasserspeicher ermittelten Grundwasserflurabständen. (Korrelationskoeffizient $R=0,87$).

Für insgesamt 58 untersuchte Grundwassermessstellen konnte im Mittel eine Korrelation von 0,82 erzielt werden. In den meisten Gebieten wurden auf Basis der durchgeführten Simulationen für die WETTREG-Realisationen keine Änderungen der Grundwasservorräte für die Zukunft ermittelt (Tabelle 1). Nur im Osten des Untersuchungsgebiets traten Abnahmen der Grundwasserstände auf. Im Mittelgebirgsraum rund um den Harz deuten die Simulationsläufe auf größere Schwankungen der Grundwasserstände hin. Die leichte Zunahme der Dynamik entsteht durch einen höheren Grundwasserstand im Winter, einhergehend mit einem niedrigeren Grundwasserstand im Sommer.

Tabelle 1: Qualitative Änderung der simulierten Mittelwerte der Füllung des konzeptionellen Grundwasserspeichers und Angaben zur Entwicklung der Dynamik auf Grundlage der PANTA RHEI-Simulationen (WETTREG2006) für ausgewählte Naturräume (Trendanalyse 1971–2100).

Naturraum nach Elsholz und Berger (2003)	Trend Mittelwerte (mit Signifikanztest)	Änderung der Dynamik
Oberharz	→	↗
Harzvorland	→	↗
Obere Leine	→	→
Weser-Aller-Geest	→	→
Südheide	→	→
Ostheide	→	→
Altmark	↘	→
Ost-Braunschweig	↘	→

↗	leichte Zunahme
→	gleichbleibend
↘	leichte Abnahme

Der Wasserbedarf lässt sich in den des privaten, industriellen und landwirtschaftlichen Sektors gliedern. Im privaten Sektor wird ein Rückgang auf 120 Liter pro Einwohner und Tag bis zum Jahr 2020 erwartet. Regionale Bevölkerungsprognosen deuten auf einen starken Rückgang der Bevölkerung im ländlichen Raum und eine leichte Zunahme im urbanen Raum

hin. Insgesamt wird erwartet, dass die Bevölkerung in Niedersachsen bis zum Jahr 2030 um 6% sinkt. Der industrielle Wasserbedarf wird in Kühl- und Brauchwasserbedarf unterschieden. Der Kühlwasserbedarf wird, im Zuge der zunehmenden Umstellung der deutschen Energiewirtschaft auf regenerative Quellen zurückgehen. In den vergangenen Jahren hat die Nutzungseffizienz von Brauchwasser in der industriellen Produktion deutlich zugenommen. Nachdem dieses Potential weitestgehend ausgereizt scheint, ist zukünftig eine Stagnation am wahrscheinlichsten. Der landwirtschaftliche Sektor ist damit der einzige, in dem der Wasserbedarf für Bewässerungszwecke, insbesondere im Sommer, zunehmen kann.

Nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchungen ist eine Zunahme des Wasserbedarfs eher unwahrscheinlich. Regional begrenzte Wassermangelsituationen in der Pflanzenproduktion hingegen sind in der Vergangenheit insbesondere im Sommer bereits aufgetreten und könnten sich in der Zukunft verstärken. Dies deutet sich auch in einer Zunahme der sommerlichen Trockenheit in den Klimamodelldaten an. Die Ergebnisse können nur als eine erste Tendenz gesehen werden. Für Maßnahmenplanungen sind unbedingt weitere Klimaszenarien und Klimamodelle anzuwenden, um die Bandbreite möglicher Unsicherheiten besser bewerten zu können.

In dem Teilprojekt Grundwasserdynamik wurde speziell die Reaktion des Grundwassersystems auf veränderte klimatische Randbedingungen untersucht. Hierfür wurde ein prozessorientiertes, numerisches Simulationsmodell, HydroGeoSphere (Therrien et al., 2010), in hoher zeitlicher Auflösung auf unterschiedlichen Skalen angewandt.

In einem ersten Schritt wurden (hydro-) geologische Informationen gesammelt, ausgewertet und ein hydrogeologisches Konzeptmodell des Aller-Leine-Einzugsgebiets erstellt. Darauf aufbauend wurde das numerische 3D-Modell in HydroGeoSphere erstellt. Das Modell berücksichtigt sowohl die Sättigung als auch den Oberflächenabfluss.

Für großskalige Aussagen wurde ein Modell für das gesamte Aller-Leine-Einzugsgebiet erstellt, für Detailuntersuchungen ein räumlich feiner aufgelöstes 3D-Modell sowohl für das gesamte Teileinzugsgebiet der Böhme als auch für dessen nördlichen Teil. Bei letzterem wurde eine weitere räumliche Verfeinerung zur zusätzlichen Untersuchung von hydrologischen Prozessen im Hangbereich von Flussläufen implementiert. Das Modell des Gesamteinzugsgebiets Aller-Leine, sowie die beiden Ausschnittmodelle wurden anhand historischer Abfluss- bzw. Grundwasserstanddaten über einen Zeitraum von mehreren Dekaden kalibriert und validiert.

Die Simulationen im nördlichen Teileinzugsgebiet der Böhme wiesen darauf hin, dass zukünftige Starkregenereignisse zu prozentual mehr Abfluss, mehr überschwemmter Fläche,

einer temporär erhöhten Grundwasserneubildung und infolge dessen zu mehr Basisabfluss führen können. Untersuchungen zu der Grundwasserneubildung des Gesamteinzugsgebiets der Böhme zeigten, dass sich die Grundwasserneubildung saisonal ändern wird. Grundlage der Simulationen zwischen 2002 und 2050 waren die Klimamodelldaten REMO-BfG und REMO-UBA des A1B Szenarios.

Das Modell des gesamten Aller-Leine-Einzugsgebiets wurde eingesetzt, um den Einfluss der Klimamodelldaten auf das Grundwasserdargebot zu untersuchen. Die Abbildung 4 vergleicht die Änderung der Grundwasserneubildung für REMO-BfG und REMO-UBA. Jedes Teilbild stellt den Durchschnitt einer Dekade dar.

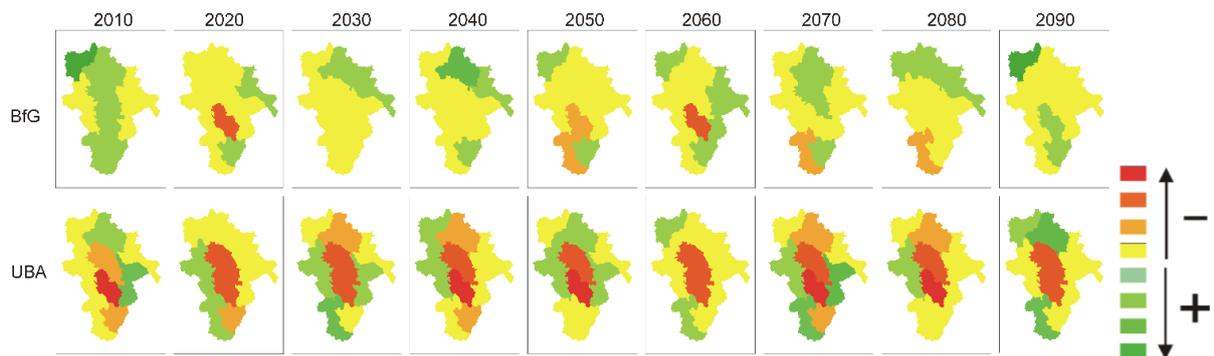


Abbildung 4: Simulierte Änderung in der Grundwasserneubildung für den BfG-Lauf (oben) und für den UBA-Lauf (unten) relativ zur Referenzperiode 1962–1999.

Die Ergebnisse des BfG-Laufs deuten auf leichte regionale Änderungen der Grundwasserneubildung hin. Beim UBA-Lauf wird im Vergleich zur Referenzperiode deutlich weniger Grundwasserneubildung in den Teileinzugsgebieten Innerste und Fuhse simuliert. Abbildung 5 zeigt die simulierte Änderung des Grundwasserstandes relativ zur Referenzperiode (1962–1999). Für beide REMO-Läufe ist ein ähnlicher Trend erkennbar: höhere Grundwasserstände im Süden und äußersten Norden. Die Aussagen zu den Grundwasserständen aus den Teilprojekten Wasserverfügbarkeit und Grundwasserdynamik stimmen nicht in allen Details überein. Es muss allerdings bedacht werden, dass sowohl unterschiedliche Klimamodelle, Gebiete als auch Methoden zu Grunde gelegt wurden.

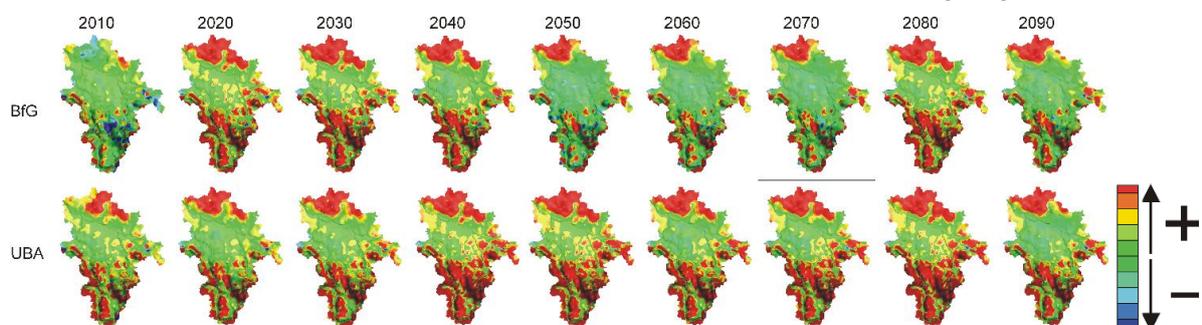


Abbildung 5: Simulierte Änderung im Grundwasserstand für den BfG-Lauf (oben) und für den UBA-Lauf (unten) relativ zur Referenzperiode 1962–1999.

Hochwasserrisiko

Zur Einschätzung bereits sichtbarer Veränderungen bezüglich des Hochwasserrisikos wurde in einem ersten Schritt eine Trendanalyse von Hochwasserindizes (maximal Abfluss, maxQd; Überschreitungsdauer 80%-Quantil, D80; Überschreitungsanzahl 80%-Quantil, N80) für langjährig beobachtete Pegel in Niedersachsen durchgeführt (Abbildung 6). Es zeigten sich überwiegend negative Trends für die Sommerhochwasser, die für ca. 30–40% aller Pegel signifikant sind und überwiegend positive Trends für Winterhochwasser, die jedoch nur für ca. 5–15% aller Pegel signifikant sind (Fangmann et al., 2013).

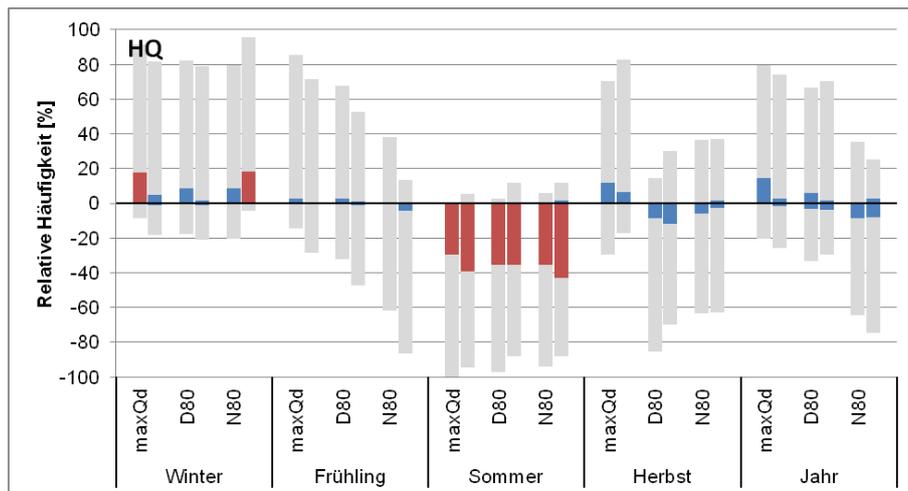


Abbildung 6: Relative Häufigkeit der Trends in den Hochwasserindizes in den Zeiträumen 1951 bis 2005 (linker Balken) und 1966 bis 2005 (rechter Balken). Die Gesamtzahl der Trends ist in grau und der Anteil der lokal signifikanten Trends ($\alpha = 5\%$) in blau angegeben. Feldsignifikante Trends ($\alpha = 5\%$) sind rot markiert (Fangmann et al., 2013).

Trendanalysen basieren ausschließlich auf historisch beobachteten Daten und lassen daher nur bedingt Rückschlüsse auf zukünftige Gegebenheiten zu. Aus diesem Grund wurde das hydrologische Modell HBV-IWW (Wallner et al., 2013) für die Simulation von Hochwasserabflüssen der Vergangenheit und der Zukunft eingesetzt. Die Weiterentwicklung einer Kalibrierungsstrategie, basierend auf der Anpassung der simulierten Extremwertverteilung an die der beobachteten Verteilung (Haberlandt und Radtke, 2013), war in diesem Zuge einer der Arbeitsschwerpunkte.

Nach der Kalibrierung und Validierung des Niederschlag-Abfluss-Modells wurden mit Klimamodelldaten aus REMO-BFG und REMO-UBA (Szenario A1B) die Abflusszeitreihen der Vergangenheit (1971–2000), der nahen Zukunft (2021–2050) und der fernen Zukunft (2071–2100) simuliert. Aus diesen Simulationen wurden die Bemessungsabflüsse bestimmter Wiederkehrintervalle (HQ) ermittelt. Das HQ beschreibt den Spitzenabfluss, welcher statistisch gesehen alle n Jahre auftreten kann, das HQ100 tritt dementsprechend im Mittel alle 100 Jahre einmal auf. Für verschiedene HQ wurden anschließend die

prozentualen Änderungen in den Hochwasserabflüssen ermittelt. Die Untersuchungen wurden an 41 Teileinzugsgebieten des Aller-Leine-Einzugsgebiets durchgeführt, so dass für alle Gebiete die Änderungssignale ermittelt werden konnten (Abbildung 7, links).

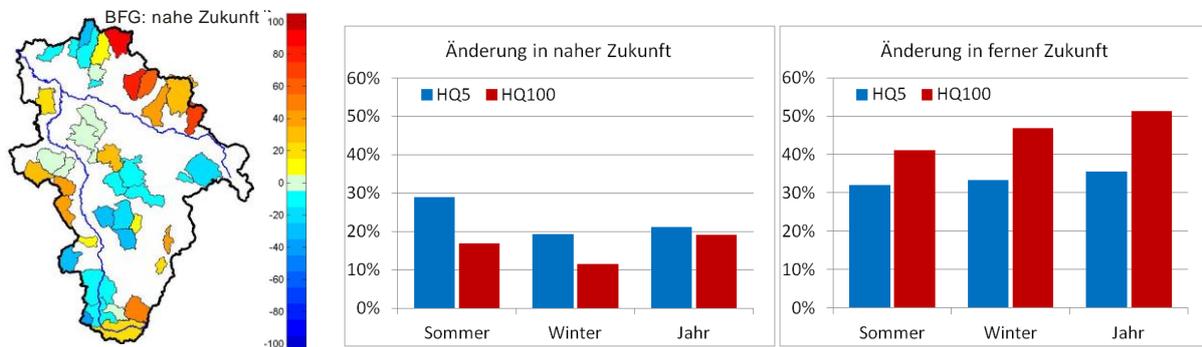


Abbildung 7: Änderungssignal in Prozent des HQ100 der 41 Einzugsgebiete der nahen Zukunft für REMO-BFG (links). Über die 41 Gebiete und 2 REMO-A1B-Läufe gemitteltes Änderungssignal für das HQ5 und das HQ100 der nahen Zukunft (mitte) und der fernen Zukunft (rechts).

Die Änderungssignale der HQ100 sind nicht nur räumlich stark variabel sondern weichen auch zwischen REMO-BFG und REMO-UBA stark voneinander ab. Die hohe Variabilität der Ergebnisse zwischen den beiden REMO-Läufen deutet auf große Unsicherheiten in den Prognosen hin. Eine robustere Aussage liefert die Mittelung des Änderungssignals über alle Teilgebiete und über REMO-BFG und REMO-UBA (Abbildung 7, mitte und rechts). In der nahen Zukunft nehmen im Mittel die kleineren Hochwasser (HQ5) vor allem im Sommerhalbjahr stärker zu als die größeren Hochwasser (HQ100). Die mittlere Änderung der HQ5 variiert je nach Saison zwischen 19% und 29%, die des HQ100 zwischen 11% und 19%. Für die ferne Zukunft nehmen die Hochwasserabflüsse deutlich stärker zu als für die nahe Zukunft. Dieser Anstieg kann zum größten Teil den Simulationen aus dem REMO-UBA-Lauf zugeschrieben werden. Für das HQ100 des Gesamtjahrs wurde eine Erhöhung des mittleren Änderungssignals von 51% ermittelt. Die kleineren Hochwasser (HQ5) würden nach dieser Prognose um 32% bis 36% zunehmen.

Die Simulationen des hydrologischen Modells haben gezeigt, dass nach jetzigem Kenntnisstand die Hochwasser im Aller-Leine-Einzugsgebiet im Mittel zunehmen werden. Dies betrifft die ferne Zukunft im größeren Maße als die nahe Zukunft. Die Trendanalysen bestätigen dieses Ergebnis nur zum Teil. Auf Detailaussagen zu einzelnen Einzugsgebieten muss aus Gründen der Unsicherheiten in den Klimamodelldaten sowie der hydrologischen Modellierung verzichtet werden. Aber auch die Mittelung der hier erzielten Ergebnisse wird für quantitative Aussagen als nicht ausreichend empfunden. Eine Erhöhung der Anzahl der Ensembles globaler und regionaler Klimamodelle wäre ein wichtiger Schritt in Richtung robusterer Prognosen. Desweiteren sollten mehrere Niederschlag-Abfluss-Modelle zum Einsatz kommen, da die Simulation von Extremabflüssen eine große Herausforderung an

das Modellkonzept und den Modellierer stellt und somit eine weitere Quelle für Unsicherheiten ist.

Mit den aus dem Niederschlag-Abfluss-Modell gewonnenen Bemessungsabflüssen wurden anschließend Überschwemmungsflächen und Schadenspotentiale der verschiedenen Perioden (Vergangenheit 1971–2000; nahe Zukunft 2021–2050; ferne Zukunft 2071–2100) simuliert. Hierfür wurden 58 hydraulische 1D-Modelle (HEC-RAS) mit einer Gesamtflusslänge von 994 km erstellt. Die hydraulische Berechnung erfolgte lamellenweise (40 Abflusslamellen je Gewässer), bei denen der Abfluss je Lamelle um 10% erhöht wurde. Die Energielinie als Ergebnis der hydraulischen Berechnung wurde mit dem DGM verschnitten, um die Überschwemmungsgrenzen und Wassertiefen zu erhalten. Durch den Verschnitt der Überschwemmungsgebiete mit den Flächennutzungsdaten wurden unter Anwendung von Vermögenswerten und Schadensfunktionen, in Abhängigkeit von den Wassertiefen, die Schadenspotentiale für die Lamellen ermittelt. Die Zuordnung der Schadenspotentiale zu den zugehörigen Abflüssen in einer umfangreichen Datenbank erlaubte die flexible Abfrage beliebiger Bemessungsabflüsse (z.B. HQ5, HQ100). Der jährlich zu erwartenden Schäden wurden für jedes Gebiet über das Integral der verschiedenen Jährlichkeiten (Wiederkehrintervalle) ermittelt. Die Änderungen der Schäden der Gesamtjahre zwischen der Vergangenheit und der nahen Zukunft bzw. der fernen Zukunft sind in Abbildung 8 für die beiden REMO-A1B-Läufe (BFG/UBA) dargestellt.

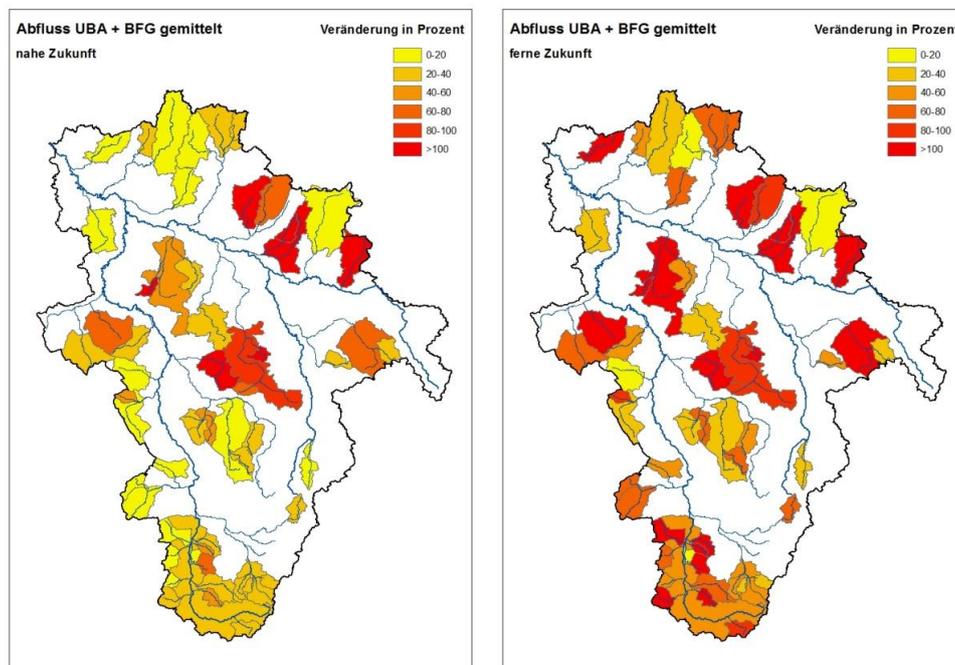


Abbildung 8: Veränderung der jährlichen Schäden mit den gemittelten Abflüssen UBA und BFG der jährlichen Serie des Gesamtjahres der nahen Zukunft (2021–2050) und der fernen Zukunft (2071–2100).

Bei der Ermittlung des jährlich zu erwartenden Schadens haben Veränderungen bei den kleineren (häufigeren) Hochwasserereignissen einen größeren Einfluss als Veränderungen bei größeren (selteneren) Hochwasserereignissen, wie z.B. ein HQ100. Dies lässt sich hauptsächlich durch folgende zwei Punkte begründen. Der Wasserstand der Eintrittswahrscheinlichkeit kleinerer Ereignisse liegt oft an der Ausuferungsgrenze. Bei einer Änderung in diesen Bereichen ist daher auch häufiger mit einer Über- bzw. Unterschreitung der Ausuferungsgrenze zu rechnen. Wird diese Grenze überschritten, kann es besonders in bebauten Bereichen zu erheblichen Schäden kommen, die bei Abflüssen knapp unter der Ausuferungsgrenze nicht auftreten. Zusätzlich fallen die kleineren Ereignisse bei der Integralbildung stärker ins Gewicht als die großen Ereignisse.

Bezogen auf das Gesamtjahr ergeben sich in der nahen Zukunft im Mittel über die 41 Einzugsgebiete Erhöhungen des jährlichen Schadens um rund 25% (Abbildung 9). In der fernen Zukunft ergibt sich eine weitere Steigerung auf ca. 47% bezogen auf die Vergangenheit. Dabei findet die Veränderung für die Winterhalbjahre mit etwa 42% hauptsächlich in der nahen Zukunft statt. Für die ferne Zukunft wird nur noch eine Steigerung auf ca. 46% ermittelt. Im Sommerhalbjahr dagegen ist die Steigerung des jährlichen Schadens kontinuierlicher und nimmt von 22% in der nahen Zukunft auf 42% in der fernen Zukunft zu. Da die Ergebnisse direkt von denen der hydrologischen Modellierung abhängen, sind sie dementsprechend mit den gleichen Unsicherheiten behaftet.

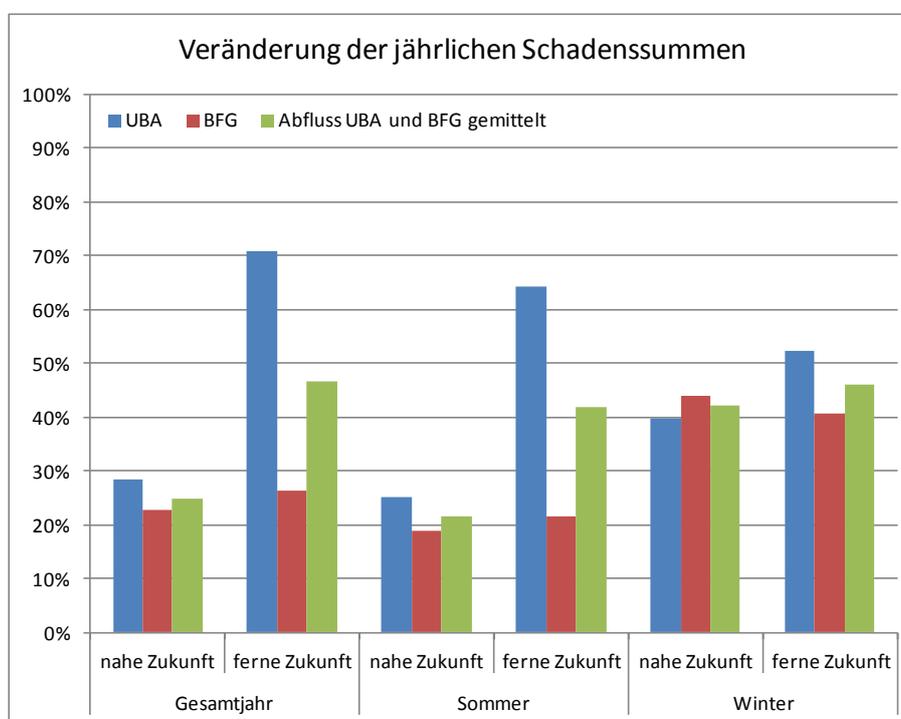


Abbildung 9: Veränderung der jährlichen Schadenssummen aufsummiert über die 41 Gebiete, aufgeteilt nach den beiden REMO-A1B-Läufen UBA und BFG sowie dem gemittelten Abfluss aus UBA und BFG (nahe Zukunft 2021–2050; ferne Zukunft 2071–2100).

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt war die Abschätzung des Einflusses einer Änderung der klimatischen Rahmenbedingungen auf den Betrieb des aus sechs Speichern bestehenden Talsperrenverbundsystems im Westharz. Darauf aufbauend waren Möglichkeiten der Betriebsanpassung mit besonderem Augenmerk auf die veränderte Hochwasserbelastung und unter Berücksichtigung der Multifunktionalität der Talsperren zu ermitteln und zu bewerten.

Eine belastbare Modellierung für das Untersuchungsgebiet konnte nur in Form einer integrierten, zeitlich und räumlich hoch aufgelösten Langzeitkontinuumsimulation erfolgen. Ein Großteil des Teilprojekts befasste sich daher mit der integrierten Simulation des Verbundbetriebs mit dem Wasserhaushaltsmodell PANTA RHEI in Tages- und Stundenzeitschritten, da speziell bei Fragen bezüglich des Hochwassermanagements eine tägliche Auflösung der Simulationen alleine nicht ausreicht.

Die Modellierung mit Klimamodelldaten (REMO-UBA, Szenario A1B) gelang gut für diejenigen Talsperren, deren Einzugsgebiete vom Brocken unbeeinflusst sind und zeigte eine Verschiebung zu nasseren Wintern und trockeneren Sommern. Die Talsperren des Westharzes werden daher in Zukunft stärker für einen Ausgleich zwischen sehr nassen und sehr trockenen Perioden sorgen müssen. Das wird Auswirkungen auf ihr, aus Niedrigwasseraufhöhung, Energieerzeugung, Trinkwassergewinnung und Hochwasserschutz bestehendes Nutzungsspektrum haben. Dem Hochwasserschutz kommt dabei eine Schlüsselrolle zu, da der im Winter zusätzlich vorgehaltene Hochwasserschutzraum das speicherbare Wasservolumen für die trockeneren Perioden des Jahrs limitiert.

Als eines von vielen möglichen Zielen wurde für die Betriebsanpassung eine konstante Hochwassergefährdung der Unterlieger gewählt. Es konnte gezeigt werden, dass eine Anpassung des Betriebs mit dem vorhandenen System technisch machbar ist.

Durch die Abschätzung der Auswirkungen der Betriebsanpassung auf die anderen Nutzungen wurde untersucht in welchem Ausmaß die Anpassung tatsächlich wünschenswert ist. Diesem Vergleich diente eine Überführung der Nutzungen in monetäre Einheiten. Das Hochwasserrisiko konnte exemplarisch für die Ortslage Osterode unterhalb der Sösetalsperre ermittelt werden. Ein neu entwickeltes Verfahren zur Wertermittlung ermöglichte die Schätzung der Exposition anhand der Anzahl von Beschäftigten und Anwohnern. Der Einfluss des demografischen Wandels auf das Hochwasserrisiko war so abschätzbar. Für drei Talsperren des Verbunds zeigt die Untersuchung eine Erhöhung der Energie- und Trinkwasserproduktion durch das zukünftig größere Wasserdargebot im Winter. Dieser Zugewinn geht allerdings durch eine Anpassung des Hochwasserschutzes teilweise verloren.

Für die Sösetalsperre und die darunter befindliche Ortslage wurde daher ein Nutzen-Kosten-Vergleich für eine Projektion der fernen Zukunft (2071–2100) durchgeführt. Die Kosten der Betriebsanpassung in Form von entgangener Wertschöpfung wurde dem Nutzen in Form von verhinderten Hochwasserschäden gegenübergestellt. Die erste Spalte der Abbildung 10 zeigt die gegenwärtigen Werte, die folgenden Spalten die Werte der fernen Zukunft ohne Betriebsanpassung und mit Betriebsanpassung. In der letzten Spalte ist die Differenz der Werte (ohne/mit Betriebsanpassung) zu sehen. Eine auf eine konstante Gefährdung abzielende Verminderung der zukünftigen Spitzenabgaben der Sösetalsperre auf das heutige Niveau führt zu einer Nutzen-Kosten-Relation im Bereich zwischen zwei und drei. Die Betriebsanpassung ist daher ökonomisch vorteilhaft.

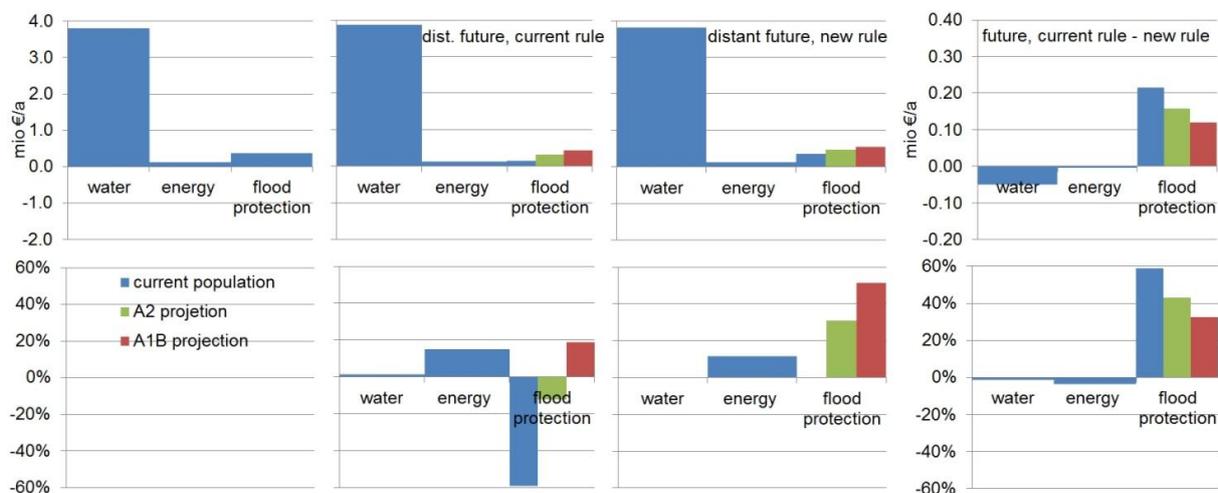


Abbildung 10: Absolute (oben) und relative (unten) Werte für monetäre Änderungen der Nutzungen der Sösetalsperre. Ein Vergleich der fernen Zukunft (2071–2100) mit der Vergangenheit auf Grundlage von REMO-UBA für drei demografische Szenarien.

Eine erweiterte Betrachtung stellt der Risikominderung durch die Betriebsanpassung den vom demografischen Wandel verursachten Rückgang des Risikos gegenüber. Während bei der Betrachtung der Gefährdung allein eine Konstanz des Hochwasserschutzes gegeben scheint, tritt bei der Betrachtung des Risikos eine deutliche Verbesserung des Schutzes hervor. Dies überrascht, ist aber durch den Bevölkerungsrückgang im ländlichen Raum zu erklären. Im Rahmen eines modernen Hochwasserrisikomanagements könnte daher auch eine Erhöhung der Gefährdung (d.h. der Abgaben) diskutiert werden, wenn Hochwasserschutz im Vergleich von Vergangenheit und Zukunft nicht als konstante Gefährdung, sondern als konstantes Risiko definiert wird. Die Verringerung der Spitzenabgaben ist nämlich mit Kosten verbunden; und die Nutzen-Kosten-Relation sinkt mit den geschützten Werten.

Da nur ein Klimamodelllauf die für die Fragestellung nötige Eignung aufwies, konnte die Unsicherheit der Klimamodelle nicht quantifiziert werden. Die genannten Zahlen müssen

daher als Nachweis der prinzipiellen Möglichkeit der Ermittlung gesehen werden, nicht als belastbare Werte für wasserwirtschaftliche Planungen.

Gewässerbelastung

Die Erfassung der punktuellen Stoffausträge aus Siedlungsgebieten ist ein wichtiger Bestandteil zur Beschreibung der Gewässerbelastung. In diesem Zusammenhang werden unter Punktquellen Stoffeinträge aus kommunalen Kläranlagen, Trennkanalisation sowie Einträge durch Mischwasserüberläufe verstanden.

Ziel war es, eine übertragbare Methodik zur Abbildung großer Einzugsgebiete zu entwickeln und dabei beim Modellaufbau ausschließlich auf Basis vorliegender bzw. verfügbarer Daten zu arbeiten. Aufgrund der großen Anzahl von Anlagen und Einleitungen war es nicht möglich, eine umfassende Datenaufnahme durchzuführen. Stattdessen waren angepasste Methoden zu entwickeln, die zum einen die Modellkomplexität möglichst niedrig halten und zum anderen belastbare Aussagen bezüglich der Emission zulassen.

Hinsichtlich der Klassifizierung der Siedlungsgebiete zeigten grobe Auswertungen, dass über 90% der CSB- und Stickstoff- sowie 75% der Phosphoreinträge auf Kläranlagen der Größenklasse 4 und 5 entfallen. Zusätzlich wurden die Frachten in den einzelnen Teileinzugsgebieten bilanziert, um eine Bewertung in Bezug auf die Gewässer durchführen zu können. In Abbildung 11 ist beispielhaft für den Parameter Phosphor im Teileinzugsgebiet der Innerste eine solche Bilanz abgebildet. Auf Grundlage dieser Auswertungen erfolgte eine Gliederung der Datenbasis. Die Anlagen mit erhöhter Relevanz für die Gesamtbetrachtung wurden ermittelt und in Kategorien eingeteilt.

Für die Kläranlagen wurde je nach Datenbestand durch Nachbemessung eine repräsentative Anlage aufgebaut, um eine funktionale Einheit zur Abbildung des Stoffumsatzes darzustellen und einen charakteristischen Tagesgang der Ablaufwerte zu simulieren. Generell wurde angenommen, dass die Einleitungsstellen an die Anforderungen in der Abwasserverordnung (AbwV) gebunden sind. Die Prognose zukünftiger Zustände der Kläranlagen unter veränderten klimatischen Randbedingungen ist stark von anthropogenen Einflüssen und technischen Eingriffen überlagert (MSR-Technik, Anlagenausbau etc.). Für den Eintragspfad Trennkanalisation wurden mittlere Konzentrationen aus der Literatur angesetzt (Brombach und Fuchst, 2003) und Frachten in grober zeitlicher Auflösung simuliert. Nur die Stadt Hildesheim weist einen wesentlichen Anteil an Mischkanalisation auf. Zur Abschätzung der Aussagequalität des entwickelten Modellkonzepts wurden daher Vergleiche mit einem Detailmodell durchgeführt, welche eine positive Übereinstimmung beider Ansätze zeigten.

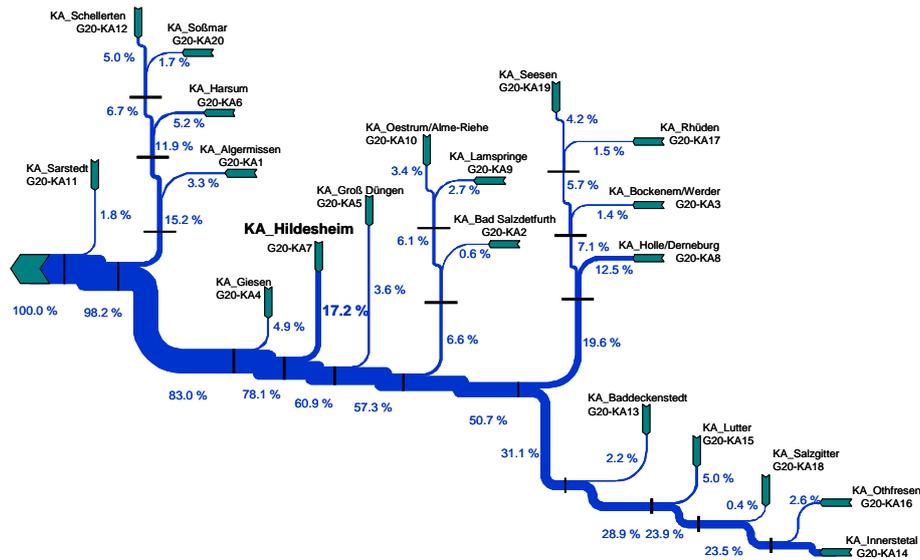


Abbildung 11: Phosphorbilanz der Kläranlagen-Ablaufsrachten im Gebiet der Innerste.

Punktuelle Stoffausträge aus Kläranlagen werden in der Zukunft durch technischen Ausbau auf ähnlichem Niveau gehalten werden können wie gegenwärtig. Für Misch- bzw. Trennkanalisationen müssen weitere Untersuchungen mit einer besseren Datenlage erfolgen um allgemeine Aussagen treffen zu können.

Im Teilprojekt diffuse Stoffausträge und Gesamtfrachten wurden auf mittel- bis großskaliger Ebene Naturräume und Landnutzungssysteme auf die relative Sensitivität des Stoffaustrags untersucht. Um die Auswirkungen der Landnutzung und des Klimas auf den Wasser- und Stoffhaushalt zu simulieren, wurde das dynamische ökohydrologische Modell SWAT (Neitsch et al. 2005) verwendet. Repräsentative Teileinzugsgebiete Niedersachsens wurden in der räumlichen Auflösung der WRRL (10 km²) simuliert. Berücksichtigt wurden unterschiedliche Bewirtschaftungspraktiken (Düngung, Pflügen) und unterschiedliche Feldbewirtschaftungen. Während die Kalibrierung des Wasserhaushalts auf Tagesbasis erfolgte, konnte der Stoffhaushalt, aufgrund der vorliegenden Beobachtungsdaten, nur für Monatswerte kalibriert werden.

Repräsentativ für die unterschiedlichen Naturräume wurde der Wasserhaushalt für die Fuhse (Börde/Lössbörde), Böhme (Lüneburger Heide), Schunter (Börden/Ostbraunschweiges Hügelland) und Obere Leine (Weser- und Leinebergland) für einen Zeitraum von 15 Jahren (1980–1995) kalibriert und validiert (1996–2006). Zur Optimierung wurden Fruchtfolgen implementiert, welche aus Daten zu den Flächenanteilen der Feldfrüchte in einem Vierjahres-Intervall auf Ebene der Gemeinden für den Zeitraum von 1979 bis 2007 gewonnen wurden. Diese dynamische Landnutzung zeigte einen deutlichen Einfluss auf den Wasser- und Stoffhaushalt der Teilgebiete.

Für das Einzugsgebiet der unteren Fuhse wurde die Feldbewässerung in SWAT abgebildet. Vergleiche mit empfohlenen Bewässerungsmengen des Fachverbands Feldbewässerung e.V. (FVF Hannover 2013) für den Zeitraum von 1999 bis 2006 zeigten eine gute Übereinstimmung mit den simulierten Bewässerungsmengen. Die Implementierung der Feldbewässerung verbesserte zusätzlich das Wasserhaushaltsmodell.

In einem ersten Schritt wurde das Modell verwendet, um den Einfluss des Klimaszenarios A1B des REMO-UBA-Laufs auf die Niedrigwasser und den Bewässerungsbedarf zu simulieren. Während für die nähere Zukunft nur geringe Änderungen erwartet werden, ist in der fernen Zukunft (2071–2100) bei einem stärkeren Temperaturanstieg mit häufigerem Auftreten von Niedrigwasser zu rechnen. Unter Verwendung eines Referenzwertes für die Bewässerungsmenge von 25% der Grundwasserneubildungsmenge zeigt sich, dass für das Klimaszenario A1B die Anzahl der Jahre, in denen dieses Limit überschritten wird, zunimmt. Ebenso steigt die durchschnittliche Bewässerungsmenge in der fernen Zukunft (2071–2100) im Vergleich zu der nahen Zukunft und der Vergangenheit deutlich an (Abbildung 12).

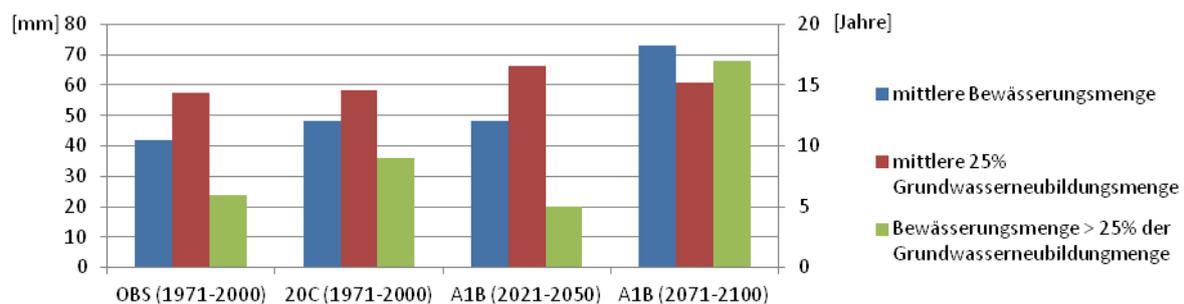


Abbildung 12: Simulierte jährliche Bewässerungsmenge verglichen mit 25% der Grundwasserneubildung (Beobachtungsdaten, Kontrolllauf, mittlere und ferne Zukunft REMO-UBA A1B Szenario).

Unter Verwendung der verschiedenen Fruchtfolgen für die entsprechenden Teilgebiete und unter Berücksichtigung der Düngeempfehlung der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK 2011) konnte die monatliche Nitratfracht in der oberen Fuhse simuliert werden. Unter Annahme einer gleichbleibenden Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen und gleichbleibendem Stoffeintrag aus Punktquellen, konnte ein Anstieg der monatlichen Nitratfracht für die nahe und ferne Zukunft prognostiziert werden (Abbildung 13).

Die Prognosen können aufgrund der Nichtbeachtung der sozio-ökonomischen Entwicklung und der Anwendung nur eines Klimaszenarios nicht direkt für die wasserwirtschaftliche Planung eingesetzt werden. Hierfür wären weiterführende Untersuchungen notwendig.

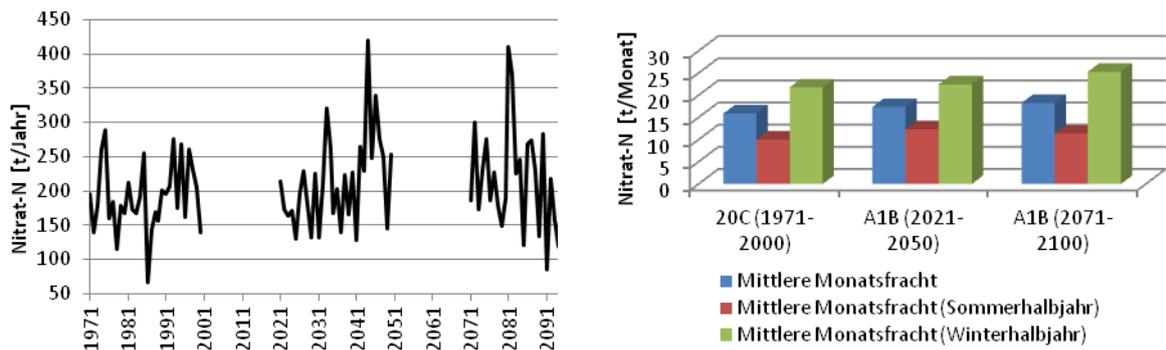


Abbildung 13: Simulierte jährliche Nitratfracht für die obere Fuhse für den REMO-UBA-Lauf unter dem A1B Szenario (links). Simulierte mittlere Monatsfracht der Fuhse (rechts) für den Kontrolllauf (1971–2000), die nahe (2021–2050) und die ferne Zukunft (2071–2100).

Im Rahmen des Teilprojekts Fließgewässergüte wurde eine eindimensionale hydrodynamische Simulation der Wasserqualität für ausgewählte Teilstrecken im Aller-Leine-Einzugsgebiet durchgeführt. Mit diesen Simulationen sollten Aussagen über Tendenzen spezifischer Wasserqualitätsparameter bei sich ändernden Klimabedingungen gemacht werden. Da die Wassertemperatur einen entscheidenden Einfluss auf die Gewässergüte hat, wurde sie in der Untersuchung als zentraler Parameter betrachtet. Zusätzlich gilt die Lufttemperatur, welche in direkter Beziehung zur Wassertemperatur steht, als eine der robustesten Klimavariablen aus den Klimasimulationen.

Bei der Simulation der Wassertemperatur wird die Beschattung durch Ufervegetation meist nur als konstanter Modellparameter berücksichtigt. In Norddeutschland ist aber durch die Dominanz von Laubgehölzen von einer im Jahresgang variablen Beschattung der Fließgewässer auszugehen. Um eine belastbare Szenariensimulation mit einer variablen Beschattung zu ermöglichen, wurde die Ufergehölzvegetation der untersuchten Teilstrecke detailliert kartiert und die Vegetationsperioden im Untersuchungsgebiet aus Phänologiedaten des Deutschen Wetterdienstes ermittelt. Der Modellparameter für die Gewässerbeschattung wurde nach Li et al. (2012) unter Berücksichtigung von Gewässereigenschaften, Vegetationsparametern und Sonnenstand in Abhängigkeit der Vegetationsperiode berechnet. Die Untersuchungen erfolgten entlang einer ca. 38 km langen Teilstrecke der Böhme. Der Aufbau eines eindimensionalen Modells erfolgte anhand von Gewässer- und Geländevermessungsdaten des NLWKN. Zuflüsse zur Teilstrecke wurden im Rahmen der Teilprojekte punktuelle und diffuse Stoffausträge simuliert und als Randbedingungen übernommen. Als treibende Klimagrößen gingen Lufttemperatur, Globalstrahlung, relative Feuchte, Windgeschwindigkeit und Luftdruck in stündlicher Auflösung von der Station Soltau des Deutschen Wetterdienstes in das Modell ein. Für die Simulation der Wassertemperatur wurde ein eindimensionales Modell mit einem deterministischen Energiebilanz-Ansatz verwendet, welches sowohl die Strahlung, die Lufttemperatur und die Wassertemperatur

aller Zuflüsse berücksichtigt. Mit einer vegetationsphasenabhängigen Beschattung konnten die beobachteten Wassertemperaturen durch das Modell sehr gut abgebildet werden.

Um den Einfluss der Gewässerbeschattung auf die Wassertemperatur zu untersuchen, wurden stationäre und instationäre Simulationen mit unterschiedlichen Beschattungen (0, 30, 45, 80 und 100%) im Sommer durchgeführt. Bei geringer Beschattung ist die Wassertemperatur insgesamt höher als bei starker Beschattung. Zudem ist die Tagesamplitude deutlich größer (Abbildung 14). Eine Erhöhung der Gewässerbeschattung um 20% bewirkt eine Reduzierung der mittleren Tagestiefsttemperatur um ca. 0,5 K und der mittleren Tagesmitteltemperatur um ca. 0,7 K. Die mittlere Tageshöchsttemperatur sinkt um ca. 0,8 K. Bei mittlerem Niedrigwasserabfluss ist die Tagesamplitude bei geringer Beschattung noch stärker ausgeprägt, was zu einem häufigeren Auftreten von besonders hohen Wassertemperaturen führt. Die maximale Differenz der Wassertemperatur zwischen vollständig beschatteten und unbeschatteten Verhältnissen betrug im Sommer 2005 bei mittlerem Abfluss etwa 8 K, bei Niedrigwasserabfluss 11 K.

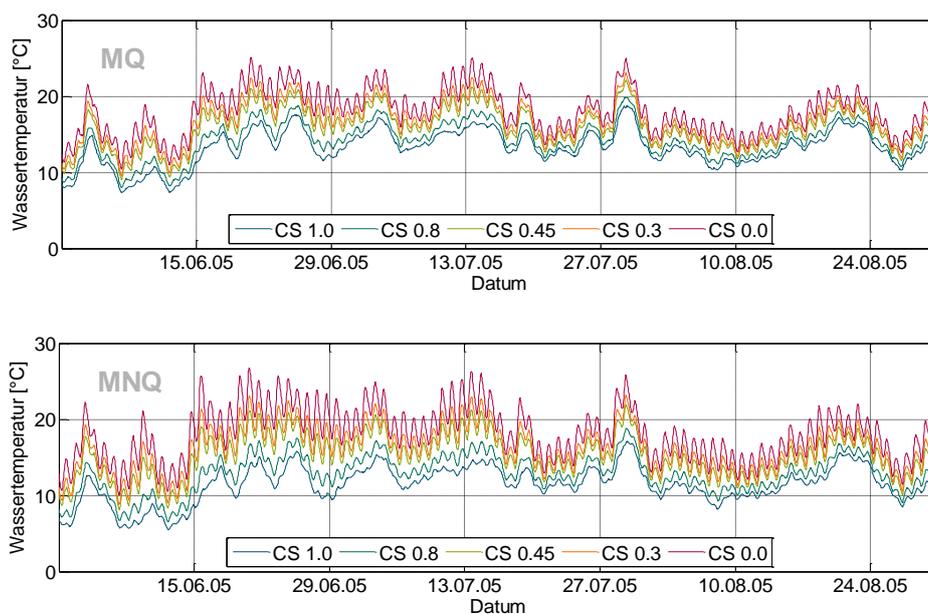


Abbildung 14: Einfluss der Beschattung auf die Wassertemperatur bei stationärem Abfluss (CS - Beschattungsparameter „Canopy Shading“).

Der Einfluss der Beschattung auf die Wassertemperatur scheint größer zu sein als die durch Klimawandel zu erwartende Wassererwärmung. Das Auftreten kritischer Wassertemperaturen kann durch den Ausbau der Ufergehölzvegetation deutlich reduziert werden (Abbildung 15). Positive Nebeneffekte sind eine verbesserte Lösung von Sauerstoff im Gewässer durch geringere Wassertemperaturen, verringerte Makrophyten- und Algenentwicklung durch verringerten Strahlungseinfall sowie eine mögliche Reduzierung von Nährstoffeinträgen durch eine Vegetationspufferzone zwischen landwirtschaftlichen Nutzflächen und dem

Fließgewässer. Daneben unterstützt ein Ausbau der Ufergehölzvegetation die Vernetzung aquatischer und terrestrischer Lebensräume und eine naturnahe Fließgewässerentwicklung.

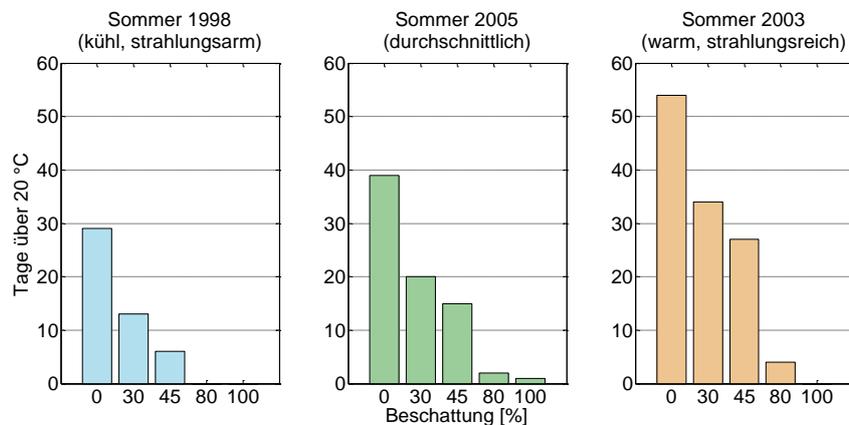


Abbildung 15: Reduzierung des Auftretens kritischer Temperaturen durch Ausbau der Gewässerbeschattung.

Wasserwirtschaftliche Planung und Ergebnistransfer

Eine Aufgabe dieses Teilprojekts bestand in der Zusammenstellung, Aufbereitung, Fortschreibung sowie Bereitstellung der von den Forschungsthemen benötigten wasserwirtschaftlichen Daten sowie Klima- und Geobasisdaten. Zum Erhalt der von den Projektpartnern erzeugten Daten und Ergebnissen wurde vom NLWKN zusätzlich eine Sammlung der Metainformationen initiiert. Die daraus entstandene Übersicht ermöglicht eine Nutzung der Daten über das Projektende hinaus.

Eine weitere Funktion dieses Teilprojekts war der Ergebnistransfer von der Wissenschaft in die Fachpraxis und Verwaltung. Die Schwerpunkte des Ergebnistransfers lagen im Austausch zwischen den unterschiedlichen Arbeitsbereichen der Wasserwirtschaft wie z.B. einer umfangreichen Mitarbeit in den (Unter-) Arbeitskreisen der Regierungskommission Klimaschutz. Im Rahmen dieser Mitarbeit konnten zahlreiche Erkenntnisse in die Veröffentlichungen der Regierungskommission bzw. Landesregierung („Empfehlung für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ 2012 und in die „Klimapolitische Umsetzungsstrategie Niedersachsen“ 2013) einfließen.

Weiterhin fand ein Ergebnistransfer durch die Nutzung der Synergien zum thematisch eng verbundenen, praktisch ausgerichteten KliBiW-Projekt („Globaler Klimawandel – Wasserwirtschaftliche Folgenabschätzung für das Binnenland“) statt.

Die Vernetzung mit anderen, zum Teil externen Forschungsprojekten ähnlicher Fragestellung wurde initiiert und erfolgreich fortgesetzt (z. B. Workshops der IMPLAN-AG: Implementierung von Ergebnissen aus KLIFF in der räumlichen Planung in Niedersachsen

und des MARE-Projekts der Stadt Hannover: Managing Adaptive Responses to changing flood risk).

Die Verbesserung der Information, Kommunikation und Partizipation der niedersächsischen Öffentlichkeit gegenüber Hochwasserrisiken und der damit verbundenen Optimierung der Gefahrenabwehr war ein weiteres wichtiges Ziel des Teilprojekts. Die vorhandenen Sensibilisierungs- und Partizipationsmethoden wurden analysiert und ihre Schwachstellen bzw. fehlenden Angebote ermittelt. Experteninterviews und eine erstmalig in Niedersachsen durchgeführte Online-Bürger-Befragung zum Thema Klimawandel und Hochwasser erfassten den Ist-Zustand zur Sensibilität der Öffentlichkeit gegenüber Hochwasserrisiken und Klimawandel. In den Umfragen wurde z.B. ein erhöhter Informationsbedarf über Hochwasserrisiken in Niedersachsen deutlich. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde ein Maßnahmenkatalog zur praktischen Umsetzung von Sensibilisierungs- und Partizipationsmaßnahmen für die betroffenen Akteursgruppen entwickelt und im Internet unter www.nlwkn.niedersachsen.de veröffentlicht. Im Rahmen von sechs Informationsveranstaltungen des NLWKN zur Umsetzung der Europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL), wurde den betroffenen Fachbehörden, Kommunen und Verbänden Informationsmaterial zum Thema „Hochwasserrisiken bewältigen – Bürger sensibilisieren – Akzeptanz schaffen“ mit dem Hinweis zum Maßnahmenkatalog an die Hand gegeben (Abbildung 16).

Um dem hohen Informationsbedarf der Bevölkerung gerecht zu werden, wurde im Rahmen des KLIFF-Projekts eine Informations- und Kommunikations- (IuK) Plattform im Internet konzipiert und bereits in Teilen umgesetzt. Die o.g. Umfragen ergaben, dass das Internet ein bevorzugtes Informationsmedium darstellt. Die Inhalte orientieren sich an den ermittelten Bedürfnissen der Bevölkerung und Anregungen der Experten. Diese werden ab 2014 über die Website des NLWKN allen Bürgern und Akteuren des Hochwassermanagements zur Verfügung stehen.

Sensibilisierungs- und Partizipationsprozesse im Hochwasserbereich sind eine langfristige Aufgabe und werden auch als Teil der Schulbildung vorgeschlagen. Innerhalb von KLIFF wurde daher eine erste Kooperation mit der Universität Hildesheim (Institut für Geographie) zur Entwicklung von Lehrmaterialien für Klimawandel und Hochwasserrisiko realisiert.

Weitere Beispielmaßnahmen

INFORMATION

- Internetportal
- Fachausstellungen
- Bürgerjournalismus
- Infobroschüren / Flyer
- etc.

KONSULTATION

- Einwohnerfragestunden
- Befragungen / Meinungsbild
- Bürgerforen
- Bürgerbeauftragte
- etc.

MITBESTIMMUNG DER BÜRGER

- Arbeitsgruppen / Arbeitskreise
- Bürgerbegehren (Volksbegehren)
- Hochwasser-Abwehr-Übungen
- Interessensvertretungen durch Bürgerinitiative
- etc.

Ansprechpartner und Kontakt

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
Betriebsstelle Hannover-Hildesheim
An der Scharlake 39, 31135 Hildesheim

Telefon: 05121/509-0 (Zentrale)
E-Mail:
corinna.forberg@nlwkn-hi.niedersachsen.de
markus.anhalt@nlwkn-hi.niedersachsen.de
Internet: www.nlwkn.niedersachsen.de

Die umfassende **Broschüre zum Thema „Hochwasserrisiken bewältigen – Information und Beteiligung der Öffentlichkeit“** mit Beschreibungen der Maßnahmen ist beim NLWKN unter der E-Mail Adresse: corinna.forberg@nlwkn-hi.niedersachsen.de oder markus.anhalt@nlwkn-hi.niedersachsen.de erhältlich und steht zum Download unter www.nlwkn.niedersachsen.de zur Verfügung.

Der **Maßnahmenkatalog** ist innerhalb des **KLIFWA-Vorhabens entstanden** – ein Projekt aus dem Verbundprojekt „Klimafolgenforschung in Niedersachsen (KLIFF)“ gefördert vom Ministerium für Wissenschaft und Kultur.

www.iww.uni-hannover.de/KLIFWA
www.kliff-niedersachsen.de

Stand: August 2013
Foto- u. Abbildungsnachweis: NLWKN

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
NLWKN

Hochwasserrisiken bewältigen
Bürger sensibilisieren und Akzeptanz schaffen

Maßnahmen zur Information und Beteiligung der Bevölkerung in Ihrer Kommune

Niedersachsen

Abbildung 16: Informations-Flyer „Hochwasserrisiken bewältigen“.

Schlussfolgerung

Ein Schwerpunkt des Forschungsprojekts war die (Weiter-) Entwicklung von Instrumentarien zur besseren Abschätzung des Einflusses veränderter Klimarandbedingungen auf Binnengewässer. Die im Folgenden zusammengefassten Strategien bilden einen Auszug der innerhalb von KLIFF entwickelten Methoden, welche für nachfolgende, weiterführende Forschungsvorhaben zur Verfügung stehen.

Neben der Verfeinerung der Abbildung klimarelevanter Prozesse in dem hydrologischen Modell PANTA RHEI (Kreye et al., 2012; Förster et al., 2012) entwickelten Wallner et al. (2013) und Haberlandt und Radtke (2013) neue Methoden für die effiziente und robuste Kalibrierung von hydrologischen Modellparametern für die Klimafolgenforschung. Zur Abschätzung der Grundwasserdynamik wurde ein detailliertes, numerisches 3D-Modell für das gesamte Aller-Leine-Einzugsgebiet erstellt. Gocht (2013) entwickelte eine einfache, an die Randbedingungen angepasste Methodik zur Abschätzung der Werte in Hochwasserrisikoanalysen. Für die Evaluierung punktueller und diffuser Stoffausträge (van der Heijden und Haberlandt, 2010) wurden Simulationsmodelle für das Aller-Leine-Einzugsgebiet erstellt. Die Untersuchung des Einflusses der Ufervegetation auf die

Wassertemperatur wurde durch ein hydrodynamisches Modell und eine naturgemäße Implementierung des Sonnenscheins und der Vegetationsperioden realisiert.

Die Anwendung der vorgestellten Methoden basiert in KLIFF lediglich auf einem Emissionsszenario (A1B) und, je nach Teilprojekt, einer sehr begrenzten Auswahl unterschiedlicher Klimamodelle (WETTREG2006, REMO-BfG, REMO-UBA). Innerhalb dieses Forschungsvorhabens können daher zwar erste Tendenzen gezeigt jedoch keine robusten Aussagen gemacht werden.

Der Wasserhaushalt wird sich demnach saisonal verschieben, wobei die Winterabflüsse zunehmen werden. Saisonale Schneedecken werden in der Zukunft voraussichtlich eine geringere Bedeutung haben. Die Änderung im Grundwasserstand wurde mittels verschiedener Modelle, Methoden und Klimamodelldaten berechnet, wobei die Ergebnisse in Teilen voneinander abweichen. Dies ist ein Indikator der Unsicherheiten, welche sowohl von den Klimamodelldaten als auch den ausgewählten Methoden ausgehen können.

Hochwasserereignisse sowie die daraus resultierenden Schäden pro Jahr werden im Mittel für das Aller-Leine-Einzugsgebiet zunehmen. Regionalspezifische Aussagen sind zum jetzigen Zeitpunkt allerdings nicht möglich. Die Bewirtschaftung der Talsperren im Westharz kann sehr wahrscheinlich an eine Änderung der Klimarandbedingungen angepasst werden. Dies wird Auswirkungen auf die Energie- und Trinkwasserproduktion haben.

Auch die technische Ausstattung der Kläranlagen wird es erlauben, Änderungen des Klimas auszugleichen. Bei den diffusen Stoffausträgen ist mit einem Anstieg der Nitratfracht zu rechnen. Für Fließgewässer wurde eine Strategie erarbeitet, welche eine Kompensation eines möglichen Temperaturanstiegs durch die Beschattung des Gewässers erlaubt.

Der Transfer der gewonnen wissenschaftlichen Erkenntnisse in die Praxis war eine weitere Aufgabe des Forschungsvorhabens. Neben dem Austausch mit Praktikern, Fachbehörden und anderen ähnlichen Forschungsprojekten wurden Konzepte zur Einbeziehung und Information der Bevölkerung erarbeitet.

Die Unsicherheiten in den Ergebnissen der Projektionen wurden von allen Teilprojekten thematisiert, da sie eines der Hauptprobleme darstellen, wenn es um die Ermittlung robuster Aussagen geht. Darüber hinaus sind aber auch die angewandten Methoden bzw. Modelle mit Unsicherheiten behaftet. In beiden Fällen ist ein größeres Ensemble aus mehreren Klimamodelldatensätzen und mehreren Impactmodellen empfehlenswert.

Literatur

- Brombach, H., Fuchs, S. (2003): Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen in Misch- und Trennkanalisationen. KA Abwasser, Abfall 50 (4): 441–450.
- Elsholz, M., Berger, H. (2003): Hochwasserbemessungswerte für die Fließgewässer in Niedersachsen – Abflüsse in hydrologischen Landschaften über Regionalisierungsansätze. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim.
- Fangmann, A., Belli, A., Haberlandt, U. (2013): Trends in beobachteten Abflusszeitreihen in Niedersachsen. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 57, H. 5, 196–205.
- Förster, K., Gelleszun, M., Meon, G. (2012): A weather dependent approach to estimate the annual course of vegetation parameters for water balance simulations on the meso- and macroscale. Adv. Geosci., 32, S. 15–21.
- FVF (Fachverband-Feldberegnung) (2013): Website [Online]. Available from <http://www.fachverband-feldberegnung.de/>
- Gocht, M. (2013): Ein einfaches Verfahren zur Wertermittlung in Hochwasserrisikoanalysen. Wasserwirtschaft 9, 2013, S. 36–41.
- Haberlandt, U., Radtke, I., (2013): Derived flood frequency analysis using different model calibration strategies based on various types of rainfall-runoff data – a comparison. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 10(8): 10379–10417.
- van der Heijden, S., Haberlandt U. (2010): Influence of spatial interpolation methods for climate variables on the simulation of discharge and nitrate fate with SWAT. Adv. Geosci. 27, 91–98.
- Jacob, D., Göttel, H., Kotlarski, S., Lorenz, P., Sieck, K., (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. UBA Forschungsbericht 204 41 138, UBA-FB 000969: 1–159.
- Kreye, P., Gelleszun, M., Meon, G. (2012): Ein landnutzungssensitives Bodenmodell für die meso- bis makroskalige Wasserhaushaltsmodellierung. In: Weiler, M. (Hrsg.): Wasser ohne Grenzen. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Heft 31.12, S. 25–30.
- Li, G., Jackson, C. R., Kraseski, K. A. (2012): Modeled riparian stream shading: Agreement with field measurements and sensitivity to riparian conditions. Journal of Hydrology 428–429: 142–151.
- LWK, Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2011): Richtwerte für die Düngung in Niedersachsen. Stand Januar 2011.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R. (2005): Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation. Blackland Research Center, Temple, Texas.

-
- Pardé, M. (1963): Fleuves et rivières. Colin, Paris, 223 Seiten.
- Pfaundler, M., Weingartner, R., Diezig, R. (2006): „Versteckt hinter den Mittelwerten“ – die Variabilität des Abflussregimes. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 50 (3), S. 116–123.
- Riedel, G., Meon, G., Förster, K., Lange, S., Lichtenberg, T., Anhalt, M. (2011): Panta Rhei – Hydrologisches Modellsystem für Forschung und Praxis in Niedersachsen. In: Blöschl, G., Merz, R. (Hrsg.): Hydrologie & Wasserwirtschaft – von der Theorie zur Praxis. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Heft 30.11, S. 386.
- Spekat, A., Enke, W., Kreienkamp, F. (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Endbericht, Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes FuE-Vorhaben Förderkennzeichen 204 41 138, Potsdam.
- Therrien R., McLaren, R., Sudicky, E., Panday, S. (2010): HydroGeoSphere – A three-dimensional numerical model describing fully-integrated subsurface and surface flow and solute transport. University of Waterloo and Université Laval, Canada.
- Wallner, M., Haberlandt, U., Dietrich, J., (2013): A one-step similarity approach for the regionalization of hydrological model parameters based on Self-Organizing Maps. Journal of Hydrology, 494(0): 59–71.