

## Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen

Zeit: 15. November 2018, 10:00 – 16:15 Uhr

Ort: Eisenbahn-Bundesamt, Heinemannstraße 6, 53175 Bonn

Räume: A1 U1 09; A1 U1 110; A1U1 105

### Fachposter aus dem Themenfeld 1 des BMVI Expertennetzwerks

- 1) C. Razafimaharo, S. Höpp, S. Krähenmann, M. Rauthe, T. Deutschländer: Weiterentwicklung der hydrometeorologischen Referenzdatensätze HYRAS
- 2) S. Krähenmann, C. Dalelane, S. Hänsel, A. Walter: Multivariate BIAS adjustment and statistical downscaling
- 3) K. Stanley, S. Krähenmann, S. Hänsel, A. Walter: Climate Indices in the Network of Experts
- 4) C. Brendel & T. Deutschländer: Ableitung zukünftiger Jährlichkeiten für Extremwerte unterschiedlicher Klimavariablen mit Hilfe der Kerndichteschätzung
- 5) M. Haller, S. Brienen, S. Krähenmann, B. Früh: Ergebnisse der konvektionserlaubenden Klimaprojektionen mit COSMO-CLM
- 6) C. Jensen, A. Ganske, J. Möller, N. Schade: "Baltic and North Sea Climatology (BNSC)
- 7) J. Möller & N. Schade: Einfluss von Meeresspiegelanstieg und Niederschlag auf die Entwässerung des NOK
- 8) A. Ganske, N. Fery, B. Tinz: Werden sich die meteorologischen Bedingungen für Sturmfluten in der Deutschen Bucht möglicherweise ändern?
- 9) C. Rasquin & B. Wachler: Einfluss der Modellauflösung auf die Auswirkungen eines Meeresspiegelanstiegs in der Deutschen Bucht
- 10) M. Forbriger, A.-F. Lohregel, M. Haller, A. Ganske : Beeinträchtigung der Verkehrsinfrastruktur durch Sturmgefahren
- 11) E. Nilson, C. Fleischer, M. Helms: Von der Projektion zum Datenprodukt – Der Auswertungsrahmen "Hydrologie"
- 12) M. Labadz & V. Breitung: Der Einfluss des Klimawandels auf den Schadstofftransport: Ein Modellansatz
- 13) D. Schulz, S. Vollmer, A. Winterscheid: Sohlhöhen- und Fließtiefenentwicklung am Niederrhein
- 14) M. Mannfeld: Konzept zur Untersuchung von Klimafolgen auf die Gewässergüte von Bundeswasserstraßen
- 15) R. Seiffert & M. Norpoth: Anpassung an den Klimawandel – Umgang mit Unsicherheiten
- 16) M. Norpoth & C. Hermann: Überprüfung der Regelwerke der Schieneninfrastruktur
- 17) L. Bergmann, R. Patzwahl: Bauliche Anpassungsoptionen am Niederrhein
- 18) C. Fleischer, M. Helms, E. Nilson: Weiterentwicklung der Wasserhaushaltsmodellierung
- 19) G. Haurert & G. Hillebrand: Einfluss von Landnutzung und Klima auf Feinsedimentfrachten in BWaStr - Vorländer als Senke für Feinsedimente
- 20) B. Wachler & C. Rasquin: Feedbacks of sea-level rise induced topographic changes of the Wadden Sea on tidal dynamics

# Weiterentwicklung der hydrometeorologischen Referenzdatensätze HYRAS

Christène Razafimaharo<sup>1</sup>, Simona Höpp<sup>2</sup>, Stefan Krähenmann<sup>1</sup>, Monika Rauthe<sup>1</sup>, Thomas Deutschländer<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup> Deutscher Wetterdienst, <sup>2</sup> ehemals Deutscher Wetterdienst)

## Stand der HYRAS-Datensätze

Um Aussagen über das Ausmaß der zu erwartenden Klimaveränderungen sowie deren Folgen auf die Verkehrsinfrastruktur treffen zu können ist eine möglichst detaillierte Analyse der Referenzzustände notwendig. Dafür wurden die bereits im Ressortforschungsprojekt KLIWAS entwickelten **Hydrologischen Rasterdaten (HYRAS)** für die deutschen Flusseinzugsgebiete zeitlich und in Bezug auf die Variablen erweitert. Hydrologisch relevante Messwerte aus Deutschland und den Nachbarländern wurden zur Erstellung täglicher Raster von 1951 bis 2015 in hoher räumlicher Auflösung von 5 x 5km<sup>2</sup> verwendet.

## Stand der Interpolationsverfahren

Das Interpolationsverfahren für **Niederschlag** (REGNIE – **Regionalisierte Niederschlagshöhe**) bleibt weitgehend unverändert (kleine Änderung bei den Hintergrundfeldern).

Die **Temperatur** und die **relative Luftfeuchte** beruhen auf einer Kombination nichtlinearer Temperaturprofile mit nicht-euklidischer Residueninterpolation (Krähenmann et al., 2016). Mit diesem Verfahren war es auch möglich, Datensätze für die **minimale** bzw. **maximale Temperatur** zu erstellen.

Für die **Globalstrahlung** wurden die gemessene bzw. aus der Sonnenscheindauer umgerechnete Globalstrahlung sowie als Hintergrundfeld Satellitendaten (CM SAF) verwendet.

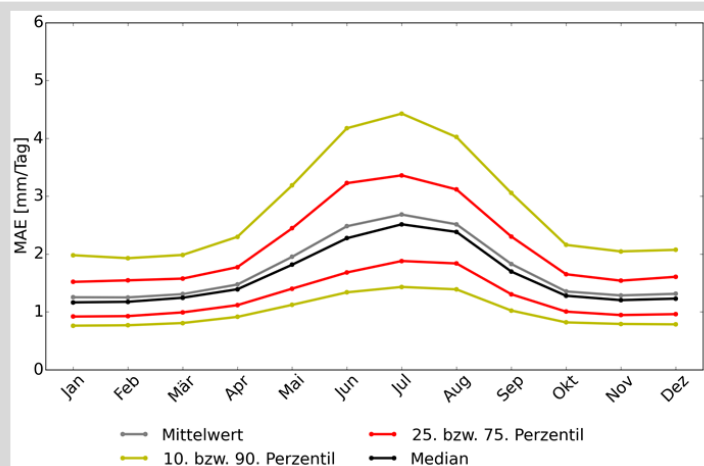


Abb.1: HYRAS Niederschlag: Mittlerer absoluter Fehler für nasse Tage (gemessener Niederschlag > 1mm) als langjährigen Mittelwerte und Quantils aus den 5 Läufen der Kreuzvalidierung

## Validierung der HYRAS-Datensätze

- Der **Niederschlagsdatensatz** wurde einer Kreuzvalidierung unterzogen. Die berechneten Fehlermaße (s. Abb. 1) zeigen sehr ähnlichen Verläufe zu den vorherigen Ergebnissen aus Rauthe et al. (2013).
- Die Validierung der **Temperatur- bzw. Luftfeuchterasterdaten** mittels Stationsvergleich stellt eine Verbesserung der Ergebnisse (s. Abb. 2) im Vergleich zum alten Interpolationsverfahren aus Frick et al. (2014) dar.
  - Durch die räumliche Auswertung (s. Abb. 3) lässt sich nachweisen, dass die höchsten Fehler bei Regionen mit komplexer Topographie auftreten.
  - Zur weiteren Analyse der Temperatur und Feuchtedatensätze wird derzeit auch für diese eine Kreuzvalidierung durchgeführt.
- Im Mittel stimmen die **Globalstrahlungsdaten** mit Stationswerten und Satellitendaten gut überein, jedoch ist die Varianz zu gering und damit die oberen Extremwerte unterschätzt und die unteren Extremwerte überschätzt.

## Ausblick

- Fortführung der Validierung der Rasterdaten (Kreuzvalidierung und Vergleich mit anderen Datensätzen).
- Zur besseren Abdeckung aller deutschen Einzugsgebiete soll das HYRAS-Gebiet nach Polen hin erweitert werden.
- Berechnung von Klimaindizes auf Basis der HYRAS-Daten.
- Eine methodische Verbesserung der Interpolation für Globalstrahlung wird angestrebt.
- Die Möglichkeit einer intensiveren Qualitäts- bzw. Homogenitätsprüfung (evtl. Homogenisierung) der eingehenden Stationsdaten wird untersucht.

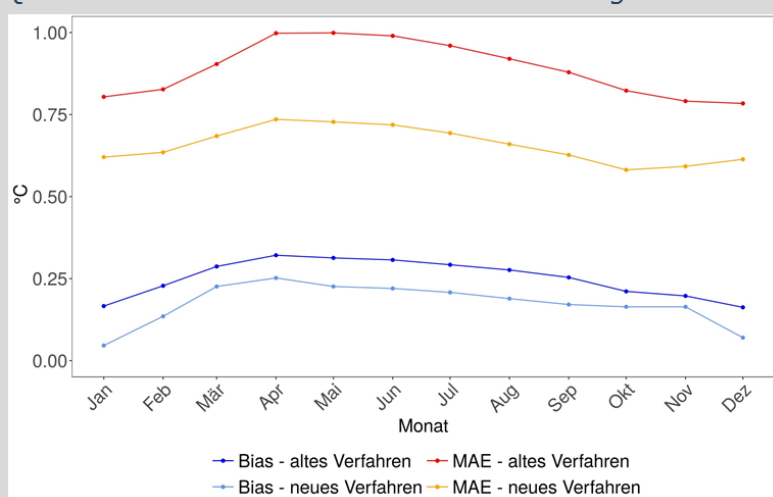


Abb.2: HYRAS Tagesmitteltemperatur: Fehlermaße (Bias und mittlerer absoluter Fehler) im Vergleich zu den Ergebnissen des alten Interpolationsverfahrens

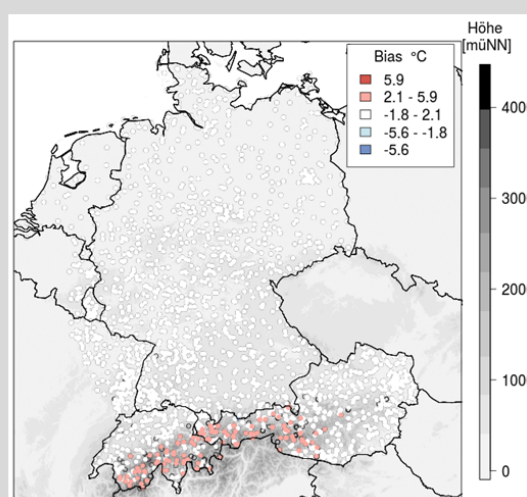


Abb.3: HYRAS Tagesmitteltemperatur: langjähriger Bias bei jeder Station

## Referenzen

- Frick, C. et al. (2014) Central European high-resolution gridded daily data sets (HYRAS): Mean temperature and relative humidity. Met. Z. 23(1), 15-23. doi: 10.1127/0941-2948/2014/0560
- Krähenmann, S. et al. (2016) High-resolution grids of hourly meteorological variables for Germany. Theor. and Appl. Clim. 131(3), 899–926.
- Rauthe, M. et al. (2013) A Central European precipitation climatology – Part I: Generation and validation of a high-resolution gridded daily data set (HYRAS). Met. Z. 22(3), 235-256. doi: 10.1127/0941-2948/2013/046

## Kontakt

Christene S. Razafimaharo  
Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main  
christene-sylvia.razafimaharo@dwd.de

<http://www.bmvi-expertennetzwerk.de>

# Multivariate BIAS adjustment and statistical downscaling

Stefan Krähenmann, Clementine Dalelane, Stephanie Hänsel and Andreas Walter

## Background

Impact models are designed to be forced by absolute meteorological values. In particular, when the parameter of interest is based on threshold exceedance (e.g. change of hot days per year), adjustment of systematic model errors (Bias) becomes important.

Bias adjustment approaches range from simple linear scaling, to quantile mapping of single variables to more complex multivariate methods. In the frame of BMVI's Network of Experts, Bias adjustment is done using a multivariate approach described by Cannon (2018).

According to the IPCC's recommendation (Stocker, 2015), three different set-ups of Cannon's Bias adjustment approach have been tested on independent time periods.

To better represent small-scale processes such as run-off, an additional statistical downscaling step was performed.

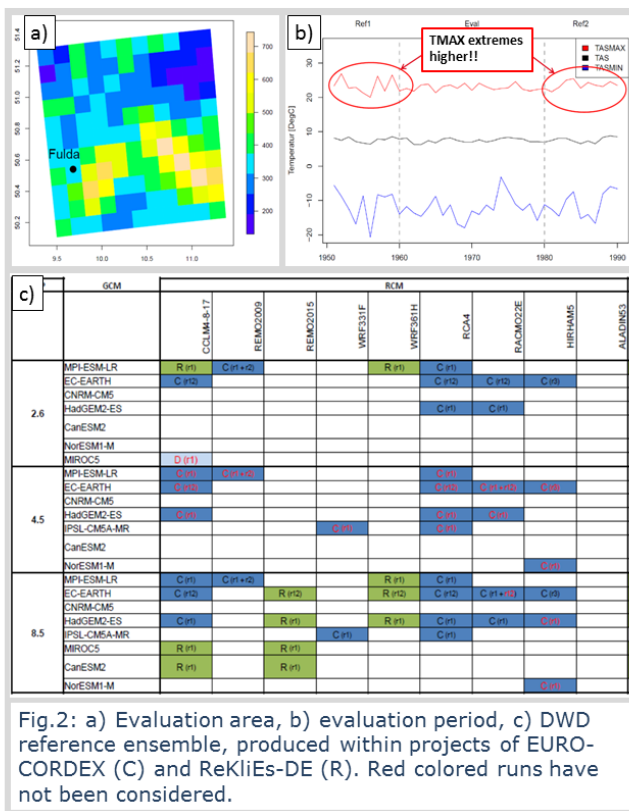


Fig.2: a) Evaluation area, b) evaluation period, c) DWD reference ensemble, produced within projects of EURO-CORDEX (C) and ReKliEs-DE (R). Red colored runs have not been considered.

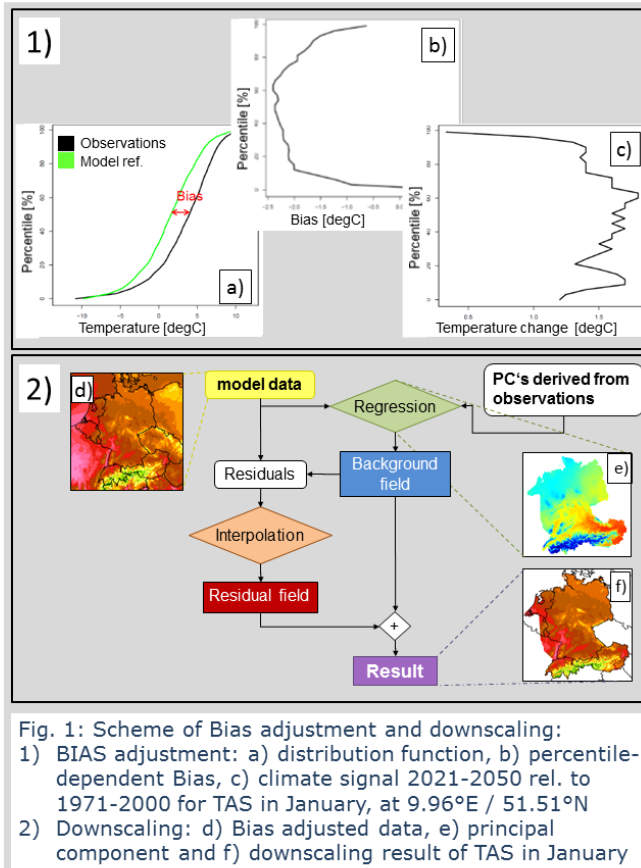


Fig. 1: Scheme of Bias adjustment and downscaling: 1) BIAS adjustment: a) distribution function, b) percentile-dependent Bias, c) climate signal 2021-2050 rel. to 1971-2000 for TAS in January, at 9.96°E / 51.51°N 2) Downscaling: d) Bias adjusted data, e) principal component and f) downscaling result of TAS in January

## Evaluation of Bias adjustment

The evaluation was carried out over the area of Fulda (Fig. 2a) and for two independent time periods (Fig. 2b):

- Reference period: 1951-1960/1981-1990
- Evaluation period: 1961-1980

Three different Bias adjustment set-ups have been applied to an ensemble of regional climate models (Fig. 2c) to find the most suitable one.

Set ups for Bias adjustment:

- Set-up 1: QDM
- Set-up 2: MBC (all variables)
- Set-up 3: MBC (TAS, TMIN, TMAX, TDEW)

## Data and methods

Evaluations were based on an ensemble of regional climate models produced within the projects of EURO-CORDEX and ReKliEs-DE (Fig. 2c) and the variables daily air (TAS) and dew point temperature (TDEW), and precipitation (PR).

1) Multivariate Bias adjustment:

- Quantile mapping (QDM): Adjustment of marginal distributions
- Multivariate scaling (MBC): Adjustment of inter-variable dependence

2) Downscaling (0.11° -> 5 x 5 km<sup>2</sup>):

- Regression of model data against PCAs derived from observational grids
- Inverse distance weighted residual interpolation (model data minus regression estimate)

## Results

Percentile-dependent Bias:

- For TAS/TDEW: Bias improved for 1<sup>st</sup> to 99<sup>th</sup> percentile. However, extremes not robust
- PR: Bias reduced up to 99.9<sup>th</sup> percentile (for values > 99.9<sup>th</sup> linear scaling applied)

Explained variance between variables:

- Correlation between temperature-based variables high, improved by MBC
- Low correlation of PR with other variables

Spatial correlation:

- Set-up 1 retains the most spatial correlation
- Set-up 2 reduces spatial correlation; in particular for TAS and TDEW
- Set-up 3 retains spatial correlation better than Set-up 2

## Conclusion and outlook

- Multivariate BIAS adjustment improves mean percentiles and inter variable correlation, respectively
- Extreme values only partly improved
- Set-up 2 reduces spatial correlation
- Application of approach on DWD reference ensemble

Cannon, S. (2018): Multivariate quantile mapping bias correction: an N-dimensional probability density function transform for climate model simulations of multiple variables. Climate Dynamics. DOI: 10.1007/s00382-017-3580-6.

Stocker, T.F. et al. (2015): IPCC Workshop on Regional Climate Projections and their Use in Impacts and Risk Analysis Studies. São José dos Campos, Brazil, 15-18 September 2015.

Dr. Stefan Krähenmann, DWD, KU11 Zentrales Klimabüro,  
Stefan.kraehenmann@dwd.de  
<http://www.bmvi-expertennetzwerk.de>

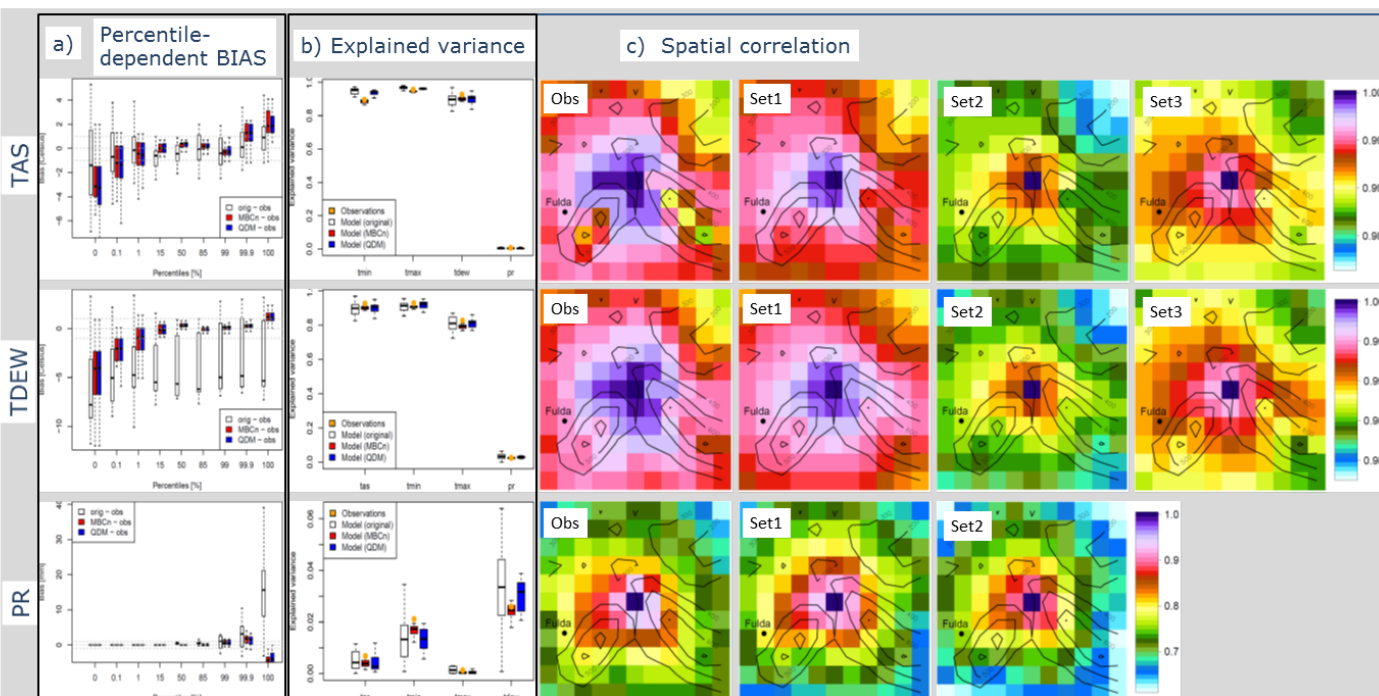


Fig.3: a) Percentile-dependent Bias and b) explained inter-variable variance for two set-ups, the evaluation area and the model ensemble for TAS, TDEW and PR for uncorrected model, and corrections using set-ups 1 and 2. c) Correlation of central grid-point with other grid-points, for TAS, TDEW and PR, for the observations and the three Bias adjustment set-ups.



# Climate Indices in the Network of Experts

Kelly Stanley, Stefan Krähenmann, Stephanie Hänsel and Andreas Walter

## Background

Natural hazards and structural damage to infrastructure resulting from climate change pose significant challenges for transport systems. The aim of Topic 1 within the BMVI (Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure) Network of Experts is to determine the vulnerability of traffic and transport infrastructure in inland and coastal areas of Germany to climate change and extreme weather events. This research is made in order to highlight adaptation opportunities and make recommendations that permit unrestricted use of waterway, rail and road modes of

transport wherever possible, even in the face of climate change.

The atmospheric and oceanographic information needed to study these issues is based on historical measurement data and climate model simulations. Ensembles of statistically downscaled and bias-corrected climate projections provide possible future ranges of climate variables that can serve as inputs for impact models and the calculation of climate indices. The results of these studies will be incorporated into an assessment tool to finally develop adaptation options.

## Data and methods

The atmospheric information in this study covers Germany and the surrounding river basins and is provided from historical measurement data (Raster/HYRAS: 1951-2010) & an ensemble of regional climate models produced within the projects of EURO-CORDEX and ReKliEs-DE (Fig. 1).

- Horizontal & temporal resolution: daily data at 5km resolution (regionalization from 12km simulation)
- Dynamical-statistical downscaling
- Bias adjustment (Cannon, 2018): Multivariate correction for the variables temperature (mean, min, max) and relative humidity. Quantile mapping for precipitation.

| RCP | GCM        | CCLM4-CLM4.5 | REMO2009 | REMO2015 | WRF331F | WRF331H | RCM4  | RAMS4 | HIRHAM5 | ALADIN5 |
|-----|------------|--------------|----------|----------|---------|---------|-------|-------|---------|---------|
| 2.6 | MPRESM-LR  | R (y)        | C (y)    |          |         | R (y)   | C (y) |       |         |         |
|     | EC-EARTH   | C (y)        |          |          |         |         | C (y) |       |         |         |
|     | CNRM-CM5   |              |          |          |         |         | C (y) |       |         |         |
|     | HadGEM2-ES |              |          |          |         |         | C (y) |       |         |         |
|     | CanESM2    |              |          |          |         |         | C (y) |       |         |         |
| 4.5 | MPRESM-LR  | R (y)        | C (y)    |          |         | R (y)   | C (y) |       |         |         |
|     | EC-EARTH   | C (y)        |          |          |         |         | C (y) |       |         |         |
|     | CNRM-CM5   |              |          |          |         |         | C (y) |       |         |         |
|     | HadGEM2-ES |              |          |          |         |         | C (y) |       |         |         |
|     | CanESM2    |              |          |          |         |         | C (y) |       |         |         |
| 8.5 | MPRESM-LR  | R (y)        | C (y)    |          |         | R (y)   | C (y) |       |         |         |
|     | EC-EARTH   | C (y)        |          |          |         |         | C (y) |       |         |         |
|     | CNRM-CM5   |              |          |          |         |         | C (y) |       |         |         |
|     | HadGEM2-ES |              |          |          |         |         | C (y) |       |         |         |
|     | CanESM2    |              |          |          |         |         | C (y) |       |         |         |

Fig.1: DWD reference ensemble, produced within projects of EURO-CORDEX (C) and ReKliEs-DE (R). Red colored runs have not been considered.

## Calculation parameters

Calculation of various indices (climatic characteristic values and extreme value statistics) calculated on a monthly, seasonal and/or annual basis. See Fig. 3 for examples of indices.

Indices are based on variables: temperature (mean, min, max), precipitation, relative humidity, global radiation, wind (avg. speed, direction).

Indices are calculated for the emission scenarios: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5 (van Vuuren et al. 2011) and for the time periods and planning horizons: 1971-2000, 2031-2060 and 2071-2100.

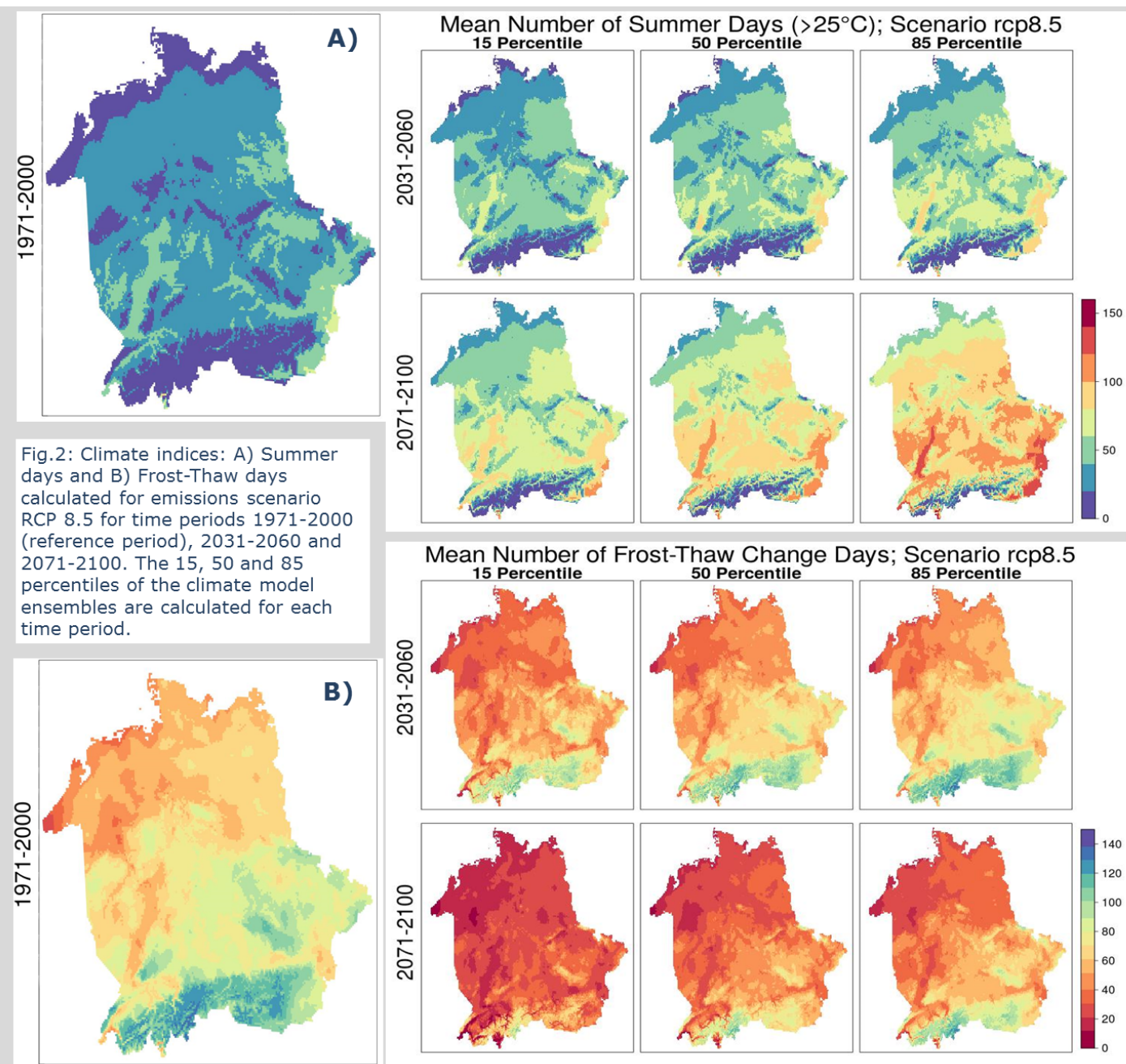


Fig.2: Climate indices: A) Summer days and B) Frost-Thaw days calculated for emissions scenario RCP 8.5 for time periods 1971-2000 (reference period), 2031-2060 and 2071-2100. The 15, 50 and 85 percentiles of the climate model ensembles are calculated for each time period.

| Abbreviation | Climate index               | Description   |
|--------------|-----------------------------|---|
| FD           | Number of frost days        | Annual count of days when TN (daily minimum temperature) < 0°C                  |
| FT           | Frost-thaw change days      | Annual count of days when the air temperature is ≥ and < 0°C                    |
| TR           | Number of tropical nights   | Annual count of days when TN (daily minimum temperature) > 20°C                 |
| CSDI         | Cold spell duration index   | Annual count of days with at least 6 consecutive days when TN < 10th percentile |
| CDD          | Maximum length of dry spell | Maximum number of consecutive days with RR < 1mm                                |

Fig.3: Examples of climate indices for Topic 1.

## Results and Outlook

Overall more than 85 climate indices will be calculated. Examples of the results for two indices can be observed for the extreme emission scenario RCP 8.5 over all timeframes (Figures 2A & 2B). The requested indices for this project are currently being reviewed and will be calculated over the coming months.

Cannon, S. (2018): Multivariate quantile mapping bias correction: an N-dimensional probability density function transform for climate model simulations of multiple variables. *Climate Dynamics*. DOI: 10.1007/s00382-017-3580-6.  
van Vuuren DP, Edmonds J, Kainuma M et al. (2011): The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109: 5. doi:10.1007/s10584-011-0148-z.

Kelly Stanley, DWD, Offenbach am Main  
Kelly.Stanley@dwd.de  
<http://www.bmvi-expertennetzwerk.de>



# Ableitung zukünftiger Jährlichkeiten für Extremwerte unterschiedlicher Klimavariablen mit Hilfe der Kerndichteschätzung

Christoph Brendel (Deutscher Wetterdienst), Thomas Deutschländer (Deutscher Wetterdienst)

## Klimawandel & Extremereignisse

Das Auftreten von extremen meteorologischen Ereignissen birgt allgemein ein hohes Schadenspotenzial für die Verkehrsinfrastruktur. Durch die im 21. Jahrhundert zunehmend fortschreitende Erderwärmung ist davon auszugehen, dass die Wiederkehrperioden solcher Extremereignisse sich deutlich verändern werden. Mittels einer Kerndichteschätzung wurde die Veränderung der Wiederkehrperioden für vier

Schwellenwertüberschreitungen und acht unterschiedliche Klimaparameter berechnet. Als Datengrundlage kann inzwischen auf ein umfangreiches Klimamodellensemble zurückgegriffen werden, das aus den beiden Projekten EURO-CORDEX und ReKliEs-De zusammengestellt wurde. Verfahrensweise und Auszüge interessanter Ergebnisse werden in der Folge gezeigt.

## Kerndichteschätzung

### Abfolge Kerndichteschätzung (Abb. 1):

1. Identifizierung von Extremereignissen mittels Schwellenwertüberschreitung (*peaks over threshold* Methode, POT)
2. Kerne weisen jeder Schwellenwertüberschreitung eine zeitlich gewichtete Eintrittswahrscheinlichkeit zu.
3. Aufsummierung alle Kerne führt zu ...
4. ... einer kontinuierlichen Funktion der Auftretswahrscheinlichkeit von Schwellenwertüberschreitungen in Abhängigkeit von der Zeit.

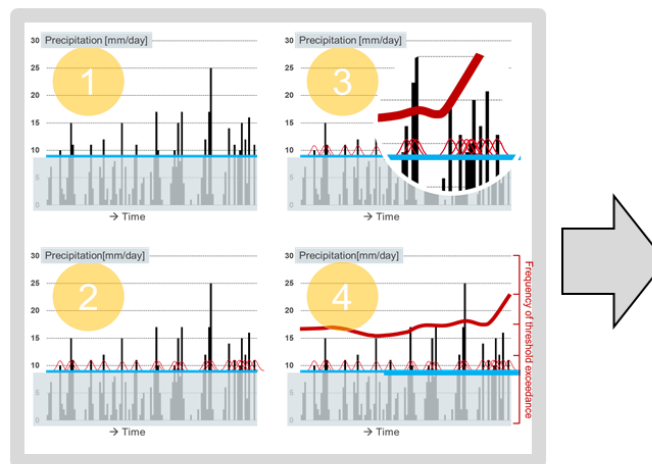


Abb.1: Schaubild Kerndichteschätzung (s. Nummerierung)

## Ableitung von Jährlichkeiten

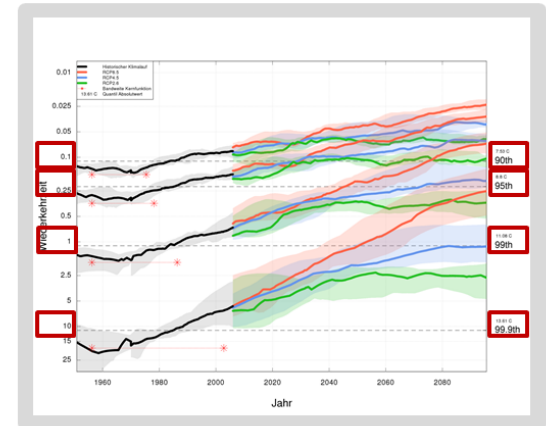


Abb. 2: Beispielabbildung von Verknüpfung der Quantile und den zugehörigen Jährlichkeiten (rote Markierung)

- Schwellenwertüberschreitungen (Extremwerte) der Kerndichteschätzung sind über Quantile (90%/95%/99%/99,9%) definiert
- Empirisch lassen sich Quantile auch in Jährlichkeiten umrechnen (z.B. tritt das 99,9% Quantil im Sommer einmal alle 10,87 Jahre auf, s. rote Markierungen Abb. 2)
- Somit lassen sich für Veränderungen der Schwellenwertüberschreitungen in der Zukunft ebenfalls neue Jährlichkeiten bestimmen

## Tagesmaximumtemperatur

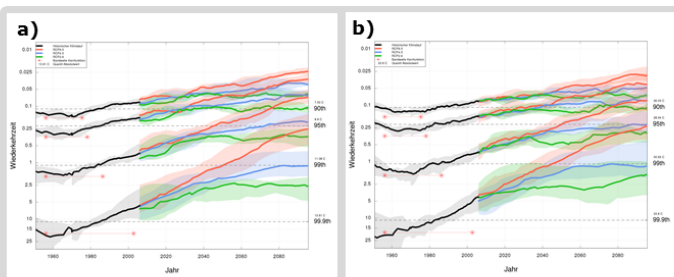


Abb. 3: Mittlere Änderung der Jährlichkeiten (1/a) von Extremen (90%/95%/99%/99,9% Quantil) der Tagesmaximumtemperatur für Winter (a) und Sommer (b) über Deutschland bis zum Jahr 2100.

## Tagesminimumtemperatur

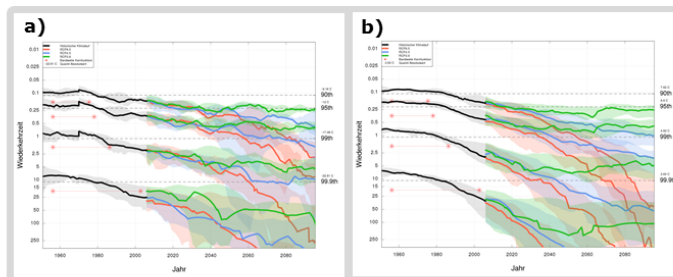


Abb. 4: Mittlere Änderung der Jährlichkeiten (1/a) von Extremen (90%/95%/99%/99,9% Quantil) der Tagesminimumtemperatur für Winter (a) und Sommer (b) über Deutschland bis zum Jahr 2100.

## Täglicher Mittelwind

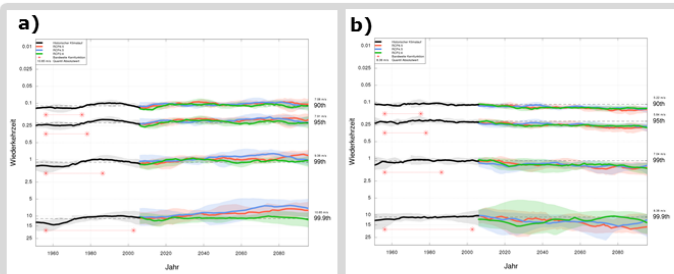


Abb. 5: Mittlere Änderung der Jährlichkeiten (1/a) von Extremen (90%/95%/99%/99,9% Quantil) des täglichen Mittelwindes für Winter (a) und Sommer (b) über Deutschland bis zum Jahr 2100.

## Spezifische Feuchte

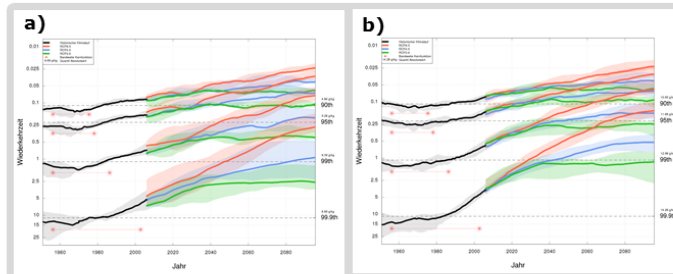


Abb. 6: Mittlere Änderung der Jährlichkeiten (1/a) von Extremen (90%/95%/99%/99,9% Quantil) der spezif. Feuchte für Winter (a) und Sommer (b) über Deutschland bis zum Jahr 2100.

## Tagesniederschlag

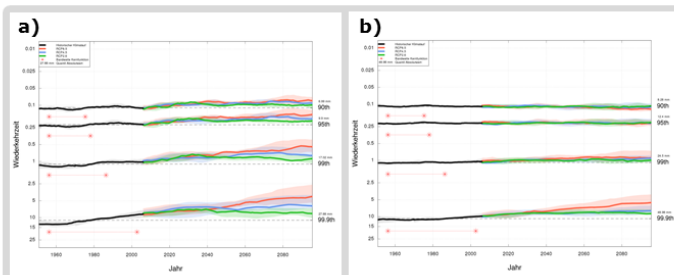


Abb. 7: Mittlere Änderung der Jährlichkeiten (1/a) von Extremen (90%/95%/99%/99,9% Quantil) des Tagesniederschlags für Winter (a) und Sommer (b) über Deutschland bis zum Jahr 2100.

## Maximal stündlicher Niederschlag

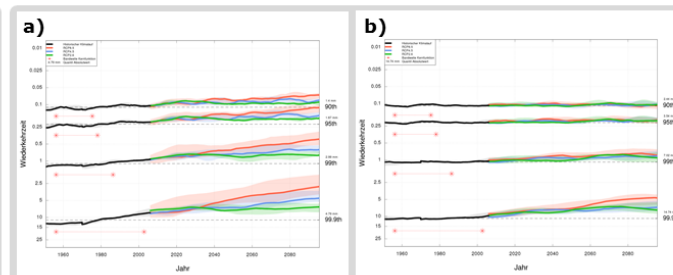


Abb. 8: Mittlere Änderung der Jährlichkeiten (1/a) von Extremen (90%/95%/99%/99,9% Quantil) des maximal stündlichen Niederschlags für Winter (a) und Sommer (b) über Deutschland bis zum Jahr 2100.

## Vorläufige Ergebnisse

- Die Jährlichkeit für Temperaturextreme der Maximum- und (Minimumtemperatur) nimmt vor allem für das RCP8.5 deutlich zu (ab) (Abb. 3 und 4)
- Beim täglichen Mittelwind sind die Schwankungen der multidekadischen Variabilität zumeist ausgeprägter als das Änderungssignal infolge des Klimawandels (Abb. 5)
- Die u.a. für das Wärmeempfinden der Lufttemperatur und das Potenzial von Starkniederschlägen bedeutsame spezifische Feuchte nimmt ebenfalls deutlich zu, insbesondere im Sommer und für das RCP8.5 (Abb. 6)
- Die Änderungen beim Niederschlag sind weniger ausgeprägt als für die Temperatur und Feuchte. Hier nimmt vor allem die Jährlichkeit im Winter für Schwellenwertüberschreitungen oberhalb des 99,9%-Quantils zu (Abb. 7)
- Die Jährlichkeit für den maximalen stündlichen Niederschlag nimmt stärker zu als für den Tagesniederschlag (Abb. 8)

## Referenzen

C. Dalelane, T. Deutschländer (2013): A robust estimator for the intensity of the Poisson point process of extreme weather events. *Weather and Climate Extremes*, 1, 69-75.

## Kontakt

[christoph.brendel@dwd.de](mailto:christoph.brendel@dwd.de)

<http://www.bmvi-expertennetzwerk.de>

# Ergebnisse der konvektionserlaubenden Klimaprojektionen mit COSMO-CLM

Michael Haller, Susanne Brienen, Stefan Krähenmann, Barbara Früh (Deutscher Wetterdienst)

## Einleitung

Auch wenn der Klimawandel ein globales Phänomen ist, sind Informationen darüber auch auf lokaler Ebene essentiell, um Anpassungsstrategien dazu zu entwickeln. Hochaufgelöste Klimaprojektionen bieten die Möglichkeit, die Öffentlichkeit und Entscheidungsträger mit relevanten Klimainformationen auf lokaler Ebene zu versorgen.

Zu diesem Zweck wurde mit Hilfe des dynamischen Downscaling-Verfahrens eine Realisierung einer Klimaprojektion für das RCP8.5-Szenario mit dem COSMO-CLM für verschiedene Zeitscheiben mit einer horizontalen Gitterweite von nur 2,8 km berechnet.

Dieses Poster liefert einen Überblick über die durchgeführte konvektionserlaubende Klimaprojektion sowie über ein statistisches Downscaling-Verfahren, mit dem ein neuartig hochaufgelöstes Klimaprojektionsensemble erstellt wird.

## Ergebnisse der Auswertung

Im folgenden werden Ergebnisse zu den Variablen 2m-Temperatur und Niederschlag präsentiert. In Abb. 3 zeigt sich, dass es einen klaren Anstieg der mittleren Temperaturen vom historischen Zeitraum zu den Szenarios gibt, während im Mittel der Niederschlag sich nicht verändert.

Dagegen ist für diesen Lauf bei Extremniederschlägen eine Erhöhung der mittleren Anzahl an Tagen pro Jahr > 20mm zu erkennen. Auch ein Anstieg der Zahl der Sommertage pro Jahr ist deutlich zu erkennen (Abb. 4). Vergleiche mit HYRAS-Daten (Rauthe et al., 2013) zeigen Abweichungen des Modells sowohl für Temperatur als auch für Niederschlag, vor allem in den Alpen (Abb.5).

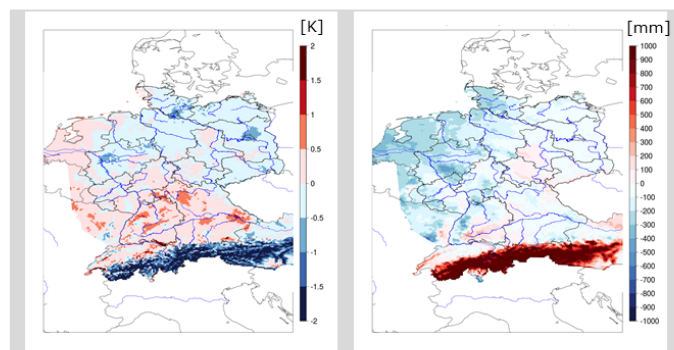


Abb.5: Vergleich von CCLM mit HYRAS-Daten für 1971-2000 von Mittelwert der 2m-Temperatur (links) und dem mittleren Jahresniederschlag (rechts).

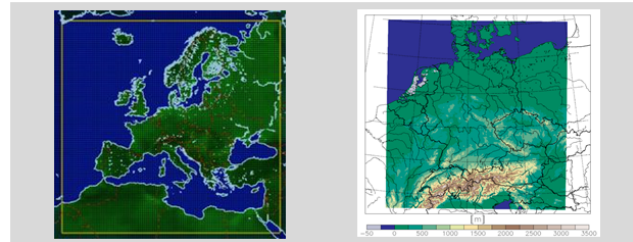


Abb.1: EURO-CORDEX 12 km Modellgebiet (links) und Modellgebiet COSMO-DE plus mit 2,8 km Gitterweite (rechts).

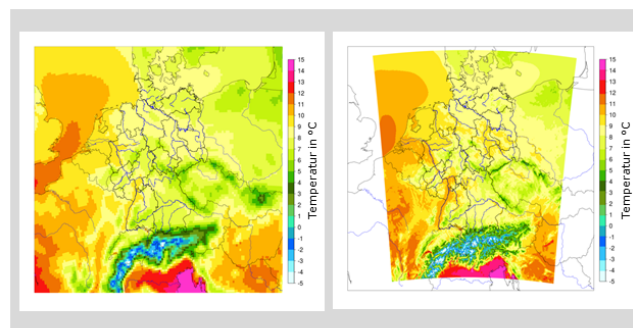


Abb.2: Dynamisches Downscaling für MIROC5-CCLM, mit mittlerer 2m-Temperatur von 1971-2000 für 12 km (links) und 2,8 km (rechts).

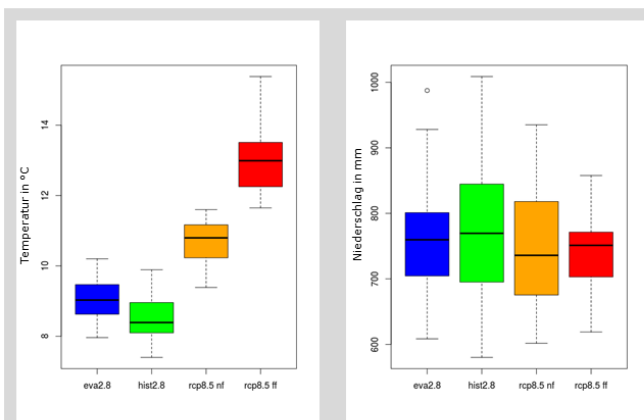


Abb.3: Flächenmittel von Jahreswerten der 2m-Temperatur (links) und Niederschlag (rechts) für den Evaluierungslauf (eva2.8) und die Zeitscheiben 1971-2000 (hist2.8), 2031-2060 (rcp8.5 nf) und 2071-2100 (rcp8.5 ff).

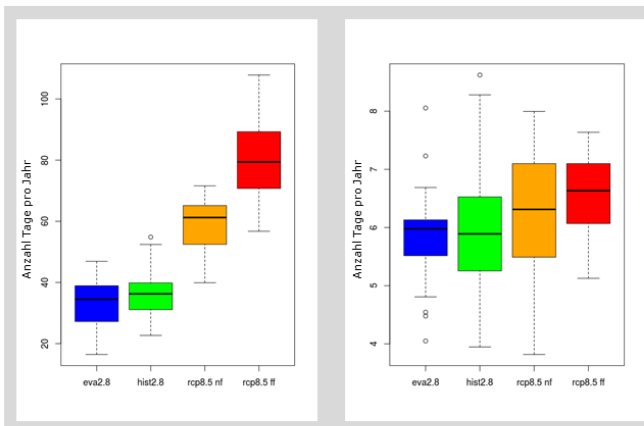


Abb.4: Flächenmittel von Jahreswerten der Anzahl der Sommertage (>25°C) (links) und Starkniederschläge (>20mm/Tag) (rechts) für entsprechende Zeiträume wie in Abb. 3.

B. Rockel, A. Will, A. Hense (2008): The Regional Climate Model COSMO-CLM (CCLM). Meteorologische Zeitschrift Vol. 17 No. 4 (2008), p. 347 - 348.  
M. Rauthe, H. Steiner, U. Riedinger, A. Mazurkiewicz and A. Gratzki (2013): A Central European precipitation climatology - Part I: Generation and validation of a high-resolution gridded daily data set (HYRAS). Meteorologische Zeitschrift Vol. 22, No. 3, 235-256

## Dynamisches Downscaling

Hochaufgelöste Modellsimulationen mit COSMO-CLM (Rockel et al., 2008) werden durch ein gröber aufgelöstes Modell (Gebiet in Abb. 1 links) angetrieben.

Modell-Setup:

- COSMO4.8\_clm18
- 50 vertikale Modellschichten
- COSMO-DE plus, erweitert nach Osten (Abb. 1 rechts)
- 461x481 Gitterpunkte
- Zweifach-Nestung des globalen Modells MIROC5: 50km => 12km => 2,8km horizontale Gitterweite

| Name              | Zeitscheibe | Antrieb            |
|-------------------|-------------|--------------------|
| Evaluierungslauf  | 1971-2000   | ERA-40/ERA-Interim |
| Historischer Lauf | 1971-2000   | MIROC5/CCLM        |
| Nahe Zukunft      | 2031-2060   | MIROC5/CCLM        |
| Entfernte Zukunft | 2071-2100   | MIROC5/CCLM        |

Tab.1: Überblick über COSMO-CLM Simulationsläufe und Zeitscheiben

## Statistisches Downscaling

Ein statistisches Downscaling-Verfahren (Abb. 6) wird verwendet, um weitere GCMs auf die Zielgitterweite 2,8 km herunterzukalieren. Dazu werden basierend auf hochaufgelösten Klimamodellaten mit einem PCA-Verfahren<sup>1</sup> typische Muster

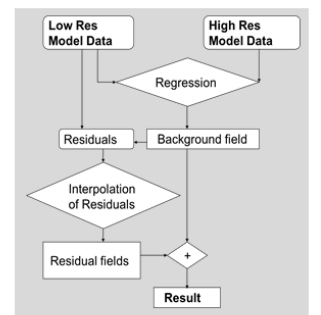


Abb.6: Schema statistisches Downscaling

generiert. Diese werden für die Regression der GCM-Daten verwendet. Residuen werden anschließend mittels IDW<sup>2</sup> interpoliert. Zur Zeit wird die optimale Konfiguration für das Verfahren erarbeitet.

1: Principal Component Analysis, 2: Inverse Distance Weighting

## Fazit und Ausblick

- Auswertungen zeigen Änderungssignale für mittlere Temperaturen und Anzahl der Sommertage sowie Starkniederschläge.
- Weitere Auswertungen (z.B. für Perzentile) auch für andere Variablen
- Verwendung der bias-adjustierten Antriebsdaten für statistisches Downscaling

## Kontakt

Dr. Michael Haller, DWD, KU11 Zentrales Klimabüro,  
michael.haller@dwd.de  
<http://www.bmvi-expertennetzwerk.de>

# Baltic and North Sea Climatology (BNSC)

Corinna Jensen (BSH), Anette Ganske (BSH), Jens Möller (BSH), Nils Schade (BSH), Birger Tinz (DWD)

## Rohdaten

Die BNSC wurde in Zusammenarbeit mit dem ICDC (Integrated Climate Data Center) und der Uni Hamburg erstellt (Sadikni et al. 2018; Schade et al. 2017). Sie basiert sowohl auf **atmosphärischen** als auch auf **ozeanographischen**, qualitätsgeprüften Messwerten des Maritimen Datenzentrums des DWD (Deutscher Wetterdienst), die von **Schiffen, Bojen und Plattformen** von 1873 bis 2015 gesammelt wurden (s. Abb. 1).

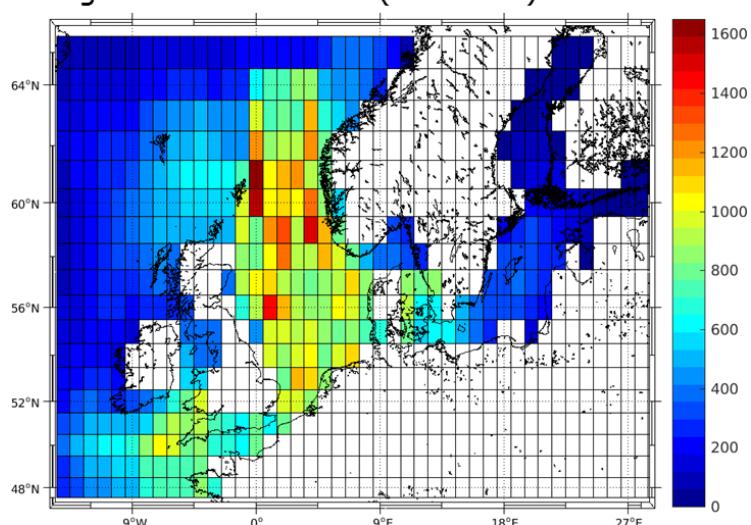


Abb. 1: Anzahl der durchschnittlich eingegangenen Beobachtungen für Luftdruck pro Monat und Gitterbox für den Zeitraum von 1873 bis 2001.

## Vergleich Reanalysen

Die fertigen Datenprodukte der BNSC wurden mit Reanalysen (ERA-40 und ERA-Interim (s. Abb. 2), sowie COSMO REA-6) verglichen. Die Datensätze weisen eine zufriedenstellende Übereinstimmung auf.

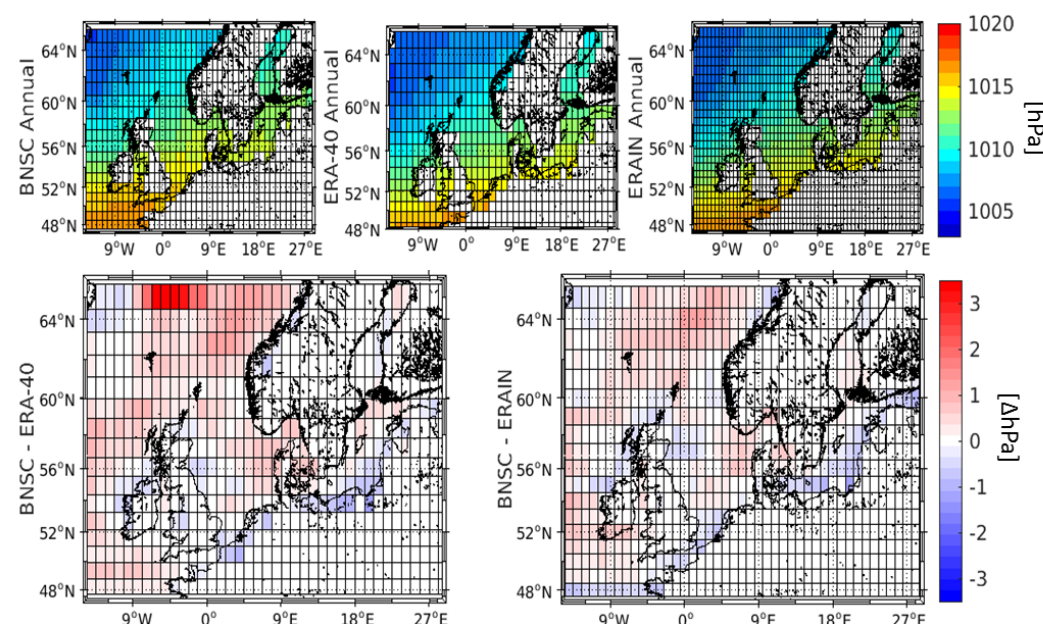


Abb. 2: Vergleich des Luftdruckes [hPa] auf Meeresniveau der BNSC mit den Reanalysen ERA-40 und ERA-Interim. Oben: Mittel über die gesamte Zeitreihe an Monatsmitteln von 1979 bis 2001. Unten: Differenz der Mittel über den gesamten Zeitraum.

## Fertige Datenprodukte

Das Endergebnis ist ein Datensatz mit einem **atmosphärischen** Teil (1950 bis 2015, 1°-Gitter) und einem **ozeanographischen** Teil (1873 bis 2015, 0.25° geogr. Breite und 0.5° geogr. Länge) jeweils über dem Gebiet von 47° N bis 66°N und von 15°E bis 30°W. Es können interaktiv Felder von Monatsmittelwerten sowie **Klimatologien** für 30- Jahres Zeitscheiben (z.B. 1951-1980, 1961-1990, 1971-2000 und 1981-2010) wie auch individuelle

Zeiträume ausgegeben werden. Felder für die atmosphärischen Variablen **Temperatur, Luftdruck, Taupunkt, Relative Feuchte**, sowie im ozeanographischen Teil für **Wassertemperatur und Salzgehalt** in verschiedenen Tiefenstufen wurden erstellt. Für den ozeanographischen Teil stehen zusätzlich dekadisch interpolierte Felder zur Verfügung.

## Vergleich Stationsdaten

Neben den Reanalysen wurden die Daten der BNSC für den Luftdruck auf Meeresniveau auch mit einigen **Küstenstationen** des DWD verglichen (s. Abb. 3). Die hieraus ermittelten Differenzen liegen im Rahmen der Ungenauigkeiten, da Sie kleiner sind als die Differenzen zwischen Reanalyse und BNSC.

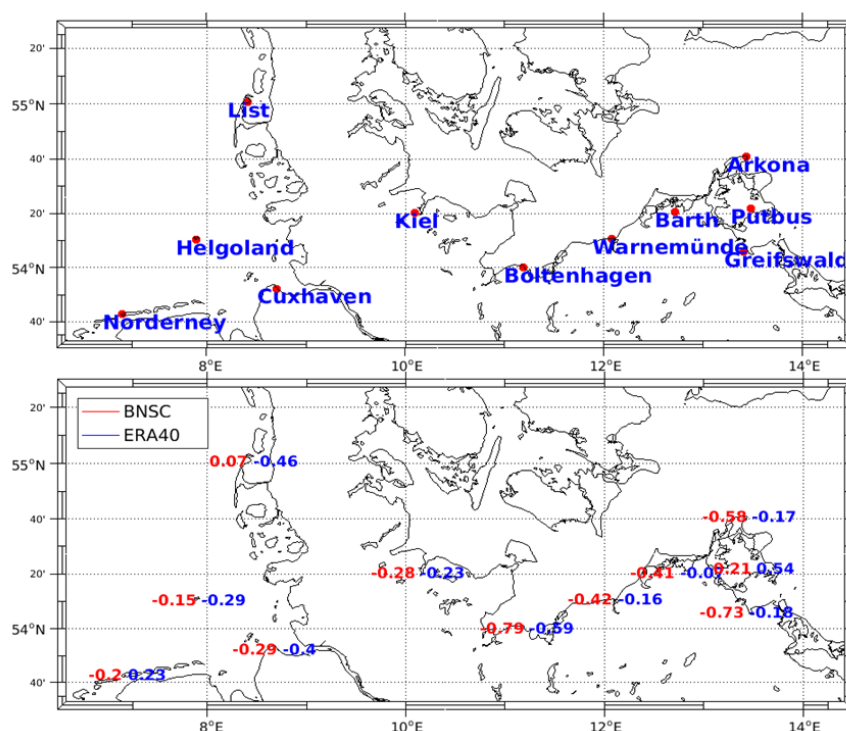


Abb. 3: Mittlere Differenz des Monatsmittels des Luftdruckes [hPa] auf Meeresniveau von der BNSC, bzw. ERA40, und Stationsdaten über den jeweils überschneidenden Zeitraum zwischen 1960 und 2001.

## Literatur

- Sadikni et.al (2018): Journal of Atmospheric and oceanic technology, 35
- Schade et.al (2017): Earth System Dynamics, 8

## Kontakt

Corinna Jensen  
BSH  
Corinna.Jensen@bsh.de  
<http://www.bmvi-expertennetzwerk.de>

## Fazit

Mit der BNSC ist ein klimatologischer Datensatz entstanden, der ausschließlich auf **qualitätsgeprüften Beobachtungsdaten** basiert und erstmals atmosphärische und ozeanographische Variablen auf einem **kompatiblen Gitter** enthält.

Neue Beobachtungsdaten können nachträglich eingepflegt und die Klimatologie aktualisiert werden. Die BNSC kann als Referenz zur Validation von Klimamodellen genutzt werden, da sie ein **unabhängiger Datensatz** ist.

Die Daten werden über die Plattform des ICDC veröffentlicht. Eine zweite leicht überarbeitete Version der Klimatologie wurde aktuell ebenfalls fertiggestellt und ist online verfügbar.

Download möglich über : <https://icdc.cen.uni-hamburg.de/projekte/bnsc-project/>



# Einfluss von Meeresspiegelanstieg und Niederschlag auf die Entwässerung des Nord-Ostsee-Kanals

Jens Möller, Nils H. Schade, Corinna Jensen, Anette Ganske (BSH)

## 1. Der Nord-Ostsee-Kanal (NOK)

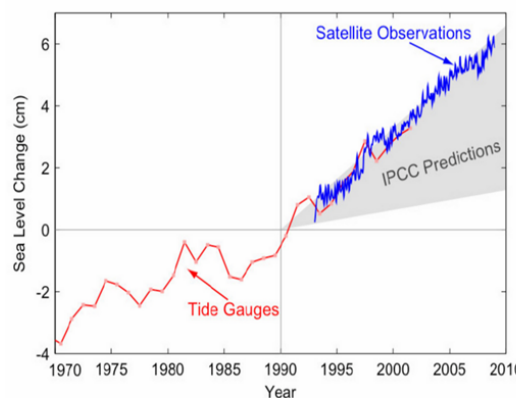
- Meistbefahrene künstliche Wasserstraße der Welt
- Entwässert 1/10 der Fläche Schleswig-Holsteins
- Die Entwässerung läuft zu etwa 90% in die Tideelbe.
- Entwässerung ist nur bei Niedrigwasser (NW) möglich und muss bei höheren Wasserständen eingestellt werden.



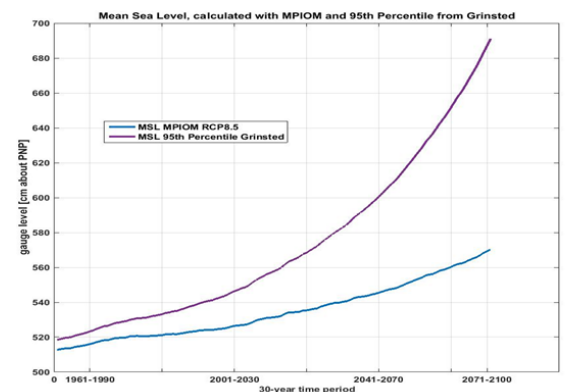
**Abb.1:** Satellitenbild von Norddeutschland  
Quelle: Atlas Schleswig-Holstein

## 2. Meeresspiegelanstieg: Gegenwart und Zukunft

- Der beobachtete globale Meeresspiegelanstieg von etwa 3.3 mm/a seit 1990 verläuft am Oberrand der Bandbreite der IPCC-Szenarien (Abb. 2).
- Das Klimamodell MPI-OM liefert für das WEITER WIE BISHIER Szenario (RCP8.5) ohne die Anteile aus dem Abschmelzen von Landgletschern und Eisschilden einen Anstieg um etwa 55 cm bis 2100 (Abb. 3, blau).
- Bei Berücksichtigung dieser Anteile sowie eisdynamischer Prozesse ergeben sich weit höhere Abschätzungen wie etwa im High-End Szenario von Grinsted et al (2015); (Abb. 3, magenta).



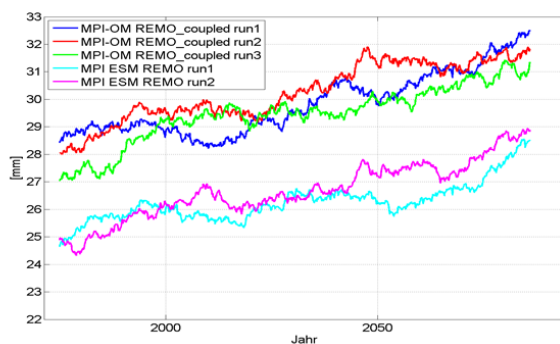
**Abb.2:** Beobachtungen des Meeresspiegelanstiegs aus Pegel- (rot) und Satellitenbeobachtungen (blau). Als Vergleich sind die IPCC-Szenarien grau unterlegt. Quelle: Copenhagen Diagnosis, 2009



**Abb.3:** Meeresspiegelanstieg MPI-OM (Mathis, 2017) im Szenario RCP8.5 (blau) und für das „High-End Szenario“ nach Grinsted (2015, in magenta), beide als 30-jähriges gleitendes Mittel für Cuxhaven

## 3. Niederschlag & Vorfeuchte im EZG NOK

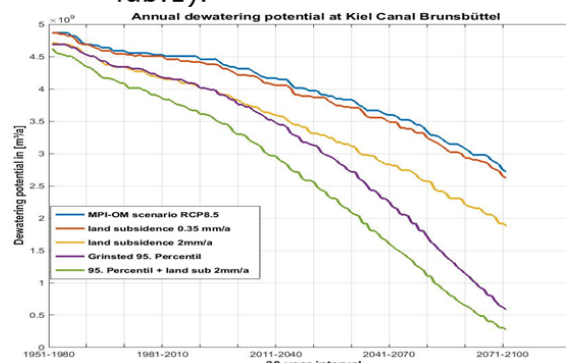
- Der Vorfeuchteindex stellt ein gutes Proxy für den Abfluss aus einem Einzugsgebiet (EZG) dar. Er berechnet sich aus dem gewichteten Niederschlag der jeweiligen vergangenen 30 Tagen.
- Das Modell (MPI-OM/REMO bzw. MPI-ESM/REMO) liefert im EZG des NOK für RCP8.5 einen Anstieg des Vorfeuchteindex um 10 bis 15 % bis 2100 (Abb. 4), was besonders im Winterhalbjahr zu erhöhten Abflüssen führt.



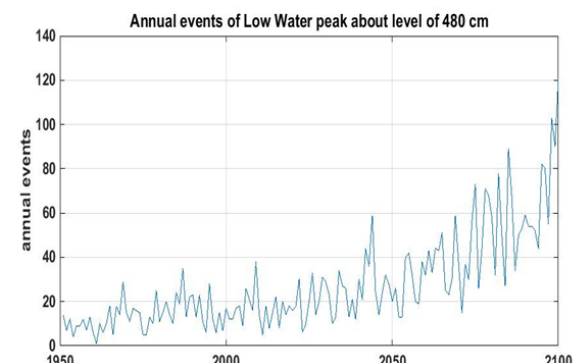
**Abb.4:** Vorfeuchteindex gemittelt über das Einzugsgebiet des NOK (30-jähriges gleitendes Mittel) für MPIOM/REMO im WEITER WIE BISHIER Szenario (RCP8.5)

## 4. Entwässerungspotential des NOK

- Das Entwässerungspotential des NOK wird durch den Anstieg des Meeresspiegels (Abb.2 und 3), Niederschläge im Einzugsgebiet (Abb.4) sowie Landsenkungsprozesse beeinflusst (siehe Abb.5).
- Bei einem Meeresspiegelanstieg um 55 cm (s. Abb. 3, MPI-OM) verringert sich das Entwässerungspotential um über 40 %.
- Mit steigendem Meeresspiegel werden Situationen, in denen auch bei Niedrigwasser nicht entwässert werden kann, häufiger werden (Abb.6 und Tab.1).



**Abb.5:** Entwässerungspotential für Szenario RCP8.5 + Landsenkungsszenarien + „High-End Szenario“ (nach Grinsted) für Brunsbüttel, 30a gleitendes Mittel)



**Abb.6:** Veränderung im jährlichen Auftreten von Tideniedrigwassern > 480 cm über NN im Szenario RCP8.5 für Brunsbüttel

### Fazit / Ausblick

Die Entwässerung des NOK ist nur bei Tideniedrigwasser möglich.

Mit Anstieg des Meeresspiegels wird der kritische Tideniedrigwasserstand, bis zu dem Entwässerung möglich ist, immer häufiger überschritten.

Die Anzahl aufeinanderfolgender erhöhter Tideniedrigwasser wird sich prozentual stärker erhöhen als die Anzahl von einzelnen erhöhten Tideniedrigwassern.

Der Meeresspiegelanstieg wird voraussichtlich in Zukunft einen stärkeren Einfluss auf die Entwässerung des NOK nehmen als die Entwicklung der Niederschläge / Vorfeuchte.

Der projizierte Anstieg der mittleren Niederschläge scheint im MPI-Modell keinen Einfluss auf das Auftreten von Starkniederschlägen zu haben.

Das gleichzeitige Auftreten von hohen Tideniedrigwasserständen und lang andauernden bzw. extremen Niederschlägen ist Gegenstand aktueller Untersuchungen im Expertennetzwerk.

Während ein einzelnes erhöhtes Tideniedrigwasser für die Entwässerung unproblematisch ist, können aufeinanderfolgende erhöhte Niedrigwasser Probleme bereiten.

Tabelle 1 zeigt, dass der prozentuale Anstieg dieser sogenannten Kettentiden mit der Kettenlänge N stark zunimmt.

| LW > 480 cm | 1951-1980 | 1981-2010 | 2011-2040 | 2041-2070 | 2071-2100 |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| N=1         | 347       | 516       | 564       | 965       | 1752      |
| N=2         | 89        | 136       | 185       | 329       | 702       |
| N=3         | 31        | 54        | 73        | 165       | 377       |
| N=4         | 8         | 17        | 24        | 63        | 167       |
| N=5         | 2         | 4         | 11        | 33        | 90        |
| N=6         | 1         | 0         | 3         | 15        | 45        |

**Tab.1:** Anzahl von Ereignissen mit Tideniedrigwasserständen > 480 cm über NN pro 30-Jahres-Periode, dargestellt für 1-6 aufeinanderfolgende erhöhte Tideniedrigwasser, MPI-OM, Szenario RCP8.5, für Pegel Brunsbüttel

### Literatur

Mathis et al (2017)  
Grinsted et al (2015)

### Kontakt

Jens Möller (jens.moeller@bsh.de)  
BSH Hamburg  
Bernhard-Nocht-Str. 78  
20359 Hamburg  
<http://www.bmvi-expertennetzwerk.de>



# Werden sich die meteorologischen Bedingungen für Sturmfluten in der Deutschen Bucht möglicherweise ändern?

Anette Ganske (BSH), Natacha Fery (DHI), Birger Tinz (DWD)

## Einleitung

Viele Regionen an der deutschen Nordseeküste liegen auf Meeresniveau oder darunter und würden ohne Deiche täglich überspült werden. Um für steigende Meeresspiegel gewappnet zu sein, ist eine weitere Erhöhung der Deiche um einen Klimageschlag von 0,5 m geplant. Sollte sich herausstellen, dass zusätzlich die Höhen der extremen Sturmfluten ansteigen, müssten die Deiche stärker erhöht werden.

Sturmfluten entstehen durch auflandigen starken Wind bei Tidehochwasser. Nach der Definition des BSH liegt eine Sturmflut vor, wenn der Wasserstand mindestens 1,5 m höher ist als das Mittlere Hochwasser (MHW). Dabei wird der Wasserstand an der Küste nicht nur von der Stärke des Windes beeinflusst, sondern kann z.B. auch durch Fernwellen erhöht werden.

Hier soll untersucht werden, ob sich die meteorologischen Bedingungen für Sturmfluten in Zukunft möglicherweise ändern. Alle Untersuchungen wurden für Cuxhaven gemacht, da es bei schweren Sturmfluten repräsentativ für die Deutsche Bucht ist.

Die Ergebnisse wurden aus je 3 Läufen (C20 + RCP8.5, 1951-2099) des gekoppelten Ozean-Atmosphären-Klima-Modells MPI-OM/REMO (Sein et al., 2015) bestimmt:

- Zeitreihen des Effektiven Windes (s.u.) an einem Gitterpunkt nahe Cuxhaven
- Darin wurden Episoden mit hohen Effektiven Wind gesucht

## Effektiver Wind

Für jeden Küstenabschnitt kann man statistisch diejenige Windrichtung bestimmen, bei der die stärkste Wirkung des Windes auf den Wasserstand beobachtet wird. Die Projektion des Windes auf diese Windrichtung (Abb. 1) nennt man den Effektiven Wind (Koziar und Renner, 2005).

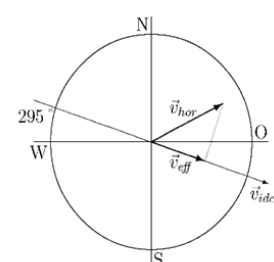


Abb.1: Projektion des Windes  $\vec{w}_i$  auf die Windrichtung des Effektiven Windes  $\vec{w}_i$  von 295° für Cuxhaven

## Potentielle Sturmfluten aus Windergebnissen eines Klimamodells

Bei einem Vergleich von Modellergebnissen für Wasserstände und Effektiven Wind (Ganske et al., 2018) wurde gezeigt, dass Sturmfluten entstehen, falls der Effektive Wind länger als 10 Stunden 17 m/s überschreitet. Diese Episoden nennen wir **Potentielle Sturmfluten**. Abb. 2 zeigt einen beispielhaften Vergleich des Effektiven Windes und des Wasserstands für eine Potentielle Sturmflut in Cuxhaven.

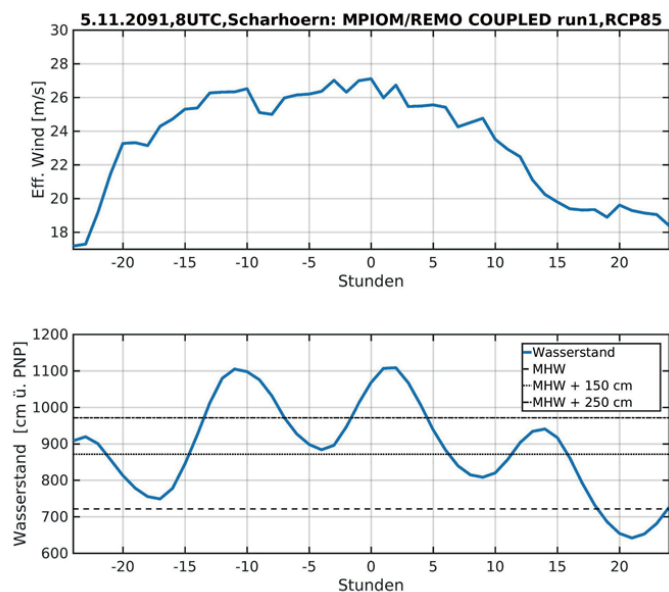


Abb.2: Beispiel einer Potentiellen Sturmflut aus dem Klimamodell MPI-OM/REMO (RCP8.5, Run 1) für Cuxhaven. Oben: 48 Stundenzeitreihe des Effektiven Windes am 5.11.2091, 8 UTC (Mitte der Zeitachse). Unten: Wasserstand bei Cuxhaven, Mittleres Hochwasser (MHW) sowie Schwellwerte für Sturmfluten (MHW + 150 cm) und Schwere Sturmfluten (MHW + 250 cm).

Da wir hauptsächlich an der zeitlichen Entwicklung der stärkeren Sturmfluten interessiert sind, wurden in jedem Jahr aus den Episoden mit hohen Effektiven Winden folgende Potentielle Sturmfluten ausgewählt:

a. Mit dem höchsten max. Effektiven Wind (Abb. 3 oben) oder  
b. mit den längsten Andauern (Abb. 2 Mitte) Zusätzlich wurde die Anzahl der Potentiellen Sturmfluten pro Jahr ermittelt (Abb. 3 unten)

Scharhoern: Pot. Sturmfluten mit eff. Wind >17 m/s und Andauern >10 h.

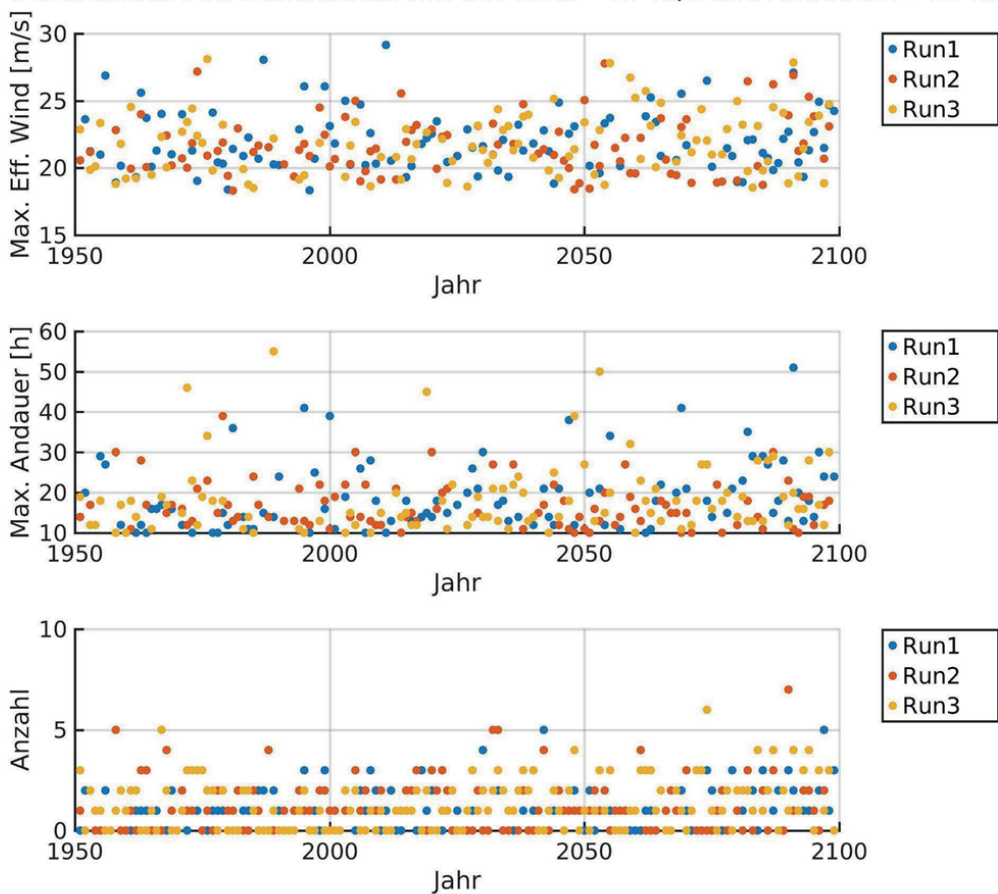


Abb.3: Höchste maximale Effektive Windgeschwindigkeit (oben) und längste Andauer (Mitte), jeweils in den Episoden mit Potentiellen Sturmfluten pro Jahr. Unten: Jährliche Anzahl der Potentiellen Sturmfluten.

## Zusammenfassung

Am Standort Cuxhaven zeigen Episoden mit potentiellen Sturmfluten:

- Hohe Variabilität von Jahr zu Jahr in allen drei Indizes (Max. Effektiver Wind, Andauer, Anzahl der Episoden).
- Kein zeitlicher Trend in den drei Zeitreihen der betrachteten Indizes

Extrem lange andauernde oder sehr starke Effektive Winde werden sowohl zu Beginn der Zeitreihe als auch zum Ende des 21. Jahrhunderts gefunden.

**Fazit:** In den Ergebnissen dieses Modells sind keine zukünftigen Änderungen der meteorologischen Bedingungen für Sturmfluten in der Deutschen Bucht zu erkennen.

## Kontakt

Dr. Anette Ganske

BSH  
Bernhard-Nocht Str. 78  
20359 Hamburg

[Anette.Ganske@bsh.de](mailto:Anette.Ganske@bsh.de)  
<http://www.bmvi-expertennetzwerk.de>

# Einfluss der Modellauflösung auf die Auswirkungen eines Meeresspiegelanstiegs in der Deutschen Bucht

Caroline Rasquin (BAW), Benno Wachler (BAW), Rita Seiffert (BAW)

Zur Abschätzung der Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs auf die Tidedynamik in den flachen Bereichen der Deutschen Bucht sind hochaufgelöste Modellsimulationen notwendig. In vielen Studien werden jedoch relativ grob aufgelöste Schelfmodelle genutzt

(Pickering et al. 2012; Ward et al. 2012; Pelling et al. 2012). Diese Studien zeigen abhängig von der Darstellung der Küstenlinie teils sehr unterschiedliche Ergebnisse, was auf die Sensitivität der Darstellung der flachen Küstenzone hinweist.

## Berücksichtigung der Ästuare

In vielen Modellen der Nordsee oder des europäischen Schelfs werden die Ästuare der Ems, Weser und Elbe nicht berücksichtigt. Das Fehlen dieses Schwingungsraums und die damit verbundene verstärkte Reflektion führt besonders in der Elbmündung zu großen Differenzen. Im Referenzzustand betragen die Änderungen der M2 Amplitude bis zu 70 cm (1c). Am Pegel Cuxhaven nimmt die M2 Amplitude um 30 cm zu, der mittlere Tidenhub um etwa 70 cm. Dieser regional begrenzte Effekt wird durch einen Anstieg des Meeresspiegels noch weiter verstärkt.

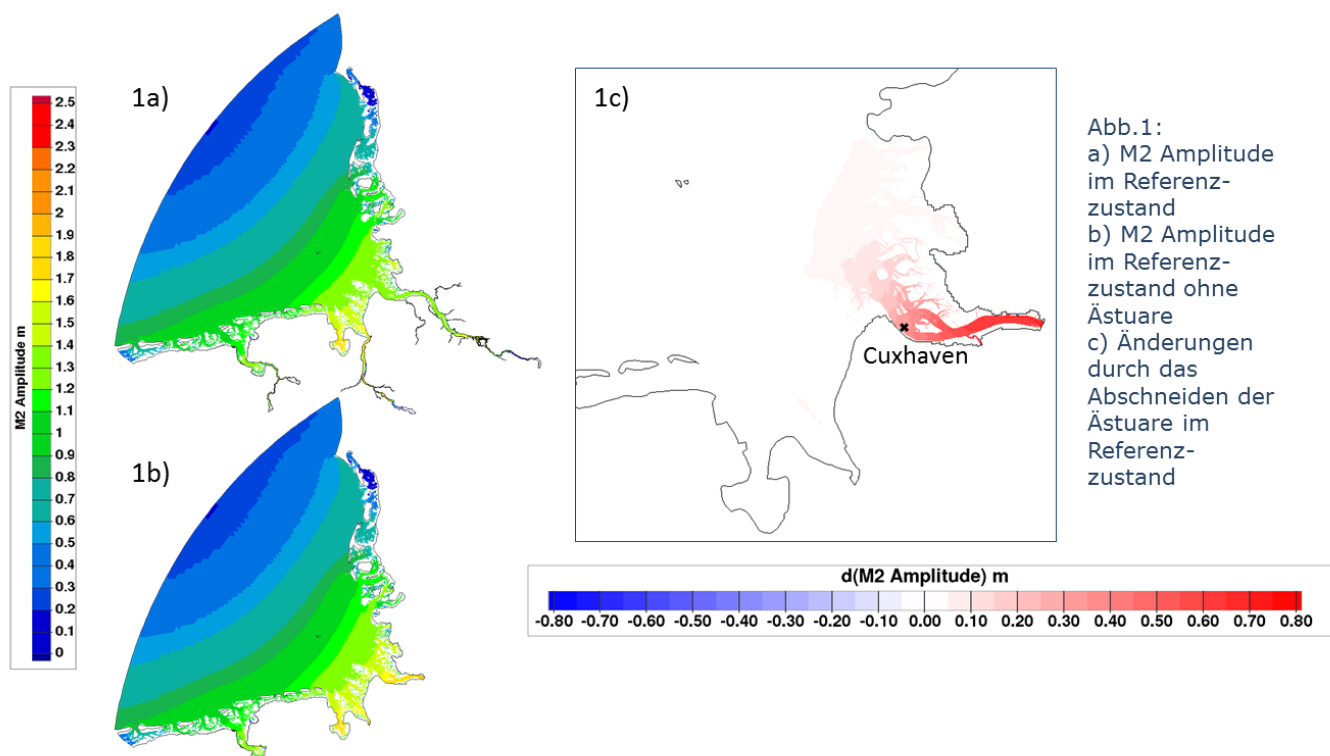


Abb.1:  
a) M2 Amplitude im Referenzzustand  
b) M2 Amplitude im Referenzzustand ohne Ästuare  
c) Änderungen durch das Abschneiden der Ästuare im Referenzzustand

## Vereinfachte Topographie

Bedingt durch die grobe Gitterauflösung in Schelfmodellen wird die Topographie in den flachen Küstenzonen nicht realistisch wiedergegeben. Dadurch wird die Wassertiefe in Rinnen und auf Watten teils stark unter- bzw. überschätzt.

Die gröbere Topographie (2b) führt zu Veränderungen in den Wasserständen im Referenzzustand in der gesamten Deutschen Bucht. Änderungen, die durch den Meeresspiegelanstieg verursacht werden, fallen je nach Topographiegenauigkeit lokal gegenteilig aus (2c, 2d).

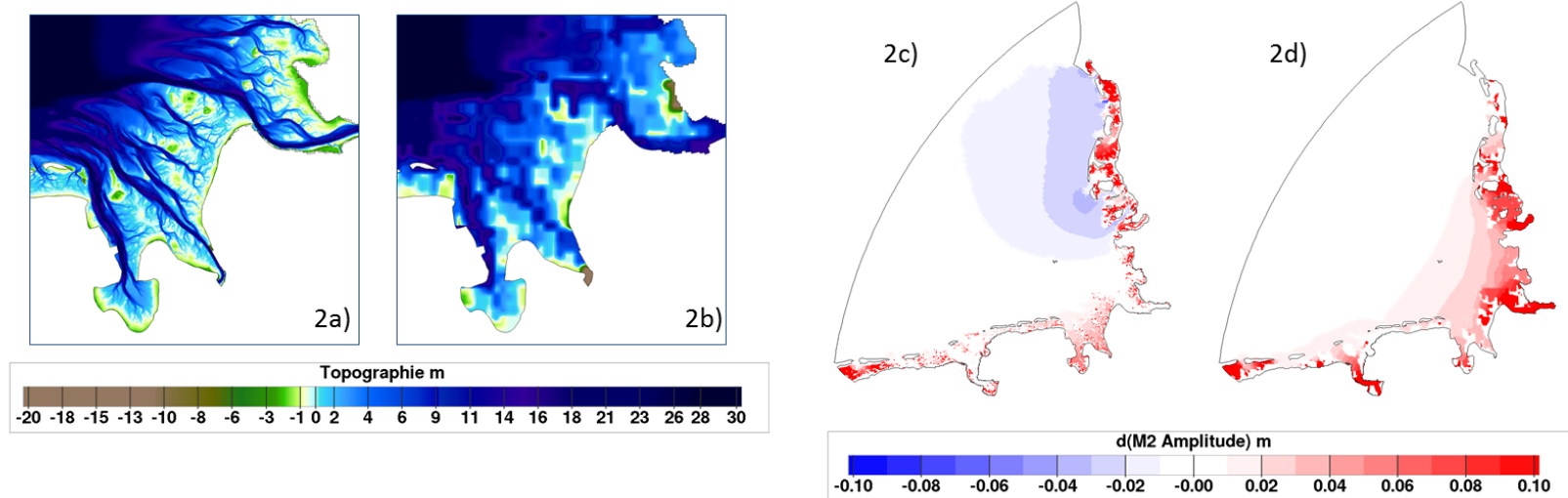


Abb.2: Ausschnitt der Deutschen Bucht mit  
a) hochaufgelöster und  
b) vereinfachter Topographie aus Schelfmodell DCSMv6-FM. Änderungen der M2 Amplitude durch einen Meeresspiegelanstieg von 80 cm relativ zu diesem bei  
c) hochaufgelöster und  
d) vereinfachter Topographie

## Grundlegende Mechanismen

Ein wichtiger Parameter in der Tidedynamik ist die Dissipation von Tideenergie an flachen Küstenabschnitten. In hochaufgelösten Modellen (3a) stehen sowohl im IST-Zustand als auch bei moderatem Meeresspiegelanstieg neu flutbare Flächen zur Verfügung. In grob aufgelösten Modellen (3b) sind weniger bzw. bei SLR gar keine dieser Flächen enthalten. Dadurch wird deutlich weniger Energie dissipiert. Hinzu kommen zusätzliche Effekte durch die Reflektion an der festen Modellgrenze.

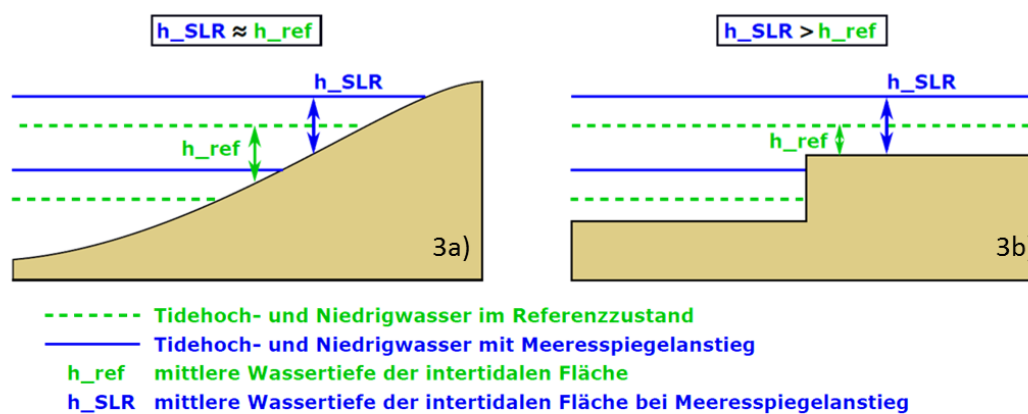


Abb.3: Prinzipskizze zur Modellauflösung

## Auswirkungen für die Projektionen

Bei der Ableitung von Aussagen für küstennahe Pegel aus groben Schelfmodellen müssen die Unsicherheiten stets beachtet werden. Für die Abschätzung von klimawandelbedingten Änderungen sollten regional hochaufgelöste Modelle verwendet werden.

## Kontakt

Caroline Rasquin  
Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg  
caroline.rasquin@baw.de

<http://www.bmvi-expertennetzwerk.de>

Ward, S. et al. (2012). Ocean Dynamics Pickering, M. et al. (2012). Cont. Shelf Research Pelling, H.E. et al. (2012). Ocean Modelling

# Beeinträchtigung der Verkehrsinfrastruktur durch *Sturmgefahren*

Markus Forbriger (EBA), Anne-Farina Lohrengel (BAST), Michael Haller (DWD), Anette Ganske (BSH)

## Klimaszenarien mit dem CCLM

Für die Beurteilung der Beeinträchtigung der Verkehrsinfrastruktur und zur Anpassung an den Klimawandel sind sowohl Daten zur Anfälligkeit der Infrastruktur als auch zum Klimawandel selbst vonnöten.

Dazu wurden Klimaprojektionen mit dem Klimamodell COSMO-CLM für verschiedene Zeiträume mit hoher Auflösung gerechnet (Tab. 1), um Daten zu Sturmereignissen zu generieren.

Untersucht werden im Schwerpunkt 104 neben dem Mittelwind in 10m Höhe vor allem die Windböen, die aus Turbulenz-Parametern abgeleitet werden. Besonders wichtig ist hier der Schwellenwert von Beaufort 8, da ab diesem Wert eine hohe Wahrscheinlichkeit für Schäden an Bäumen bzw. großen Äste besteht und das Seitenwindrisiko für LKW's auf Brücken deutlich erhöht ist.

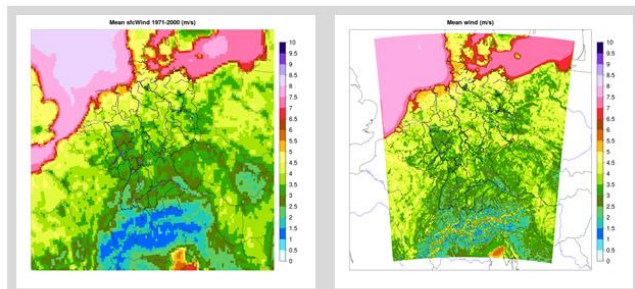


Abb. 1: Mittelwind in 10m Höhe für 1971-2000, für den 12 km Evaluationslauf (links) und den 2,8 km Evaluierungslauf (rechts).

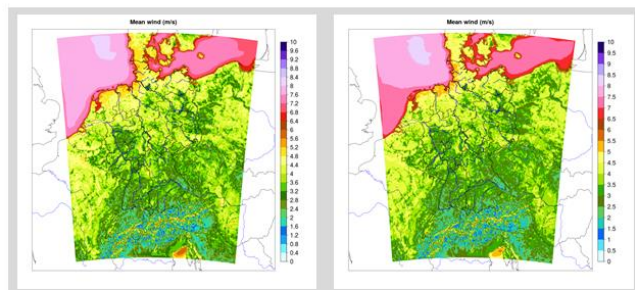


Abb. 2: Mittelwind in 10m Höhe in 2,8 km Gitterweite für 2031-2060 (links) und für 2071-2100 (rechts).

## Ergebnisse

Es zeigt sich aus den Projektionen, dass sich die mittleren Windgeschwindigkeiten auch in Zukunft nicht ändern (Abb. 1 u. 2), jedoch im ganzen Modellgebiet in Zukunft starke Windböen häufiger möglich sind als im Zeitraum 1971-2000 (Abb. 3).

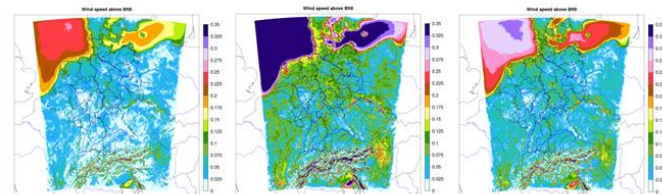


Abb. 3: Überschreitungshäufigkeit von Bft 8 der simulierten Windböen in relativen Zahlen für 1971-2000 (links), für 2031-2060 (mittig) und 2071-2100 (rechts).

Tab. 1: Überblick über Simulationen mit COSMO-CLM 2.8 km.

| Name                             | Zeitscheibe | Antrieb            |
|----------------------------------|-------------|--------------------|
| Evaluierungslauf                 | 1971-2000   | ERA-40/ERA-Interim |
| Historischer Lauf / Nahe Zukunft | 1971-2060   | MIROC5/CCLM        |
| Entfernte Zukunft                | 2071-2100   | MIROC5/CCLM        |

## Expositionsanalyse Straße / Schiene

Die Exposition im Schwerpunkt Sturmgefahren ergibt sich für die landgestützten Verkehrsträger maßgeblich aus dem Vorhandensein von Vegetation und für die Straße in Form von Seitenwindgefahr auf hohen Talbrücken. Bundesfernstraßen- und Schienennetz werden mit Daten des BKG-Basis DLM verschnitten; beinhaltet Nadel-, Misch- und Laubwald aber auch Alleenkataster. In der Reihenfolge abnehmende Anfälligkeit gegenüber Sturm.

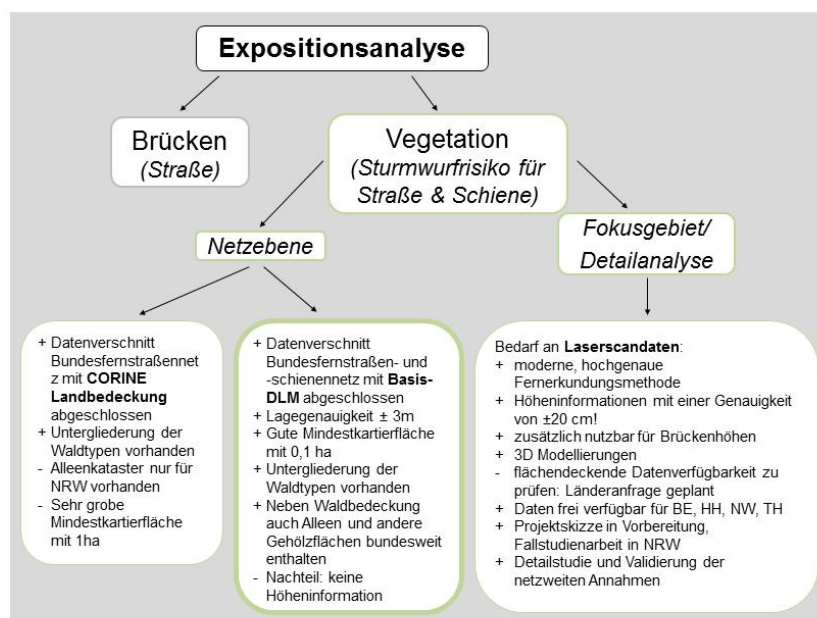


Abb. 4: Expositionsanalyse am Beispiel der Straße: Identifikation von Streckenabschnitten im bewaldeten Gebiet

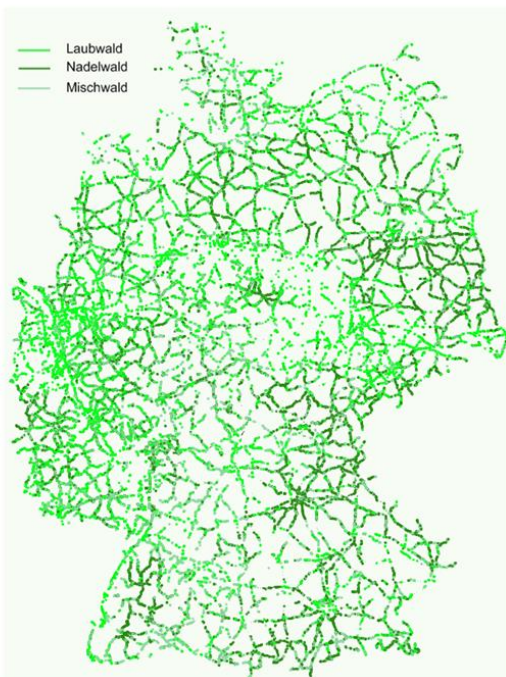


Abb. 5: Netzweites Ergebnis der Exposition des Bundesfernstraßennetzes.

## Fazit und Ausblick

Für die Klimawirkungsanalyse werden Exposition und Sensitivität der Infrastrukturen kombiniert (Abb. 5). Diese Daten werden im weiteren Projektverlauf hinsichtlich Detaillierungsgrad verbessert und mit Ergebnissen der Klimaprojektionen verknüpft.

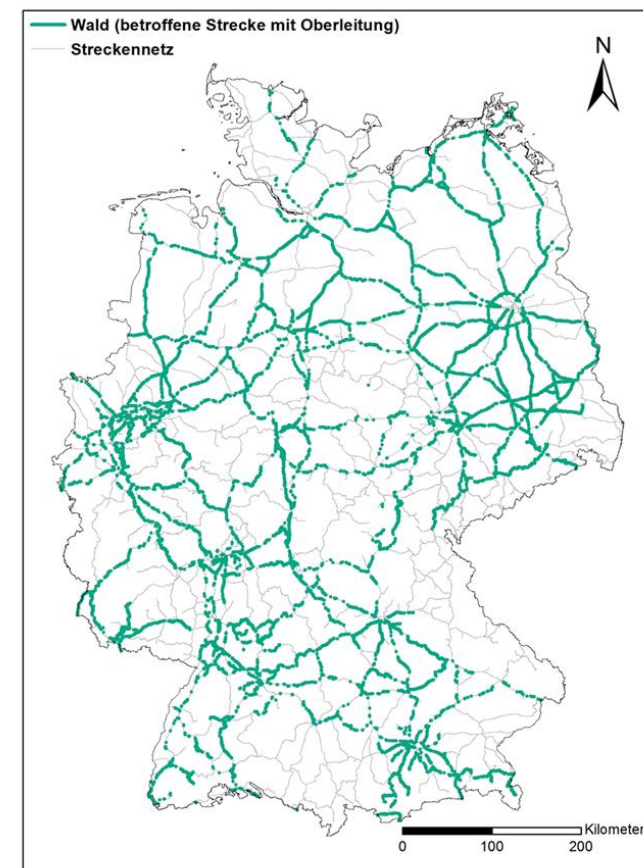


Abb. 6: Kombination Exposition und Sensitivität (Schiene).

## Kontakt

Markus Forbriger, Referat 52 Umwelt & Forschung – Eisenbahn-Bundesamt,  
ForbrigerM@eba.bund.de  
<http://www.bmvi-expertennetzwerk.de>

# Von der Projektion zum Datenprodukt – Der Auswertungsrahmen "Hydrologie"

Enno Nilson, Claudius Fleischer, Martin Helms, Thomas Recknagel, Ahmad Bilal und Peter Krahe (alle BfG)

## Hintergrund

Die Bundesanstalt für Gewässerkunde generiert im Rahmen ihrer Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten Zukunftsprojektionen des Abflusses (genauer: des Durchflusses) an Flusspegeln im Binnenland (Abb. 1). Auf dieser Basis werden verschiedene Datenprodukte erstellt, die auf die spezifischen Anforderungen unterschiedlicher Nutzertypen zugeschnitten sind.

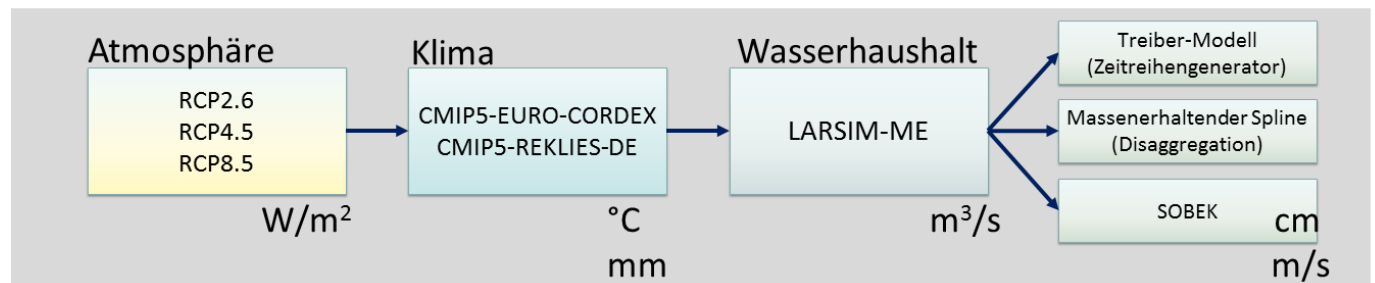


Abb.1: Schema der Prozessierungskette

Dieses Poster zeigt einen Auszug des Auswertungsrahmens "Hydrologie", der derzeit im Rahmen des BMVI-Expertennetzwerkes und des Pilotprojektes ProWaS entwickelt wird (Nilson et al. 2018).

## Nutzertypen

### Der "Modellierer" ...

... benötigt Rohdaten, meist Q-Tageswerte (auch Q-Stundenwerte) an ausgewählten Pegeln als Antrieb für weitere Modelle. → Abb. 2 bzw. 3

### Der "Rechenintensive"...

... benötigt eine gut begründete Auswahl von Daten (meist "typische" oder "extreme" Jahre) als Antrieb für hochdetaillierte und daher sehr rechenintensive Modelle. → Abb. 4

### Der "Objektplaner"...

... benötigt aggregierte tabellarische Informationen darüber, ob und in welchem Umfang sich ggf. bemessungsrelevante Kennwerte an einem bestimmten Ort ändern könnten. → Abb. 5

### Der "Strategische Planer"...

... benötigt bundesweite Geodaten zur Betroffenheit des Transportsektors durch den Klimawandel. → Abb. 6



### Der "Extremwertstatistiker"...

... benötigt lange Zeitreihen (1000 Jahre) als Datenbasis für eine robuste Bestimmung von Extremwerten. → Abb. 7



## Produktvarianten

### Q-Tageswerte an Pegeln

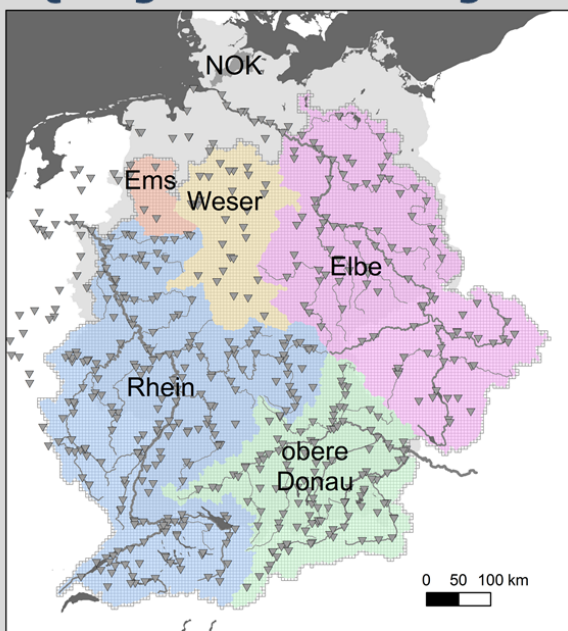


Abb.2: Ausgabepegel von LARSIM-ME

### Q-Stundenwerte

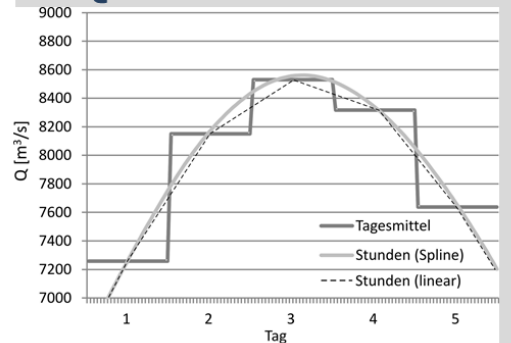


Abb.3: Zeitliche Disaggregation durch massenerhaltende Spline-Funktion

### Kennwerte, Indikatoren

| Parameter                           | Pegel            | Beobachtung | Beobachtung | Naher Zukunft | Ferner Zukunft |
|-------------------------------------|------------------|-------------|-------------|---------------|----------------|
|                                     |                  | (1961-1990) | (1981-2010) | (2021-2050)   | (2071-2100)    |
|                                     |                  | [m³/s]      | [%]         | [%]           | [%]            |
| NMQ Wasserhaushaltsjahr (Apr.-März) | Basel            | 519         | -4.90       | -5 bis +10    | -10 bis +10    |
|                                     | Maxau            | 635         | +6.6        | 0 bis +10     | -10 bis +5     |
|                                     | Worms            | 705         | +6.6        | -5 bis +10    | -10 bis +0     |
|                                     | Kaub             | 827         | +7.2        | -5 bis +10    | -15 bis +0     |
|                                     | Köln             | 1009        | +4.8        | -5 bis +10    | -15 bis +5     |
|                                     | Rees             | 1119        | +4.7        | -5 bis +10    | -20 bis +5     |
|                                     | Rockenu (Neckar) | 44          | +6.1        | -15 bis +15   | -35 bis -5     |
|                                     | Würzburg (Main)  | 40          | +24.6       | 0 bis +15     | -10 bis +10    |
| Trier (Mosel)                       | 64               | -5.1        | -20 bis +5  | -50 bis -20   |                |

Abb.5: Tabellarische Information, Szenarienkorridore

### 1000-jährige Q-Reihe

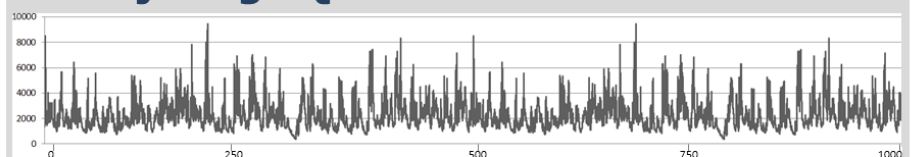


Abb.7: Zeitreihengenerierung mittels Treiber-Modell

### Klassifizierte Geodaten



Abb.6: Verkehrsnetz-bezogene Informationen in GIS-Standardformaten

### "Extremjahre"

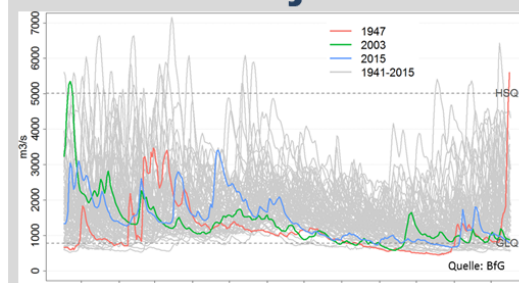


Abb.4: Szenarienkonstruktion durch Episoden-Rekombination

## Literatur

Nilson et al. (2018): Auswertungsrahmen "Hydrologie". In: ExpN-TF1: "Auswertungsrahmen". In Vorbereitung.

## Kontakt

Dr. Enno Nilson, Bundesanstalt für Gewässerkunde, 56068 Koblenz  
+49 (0)261 1306 5325; [nilson@bafg.de](mailto:nilson@bafg.de)  
<http://www.bmvi-expertennetzwerk.de>

# Der Einfluss des Klimawandels auf den Schadstofftransport: Ein Modellansatz

Martin Labadz und Vera Breitung, Bundesanstalt für Gewässerkunde

## Die Elbe und der Klimawandel

- Die Elbe ist immer noch einer der am stärksten mit Schadstoffen belasteten Flüsse Europas; Schwermetalle und Arsen bereiten große Probleme
- Der Klimawandel aber auch einzelne Extremereignisse haben einen großen Einfluss auf den Schadstofftransport
  - Erhöhte Mobilisierung schadstoffbelasteter Sedimente
  - Erhöhter Austrag in fließberuhigte Bereiche
  - Klimainduzierter beschleunigter flussabwärts gerichteter Transport der belasteten Sedimente bis hin zum Ästuar
- Im Projekt sollen Schadstoffströme und -frachten quantifiziert und der laterale Schadstoffaustausch untersucht werden

## Schwermetaldynamik während des Hochwassers 2013

- Die Schwermetall- und Arsenfracht während des Hochwassers 2013 hat einen großen Anteil an der Jahresgesamtfracht (Abb. 1)
- Die Schwermetall- und Arsenkonzentrationen während des Hochwassers bleiben jedoch in den meisten Fällen unterhalb der mittleren Jahreskonzentration

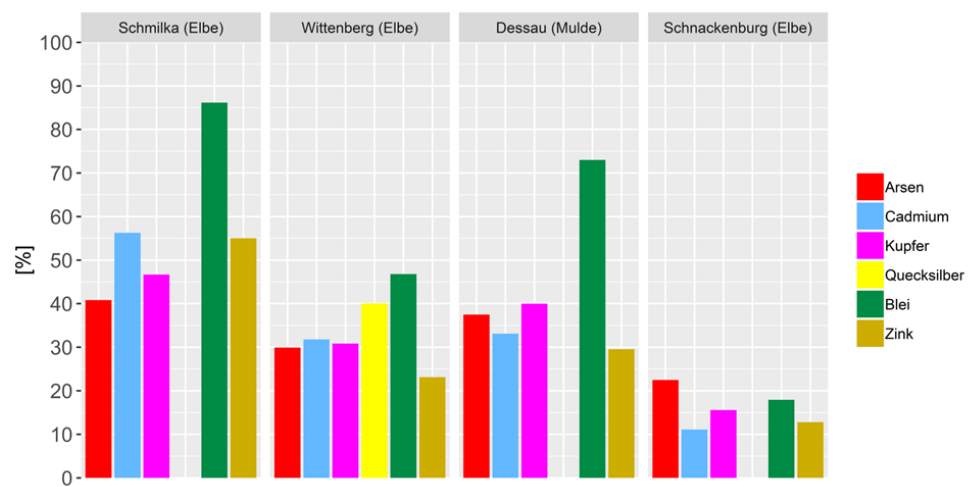


Abb. 1: Schwermetall- und Arsenfracht während des Hochwassers 2013 im Vergleich zur Jahresgesamtfracht 2013 entlang der deutschen Elbe.

## Methodik

- Untersuchungsgebiet: Untere Mittel-Elbe zwischen Wittenberge und Geesthacht (Abb. 2)

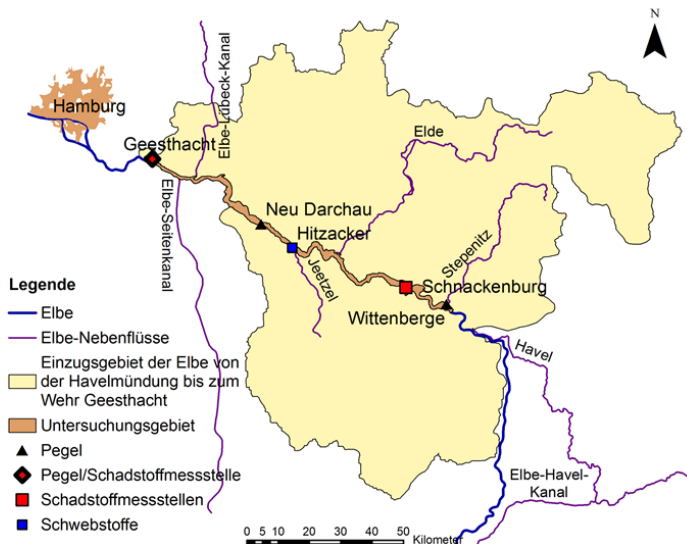


Abb. 2: Untersuchungsgebiet Untere Mittel-Elbe von Wittenberge bis Wehr Geesthacht. Dargestellt sind auch Pegel, Schwebstoff- und Schadstoffmessstellen, die die Datengrundlage des Modells bilden.

- Numerisches, hydrodynamisches, 2-dim. Modell zur Untersuchung der Schadstoffdynamik (Delft3D, Delwaq)
- Randbedingungen: Durchfluss (Wittenberge), Wasserstand (Geesthacht), Schwebstoffkonzentration, Schadstoffkonzentration
- Validierungszeitraum: Hochwasser 2013



Abb. 3: Elbe Hochwasser 2013 (FGG Elbe)

## Ergebnisse

- Gute Übereinstimmung von simulierten und gemessenen Schadstoffkonzentrationen (Abb. 4)
- Modell und Messwerte jedoch gegenläufig: Messwerte steigen – Modellwerte sinken mit Durchlauf der Hochwasserwelle

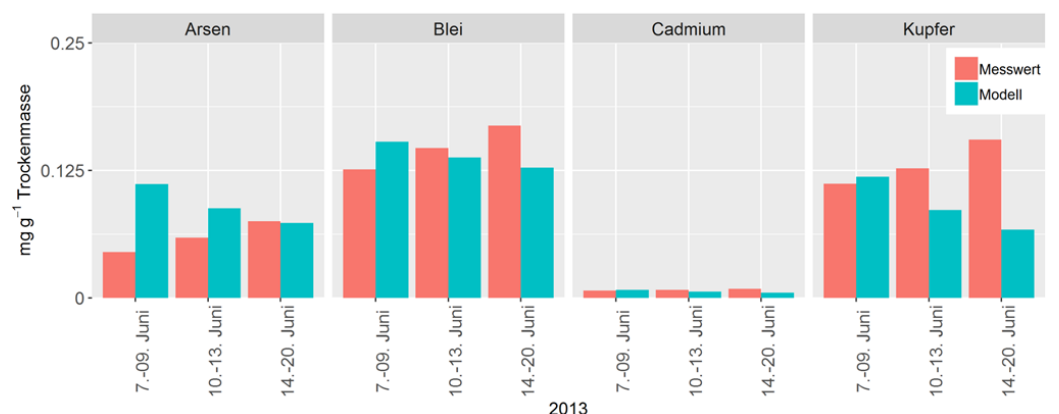


Abb. 4: Schadstoffmodellvalidierung: Vergleich der mittleren Schadstoffkonzentrationen im schwebstoffbürtigen Sediment an der Messstation Geesthacht mit dem Modellergebnis.

## Herausforderungen

- Numerisches Modell
  - Lange Modelllaufzeit: ca. 6 Tage für hydrodynamisches Modell; 2 Tage für Schadstoffmodell
  - Gesamte Elbe durch lange Rechenzeiten nicht abbildbar
- Modelldaten
  - Schwebstoffmessungen nur bis Hitzacker
  - Keine Pegelmessungen an Gütemessstellen
  - Zeitliche Auflösung der Daten gering

## Kontakt

Martin Labadz, labadz@bafg.de  
Vera Breitung, breitung@bafg.de

# Sohlhöhen- und Fließtiefenentwicklung am Niederrhein

Dirk Schulz (BfG), Axel Winterscheid (BfG), Stefan Vollmer (BfG)

## Einleitung

Der Niederrhein ist geprägt durch eine im langjährigen Mittel im gesamten Verlauf abnehmende Sohlhöhe.

Eine der wichtigsten Aufgaben der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) ist, mit geeigneten Maßnahmen (Geschiebemanagement) der Sohleintiefung am Rhein entgegenzuwirken und gleichzeitig die vorhandenen Fahrrinnen-tiefen (Fließtiefen) für die Leichtigkeit des Schiffsverkehrs zu erhalten.

In diesem Kontext wurden aus Peildaten berechnete mittlere Sohlhöhen (MSH) und Daten aus Wasserspiegelfixierungen (WSPFix) zusammengetragen, aus denen die zeitliche und räumliche Entwicklung von Sohlhöhen und Fließtiefen seit 1895 ermittelt wird.

Die mittleren Sohlhöhen wurden für den Bereich der Fahrrinne berechnet.

## Auswertung

- Bildung der zeitlichen Differenzen der Fließtiefe / Mittlere Sohlhöhe / Wasserspiegellinie
- Unterscheidung der Fließtiefen in flache und nicht flache Flussbereiche (Kriterium: 3,5m bei MNQ (1975), flache Bereiche blau schraffiert in Abbildung 3,

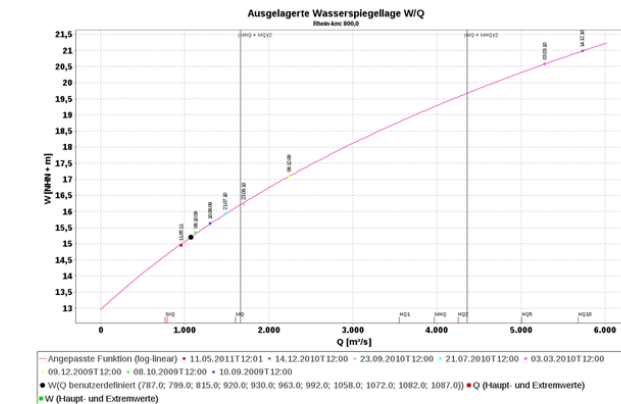


Abb.1: FLYS, W/Q-Diagramm, Berechnungsart „Ausgelagerte Wasserspiegellage“

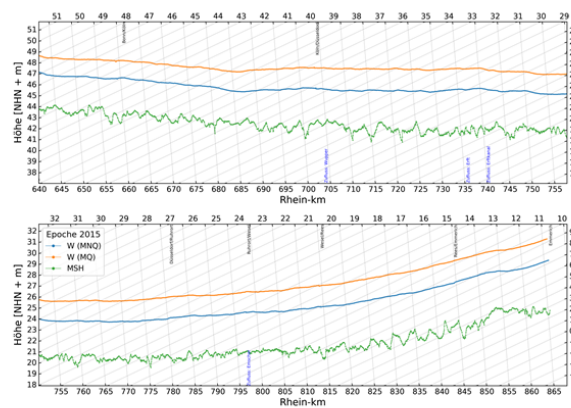


Abb.2: Berechnete WSPLagen und MSH

oben).

- Qualitätskontrolle anhand Vergleich mit Wasserständen aus einer historischen Abflusstafel (Beispiel: Pegel Rees) → Abweichungen im Bereich von ±0,10m (Abbildung 4).

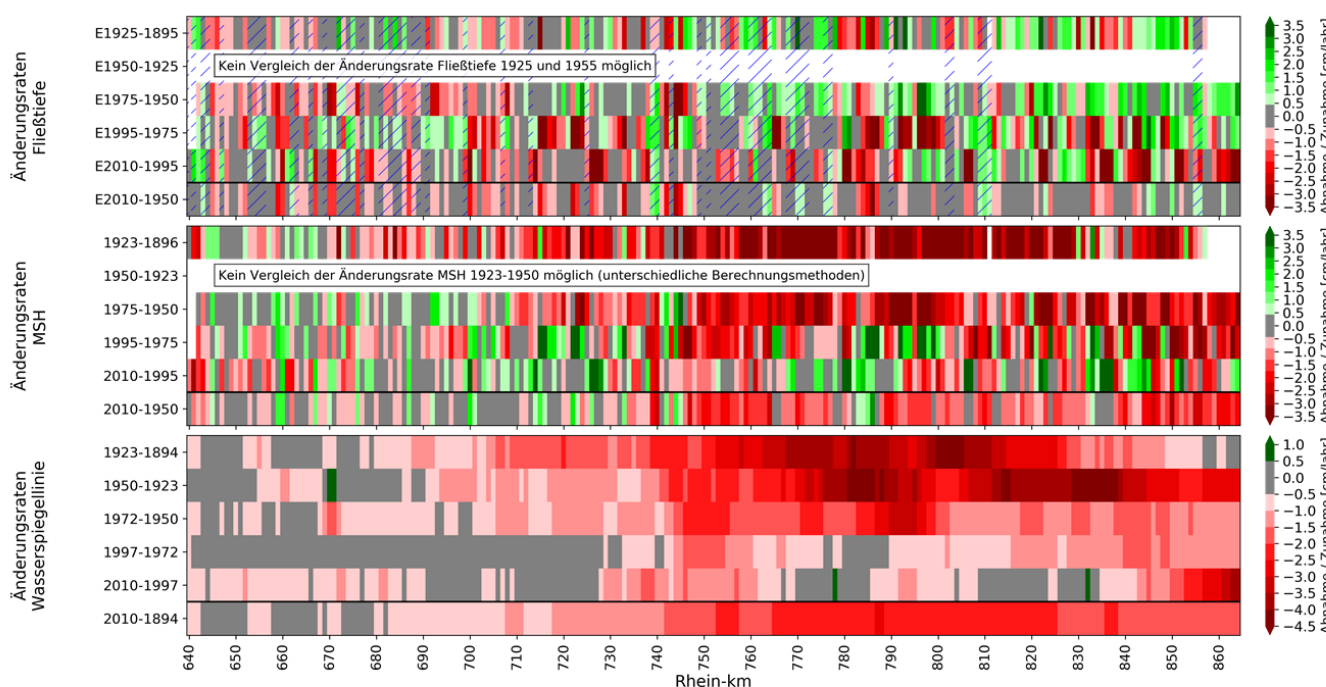


Abb.3: Darstellung der Differenzen gemittelt über 1 km (Abflusszustand MNQ)

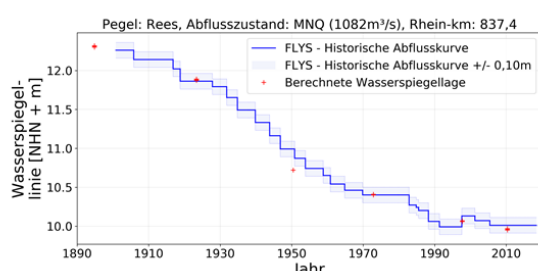


Abb.4: Qualitätskontrolle, Vergleich mit Daten aus historischer Abflusstafel

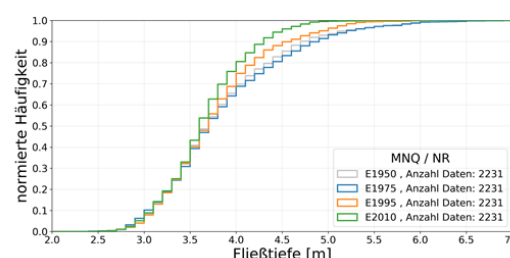


Abb.5: Häufigkeitsverteilung der Fließtiefen

## Methode

1. Alle absoluten Höhenwerte der (historischen) Wasserspiegelfixierungen und Peildaten werden an das (Vergleichs-) Höhensystem (DHHN92) angepasst, wobei das dem jeweiligen Datensatz zugrundeliegende Höhensystem über einen Abgleich der Pegelnullpunkte festgestellt wird.
2. Den WSPFix werden Abflüsse aus der WISKI-Datenbank\* zugewiesen. Aus mehreren WSPFix wird mittels FLYS\*\*-Berechnungsart: „Ausgelagerte Wasserspiegellage“ (Abb. 1) für eine bestimmte Epoche (10 bis 20 Jahre) eine WSPLage für einen beliebigen Abflusszustand berechnet (Abb. 2, Abflusszustände MNQ und MQ).
3. Aus der Subtraktion der MSH von den WSPLagen ergibt sich die Fließtiefe (FLYS-Berechnungsart: „Fließtiefe“).

## Erkenntnisse

Die Änderung der Wasserspiegellinie (bei MNQ) weist, deutlicher als die Änderung der MSH selbst, auf eine Sohlhöhenänderung (Abnahme) hin.

- ➔ Starke Abnahme vor 1950 (Abbildung 3, unten). Danach weniger starke Abnahme bis 1997
- ➔ Zwischen 1997 – 2010 weitestgehend Stabilisierung

Mit der in den 1990er Jahren begonnenen intensiven Geschiebemanagement am Niederrhein konnte die Sohleintiefung stark reduziert werden.

Die Häufigkeit der flachen Fließtiefen (<3,5m) hat sich im Zeitraum zwischen 1950 und 2010 nicht signifikant verändert, die Häufigkeit der tiefen Fließtiefen (>4,0m) hat ab 1975 abgenommen (Abb. 5).

\*WISKI: Pegeldatenbank der WSV

\*\*FLYS: Flusshydrologische Software, Fachdienst der BfG im Geoportal GGInA

## Kontakt

Bundesanstalt für Gewässerkunde / M3  
Am Mainzer Tor 1 / 56068 Koblenz  
Dirk.Schulz@bafg.de

<http://www.bmvi-expertennetzwerk.de>

# Konzept zur Untersuchung von Klimafolgen auf die Gewässergüte von Bundeswasserstraßen

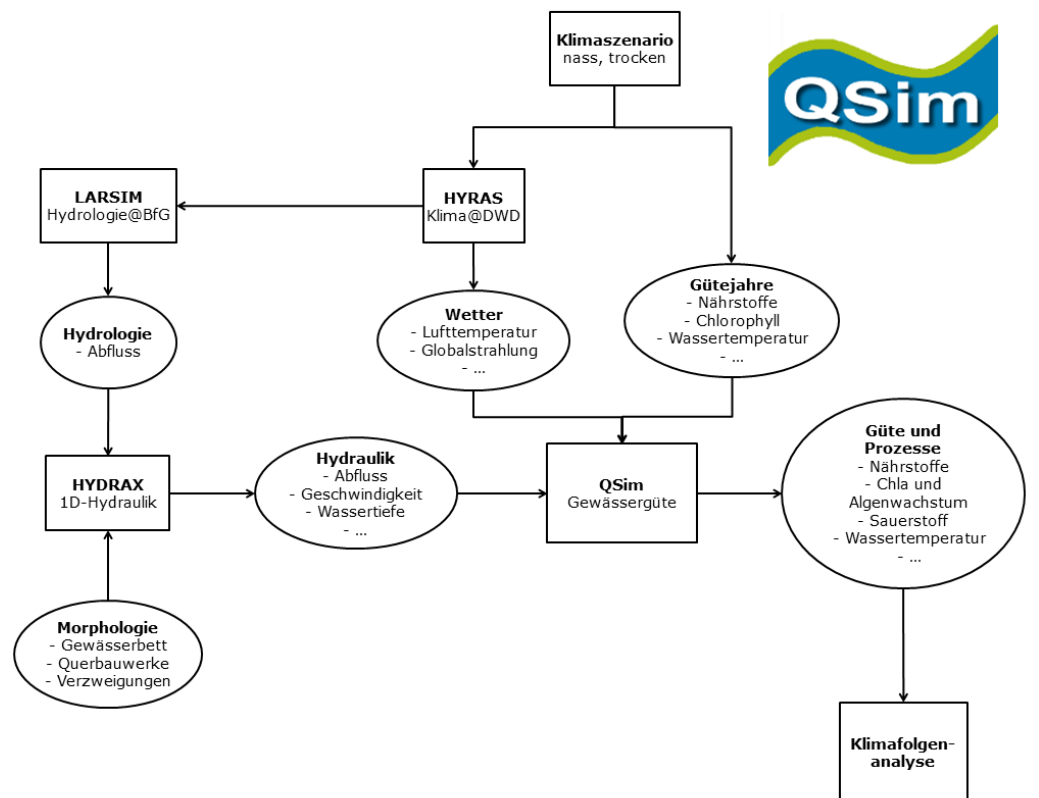
Marcus Mannfeld (Bundesanstalt für Gewässerkunde)

## Einführung

Im Rahmen des TF 1 werden Auswirkungen des Klimawandels auf die Gewässergüte untersucht. Es wurde ein praxisbezogenes Analysekonzept für die Bewertung von Klimafolgen entwickelt. Als Werkzeug wird das in der Bundesanstalt für Gewässerkunde entwickelte Gewässergütemodell QSim<sup>1,2</sup> verwendet. Die für ausgewählte Szenarien projizierten Güteparameter bilden anschließend die Grundlage für weiterführende Kritikalitätsanalysen. Untersucht werden freifließende (Rhein, Elbe) und staugeregelte Gewässer (Weser, Mosel, Lahn).

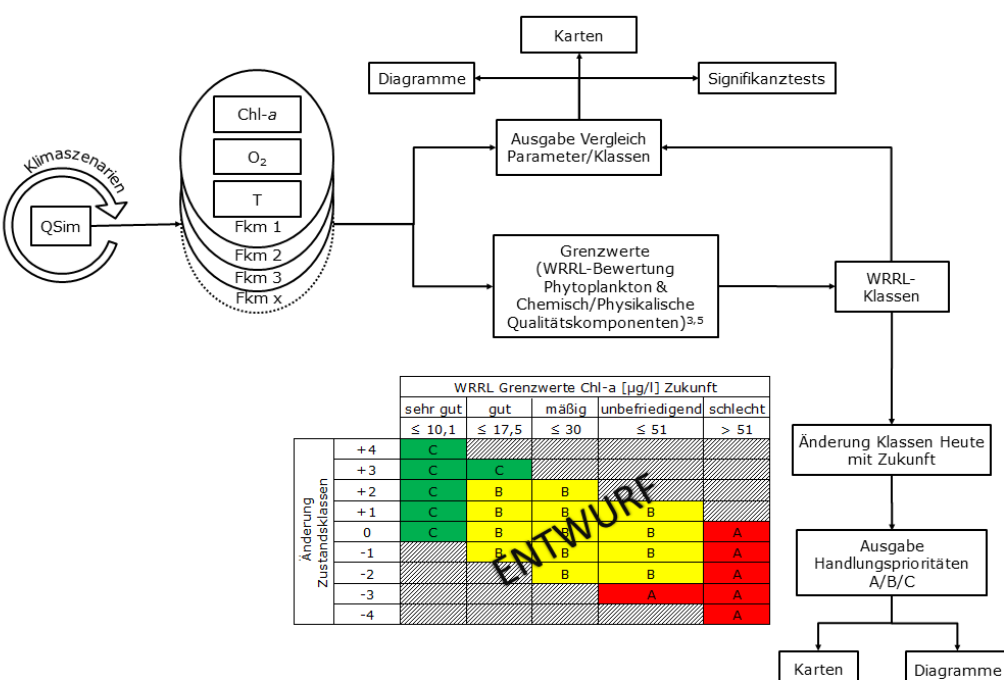


## Modellkette



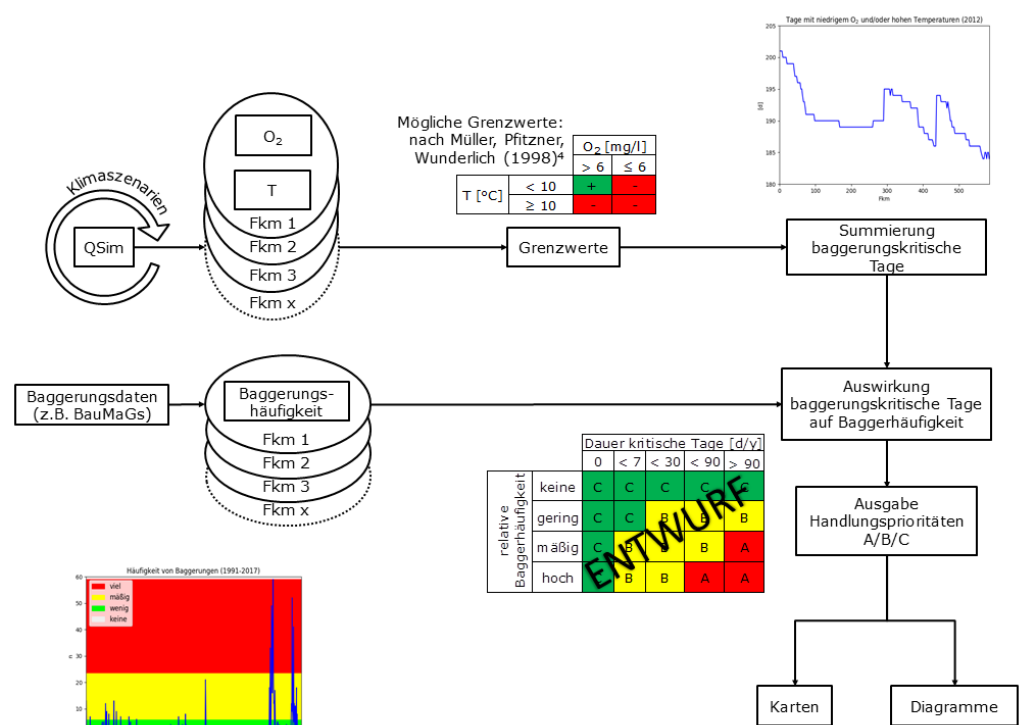
## Analyse: Veränderung EU-WRRL-Parameter

Untersucht werden klimainduzierte Veränderungen der biologischen Qualitätskomponente Phytoplankton und der chemisch-physikalischen Qualitätskomponenten betrachtet. Es werden die Änderungen des heutigen Zustandes mit der nahen und fernen Zukunft verglichen und über eine Verknüpfungsmatrix Handlungsprioritäten ausgegeben.



## Analyse: Beschränkung Baggervorhaben

Ebenso wird die Auswirkung eines veränderten Klimas auf das Zeitfenster für Baggermaßnahmen untersucht. Gerade bei hohen Temperaturen und niedrigen O<sub>2</sub>-Konzentrationen sollten Baggerungen vermieden werden. Handlungsprioritäten werden auch hier über eine Verknüpfungsmatrix berechnet.



## Ausblick

In der nächsten Phase werden die Gewässergütemodelle mit hydraulischen und meteorologischen Antriebsdaten aus Klimaszenarien gespeist. Für die anschließenden Kritikalitätsanalysen werden endgültige Matrizen und Grenzwerte festgelegt. Weitere Analysen sind auch für die fischereiliche Nutzung oder Kühlwassernutzung denkbar.

## Kontakt

Bundesanstalt für Gewässerkunde  
Referat U2 – Mikrobielle Ökologie  
Am Mainzer Tor 1  
D-56068 Koblenz

mannfeld@bafg.de

<http://www.bmvi-expertennetzwerk.de>

### Quellen:

- Kirchesch, V. & A. Schöl (1999): Das Gewässergütemodell QSim - Ein Instrument zur Simulation und Prognose des Stoffhaushalts und der Planktondynamik von Fließgewässern. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 43 (6): 302-308. <http://www.hywa-online.de>
- QSim (2018): QSim - the water quality model of the Federal Institute of Hydrology (BfG): Fact sheet ind. literature, DOI: 10.5675/BfG\_QSim
- Mischke U. & H. Behrendt (2007): Handbuch zum Bewertungsverfahren von Fließgewässern mittels Phytoplankton zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland, Berlin: Weißensee Verlag
- Müller, D., Pfitzner, S., Wunderlich, M. (1998): Auswirkungen von Baggergutumlagerungen auf den Sauerstoff- und Nährstoffhaushalt von Fließgewässern. - Wasser und Boden 50 H. 10, S. 26-32
- Oberflächengewässerverordnung (OGewV) vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373)

# Anpassung an den Klimawandel Umgang mit Unsicherheiten

Rita Seiffert (Bundesanstalt für Wasserbau) und Maike Norpoth (Eisenbahn-Bundesamt)

Die erste Frage beim Thema Anpassung an den Klimawandel ist nicht die Frage **wie** wir uns am besten an die Folgen des Klimawandels anpassen, sondern **an welche Folgen** wir uns anpassen müssen.

## Unsicherheiten

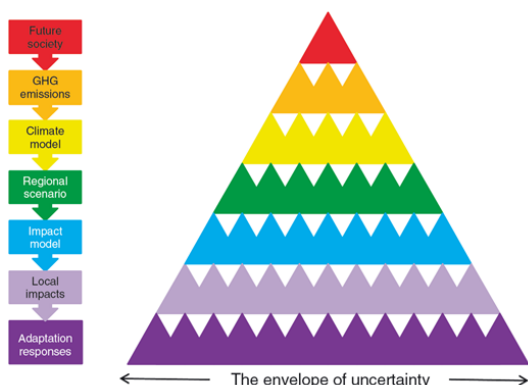


Abb. 1: Unsicherheitskaskade (Wilby und Dessai, 2010)

Die Folgen des globalen Klimawandels auf lokaler Ebene sind schwer abschätzbar. Folgende Unsicherheiten addieren sich:

- Emissionsszenarien - Welches Szenario wird eintreten?
- Unzureichende Kenntnisse grundlegender Prozesse im (Klima-)System
- Modelle – Sie bilden die Natur/Prozesse stets vereinfacht ab.

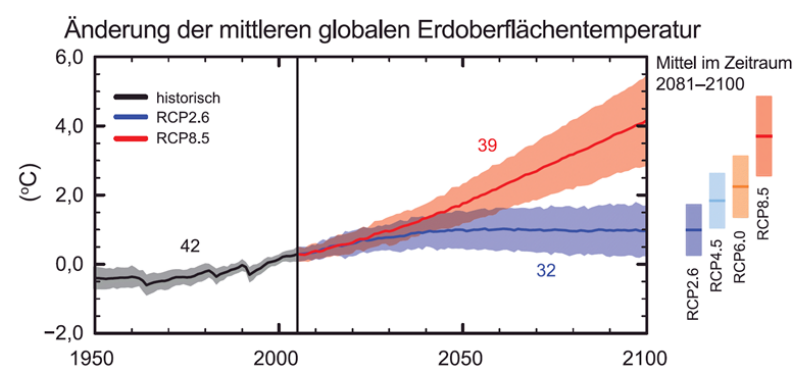


Abb. 2: CMIP5 Multimodell-simulierte Zeitreihen von 1950 bis 2100 für die Änderung der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur bezogen auf 1986–2005 (IPCC, 2013)

## Strategien zum Umgang mit Unsicherheiten

### No-regret und low-regret Maßnahmen

Zur Vermeidung unnötiger Kosten ist die Entwicklung von Maßnahmen sinnvoll, die auch ohne oder bei geringen Klimawandeländerungen einen Nutzen haben. Sie greifen oft Herausforderungen auf, die auch schon heute bei Extremereignissen (z.B. Sturm, Hitze/Trockenheit) bestehen. Diese Maßnahmen werden auch als no-regret Maßnahmen bezeichnet. Low-regret Maßnahmen sind Anpassungsmaßnahmen, die nur einen verhältnismäßig geringen Mehraufwand bedeuten (z.B. Abb. 3).

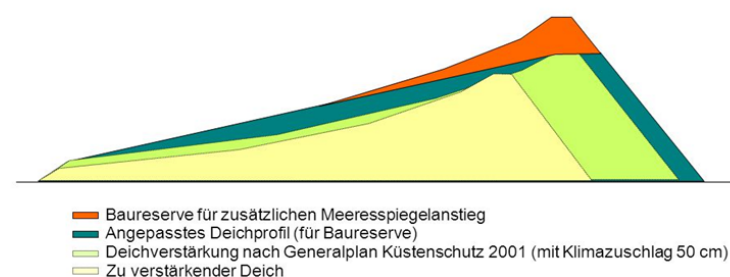


Abb. 3: Deichprofil mit Baureserve (Abb. 17 aus MELUR-SH, 2013)

### Vorhalten verschiedener Maßnahmen

Eine Möglichkeit zum Umgang mit den beschriebenen Unsicherheiten ist die Entwicklung mehrerer Anpassungsoptionen, die gleichzeitig, nacheinander oder je nach Entwicklung des Klimawandels umgesetzt werden können. Je nachdem wie stark sich das Klima verändert, könnte die eine oder die andere Maßnahme realisiert werden. Der Weg durch die Maßnahmen wird mithilfe von Beobachtungen angepasst.

### Monitoring des Klimawandels

Grundlage für die Auswahl geeigneter Maßnahmen ist die Berücksichtigung von Planungs- und Bauzeiten. Ein kontinuierliches Monitoring der durch den Klimawandel beeinflussten Größen und das stetige Einbeziehen aktueller Ergebnisse der Klimaforschung ist dafür eine grundlegende Voraussetzung.

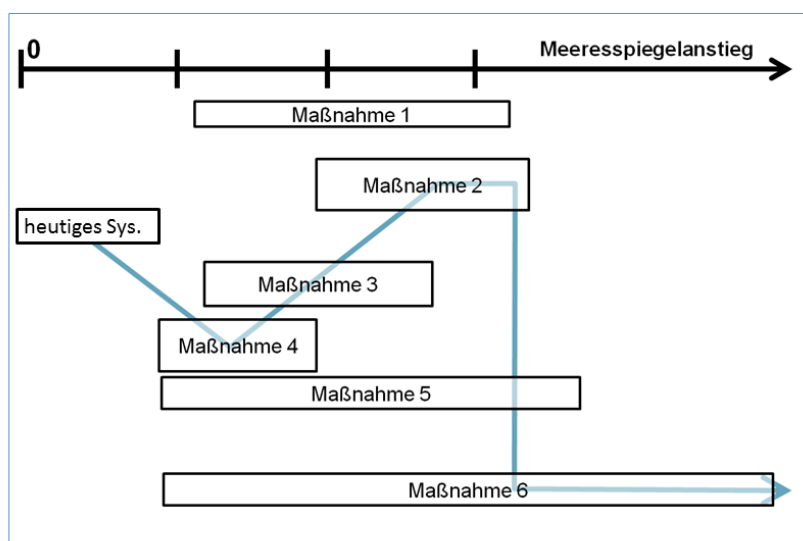


Abb. 4: Anpassungskonzept basierend auf verschiedenen Maßnahmen am Beispiel des Meeresspiegelanstiegs (nach Abb. 7.4 aus Lowe et al., 2009)

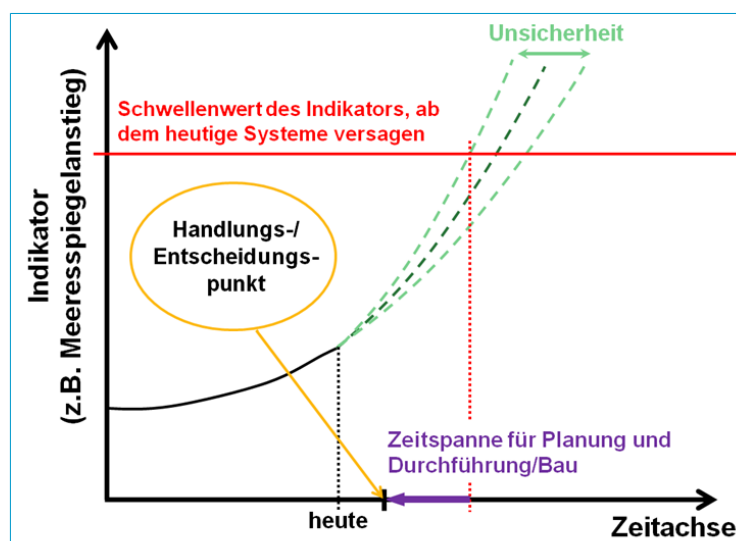


Abb. 5: Zeitlicher Entscheidungsprozess (nach Abb. 7.5 aus Lowe et al., 2009)

### Literatur:

- Bundesregierung (2011) Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel
- IPCC, 2013: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. Klimaänderung 2013: Naturwissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Fünften Sachstandsbericht des IPCC.
- Lowe, J.A., et al.,(2009), UK Climate Projections science report: Marine and coastal projections. Met Office Headley Centre, Exeter, UK
- MELUR-SH (2014) Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein Fortschreibung 2012
- Wilby, R. L. und Dessai, S. (2010): Robust adaptation to climate change. Weather 65 (7), S. 180–185

### Kontakt

Rita Seiffert  
Bundesanstalt für Wasserbau  
Wedeler Landstr. 157, 22559 Hamburg  
rita.seiffert@baw.de  
<http://www.bmvi-expertennetzwerk.de>



# Überprüfung der Regelwerke der Schieneninfrastruktur

Maïke Norpoth (EBA), Carina Herrmann (EBA)

## Grundproblem

Der Klimawandel führt zu veränderten (Wetter-) Einwirkungen auf Bauwerke der Verkehrsinfrastruktur.

### Klimaeinwirkungen:

Klimabeobachtungsdaten und Projektionen deuten auf häufigere Extremwetterereignisse hin.

### Nutzungsdauer und Konstruktion:

Ingenieurbauwerke werden für lange Zeiträume geplant, mit wenig Reserven für Nachrüstungen. Die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit muss für diesen Zeitraum gewährleistet werden.

### Zentrale Infrastrukturbauwerke:

Bauwerke können nur begrenzt für einen Um- oder Neubau ersetzt/gesperrt werden.

### Mögliche Konsequenzen:

- Bauwerke sind eingeschränkt nutzbar
- Großer Aufwand für Neubau/Renovierungen
- Hoher volkswirtschaftlicher Schaden

## Zielsetzung

Die Funktion des Verkehrssystems beeinträchtigende Extremereignisse müssen ebenso wie graduelle Veränderungen im mittleren Klimazustand stärker in Planung, Konstruktion und Bau berücksichtigt werden. Daher ist es notwendig, die Regelwerke hinsichtlich klimawandelrelevanter Parametern zu untersuchen.

**Ziel:** Identifikation des Anpassungs- und (akuten) Handlungsbedarfs und Vorschläge zur Überarbeitung von Richtlinien und Regelwerken.

## Ergebnisse

Die Auswertung der Regelwerke ergab insgesamt **1.650 Einträge**, von denen viele identifizierte Passagen mehreren Ursachen zugewiesen wurden. Die Aufteilung auf die Klimaeinflüsse (Abb. 1a) verdeutlicht den starken Einfluss von Temperatur (Hitze und



| Ursache   | Wodurch     | Gefährdung   | Abkürzung |  |        |
|---|-------------|--|-----------|--|--------|
| Temperatur  | Hitze       | Gesundheit/Wohlbefinden Mensch   | T         |  |        |
|   |             | Überhitzung, Kreislaufprobleme, Arbeitsschutz...                           | T-H       |  |        |
|   |             | Materialeusdehnung   | T-H-GM    |  |        |
|   |             | Längenspannung bei Bauteilen/Gleisen...                                    | T-H-MA    |  |        |
|   |             | Materialeigenschaften/ermüdung   | T-H-MV    |  |        |
|   |             | Änderung der Materialparameter, z.B. Elastizität, Festigkeit, ...          | T-H-WA    |  |        |
|   |             | Wärmeableitung   | T-H-AD    |  |        |
|   |             | Verminderte Abführung produzierter Wärme (z.B. Elektronik, Bremsen,...)    | T-H-AD    |  |        |
|   |             | Ausdehnungen   | T-H-AD    |  |        |
|   |             | Wärme setzt giftige Stoffe frei (z.B. PAKs aus Schwellen/Kunststoffen,...) | T-H-AD    |  |        |
| Frost   | Frost       | Gesundheit/Wohlbefinden Mensch   | T-F       |  |        |
|   |             | Unter-Überkühlung, Erfrierungen, ...                                       | T-F-GM    |  |        |
|   |             | Materialeusdehnung   | T-F-MA    |  |        |
|   |             | Längenspannung bei Bauteilen/Gleisen...                                    | T-F-MV    |  |        |
|   |             | Materialeigenschaften/ermüdung   | T-F-MV    |  |        |
|   |             | Änderung der Materialparameter, z.B. Elastizität, Festigkeit, ...          | T-F-GW    |  |        |
|   |             | Gefrorenes Wasser  | T-F-GW    |  |        |
|   |             | Eisbildung in Abflüssen, Zuleitungen, Vorratsbehältern                     | T-F-GW    |  |        |
|   |             | Niederschlag   | Regen     | Dimensionierung Entwässerung                                       | N      |
|   |             |  |           | Zunahme der zu bewältigenden Abflussmengen                         | N-R    |
| Hochwasser  | N-R-EW      |  |           |  |        |
| Resilienz gegen stehendes Wasser, insb. Anlagen mit Schadstoffen/Keimen   | N-R-HW      |  |           |  |        |
| Gewichtszunahme   | N-R-GZ      |  |           |  |        |
| Saugende Materialien werden schwerer, Schnee/Eislast                      | N-R-GV      |  |           |  |        |
| Grundversagen   | N-R-GV      |  |           |  |        |
| Aktivierung Gleitschicht, Aufgeweichter Untergrund, Hangrutschungen       | N-R-SE      |  |           |  |        |
| Schnee/Eis  | N-R-SE      |  |           |  |        |
| Nutzbarkeit eingeschränkt (Bahnhöfe, Gleise), Zusätzlicher Arbeitsaufwand | N-R-SE      |  |           |  |        |
| Keraunischer Pegel  | Blitzschlag | Brandrisiko  | N-T       |  |        |
|   |             | Abnahme Kohäsion, Reduktion Erdvolumen                                     | N-T-GV    |  |        |
|   |             | Brandrisiko  | N-T-BR    |  |        |
|   |             | Fächerschlände/Waldbrände/Böschungsbrenn                                   | N-T-BR    |  |        |
|   |             | Staubfreisetzung   | N-T-SF    |  |        |
|   |             | Reduzierte Sicht, Verschmutzung Luftgekühlter Teile                        | N-T-SF    |  |        |
|   |             | Sturm  | Wind      | Bauwerke   | S      |
|   |             |  |           | Erhöhte Windlast, Bauteilsicherung (Häuser, Bahnhöfe, Brücken,...) | S-W    |
|   |             |  |           | Fahrzeuge  | S-W-BW |
|   |             |  |           | Windstößen/Windangriffe, Seitenwinde                               | S-W-FZ |
| Energie und Signale   | S-W-ES      |  |           |  |        |
| Windlasten auf Oberleitung, Signale, Funk/Telekommunikationsmasten...     | S-W-ES      |  |           |  |        |
| Windwurf/Windbruch  | S-W-WW      |  |           |  |        |
| Gefahren durch Blüme in deren Umgebung                                    | S-W-WW      |  |           |  |        |
| Windschutz  | S-W-WW      |  |           |  |        |
| Schutz von Personen und Gegenständen vor Wind und fliegenden Teilen       | S-W-WW      |  |           |  |        |
| Staubfreisetzung  | S-W-SF      |  |           |  |        |
| Reduzierte Sicht, Verschmutzung Luftgekühlter Teile                       | S-W-SF      |  |           |  |        |

Tab.1: Klimaeinflüsse ursachen- und auswirkungsorientiert.

## Vorgehensweise

Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurden 59 ausgewählte Regelwerke inkl. 18 nationaler Anhänge der Eisenbahninfrastruktur systematisch hinsichtlich bestimmter Klimaeinflüsse (Tab.1) überprüft, klimawandelrelevante Passagen identifiziert, bewertet und der Anpassungsbedarf ermittelt. Die Bewertung des Anpassungsbedarfs bei den identifizierten Passagen erfolgte auf Basis der Auswirkungen der überprüften Klimaeinflüsse und durch Expertenwissen.

### AP1: Überprüfung der Regelwerke hinsichtlich Gefahrenpotentialen aus dem Klimawandel



### AP2: Bewertung der gefundenen Passagen

- Einschätzung des Grades der bisherigen Berücksichtigung
- Bewertung des Einflusses der Klimaänderung auf Regelwerk
- Notwendigkeit Anpassung
- Angabe zur Gebrauchstauglichkeit und Tragsicherheit

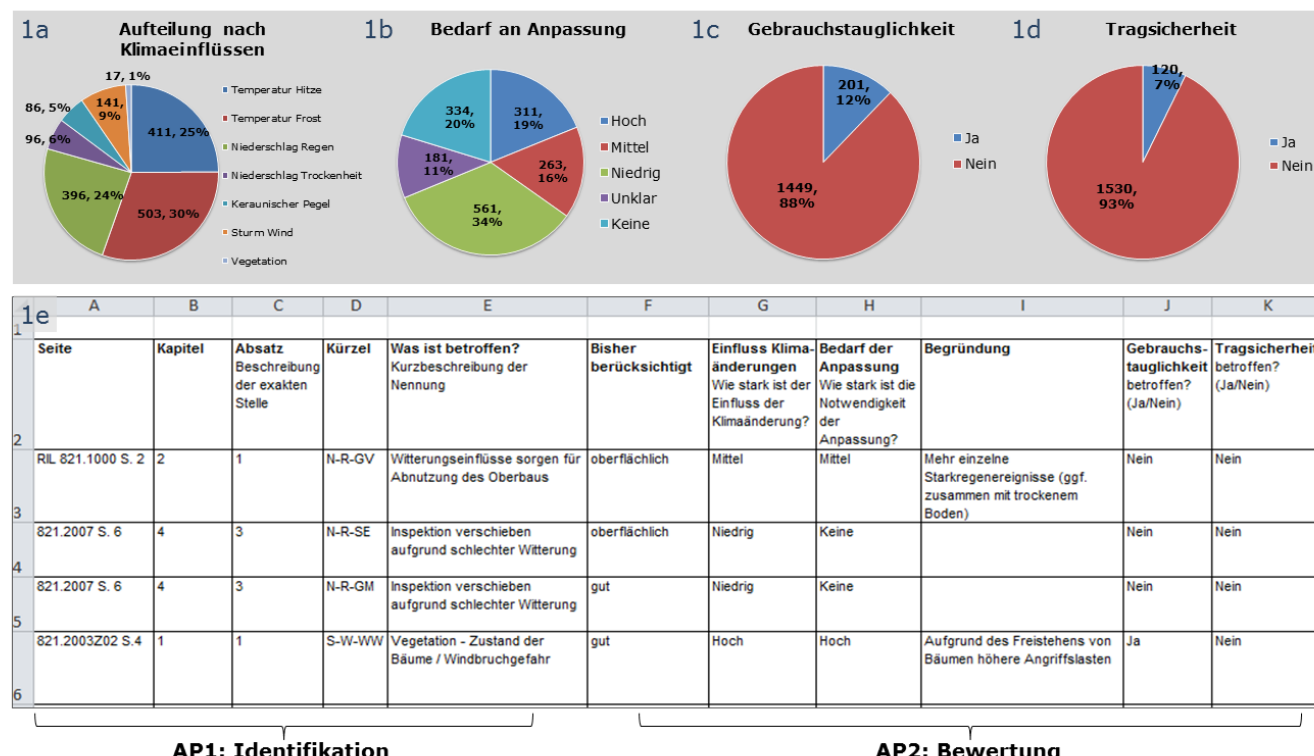


Abb.1: a. Aufteilung der Einträge nach Klimaeinflüssen, b. Bedarf an Anpassung, c. Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit, d. Beeinträchtigung der Tragsicherheit, e. Auszug aus standardisierte Ergebnis-Matrix der DB-Richtlinie 821.

## Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse dienen als Diskussionsgrundlage für die entsprechenden Gremien. Bessere Berücksichtigung des Klimawandels in den Regelwerken, z.B. durch:

- Zentrale Angabe der zu beachtenden Klimaparameter
- Berücksichtigung von späteren Umbaumaßnahmen für zukünftige Klimaänderungen bereits in der Planung

## Kontakt

Maïke Norpoth  
Eisenbahn-Bundesamt  
Heinemannstr. 6, 53175 Bonn  
NorpothM@eba.bund.de

<http://www.bmvi-expertennetzwerk.de>

# Flussbauliche Anpassungsoptionen am Niederrhein

Linda Bergmann (BAW), Dr. Regina Patzwahl (BAW)

## Einführung

Bundeswasserstraßen stellen – per Gesetz – für definierte hydrologische Gegebenheiten eine definierte Wassertiefe in einem sicher und leicht befahrbaren Fahrwasser zur Verfügung. Um das auch unter den Auswirkungen des Klimawandels gewährleisten zu können, wird eine eventuelle Betroffenheit und daran anschließende Anpassung für den Niederrhein in fünf Schritten erarbeitet.

## 2. Systemanalyse

Ist eine Problemstelle identifiziert, ist für die Entwicklung einer geeigneten Maßnahme das Verständnis für das regionale und lokale hydraulisch-morphologische System der Wasserstraße unerlässlich. Eine Systemanalyse findet sowohl auf Naturdaten als auch auf Modellergebnissen basierend statt.

## 1. Problemstellenidentifikation

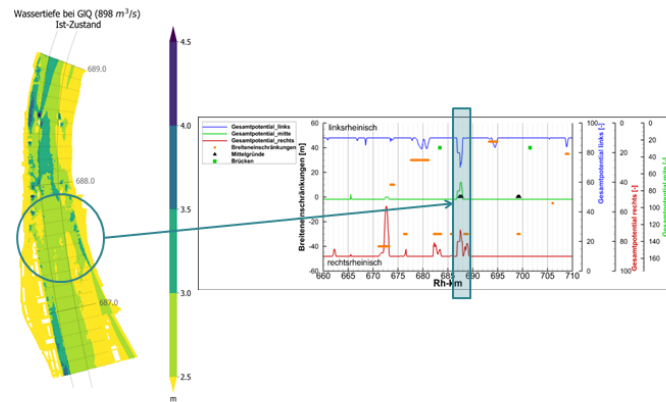


Abb.1: Methode zur Problemstellenidentifikation

Die Problemstellenidentifikation fand modellbasiert für den heutigen Geometrie-Zustand für den gesamten Niederrhein statt. Dafür wurde die Methode des Befahrbarkeitspotentials (Harlacher, 2016) für den Klimawandel adaptiert (Abbildung 1). Die Ergebnisse sind in Meilensteinbericht 106c-1 zusammengefasst.

## 3. Maßnahme

Abbildung 2 gibt eine Übersicht zu Möglichkeiten der Anpassung der Wasserstraße an den Klimawandel.

Solche Maßnahmen sind überwiegend von den lokalen Gegebenheiten und dem lokalen hydraulisch-morphologischen System bestimmt. Aus der Vielzahl an Optionen wurde bisher der Fokus auf die baulichen Anpassungsoptionen gesetzt.

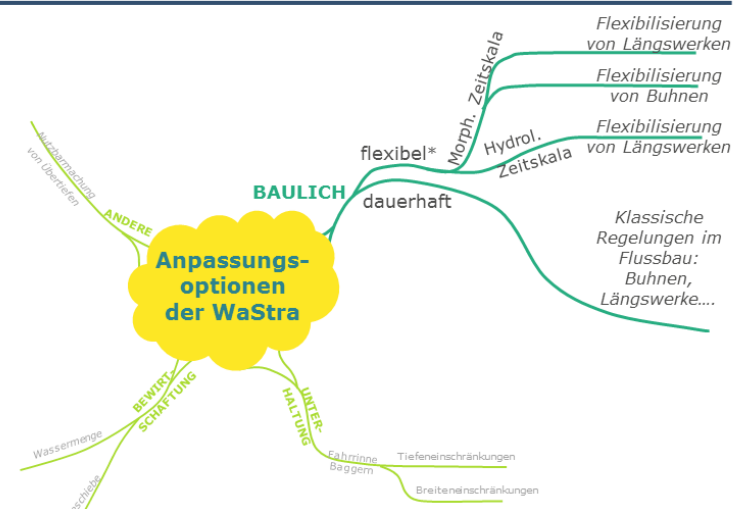


Abb.2: Anpassungsoptionen der Wasserstraße

## 4. + 5. Untersuchung auf Wirksamkeit

Die Wirksamkeit einer Maßnahme kann unter Anderem anhand ihrer Auswirkung auf den Wasserstand beurteilt werden. Dazu wird das kalibrierte hydraulische 2D-Modell im Ist-Zustand und im Zustand mit eingebauter Maßnahme betrieben. Die Wirksamkeit lässt sich

überprüfen indem die Ergebnisse gegenübergestellt werden (siehe Abbildung 3). Um die Auswirkungen einer Maßnahme unter dem Einfluss des Klimawandels abzuschätzen, wird dieselbe Untersuchung mit veränderten Abflusshauptwerten wiederholt.

## Ausblick

Neben dem hier präsentierten Beispiel soll u. a. auch das Potential für die Nutzbarmachung von Übertiefen untersucht werden sowie Möglichkeiten zur Flexibilisierung von Bauwerken diskutiert werden (Abbildung 2).

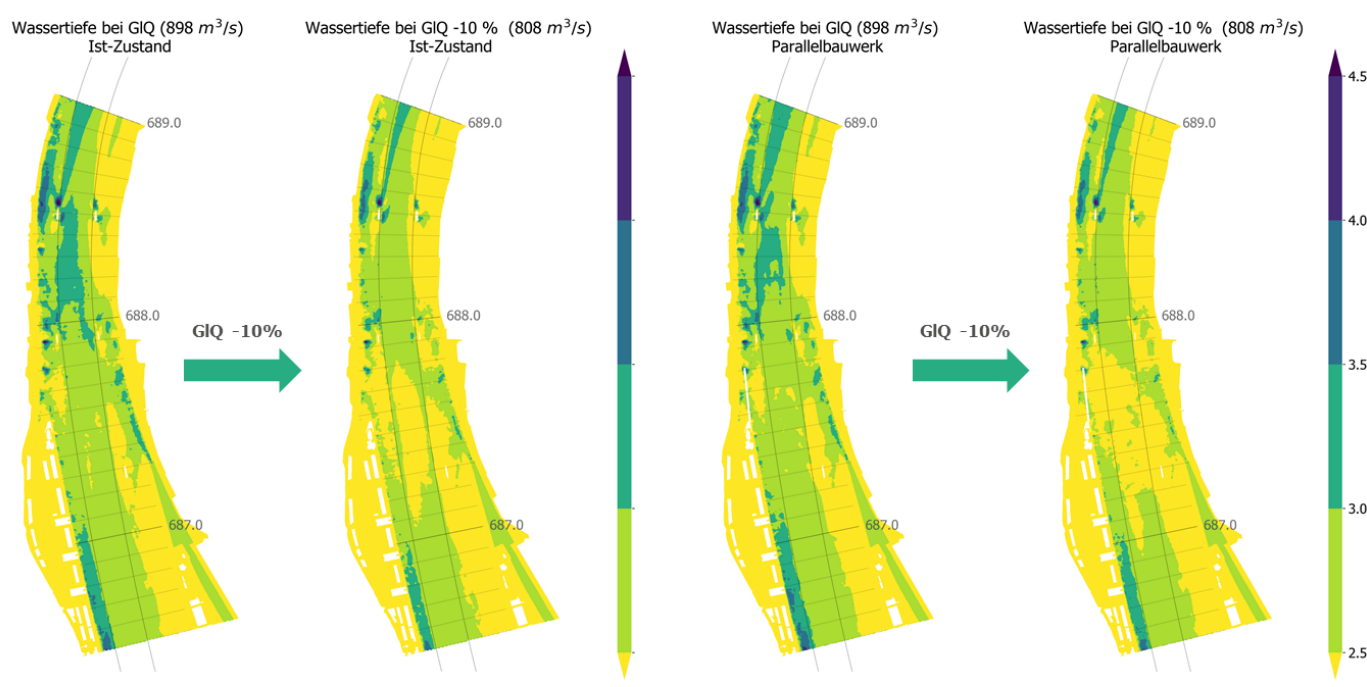


Abb.3: Wirksamkeitsuntersuchung; Ist-Zustand links, Eingebautes Parallelbauwerk rechts

## Literatur

Harlacher, D., 2016. Beurteilung, Bewertung und flächige Visualisierung der Befahrbarkeit von Binnenwasserstraßen. Dissertation. Universität Duisburg-Essen

## Kontakt

[linda.bergmann@baw.de](mailto:linda.bergmann@baw.de)



[regina.patzwahl@baw.de](mailto:regina.patzwahl@baw.de)

Claudius Fleischer (BfG), Martin Helms (BfG), Enno Nilson (BfG)

## Einleitung

Für eine mitteleuropaweite Wasserhaushalts-(WH-)Simulation liegt das Modell LARSIM ME (LME) vor. Ausgehend von meteorol. Eingangsdaten (z. B. HYRAS) werden damit raumverteilte, tägliche Ausprägungen vielfältiger WH-Komponenten, u. a. Abflussreihen beliebiger Flusstandorte, simuliert und für Folgeuntersuchungen bereitgestellt. Zuverlässige Modellaussagen, etwa zu Zukunftsprojektionen, erfordern die umfassende Validierung des Modells oder dessen Weiterentwicklung.

## Schneemodellierung

Durch eine Rekalibrierung von LARSIM ME konnte die Modellierung der Schneeschmelze und des Abflusses während der Schneeschmelze deutlich verbessert werden (Abb. 1 und 2). Hierdurch wird die Prognosefähigkeit von LME gesteigert.

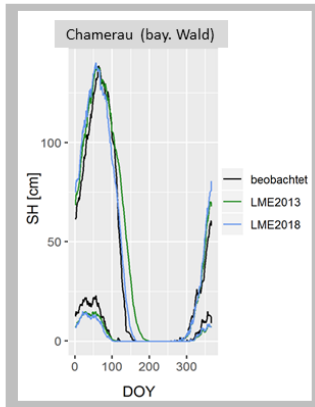


Abb.1: Mod. Schneehöhe vor (grün) u. nach (blau) Rekalibrierung.

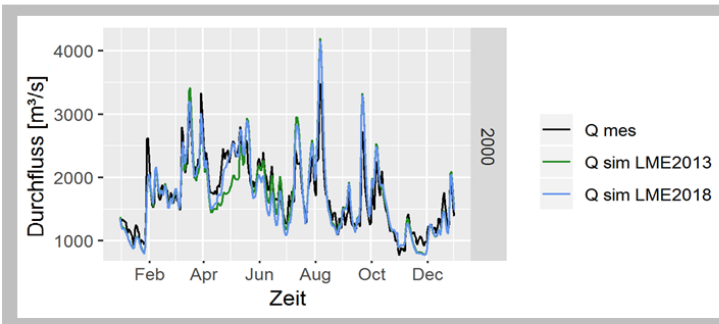


Abb.2: Abflussganglinie (Jahr 2000) am Donauegel Achleiten vor (grün) u. nach (blau) Rekalibrierung.

## Verdunstungsmodellierung

Die Verdunstung beeinflusst insbesondere die langzeitliche Entwicklung des berechneten Abflusses bei gegebenen Klimaänderungssignalen (Abb. 3).

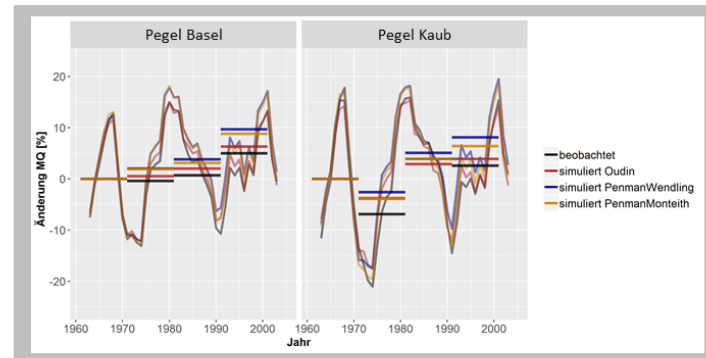


Abb.3: Änderung von MQ in Bezug auf die Periode 1960-1971. 5-jährlich gleitendes Mittel (Linien) sowie 11 jährige Mittelwerte (Segmente).

In LARSIM ME wurde die flächendeckende Verdunstungsberechnung nach Penman-Monteith neu eingeführt. Die Bewertung mehrerer Verdunstungsmethoden (Abb. 4) fließt sowohl in die Auswahl der Methode(n) als auch in die Kommunikation der Ergebnisse ein.

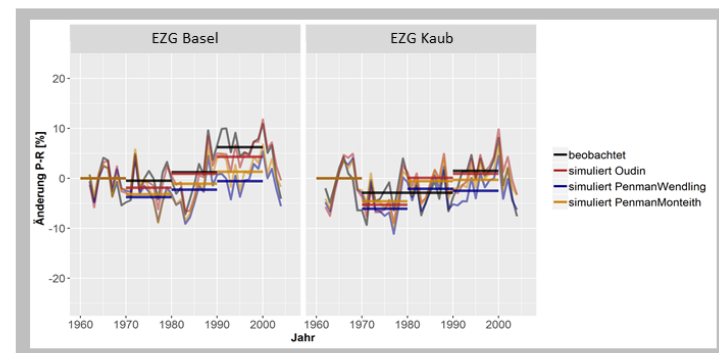


Abb.4: Änderung der tatsächlichen Verdunstung in Bezug auf die Periode 1960-'71. 5-jährliche gleitende Mittel (Linien) sowie 11-jährl. Mittelwerte (Segmente).

## Modellierung der Abflussbildung

Eine prognosefähige und aussagekräftige WH-Simulation muss auch landschaftsspezifische Abflusskomponenten zuverlässig abbilden. Mit LARSIM ME simulierte Abflusskomponenten werden daher in Testgebieten nicht nur ggü. Pegelabflüssen, sondern auch ggü. Reihen und Indizes für Basis- u. Zwischenabfluss aus bewährten Referenzverfahren diagnostiziert. Bei Bedarf wird die vorliegende Modellvariante multikriteriell nachkalibriert. Abb. 5 zeigt exemplarisch Ergebnisse für landschaftlich verschiedene Testgebiete mit verbesserten Gütemaßen für Basis- und Zwischenabfluss, ohne Beeinträchtigung der Güte für den Gesamtabfluss.

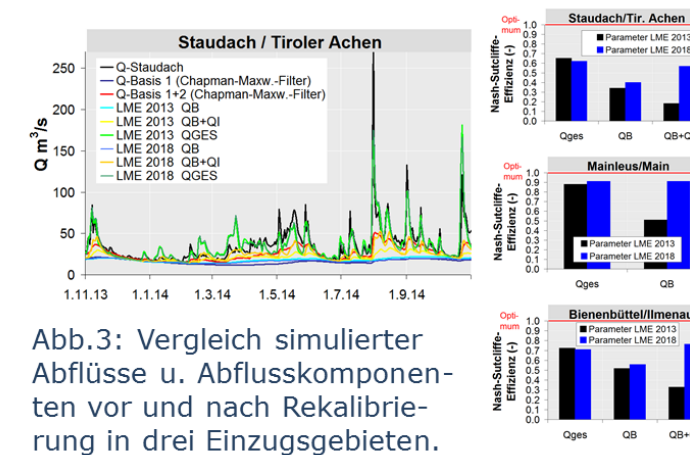


Abb.3: Vergleich simulierter Abflüsse u. Abflusskomponenten vor und nach Rekalibrierung in drei Einzugsgebieten.

Parallel wird eine verbesserte Regionalisierung des weiterentwickelten Modells erarbeitet, um es auf das Gesamtgebiet Mitteleuropas zu übertragen. Die Regionalisierung orientiert sich u. a. an hydrogeologischen Raumgliederungen, siehe Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe ([https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Wasser/Produkte/produkte\\_node.html](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Wasser/Produkte/produkte_node.html)).

## Modellierung des Wellenablaufs

Besonders für Flusshochwasser ist die zuverlässige Wellenablaufmodellierung im Gewässernetz wichtig (Überlagerung von Wellen und Scheiteln der Teilgebiete). Vor allem im Einzugsgebiet der Elbe, jedoch auch des Rheins und der Donau, war dies in LARSIM ME nicht befriedigend gelöst. Daher wurden flussabschnittsweise Rekalibrierungen vorgenommen und im jew. Gesamtsystem zusammengeführt, s. Abb. 6 mit exempl. Ergebnis für die Elbe.

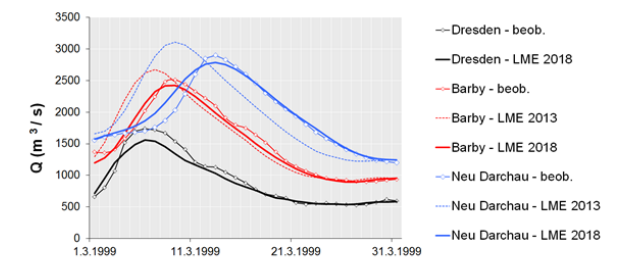


Abb.6: Simulierte Abflussganglinien der genannten Elbepegel vor und nach Rekalibrierung, durch die Laufzeitdefizite ausgeglichen wurden.

## Ausblick

Das weiterentwickelte Modell erlaubt deutlich verbesserte WH- u. Abflusssimulationen. Zuverlässige und präzise Modellaussagen erfordern aber zzt. noch Model Output Statistics (MOS). Fortgesetzte Entwicklungen haben das Ziel, auch ohne MOS auszukommen.

## Kontakt

Claudius Fleischer, Martin Helms  
Bundesanstalt für Gewässerkunde  
Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz  
fleischer@bafg.de, helms@bafg.de  
<http://www.bmvi-expertennetzwerk.de>

Gundula Haurert (BfG), Gudrun Hillebrand (BfG)

## Sedimentrückhalt in Auen

Bei Hochwasserereignissen mit starker Ausuferung können im Längsschnitt abnehmende Feinsedimentfrachten beobachtet werden, obwohl Nebenflüsse entlang der Fließstrecke zusätzliche Frachten liefern (vgl. Abb. 1). Dies ist auf Rückhalt auf den Überflutungsflächen und/oder in Seitenstrukturen zurückzuführen (Altarme, Bühnenfelder, Häfen etc.).

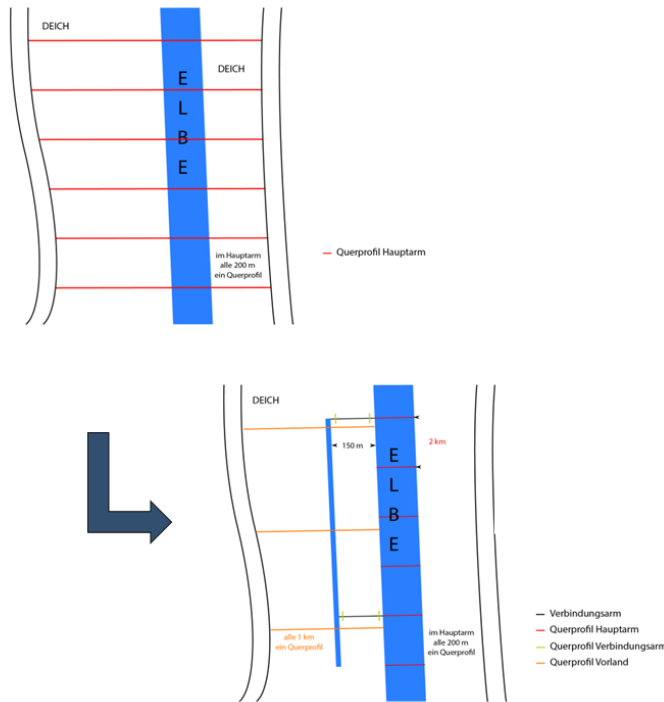


Abb.2: Modellansatz zur Berücksichtigung der Vorlandsedimentation im eindimensionalen numerischen Modell: Aufteilen der ursprünglichen Querprofile in Hauptstrom und Vorland, Konstruktion eines Nebenarms mit regelmäßiger Anbindung an den Hauptstrom.

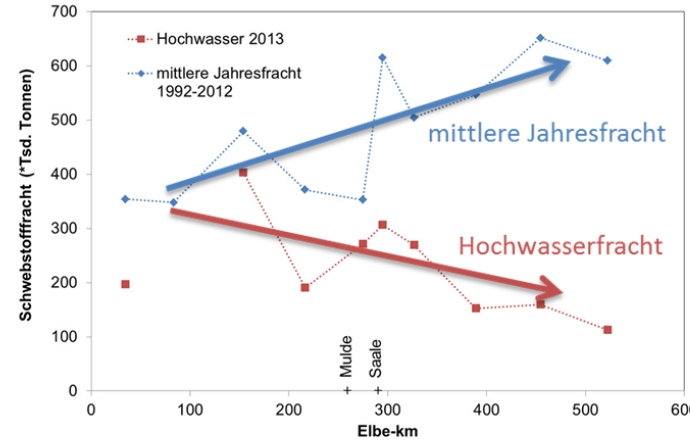


Abb.1: Schwebstofffrachten im Längsschnitt der Elbe. Entgegen dem langjährigen mittleren Verlauf nehmen die Feinsedimentfrachten im Längsschnitt während Hochwasserereignissen mit starker Ausuferung aufgrund des Sedimentrückhalts auf den Vorländern ab.

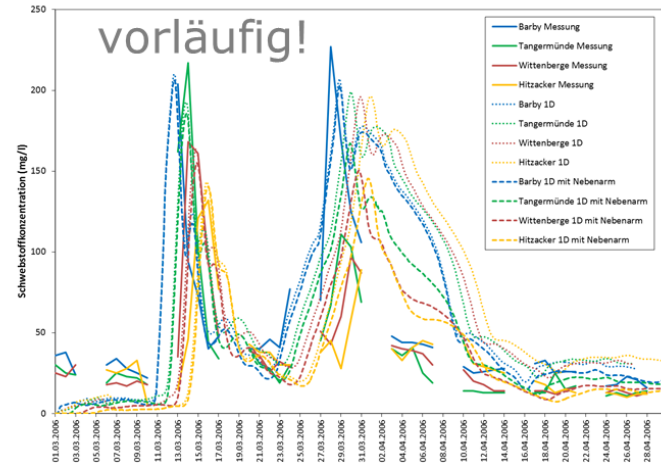


Abb.3: Vorläufiges Ergebnis eines Modellaufs. Der Ansatz „Vorland als Nebenarm“ ist im Modell für die Strecke zwischen Barby und Geesthacht umgesetzt (Elbe-km 294,6 bis km 583,4). Der Vergleich zwischen Messdaten und herkömmlicher 1D-Modellierung zeigt den fehlenden Sedimentrückhalt im Modell beim zweiten Peak des Hochwassers, bei dem signifikante Ausuferungen auftraten. Die Ergebnisse der neuen Modellierung zeigen hingegen nach stromab deutlich reduzierte Konzentrationen. Der Feinsedimentrückhalt im Modell beträgt ca. 240 Tsd. t für das HW 2006.

## Modellierung der Vorlandsedimentation

In der numerischen Modellierung ist zur Berücksichtigung der Vorlandsedimentation generell eine mehrdimensionale Modellierung erforderlich, da eindimensionale Modelle in der Regel Erosion und Deposition von Sedimenten nur im Hauptgerinne erlauben.

Um den Einfluss des Klimawandels im numerischen Wirkmodell zu untersuchen, sind andererseits Langfristsimulationen notwendig, die aus Gründen der Rechenkapazität auf

Flussgebietsskala bisher nicht in mehrdimensionalen Modellen abgebildet werden können.

Im Expertennetzwerk wurde deshalb ein eindimensionales Modell mit einer Abstraktion der Vorländer als Nebenarm des Hauptstroms umgesetzt (Abb. 2), um Sedimentation auf den Vorländern und gleichzeitig die Simulation über einen Zeitraum von mehreren Dekaden zu erlauben.

## Szenarienrechnungen

Landnutzung und Klimawandel verändern potenziell die Bodenerosion im Einzugsgebiet und damit den Sedimenteintrag ins Gewässer. Ein Modellsystem zur Abschätzung des Sedimenteintrags wird derzeit parallel über eine Vergabe aufgebaut.

Die Ergebnisse von Szenarienrechnungen zur Veränderung der Sedimenteinträge bilden die Eingangswerte der hier dargestellten Transportmodellierung. Veränderte Randbedingungen von Abfluss und Schwebstoff zusammen mit der Berücksichtigung der Vorlandsedimentation liefern eine verbesserte Abschätzung der Feinsedimentfrachten und damit des Eintrags ins Ästuar.

## Fazit

Der Lösungsansatz „Vorland als Nebenarm“ stellt eine Möglichkeit dar, die Anforderung von Rechenzeit und Prozessabbildung bei vertretbarer Abstraktion zu vereinen.

Im ersten Testlauf des angepassten 1D-Modells wurde ca. 50 % der Hochwasserfracht auf den Vorländern zurückgehalten (zum Vergleich: aus Messdaten abgeschätzter Rückhalt bei größeren Hochwässern ca. 30 - 40 %). Ohne Berücksichtigung der Vorlandsedimentation läge der „Modellfehler“ bei langjährigen mittleren Frachten damit bei ca. 10 %. Relevant ist hingegen die Abweichung auf der Ereignisskala (vgl. Schadstofffrachten).

### Projektleitung:

Dr. Gudrun Hillebrand  
Bundesanstalt für Gewässerkunde  
hillebrand@bafg.de

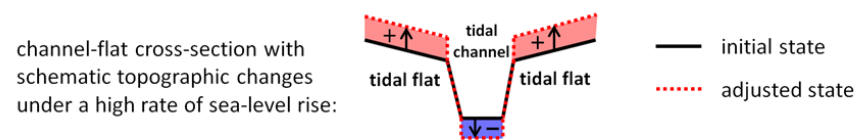
<http://www.bmvi-expertennetzwerk.de>

# Feedbacks of sea-level rise induced topographic changes of the Wadden Sea on tidal dynamics

Benno Wachler, Caroline Rasquin, Norbert Winkel and Frank Kösters  
Federal Waterways Engineering and Research Institute (BAW)

## Introduction

Tidal flats of the Wadden Sea (German Bight) play a significant role for coastal defense and maintenance of navigational channels as they dissipate tidal and wave energy in the foreshore area. In principle tidal flats of the Wadden Sea are capable to adapt to sea-level rise (SLR) by growth due to a more flood dominant tidal asymmetry with increased sediment import in tidal basins and internal redistribution of sediment between morphologic elements of tidal basins (see sketch below). However, estimates of tidal flat growth and associated critical SLR rates vary largely and have been proposed only for single tidal basins so far (e.g. van Goor et al. 2003, Dissanayake et al. 2012, Becherer et al. 2017). This study investigates feedbacks of hypothetical SLR-induced morphological changes of the entire Wadden Sea on tidal dynamics and whether these changes reinforce or compensate hydrodynamic effects, which arise from SLR alone.



## Methods

In a German Bight model we set up a range of hypothetical topographic changes (TC) of the Wadden Sea (Fig. 1), which are considered likely under specific SLR scenarios such as 0.8 m within the 21<sup>st</sup> century (see right panel in Fig. 1). We combine these topographic scenarios with the respective SLR scenarios in 3D hydrodynamic simulations using the model UnTRIM (Casulli and Walters 2000). The applied scenarios of hypothetical morphological changes are based on empirical models on one hand (e.g. Friedrichs and Aubrey 1988, Stive et al. 1998) and results of process-based model studies on the other hand. The considered topographic changes represent only a simplified scenario ignoring local factors, such as sediment availability, tidal basin geometry and tidal range.

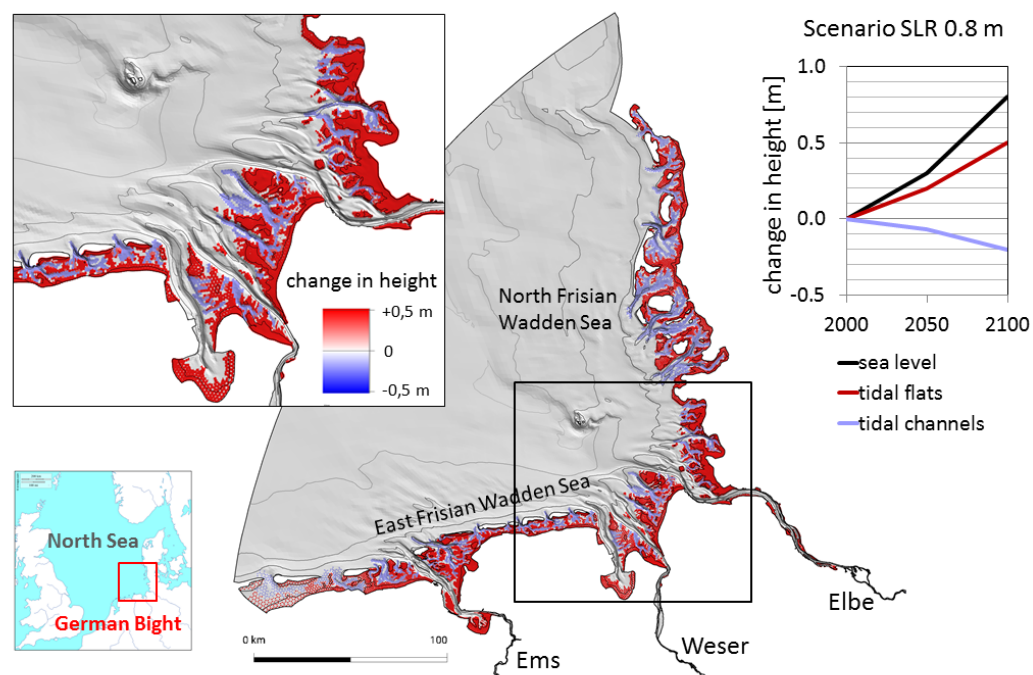


Figure 1: Applied schematic topographic changes considered likely under a SLR of 0.8 m within the 21<sup>st</sup> century.

## Results

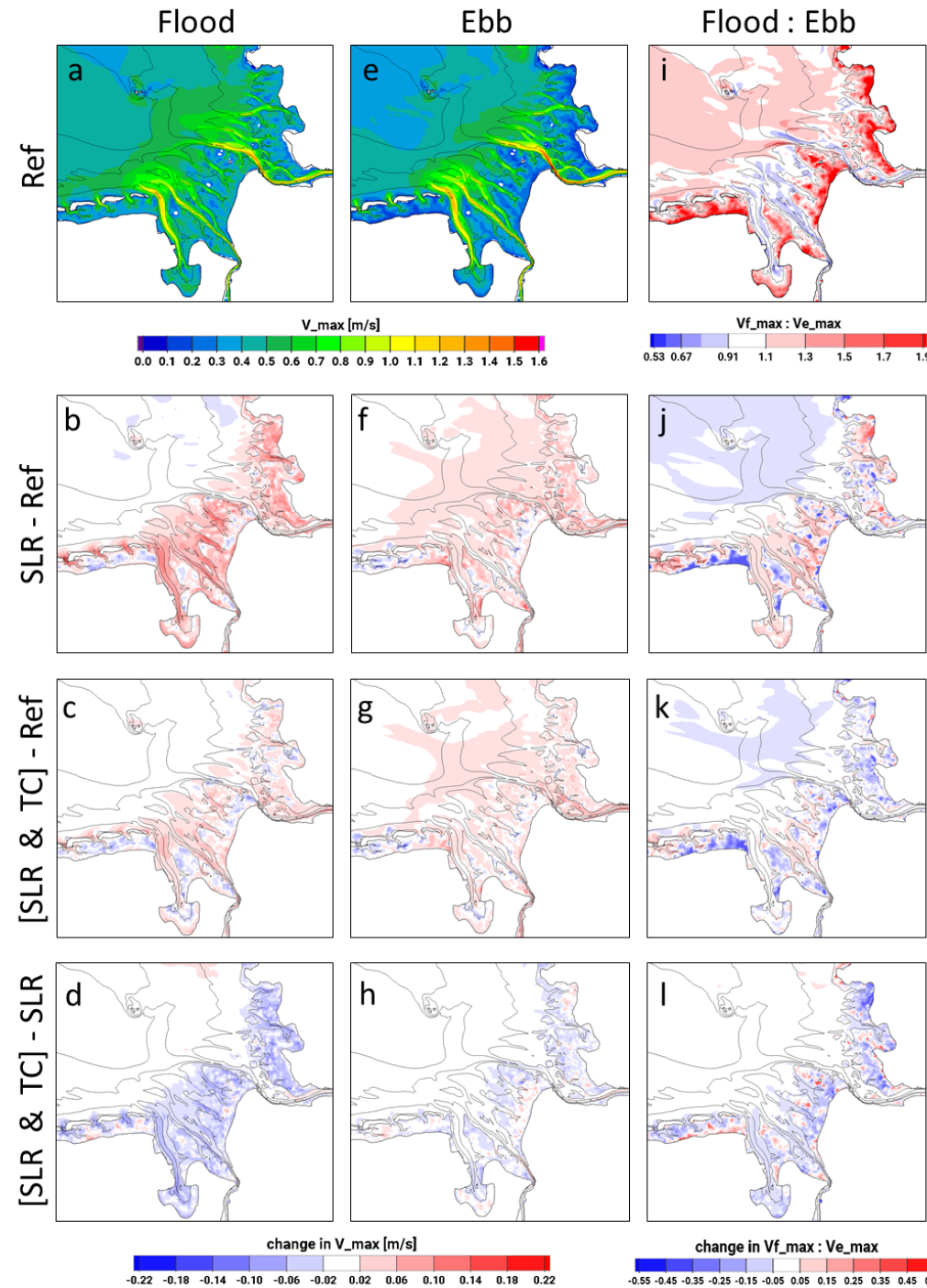


Figure 2: Maximum flood current velocity in the reference case (Ref) (a), changes due to sea-level rise (SLR - Ref) (b), changes due to sea-level rise and topographic changes ([SLR & TC] - Ref) (c) and residual changes due to topographic changes ([SLR & TC] - SLR) (d). The same for maximum ebb current velocity (e-h) and the ratio of maximum flood current velocity to maximum ebb current velocity (i-l). Depth contour lines are displayed for 2, 12, 22 and 32 m below NHN.

### Feedbacks of the topographic changes on maximum flood current velocity:

- **Tidal channels:** While SLR induces an increase of maximum flood current velocity (Fig. 2b), the TC reduce the maximum flood current velocity (Fig. 2d).
- **Tidal flats:** Maximum flood current velocity is either increased or decreased by SLR revealing locally different responses (Fig. 2b). However, the local response to SLR is again mainly compensated by the TC though not as prominent as compensational effects in the channels (Fig. 2d).

### Feedbacks of the topographic changes on maximum ebb current velocity:

- **Tidal channels:** Changes in maximum ebb current velocity due to SLR range from decreasing to increasing, while the landward sections of the channels show the most prominent decreases (Fig. 2f). Although the TC show only minor effects, they mostly compensate the SLR effects (Fig. 2h).
- **Tidal flats:** Maximum ebb current velocity is mainly increased by SLR (Fig. 2f), which is mostly compensated by the TC (Fig. 2h). However, the effects are weak.

### General observations:

- SLR effects as well as effects of the TC on maximum ebb current velocity are not as strong as on maximum flood current velocity (compare Fig. 2f with 2b and Fig. 2h with 2d). This is due to the lower water depth and stronger friction during ebb currents damping any hydrodynamic response of the falling tide.
- Effects of the considered TC on tidal currents are generally smaller (Fig. 2d,h) than effects of SLR (Fig. 2b,f), but can be in the same order of magnitude locally. Hence SLR-induced TC of the Wadden Sea should be considered when estimating the range of potential SLR effects on local tidal dynamics.

## Conclusions

**Changes in tidal current velocities induced by sea-level rise are mostly compensated by the applied topographic changes of the Wadden Sea. The results demonstrate the significance of sea-level rise induced topographic changes in the Wadden Sea for estimating local effects of sea-level rise on tidal dynamics.**

### References

- Becherer, J., J. Hofstede, U. Gräve, K. Purkiani, E. Schulz, H. Burchard, 2017. The Wadden Sea in transition – consequences of sea level rise. *Ocean Dynamics*, 68 (1), pp. 131-151.  
 Casulli, V., R. A. Walters, 2000. An unstructured grid, three-dimensional model based on the shallow water equations. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 32, pp. 331-348.  
 Dissanayake, D. M. P. K., R. Ranasinghe, J. A. Rodriks, 2012. The morphological response of large tidal inlet/basin systems to relative sea level rise. *Climate Change*, 113, pp. 253-276.  
 Friedrichs, C. T., D. G. Aubrey, 1988. Non-linear tidal distortion in shallow well-mixed estuaries: a synthesis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 27 (5), pp. 521-545.  
 Stive, M. J. F., 1998. Morphodynamics of a tidal lagoon and adjacent coast. In *8th International Biennial Conference on Physics of Estuaries and Coastal Seas*, The Hague, The Netherlands, 1998.  
 Van Goor, M. A., T. J. Zitman, Z. B. Wang, M. J. F. Stive, 2003. Impact of sea-level rise on the morphodynamic equilibrium state of tidal inlets. *Marine Geology*, 202 (3-4), pp. 211-227.

### Contact

Benno Wachler  
Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)  
Wedeler Landstraße 157  
22559 Hamburg, Germany  
benno.wachler@baw.de  
www.baw.de

### Project website

<http://www.bmvi-expertennetzwerk.de>