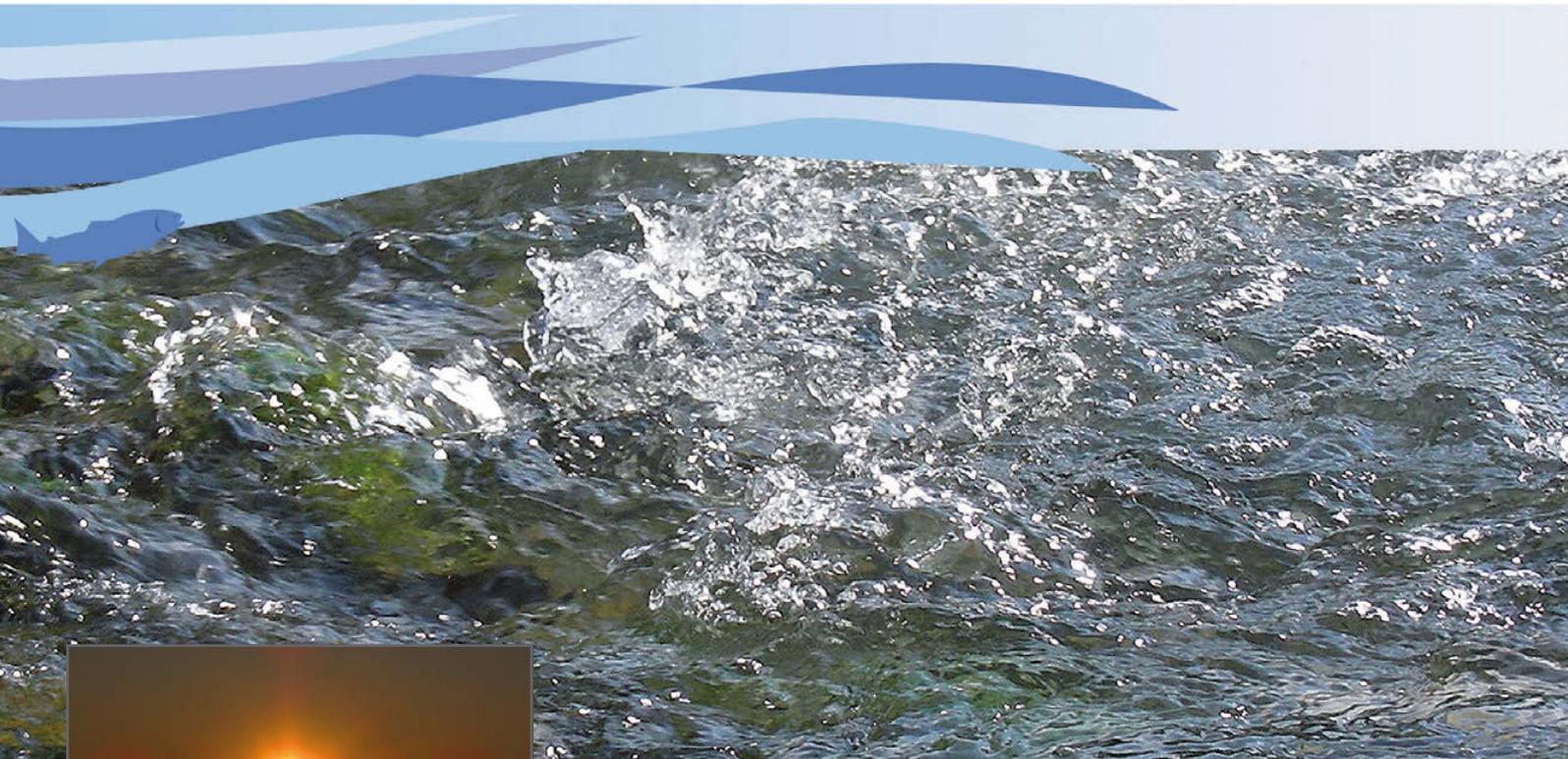


# Informationsdienst Gewässerkunde | Flussgebietsmanagement 1/2018



Niedersächsischer Landesbetrieb für  
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz



## Der Klimawandel und seine Folgen für die Wasserwirtschaft im niedersächsischen Binnenland

Erkenntnisse aus dem Projekt KliBiW  
(im Bereich Hochwasser)



**Niedersachsen**

## Aufbau von Kompetenzen in Sachen Klimafolgen beim NLWKN: Motivation und bisherige Schwerpunkte

Das Wissen um den Klimawandel, sein Einfluss auf vergangene und aktuelle Abflussverhältnisse sowie seine möglichen Folgen für die Wasserwirtschaft in der Zukunft müssen als wichtige Bausteine innerhalb einer nachhaltigen Hochwasservorsorge gesehen werden. Der NLWKN hat sich dieser Aufgabe angenommen und arbeitet dabei Hand in Hand mit Partnern aus der fachlichen Praxis und der Wissenschaft sowie mit politischen Entscheidungsträgern. *Von Uwe Petry, Christine Schnorr und Markus Anhalt, NLWKN Betriebsstelle Hannover-Hildesheim*

### Inhalt

<b>Aufbau von Kompetenzen in Sachen Klimafolgen beim NLWKN: Motivation und bisherige Schwerpunkte</b>	<b>S.2</b>
<b>Klimaszenarien und – modelle: die Basis für den Blick in die Zukunft</b>	<b>S.4</b>
<b>Das Projekt KliBiW: Rahmenbedingungen und (Daten) Grundlagen</b>	<b>S.5</b>
<b>Erkenntnisse zur bisher beobachteten Situation von Klima und Hochwasser in Niedersachsen</b>	<b>S.6</b>
<b>Erkenntnisse zur zukünftigen Hochwassersituation in Niedersachsen</b>	<b>S.9</b>
<b>Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen (für den Gewässerkundlichen Landesdienst)</b>	<b>S.10</b>
<b>Neue Broschüren: „Zukünftige Veränderungen klimatischer Kenngrößen in Niedersachsen“ und „Globaler Klimawandel - Wasserwirtschaftliche Folgenabschätzung für das Binnenland (Hochwasser)“</b>	<b>S.12</b>

In der (jüngeren) Vergangenheit standen Hochwasserereignisse in Niedersachsen immer wieder im Mittelpunkt der öffentlichen Aufmerksamkeit. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang z.B. die Ereignisse an der Elbe in den Jahren 2002, 2006 und 2013. Aber auch im südlichen Niedersachsen haben Hochwasser wie das an der Innerste 2007 bzw. zuletzt an Aller, Leine, Oker und Innerste im Mai 2013 und im Sommer 2017 zu erheblichen Schäden geführt. In der öffentlichen Wahrnehmung scheinen diese Ereignisse in den letzten Jahren stetig zugenommen zu haben. Die Frage, ob es sich hierbei bereits um spürbare Auswirkungen eines sich wandelnden Klimas handelt, ist nicht so ohne Weiteres zu beantworten.

Der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen der Vereinten Nationen (Intergovernmental Panel on Climate Change, kurz IPCC) fasst in regelmäßigen Abständen die aktuellen Erkenntnisse der weltweiten Klimaforschung in Berichtsform zusammen. In den zuletzt erschienenen Sachstandsberichten von 2007<sup>1</sup> und 2014<sup>2</sup> steht, dass ein vom Menschen verursachter Klimawandel wissenschaftlich erwiesen ist und derzeit stattfindet. Im Zuge dessen kommt es u.a. zu einer globalen Erwärmung auf der Erde und in der Atmosphäre. Diese wiederum besitzt das Potential, Veränderungen bzgl. der Häufigkeit und Intensität von Extremereig-

nissen hervorzurufen. Es wird allerdings auch betont, dass diese Auswirkungen regional unterschiedlich ausfallen können.

Die Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (Richtlinie 2007/60/EG) und die EG-Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG) sehen die Berücksichtigung der voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf das Auftreten von Hochwasser, bei der Bewirtschaftung von Gewässern und in der wasserwirtschaftlichen Planung vor. Entsprechende Regelungen sind in den aktuellen Fassungen des Wasserhaushaltsgesetzes und des Niedersächsischen Wassergesetzes umgesetzt. Ebenso sieht die Klimaschutzstrategie des Landes Niedersachsen neben Maßnahmen zum Klimaschutz auch Anpassungsstrategien vor, um die Gefahren des globalen Klimawandels zu mindern.

Aus diesen Gründen beschäftigt sich der NLWKN seit gut 10 Jahren mit dem Themenkomplex des Klimawandels und seiner möglichen Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft in Niedersachsen. Bereits seit 2009 war der NLWKN Bestandteil der vom Land Niedersachsen eingesetzten Regierungskommission Klimaschutz. Diese hat in Zusammenarbeit mit Vertretern von Behörden, Wissenschaft, Verbänden und Unternehmen u.a. Empfehlungen für eine niedersächsische Klimaschutzstrategie<sup>3</sup>

1 IPCC (2007): Klimaänderung 2007: Synthesebericht. Berlin, ISBN 978-3-00-025397-3.

2 IPCC (2014): Klimaänderung 2014. Synthesebericht Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [Hauptautoren, R.K. Pachauri und L.A. Meyer (Hrsg.)]. IPCC, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016.

3 Regierungskommission Klimaschutz (2012): Empfehlung für eine niedersächsische Klimaschutzstrategie. Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz (Hrsg.), Hannover.

bzw. Klimaanpassungsstrategie<sup>4</sup> erarbeitet. Etwa zur gleichen Zeit wurde der NLWKN als Vertreter für Niedersachsen Bestandteil der Bund-Länder-Fachgespräche „Interpretation von Klimamodelldaten“ und „Klimafolgen“. Diese Veranstaltungen dienen dem informellen Erfahrungsaustausch von Landesbehörden und -ministerien in Kooperation mit Einrichtungen der Klimamodellierung, wie dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und dem Climate Service Center Germany (GERICS), sowie dem Umweltbundesamt (UBA). Aus diesen Fachgesprächen sind u.a. die „Leitlinien zur Interpretation von Klimamodelldaten“<sup>5</sup> hervorgegangen. Seit 2013 ist der NLWKN Portalpartner beim Klimanavigator. Hierbei handelt es sich um einen Zusammenschluss von Forschungseinrichtungen und Fachbehörden in Deutschland, die als Vertreter der deutschen Klimaforschung den Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Verwaltung einen verständlichen Überblick über Erkenntnisse der klimarelevanten Forschung in Deutschland vermitteln wollen. Die entsprechenden Informationen werden auf der gleichnamigen Internetplattform präsentiert. Außerdem

ist der NLWKN Teil des 2016 gegründeten Klimakompetenznetzwerkes Niedersachsen (KKN). Dieses besteht aktuell aus dem Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (MU), dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) sowie dem NLWKN. Das KKN stellt einen Verbund von Anpassungskompetenz dar, welcher der Vernetzung von Fachwissen, der Kommunikation von Erkenntnissen sowie als Servicestelle und Ansprechpartner dient. Die Berücksichtigung von Klimafolgen, sowie die Auswertungen und Bewertungen dazu, sind außerdem als ein fester Bestandteil im Gewässerkundlichen Landesdienstes des NLWKN etabliert worden.

Um die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft besser quantifizieren zu können, wurden vom Land Niedersachsen verschiedene Forschungsprojekte ins Leben gerufen. Hierzu zählt zum einen das bereits abgeschlossene Projekt KLIFF<sup>6</sup> (Klimafolgenforschung in Niedersachsen). Der Fokus dieses interdisziplinär aufgebauten Forschungsverbundes lag auf der Erweiterung der wissenschaftlichen Grundlagen

zur Anpassung an den Klimawandel und seine Folgen. Der NLWKN war an dem Forschungsthema Binnengewässer (KLIFWA) beteiligt und beschäftigte sich u.a. mit den Aspekten Sensibilisierung und Partizipation sowie dem Ergebnistransfer. Im Zuge des Projektes wurde das Informationsangebot zu den Themen Hochwasserschutz und Hochwasservorsorge auf den Internetseiten des NLWKN umfangreich erweitert. Außerdem war die Forschungsstelle Küste des NLWKN mit dem Forschungsthema Küste und Küstenschutz (A-KÜST) betraut. Zum anderen wurde das Projekt KliBiW (Globaler Klimawandel – Wasserwirtschaftliche Folgenabschätzung für das Binnenland) initiiert. Dessen Zielsetzung ist die Anwendung etablierter Methoden zur Analyse des Klimawandels und seiner Folgen für die Wasserwirtschaft sowie die Übertragung von Erkenntnissen und Methoden in die fachliche Praxis des Gewässerkundlichen Landesdienstes im NLWKN. Das Projekt KliBiW und die daraus bisher gewonnenen wesentlichen Erkenntnisse werden in den folgenden Kapiteln vorgestellt.



Die Sonne ist die treibende Kraft unseres Klimas auf der Erde, der Mensch verstärkt diesen Effekt jedoch durch sein Handeln.

4 Regierungskommission Klimaschutz (2012): Empfehlung für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz (Hrsg.), Hannover.

5 Linke, C. et al (2016): Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgesprächs „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“, Potsdam. Online verfügbar unter: <https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/fachgespraech/Leitlinien.pdf>

6 Beese, F. & Aspelsmeier, S. (Hrsg.) (2014): KLIFF - Klimafolgenforschung in Niedersachsen, Abschlussbericht, 2009 bis 2013, 196 Seiten.

## Klimaszenarien und –modelle: die Basis für den Blick in die Zukunft

Die (zukünftige) Entwicklung des Klimas hängt von verschiedenen Randbedingungen ab. Zu nennen sind hierbei zum einen natürliche Faktoren, wie etwa die Variation der Strahlungsintensität der Sonne oder der Erdumlaufbahn. Hinzu kommt die Zusammensetzung der Atmosphäre. Neben natürlich vorkommenden Treibhausgasen (THG) sind in diesem Zusammenhang u.a. Aerosole zu nennen, bedingt z.B. durch Vulkanausbrüche. Zum anderen hat auch der Faktor Mensch einen nicht unwesentlichen Einfluss auf das Klima. So bewirkt beispielsweise die Verbrennung fossiler Energieträger die Freisetzung von zusätzlichem Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Dieses Gas ist neben anderen Gasen wie Methan und Lachgas sowie weiteren Stoffen in der Atmosphäre, wie Wasserdampf und Aerosolen, verantwortlich für den Treibhauseffekt und beeinflusst damit die Temperatur auf der Erde. Die zukünftige Entwicklung der anthropogen bedingten Treibhausgase hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie etwa der Entwicklung der Bevölkerung, der Wirtschaft, der genutzten Energieträger oder neuer Technologien. Da diese Entwicklungspfade nicht vorhersagbar sind, hat die Wissenschaft unterschiedliche Szenarien (Annahmen) erarbeitet, wie diese Größen sich zukünftig entwickeln könnten, in der Regel wenigstens bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. In der aktuellen Forschung kommen zwei Gruppen von Szenarien-Familien zum Einsatz. Zum einen die sog. SRES-Szenarien (Special Report on Emission Scenarios) aus dem 4. Sachstandsbericht des IPCC, zum anderen die

sog. RCP-Szenarien (Repräsentative Konzentrationspfade) aus dem 5. Sachstandsbericht des IPCC. Aus all diesen Szenarien resultieren unterschiedliche, zukünftig mögliche THG-Emissionen bzw. –konzentrationen in der Atmosphäre.

Diese Szenarien dienen neben weiteren (natürlichen) Faktoren als Eingangsgrößen für Klimamodelle. Diese Modelle bilden die Prozesse im Klimasystem, soweit sie heute bekannt sind, mittels mathematischer Algorithmen vereinfacht ab. Dabei werden vor allem die physikalischen Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Ozeanen und Landoberflächen berücksichtigt. Damit Rückkopplungseffekte ebenfalls berücksichtigt werden, erfolgt die Simulation dieser Prozesse für die gesamte Erde mittels globaler Klimamodelle in einer räumlich horizontalen Auflösung von 100 bis 200 km. Damit die Einflüsse der regionalen Topographie und damit verbundene klimatische Prozesse besser dargestellt werden können, werden diese Daten für einen Ausschnitt des Globalmodells mit Hilfe von Regionalen Klimamodellen auf eine höhere räumliche Auflösung heruntergerechnet, in der Fachsprache Downscaling genannt. Dadurch kann vor allem der Prozess der Niederschlagsbildung besser repräsentiert werden. Das Ergebnis der Klimamodellierung sind räumlich differenzierte Entwicklungen von verschiedenen Klimagrößen, wie etwa der Temperatur, des Niederschlags, der Globalstrahlung oder der Windgeschwindigkeit.

Diese Klimamolldaten dienen wiederum als Eingangsdaten für sog. Impactmodelle, die die Folgen der klimatischen Entwicklungen für bestimmte Bereiche bzw. Fragestellungen simulieren. Ein Beispiel hierfür sind Wasserhaushaltsmodelle, die auf Basis dieser zukünftigen klimatischen Entwicklungen wiederum u.a. die resultierenden Abflussverhältnisse simulieren können.

Jedes (Klima)Modell stellt nur ein vereinfachtes Abbild der Realität dar, mit entsprechenden Annahmen und Unzulänglichkeiten. Verschiedene Modelle werden mit den jeweils gleichen Eingangsdaten prozessbedingt leicht unterschiedliche Ergebnisse produzieren. Im Bereich der Klimamodellierung kommt erschwerend hinzu, dass die Prozesse und Wechselwirkungen im Klimasystem teilweise chaotisch und nichtlinear ablaufen, so dass ein und dasselbe Modell mit nur geringfügig unterschiedlichen Startbedingungen (z.B. CO<sub>2</sub>-Konzentrationen zu Beginn der Simulation) am Ende ebenfalls mehr oder weniger unterschiedliche Ergebnisse produzieren wird. Um diesen Unsicherheiten Rechnung zu tragen, wird in der Klimaforschung stets mit einer Vielzahl von verschiedenen Klimamodellen gerechnet (auch Modell-Ensemble genannt).

Die resultierende Bandbreite in den Ergebnissen aus allen Modellen ist Ausdruck für die Unsicherheiten in den zukünftigen Entwicklungen und muss bei der Interpretation stets berücksichtigt werden.



Abbildung 1: Beispiel für eine Modellkette in der Klimafolgenmodellierung

## Das Projekt KliBiW: Rahmenbedingungen und (Daten)Grundlagen

Das Projekt KliBiW beschäftigt sich mit der Abschätzung der Klimafolgen für die Wasserwirtschaft im niedersächsischen Binnenland. Es wurde 2008 ins Leben gerufen und wird vom MU finanziert. Es unterteilt sich in mehrere Phasen mit unterschiedlichen räumlichen und thematischen Schwerpunkten (vgl. Tabelle 1).

An dem Projekt beteiligt sind neben dem NLWKN, Bst. Hannover-Hildesheim, das Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Leibniz Universität Hannover sowie das Leichtweiß Institut für Wasserbau, Abteilung Hydrologie, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz, der Technischen Universität Braunschweig. Zu Beginn des Projektes (Phasen 1 bis 3) waren zusätzlich die Harzwasserwerke als Partner aus der fachlichen Praxis involviert.

KliBiW verfolgt über alle Projektphasen folgende grundsätzlichen Ziele:

- Aufbau einer Datenbasis zur historischen und zukünftigen Klima- und Abflusssituation in Niedersachsen
- Analyse und Bewertung der historischen / zukünftigen Klimaentwicklung
- Quantifizierung der wasserwirtschaftlichen Klimafolgen in den Bereichen Hoch- und Niedrigwasser
- Erweiterung der Methodenkompetenzen des Gewässerkundlichen Landesdienstes in Bezug auf Klimafolgenabschätzungen
- Beratung von Entscheidungsträgern hinsichtlich Klimafolgen und möglicher Anpassungsoptionen

Der Untersuchungsraum von KliBiW umfasst die gesamte Landesfläche von Niedersachsen. Für diesen Bereich erfolgte die Analyse der beobachteten Klima- und Abflussdaten aus der Vergangenheit bis heute sowie die Abschätzung der zukünftigen klimatischen Entwicklungen anhand von verschiedenen Klimamodelldaten. Die Analyse der zukünftigen Abflussverhältnisse erfolgte im Wesentlichen für eine Vielzahl von Einzugsgebieten der sog. Risikogewässer in Niedersachsen entsprechend der

Tabelle 1: Projektphasen und inhaltliche Schwerpunkte von KliBiW

Projektphase	Zeitraum	Schwerpunkt-Thema
1	Juni 2008- Mai 2009	Testung von Methoden
2	Mai 2010- April 2012	Analyse Hochwasser am Fallbeispiel Einzugsgebiet Aller-Leine-Oker
3	Mai 2012- April 2014	Analyse Niedrigwasser am Fallbeispiel Einzugsgebiet Aller-Leine-Oker
4	Mai 2014- April 2017	Analyse Hochwasser an verschiedenen Risikogewässern in Niedersachsen
5	Mai 2017- Oktober 2018	Analyse Niedrigwasser an verschiedenen Risikogewässern in Niedersachsen

Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL). Hierzu zählen u.a die Vechte, die Hase, die Hunte, die Große Aue, die Wümme, die Ilmenau sowie die Aller, Leine und Oker (vgl. Abbildung 2). Zusätzlich wurden verschiedene Kopfgebiete (kleinere Pegelgebiete) in ganz Niedersachsen betrachtet. Hierzu wurden die Daten der Klimamodelle als Eingangsgrößen für zwei hydrologische Modelle (PANTA RHEI und HBV-IWW) benutzt und die entsprechenden Abflüsse simuliert. Die Analyse der Entwicklungen des Klimas und der Abflüsse in der Vergangenheit erfolgte anhand von Beobachtungsdaten an Klimastationen des DWD bzw. an Pegeln des NLWKN,

der Harzwasserwerke sowie der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV). Die Analysen für die zukünftigen Entwicklungen basieren auf zwei verschiedenen Treibhausgas-Szenarien. Zum einen handelt es sich um ein gemäßigttes Szenario mit einer global ausgewogenen Nutzung von fossilen und regenerativen Energieträgern in der Zukunft (Szenario SRES A1B). Zum anderen handelt es sich um ein „weiter-wie-bisher“-Szenario, in dem global gesehen praktisch keine Maßnahmen zum Klimaschutz umgesetzt werden (Szenario RCP8.5). Beide Szenarien werden jeweils durch unterschiedliche Ensembles von Klimamodellen dargestellt.

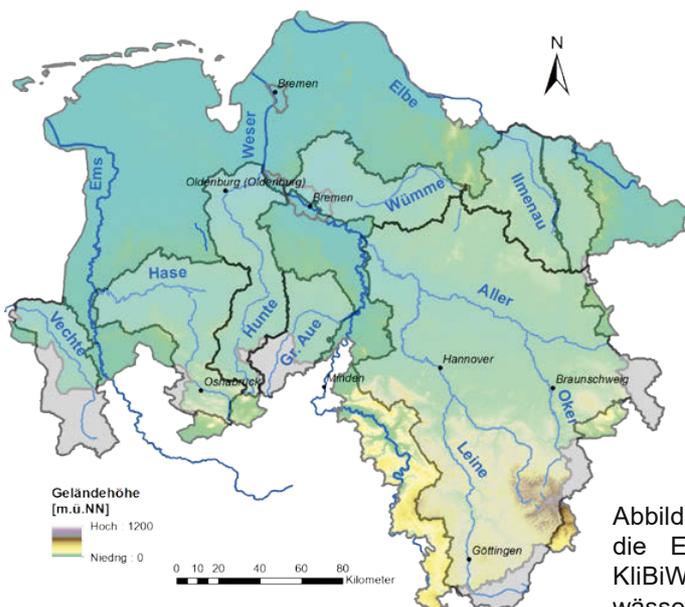


Abbildung 2: Übersicht über die Einzugsgebiete der in KliBiW betrachteten Risikogewässer in Niedersachsen

## Erkenntnisse zur bisher beobachteten Situation von Klima und Hochwasser in Niedersachsen

Für die Analysen der klimatischen Verhältnisse in der Vergangenheit standen Stationsdaten des DWD mit beobachteten Tageswerten zur Verfügung. Der Analysezeitraum wurde von 1951 bis 2015 festgelegt, so dass insgesamt Daten von 175 Niederschlagsstationen und 20 Klimastationen für die Auswertungen genutzt werden konnten. Es wurden verschiedene Temperatur- und Niederschlagskenngrößen ausgewertet (vgl. Tabelle 2). Mit Hilfe von Trendbetrachtungen wurde die Entwicklung dieser Kenngrößen im Betrachtungszeitraum analysiert.

Die Ergebnisse der Analysen sind in Tabelle 3 und Tabelle 4 als mittlere Veränderungen für Niedersachsen über den Analysezeitraum dargestellt. Es zeigt sich, dass die Temperaturen in Niedersachsen innerhalb der letzten 65 Jahre in allen Jahreszeiten zugenommen haben. Flächendifferenzierte Analysen haben zudem gezeigt, dass dies in allen Landesteilen gleichermaßen der Fall war. Die geringste Erwärmung gab es im Herbst, den deutlichsten Anstieg gab es im Schnitt bei den Höchsttemperaturen (Txq90). Im Mittel haben die Temperaturen in Niedersachsen seit Mitte des 20. Jahrhunderts um +1,6 °C zugenommen. Ein differenzierteres Bild zeigen die Niederschläge. Diese haben vor allem im Herbst und Winter zugenommen, sowohl was die Gesamtniederschlagssumme (Psum) betrifft, als auch bzgl. der maximalen 3-Tages-Niederschlagsmenge (Px3d) und der Häufigkeit von großen Niederschlagsereignissen (Pnl90). In den Sommermonaten gab es dagegen leichte Abnahmen. Im Mittel haben die Niederschlagsmengen seit Mitte des 20. Jahrhunderts um +6 % zugenommen.

Tabelle 2: Ausgewählte Kenngrößen des Niederschlags und der Temperatur bei der Trendanalyse

Niederschlagskenngrößen	Einheit	Beschreibung
Px3d	mm	Größte 3-Tages-Niederschlagssumme
Pnl90	Tage	Anzahl der (Tages-)Ereignisse mit N*) > Langzeit-90%-Quantil
Psum	mm	Summe der Niederschläge für Tage mit N*) ≥ 1 mm/d
Temperaturkenngrößen	Einheit	Beschreibung
Txq90	°C	90%-Quantil der Tagesmaximum-Temperaturen
Tmav	°C	Mittelwert der Tagesmittel-Temperaturen
Tnq10	°C	10%-Quantil der Tagesminimum-Temperaturen

\*) Niederschlagsmenge

Tabelle 3: Veränderung ausgewählter Kenngrößen der Temperatur in Niedersachsen zwischen 1951 und 2015

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Gesamtjahr
Txq90 [°C]	1,9	1,9	2,9	0,6	1,9
Tmav [°C]	1,7	2,0	1,5	0,7	1,6
Tnq10 [°C]	2,1	1,5	0,9	0,7	1,5

Tabelle 4: Veränderung ausgewählter Kenngrößen des Niederschlags in Niedersachsen zwischen 1951 und 2015

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Gesamtjahr
Px3d [%]	18	10	-10	27	5
Pnl90 [%]	41	23	-6	48	16
Psum [%]	21	3	-10	17	6

Für die Analysen der Veränderung im Bereich der Hochwasserverhältnisse standen Pegel­daten des NLWKN, der Harzwasserwerke und der WSV zur Verfügung. Der Analysezeitraum wurde zunächst auf die Jahre von 1966 bis 2015 festgelegt. Dieser Zeitabschnitt repräsentiert einen Zeitraum, in dem flächenhafte Aussagen zu Langzeittrends der Abflüsse in Niedersachsen möglich sind, d.h. es liegen möglichst viele Pegel mit lückenlosen Aufzeichnungen über einen möglichst langen Zeitraum vor. Daneben sollte aber auch geprüft werden, ob es bereits Hinweise auf Veränderungen gibt, die ggf. auf den Einfluss des Klimawandels zurückgeführt werden können. Dazu wurde der Zeitraum der Analysen zusätzlich auf die jüngere Vergangenheit (1986 bis 2015) begrenzt, innerhalb derer sich die Wirkung des Klimawandels womöglich bereits deutlicher bemerkbar macht. Insgesamt wurden für die Auswertungen 143 Referenzpegel ausgewählt. Zwei der betrachteten Abfluss-Kenngrößen sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Die Analysen erfolgten für alle Referenzpegel in Niedersachsen anhand von drei Zeitabschnitten: dem hydrologischen Gesamtjahr (Nov. bis Okt.) sowie dem hydrologischen Sommer- (Mai bis Okt.) bzw. Winterhalbjahr (Nov. bis Apr.).

Tabelle 5: Ausgewählte Kenngrößen des Abflusses bei der Trendanalyse

Abfluss-kenngrößen	Einheit	Beschreibung
HQ	m <sup>3</sup> /s	Maximaler Scheitelabfluss (pro Jahr bzw. Saison)
POT99	Tage	Anzahl der Tage mit einem Abflusswert größer als das 99%-Quantil der mittleren Tagesabflüsse

Die Ergebnisse in Abbildung 3 (S. 8, oben) zeigen, dass sich die Jahreshöchstabflüsse (HQ) in den letzten 50 Jahren im Gesamt- und Winterhalbjahr insgesamt kaum signifikant verändert haben, bei tendenziell leichten Zunahmen im südlichen und leichten Abnahmen im nördlichen Niedersachsen. Im Sommerhalbjahr erkennt man dagegen deutlichere Abnahmen, die vor allem in der Landesmitte statistisch signifikant sind. Diese Trends haben sich in den letzten 30 Jahren verändert (vgl. Abbildung 3, S. 8, oben). Im Gesamt- und Winterhalbjahr zeigen sich in der jüngeren Vergangenheit nun deutlich abnehmende Trends, vor allem in der südlichen Landeshälfte, während im Sommerhalbjahr der Scheitelabfluss im Fall eines Jahreshöchstereignisses an vielen Pegeln zugenommen hat.

Die Trendanalysen in Abbildung 4 (S. 8, unten) für die Häufigkeit von großen

Abflussereignissen (POT99) zeigen, dass diese in den letzten 50 Jahren im Gesamt- und Winterhalbjahr insgesamt in Niedersachsen leicht zugenommen haben, wobei räumliche Muster kaum zu erkennen sind. Im Sommerhalbjahr sind dagegen die abnehmenden Trends etwas stärker ausgeprägt, vor allem im Westen. Innerhalb der letzten 30 Jahre zeigen sich ähnliche Entwicklungstendenzen wie bei den Jahreshöchstabflüssen im gleichen Zeitraum (Abbildung 4, S. 8, unten). Im Gesamt- und Winterhalbjahr kommt es zu einer deutlichen Zerteilung von Niedersachsen, mit Abnahmen im Süden und etwas schwächeren Zunahmen im Norden. Im Sommerhalbjahr kam es dagegen an vielen Pegel häufiger zu größeren Abflussereignissen, wobei im Westen weiterhin abnehmende Trends zu verzeichnen sind.



Luftbild vom Hochwasser 2007 an der Innerste

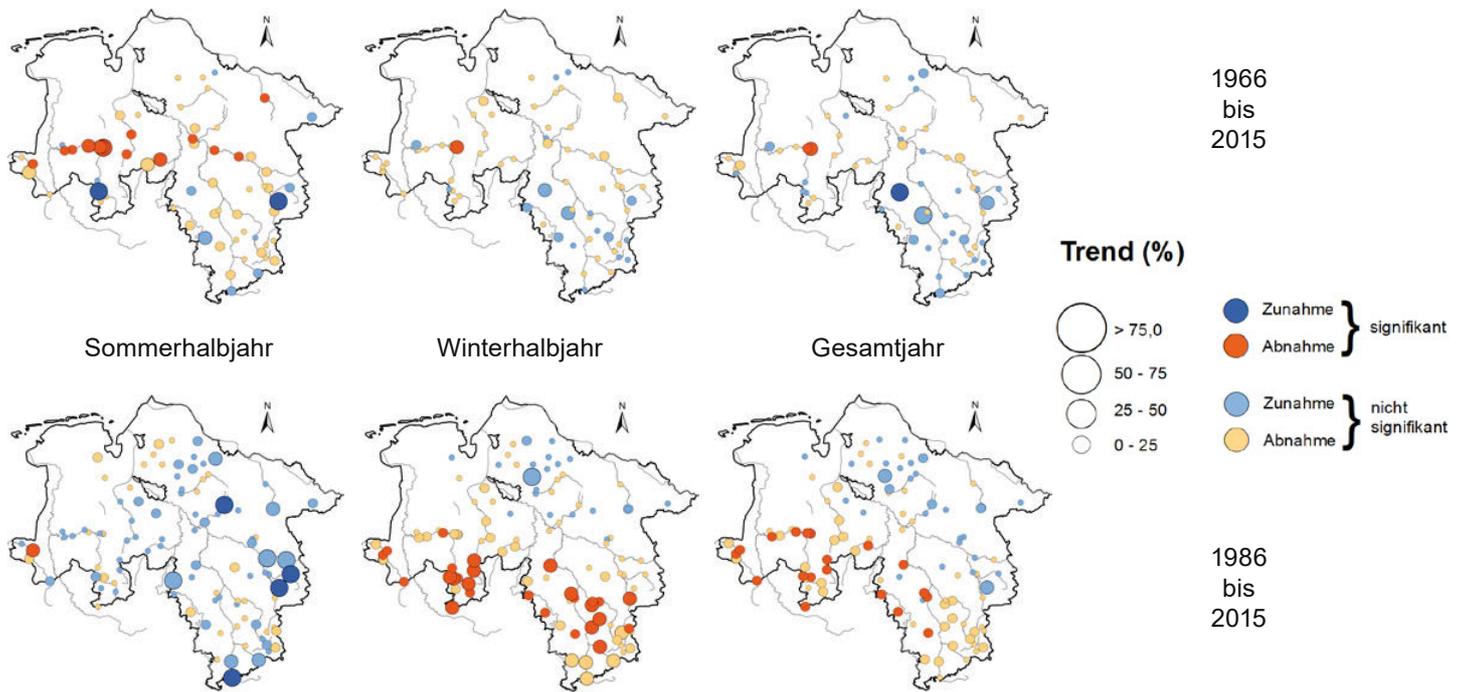


Abbildung 3: Trends der Jahreshöchstabflüsse (HQ) an den Referenzpegeln in Niedersachsen

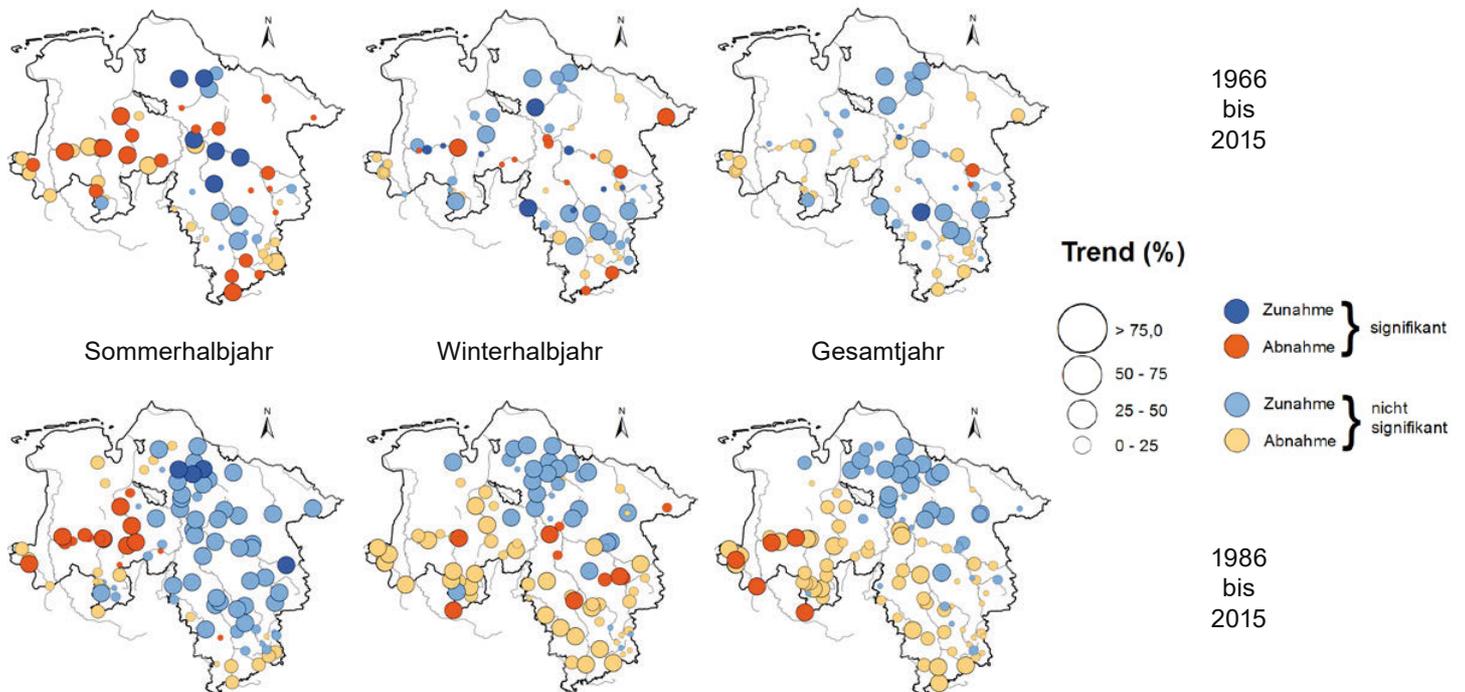


Abbildung 4: Trends der Häufigkeit von großen Abflussereignissen (POT99) an den Referenzpegeln in Niedersachsen

## Erkenntnisse zur zukünftigen Hochwassersituation in Niedersachsen

Für die Abschätzung der zukünftigen Hochwasserverhältnisse in Niedersachsen wurden die zwei Klimamodell-Ensembles, basierend auf dem gemäßigten bzw. dem „weiter-wie-bisher“ Szenario, als Eingangsdaten für die hydrologische Modellierung in PANTA RHEI bzw. HBW-IWW benutzt. Der Fokus der Modellierung mit PANTA RHEI lag auf der Simulation von mittleren und großen Pegelgebieten der Risikogewässer in Niedersachsen nach HWRM-RL. HBW-IWW wurde eingesetzt, um u.a. zusätzlich kleinere Pegelgebiete (Kopfgebiete) zu simulieren, die über ganz Nieder-

sachsen verteilt sind. Zur Ableitung von zukünftigen Abflussveränderungen in Niedersachsen wurde ein Gesamtpool aus den Ergebnissen beider hydrologischer Modelle herangezogen.

Die Auswertungen erfolgten für die Abflussscheitel bei einem 5-jährlichen, 20-jährlichen und 100-jährlichen Hochwasserereignis (HQ5, HQ20, HQ100). Um die Veränderungen aufzuzeigen, wurden die entsprechenden Kennwerte anhand von extremwertstatistischen Analysen zunächst an allen Referenzpegeln für drei 30-Jahres-Zeiträume ermit-

telt: den Referenzzeitraum (1971-2000), die nahe Zukunft (2021-2050) und die ferne Zukunft (2071-2100).

Die jeweils resultierenden Werte wurden anschließend ins Verhältnis gesetzt, um die prozentuale Änderung in der nahen bzw. fernen Zukunft gegenüber dem Referenzzeitraum zu berechnen. Die Ergebnisse sind beispielhaft für die Veränderung des HQ100 in Abbildung 5 gezeigt. Die Ergebnisse der anderen betrachteten Kenngrößen weichen nur geringfügig von den hier gezeigten Mustern ab.

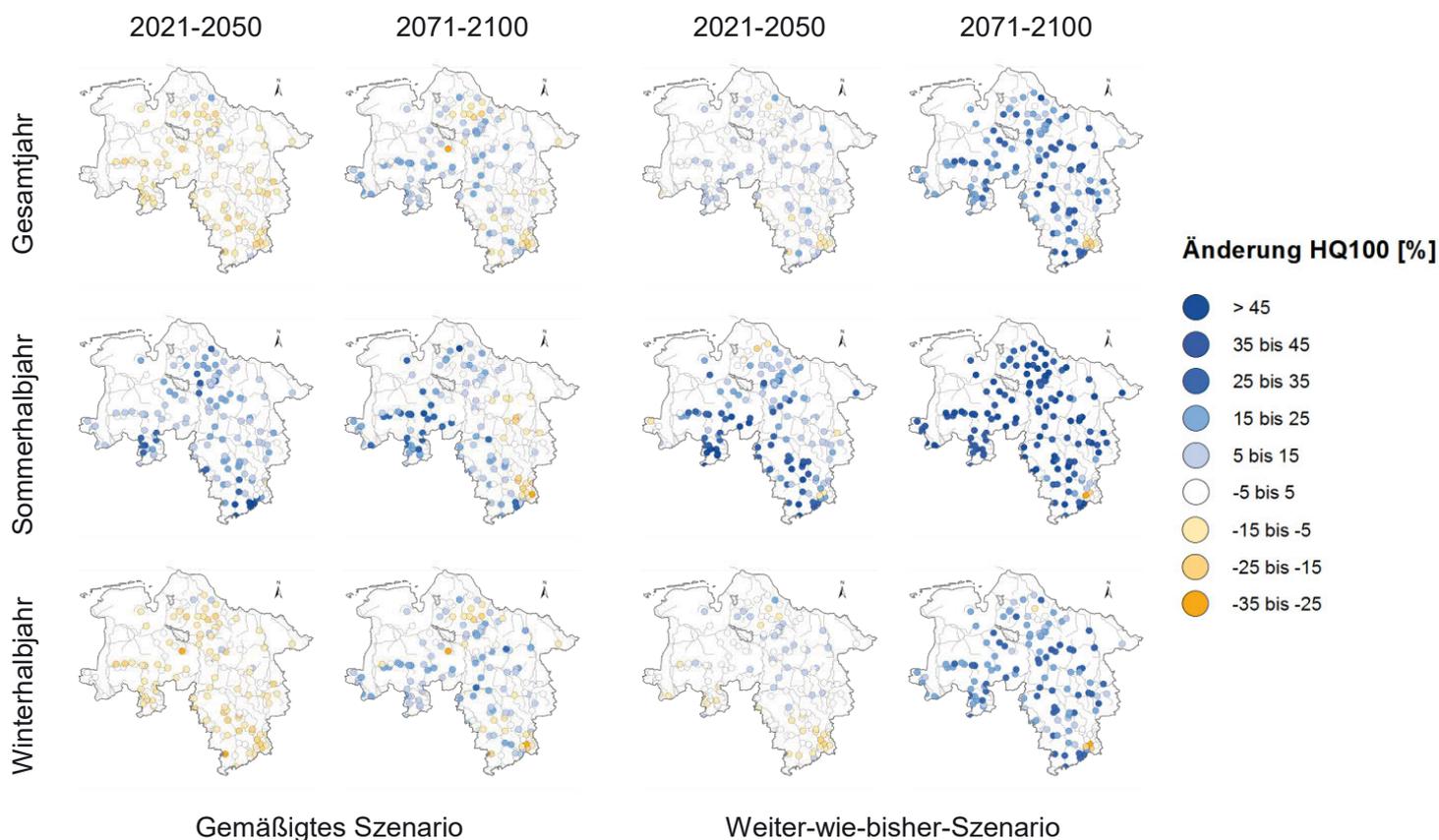


Abbildung 5: Mittlere Veränderung des HQ100-Abflusses gegenüber dem Referenzzeitraum (1971-2000) anhand der Ergebnisse aus der hydrologischen Modellierung; rechts das "weiter-wie-bisher"-Szenario (RCP8.5), links das gemäßigte Szenario (SRES A1B)

Es ist zu erkennen, dass unter dem gemäßigten Szenario (A1B) in der nahen Zukunft nur im Sommerhalbjahr mit (leichten) Zunahmen der Abflussscheitel im Fall eines HQ100 zu rechnen ist. Erst in der fernen Zukunft machen sich diese Zunahmen in allen Jahreszeiten bemerkbar, wobei sie im Sommer an den meisten Pegeln am stärksten in Erscheinung treten. Unter der Annahme des „weiter-wie-bisher“-Szenarios (RCP8.5) sind die Tendenzen der fernen Zukunft aus dem gemäßigten Szenario bereits in der nahen Zukunft zu erkennen. In der fernen Zukunft des RCP8.5 gibt es deutliche Zunahmen der Abflussscheitel

an allen Pegeln in Niedersachsen, wobei auch hier das Sommerhalbjahr am stärksten in Erscheinung tritt. Da die Änderungssignale der Hochwasserabflüsse an den Pegeln eine Identifikation von zusammenhängenden Regionen bzw. räumlichen Muster mit einheitlichen Tendenzen kaum erlaubten, wurden mittlere Änderungen für verschiedene Größenkategorien von Einzugsgebieten in Niedersachsen gebildet (vgl. Tabelle 6). Die Erkenntnisse aus KliBiW sind vor allem für langfristige Planungen relevant, da diese oft nur unter hohem Kostenaufwand an veränderte Bedingungen angepasst werden können.

Daher wurden diese Betrachtungen nur für den Zeithorizont der fernen Zukunft durchgeführt. Die Ergebnisse belegen, dass die mittleren Änderungen für Niedersachsen vor allem vom betrachteten Szenario abhängen und weniger von der Größe des Einzugsgebietes oder vom Hochwasser-Kennwert. Dementsprechend ergibt sich für das gemäßigte Szenario A1B in der fernen Zukunft eine mittlere Änderung der Hochwasser-Kennwerte in der Größenordnung von rund +5 bis +15% und für das „weiter-wie-bisher“-Szenario RCP8.5 von rund +20 bis +25% gegenüber den Verhältnissen von 1971-2000.

Tabelle 6: Mittlere Änderungssignale (in Prozent) für Niedersachsen in der fernen Zukunft 2071-2100 gegenüber dem Referenzzeitraum 1971-2000 (EZG = Einzugsgebiet)

Ereignis	RCP8.5			SRES-A1B		
	EZG (alle)	EZG [km <sup>2</sup> ] 100-1.000	EZG [km <sup>2</sup> ] >1.000	EZG (alle)	EZG [km <sup>2</sup> ] 100-1.000	EZG [km <sup>2</sup> ] >1.000
HQ5	+22	+23	+20	+9	+9	+14
HQ20	+21	+23	+20	+7	+7	+12
HQ100	+21	+23	+22	+6	+6	+12

## Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen (für den Gewässerkundlichen Landesdienst)

In Abbildung 6 sind in Bezug auf die Jahreshöchstabflüsse die Trends der Vergangenheit den Änderungssignalen in der Zukunft qualitativ gegenübergestellt. Es ist zu erkennen, dass sich im Sommerhalbjahr die Tendenzen der jüngeren Vergangenheit (1986-2015) im Hinblick auf eine Zunahme der Scheitelabflüsse in der Zukunft unter dem Einfluss des Klimawandels weiterhin fortsetzen werden. D.h. wir beobachten bereits heute Entwicklungen, mit denen wir es zukünftig verstärkt unter dem Einfluss des Klimawandels zu tun haben werden. Im Winterhalbjahr setzen sich die beobachteten Tendenzen zukünftig weiter fort, bis es in der fernen Zukunft zu einer Trendumkehr und damit ebenfalls zu einer Zunahme der Abflussmengen im Hochwasserfall kommen wird. Beide Phänomene begründen die Notwendigkeit, Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel und seine Folgen zu ergreifen, da sich die aktuellen Hochwasserverhältnisse verschärfen werden. Zukünftig wird die Wasserwirtschaft in Niedersachsen mit Herausforderungen konfrontiert, die die bisherigen Erfahrungswerte übersteigen können, so dass die aktuellen Anpassungskapazitäten ggf. nicht mehr ausreichen werden.

Aus diesem Grund wird von Seiten des Projektes KliBiW ein landesweiter Beiwert für wasserwirtschaftliche Planungen und Bemessungsfragen zu Hochwasserschutzanlagen in der Größenordnung von +15% empfohlen, bezogen auf einen langfristigen Planungshorizont. Dieser Beiwert und dessen mögliche Form der Umsetzung bzw. Berücksichtigung in Niedersachsen wird zurzeit innerhalb des NLWKN und mit dem MU ausführlich diskutiert, da die Anwendung u.a. Auswirkungen in der Finanzierung, der Bemessung von Bauwerken und der Steuerung von Fördermitteln nach sich ziehen wird.

Durch die gewonnenen Erkenntnisse in KliBiW sowie die daraus resultierenden Empfehlungen für die wasserwirtschaftliche Planung in Niedersachsen wird ein Prozess initiiert, der das Land befähigt, gezielte Strategien für eine nachhaltige Klimaanpassung zu entwickeln. Dieses kann als ein wesentlicher Schritt bei der Fortführung und praktischen Umsetzung der bereits 2012 aufgestellten Empfehlungen für eine niedersächsische Anpassungsstrategie gesehen werden. Die zu erwartenden Klimafolgen werden sich auf verschiedene Bereiche der wasserwirtschaftlichen Planung in Niedersachsen auswirken.

Hierzu zählen u.a.

- Überschwemmungsgebiete
- Hochwasserschutz- und Vorsorgemaßnahmen
- Hochwasserrisikomanagement
- Generalentwässerungsplanung
- Raumplanung

Die Anwendung eines Klimabeiwertes soll in diesem Zusammenhang stets mit gebotener Umsicht erfolgen. Es ist darauf hinzuweisen, dass sich die gezeigten Klimaveränderungen in Niedersachsen auch auf andere (wasserwirtschaftliche) Handlungsfelder auswirken werden. Dazu zählen die Niedrigwasserführung, die Grundwasserverhältnisse sowie die Gewässergüte. Durch Übertragung der in KliBiW gewonnenen Erkenntnisse und entwickelten Methoden bietet sich die Möglichkeit, die Auswirkungen des Klimawandels auch auf diese Bereiche näher zu untersuchen. Entsprechende Studien sind beim NLWKN derzeit in Vorbereitung. Die ausführlichen Ergebnisse der Analysen von KliBiW im Bereich Hochwasser (Phase 4) können dem Abschlussbericht entnommen werden.

Zeitraum	Sommerhalbjahr		Winterhalbjahr	
	A1B	RCP8.5	A1B	RCP8.5
1966 - 2015	↓		→	
1986 - 2015	↑		↓	
Nahe Zukunft *)	↑	↑	↓	→
Ferne Zukunft *)	↑	↑	↑	↑

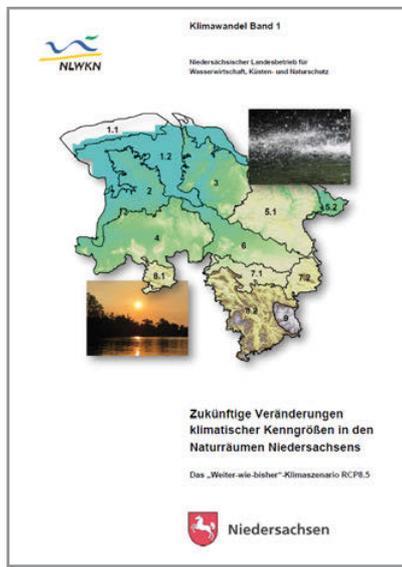
\*) Mittlere Änderung gegenüber dem Referenzzeitraum (1971-2000)

Abbildung 6: Mittlere Entwicklungstendenzen der Jahreshöchstabflüsse (HQ) in Niedersachsen laut beobachteten Messdaten in der Vergangenheit und aus der Simulation der Klimamodelldaten mit Hilfe von zwei hydrologischen Modellen für die Zukunft (blaue Pfeile: Zunahme, graue Pfeile: kaum Veränderungen, rote Pfeile: Abnahmen)

7 NLWKN (2017): Globaler Klimawandel – Wasserwirtschaftliche Folgenabschätzung für das Binnenland. Abschlussbericht KliBiW Phase 4 (Hochwasser): In: NLWKN-Schriftenreihe Oberirdische Gewässer, Band 41, Norden. Online verfügbar unter: [https://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/122435/KliBiW\\_-\\_Abschlussbericht\\_Phase\\_4\\_-\\_September\\_2017.pdf](https://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/122435/KliBiW_-_Abschlussbericht_Phase_4_-_September_2017.pdf)

## Zukünftige Veränderungen klimatischer Kenngrößen in den Naturräumen Niedersachsens

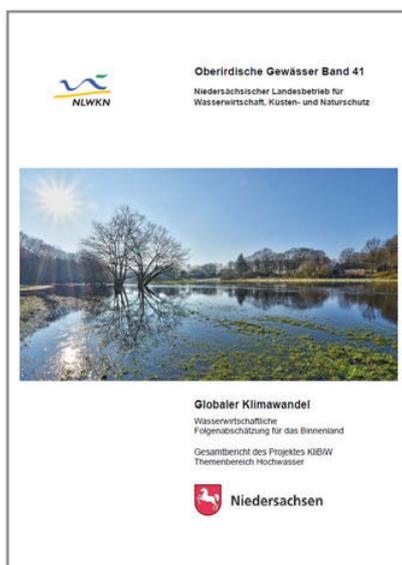
Die aktuellen Erkenntnisse der Klimaforschung belegen eine eindeutige Erwärmung des globalen Klimasystems, deren wesentliche Ursache seit Mitte des 20. Jahrhunderts der menschliche Einfluss ist. Diese Entwicklung wird sich auch auf andere Klimagrößen bzw. Klimakennwerte auswirken. Dieser Bericht zeigt die Ergebnisse der Analysen von verschiedenen ausgewählten klimatischen Kenngrößen für die Naturräume in Niedersachsen. Dabei werden sowohl Betrachtungen für die Vergangenheit der letzten Jahrzehnte dargestellt, als auch für die mögliche Zukunft bis zum Ende des 21. Jahrhundert. Die zukünftigen Entwicklungen basieren dabei auf einem Klimaszenario, in dem weltweit praktisch keinerlei Maßnahmen zum Klimaschutz unternommen werden und die Verbrennung fossiler Energieträger weiter voranschreitet wie bisher.



Klimawandel Band 1

## Globaler Klimawandel – Wasserwirtschaftliche Folgenabschätzung für das Binnenland (Hochwasser)

Im Februar 2018 wurde der Abschlussbericht für das Projekt KliBiW zum Themenbereich Hochwasser veröffentlicht. Er beschreibt und visualisiert die aktuellen Erkenntnisse zum Klimawandel und seinen Folgen für die Abflussverhältnisse in Niedersachsen. In Zusammenarbeit mit Partnern aus der Wissenschaft betrachtet der NLWKN anhand verschiedener Klimamodelle und mit Hilfe von zwei hydrologischen Modellen die möglichen Veränderungen der Hochwasserabflüsse an insgesamt sieben Flusseinzugsgebieten, die die Risikogewässer entsprechend der Hochwasserisikomanagement-Richtlinie umfassen. Aus dem Projekt heraus wurden Handlungsempfehlungen für eine zukünftige Berücksichtigung des Klimawandels in der wasserwirtschaftlichen Praxis abgeleitet.



Oberirdische Gewässer Band 41

## Impressum

### Herausgeber:

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz  
Am Sportplatz 23  
26506 Norden

### Redaktion:

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz  
GB III Gewässerbewirtschaftung und Flussgebietsmanagement  
Andreas Persy  
Andreas.Persy@nlwkn-ig.niedersachsen.de

### Gestaltung:

Heidrun Monkenbusch-Leifeld, designPunkt  
Svea Hinrichs, NLWKN Direktion,  
Pressestelle

### Fotos, Abbildungen, Tabellen:

NLWKN

© NLWKN, März 2018

Die Broschüren können beim NLWKN erworben werden:  
NLWKN – Veröffentlichungen, Göttinger Chaussee 76, 30453 Hannover  
Im Internet verfügbar unter:  
[www.nlwkn.niedersachsen.de](http://www.nlwkn.niedersachsen.de) → Service → Veröffentlichungen / Webshop