

Anlage

Aktuelle Kenntnislage zum Meeresspiegelanstieg

neue Ergebnisse seit dem IPCC AR5 (2014)

Zusammenfassung:

In den bisherigen Berichten des IPCC, zuletzt im AR 5 (2014), wurde immer darauf hingewiesen, dass Aussagen zum Meeresspiegelanstieg nur einen vorläufigen Charakter haben, da die möglichen Beiträge des grönländischen und des antarktischen Eisschilts zum Meeresspiegelanstieg unzureichend berücksichtigt sind. Seit dem letzten Sachstandsbericht werden deshalb dazu intensive Forschungen durchgeführt. Die Notwendigkeit für Forschung ergab sich aus der Tatsache, dass bislang wesentliche eisphysikalische Prozesse mangels Formulierung nicht berücksichtigt werden konnten. Im Wesentlichen handelt es sich um Prozesse, die zu einem Kollaps der Eisschilde führen können, mit der Folge eines potentiell deutlich höheren Meeresspiegelanstiegs. Mittlerweile sind neuere Projektionen verfügbar, die eine verbesserte Kenntnis der Eisphysik und der regionalen Verhältnisse berücksichtigen. Der aktuelle Stand der Fachliteratur ist der Anlage zu entnehmen.

Der IPCC plant die Veröffentlichung eines Sonderberichts „Ozean und Kryosphäre“. Er soll Mitte 2019 beschlossen werden. In ihm werden u.a. die neueren Erkenntnisse zum möglichen Verhalten der Eisschilde und die Reaktionen der Ozeane zusammengefasst und bewertet. Die dort gewonnenen Resultate betreffen in großem Maß die Küsten und küstennahen Räume, speziell deren Nutzung. Ggf. müssen bereits getroffene Anpassungsmaßnahmen modifiziert oder neue sogar in Angriff genommen werden.

Die neuen Ergebnisse werden Auswirkungen auf die beabsichtigten Ausbaumaßnahmen der WSV im Küstenraum haben. Allerdings, bis zur Veröffentlichung des Sonderberichts, sollten vorerst die in KLIWAS berichteten Prognosen und Bandbreiten als Planungsgrundlagen für die aktuelle Anpassungen an den Klimawandel im Bereich der WSV gelten. (KLIWAS Abschlussbericht). Jedoch wegen des sich bereits jetzt abzeichnenden höheren Anstiegs des Meeresspiegels und der weiterhin existierenden Unsicherheiten, die sich zusammensetzen aus denen der Ensemblemodellierung, dem realen zukünftigen Temperaturanstieg und den noch zu erwartenden neuen Kenntnissen über Grönland und die Antarktis, muss hinsichtlich der technischen Ausgestaltung von Anpassungsmaßnahmen der Blick für Modifikationen, bzw. für einen erweiterten Ausbau geöffnet bleiben.

Nach Vorlage des o.g. Assessments im Jahr 2019 sollte geprüft werden, in wie weit sich Anstiegsraten und Spannbreiten für den Bereich der deutschen Küsten verändert haben. Dies sollte im Rahmen des BMVI Expertennetzwerks TF 1 im Teilvorhaben „Regionales Budget des Meeresspiegelanstiegs in Nord- und Ostsee“, geschehen. Die Auswirkungen können dann weiter im Expertennetzwerk bearbeitet werden.

In diesem Bericht hier werden Ergebnisse aus dem sogenannte „Weiter-wie-bisher“ Szenarium (RCP 8.5) sowie aus Extremszenarien berichtet, da ein höherer Anstieg des Meeresspiegels deutlich über einen Meter hinaus bis hin zu 1,70 m bis zum Ende des Jahrhunderts mittlerweile nicht mehr ausgeschlossen zu sein scheint. Im Bericht ist nicht nur der Wert des Medians der Bandbreite berücksichtigt worden, sondern auch aus dem oberen Bereich der Bandbreite das 95. Perzentil), da dieses **für Risikobetrachtungen von Relevanz** ist.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Angaben in der Literatur für die deutschen Küsten den Anstieg des Meeresspiegels, aber nicht den Einfluss von Gezeiten und wetterbedingten extremen Windstauereignissen (Sturmfluten) beinhalten. Dazu werden zurzeit Untersuchungen vom BSH im Rahmen einer forschenden Begleitmaßnahme des BMVI Expertennetzwerks durchgeführt.

1 Grundlagen

Seit dem letzten Sachstandsbericht des IPCC (AR 5, 2014) werden intensive Forschungen durchgeführt, die sich mit den Auswirkungen des Klimawandels auf den Meeresspiegel beschäftigen, insbesondere über die Beiträge des grönländischen und des antarktischen Eisschildes zum Meeresspiegelanstieg. Des Weiteren hat sich die Daten- und Informationslage über das Meer verbessert durch neuere Messmethoden, eine Erweiterung der Auswertungsmethoden von Messdaten und die Fortentwicklung von Modellen.

Zu den hauptsächlichen Veränderungen des Meeresspiegels im Klimawandel tragen bei

- die Volumenzunahme durch Erhöhung der Wassertemperaturen und der Eintrag von Süßwasser bzw. Eis aus Gebirgsgletschern und von Eisschilden
- regionale Änderungen infolge veränderter Massenanziehung durch unterschiedlichen Eisverlust zwischen Antarktis und Grönland sowie durch Veränderungen in Wind- und Strömungssystemen
- die Speicherung von Wasser auf Land als Grundwasser
- regionale / lokale Änderungen durch Landhebungen oder –senkungen

Der Anstieg des Meeresspiegels findet nicht kontinuierlich statt sondern ist den natürlichen Variationen des Klimasystems auf Zeitskalen von Monaten bis Jahrzehnten unterworfen. Aktuelle oder kurzfristige Trends haben demnach kein Potential, als Prognosen für zukünftige Entwicklungen verwendet zu werden.

Zur Bestimmung der Veränderungen in der Höhe des Meeresspiegels werden sowohl *in-situ*-Daten (Pegel, Argo-Floats) als auch Daten aus der Satelliten-Fernerkundung (Radar, Gravimetrie) genutzt, die mithilfe von Modellen zu globalen Bildern zusammengefügt und mit unterschiedlichen statistischen Methoden ausgewertet werden. Ähnliches gilt auch für die Berechnung der Eisverluste von Gletschern und Eisschilden. In diesen Bereichen sind seit dem AR 5 erhebliche neue Erkenntnisse veröffentlicht worden.

2 Ergebnisse

2.1 Aktueller Anstieg des Meeresspiegels (Beobachtungen)

Ein Anteil der Wärme, die in der Atmosphäre durch den Treibhauseffekt verursacht wird, wird vom Meerwasser aufgenommen und im Ozean verteilt. Geht sie in den tieferen Ozean über, so wird sie sehr lange klimawirksam sein, da Wasser ein guter Wärmespeicher ist. Die Wärmeaufnahme geschieht im globalen Maßstab räumlich sehr unterschiedlich. Bezüglich des globalen Anstiegs der Erdoberflächentemperatur bestätigt sich ein zunehmender Trend, der auch in den Meeren wirksam ist und beobachtet wird.

Für die letzten Jahre wird ein beschleunigter Anstieg des globalen Meeresspiegels bereits mit einer Rate von 4,4 mm/Jahr festgestellt, nachfolgend einem La Niña-Ereignis im Pazifik, das kurzfristig zu einer leichten Absenkung des Meeresspiegels durch hohe landseitige Niederschlagsdeposition in den Tropen geführt hatte. Diese Wassermengen werden nun in die Ozeane zurückgeführt. Der mittlere Anstieg des globalen Meeresspiegels über die vergangenen 25 Jahre betrug ca. 3,5 mm/Jahr, nach ca. 2 mm/Jahr davor. Bei Aussagen über den aktuellen Anstieg ist zu berücksichtigen, dass trotz verbesserter Messmethoden neuere Aussagen zum Teil schwer vergleichbare Ergebnisse liefern aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Datensätze, jeweils verwendeter Auswertemethodiken sowie verschieden langer Betrachtungszeiträume. Aussagen über sehr kurze Zeiträume sind wegen der natürlichen Variabilität deshalb mit Vorsicht zu betrachten.

2.2 Zukünftiger Anstieg des Meeresspiegels (Projektionen)

Bedeutsamste neue Erkenntnisse den Meeresspiegelanstieg betreffend sind Aussagen zu sich verändernden Verhaltensweisen der kontinentalen Eisschilde. Für etliche Eisströme auf Grönland (GIS), dem Westantarktischen Eisschild (WAIS) und mittlerweile der Ostantarktis (EAIS) wird beobachtet, dass sie beschleunigt sehr große Mengen von Eis in die Ozeane ausstoßen. Ursache ist u.a. das Vordringen von erwärmtem Ozeanwasser an die Gletscherbasis, wodurch Schelfeis desintegriert wird und an der Gletscherfront der Kontakt zwischen Eis und Untergrund schmilzt (Fortfall der Bremswirkung des Untergrunds), mit der Folge einer Beschleunigung der Gletschergeschwindigkeit und verstärktem Kalben.

Voranzuschicken ist, dass aufgrund der großen Wärmespeicherkapazität des Meeres bereits die heutigen Ozeantemperaturen einen deutlichen Effekt auf das grönländische und antarktische Eis ausüben und selbst bei Einhaltung politischer Reduktionsziele (Paris 2016) über sehr lange Zeiträume wirksam bleiben werden.

Gemein ist neueren Projektionen des Meeresspiegelanstiegs, dass die neuen Werte überwiegend nahe dem oberen Rand der „wahrscheinlichen Bandbreite“ des Emissionsszenarios RCP 8.5 des AR 5 (IPCC, 2013) liegen; entsprechend den CO₂-Konzentrationen der Atmosphäre. In neueren Modellierungen für den Zeitraum bis 2100 bewegt sich der obere Rand der „wahrscheinlichen Bandbreite“ (größer 66% Wahrscheinlichkeit) des Meeresspiegelanstiegs von mehr als 98 cm mehr und mehr in Richtung mehr als 100 -120 cm, weil die CO₂-Emissionen weiter auf hohem Niveau erfolgen. In einigen Modellensembles ergibt sich aus der oberen Emissionsgrenze des RCP 8.5 (5°C Erwärmung) für bestimmte Regionen bis zum Ende des Jahrhunderts sogar ein Anstieg des Meeresspiegels von über 2 m möglich sein könnte (Jevrejeva, 2016). Es wird allgemein in den Publikationen darauf hingewiesen, dass im Falle eines Kollapses des Westantarktischen Eisschildes die Werte noch höher werden können.

In der Nordsee wird die regionale Entwicklung des Meeresspiegels sowohl durch die globale Meeresspiegelveränderung, insbesondere die im Atlantik, beeinflusst, die weiter durch zahlreiche zyklische und episodische natürliche, teils lokale Faktoren modifiziert wird (Gezeiten, Windstau, Sturmfluten). Für Hamburg wurden z.B. im Rahmen einer Regionalisierung aus einem Ensemble folgende Werte für das Ende des Jahrhunderts berechnet (bezogen auf die Bandbreite der Ensemble-Ergebnisse; ohne Gezeiten): 50. Perzentil¹ 0,80 m, 95. Perzentil 1,74 m, 99. Perzentil 2,39 m (Grinstedt et al., 2015). Ähnliches gilt für die westliche Ostsee, wobei wegen höherer Niederschläge im Ostsee-Einzugsgebiet der Meeresspiegel einige wenige Dezimeter höher zu erwarten ist als in der Nordsee. Die lokalen relativen Meeresspiegelstände der Ostsee werden durch das nacheiszeitliche Aufsteigen Skandinaviens und das leichte Absinken der deutschen Ostseeküste beeinflusst.

Die neueren Ergebnisse zum Meeresspiegelanstieg haben bereits einige Staaten veranlasst, die Ausmaße und Auswirkungen auf ihre Küsten untersuchen zu lassen.

In den **Niederlanden** wurde das Königliche Niederländische Meteorologische Institut (KNMI) kürzlich beauftragt, eine neue Abschätzung des Meeresspiegelanstiegs bis zum Jahr 2100 auf der Basis des IPCC RCP 8.5 Szenarios durchzuführen, da aufgrund möglicher, bislang nicht bekannter Reaktionen der großen Eisschilde der Anstieg größer ausfallen könnte als bislang angenommen. Für eventuelle veränderte Anpassungsvoraussetzungen sollen die Ergebnisse des IPCC Sonderberichts zu Ozean und Eis (2019) abgewartet werden. (Quelle: Delta Commission)

In **Dänemark** wurde das Dänische Meteorologische Institut (DMI) ebenfalls zu neuen Abschätzungen auf Basis des RCP 8.5 Szenarios aufgefordert. DMI hat eine vorläufige obere Grenze von 1,2 m zum Ende des Jahrhunderts abgeschätzt. (Quelle: Ministry of the Environment and Food of Denmark).

3 Aussichten

Zunehmende Bedeutung für die zukünftige Entwicklung des Meeresspiegelanstiegs gewinnen die Eisverluste der großen Eisschilde. Allerdings wird das Verhalten der Eisschilde bei der Prognose des zukünftigen Meeresspiegelanstiegs wie auch der nur unter Annahmen vorhersagbare Verlauf der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre auf längere Zeit ein Unsicherheitsfaktor bleiben.

Mittlerweile haben sich die polaren Ozeane soweit erwärmt, dass ein lang andauernder und sich verstärkender Eisausstoß zu einem lang andauernden Anstieg des Meeresspiegels führen wird. Die Höhe der Erderwärmung wird vermutlich nur noch Einfluss auf den zeitlichen Verlauf des Eisausstoßes, dessen Geschwindigkeit und auf die Menge haben. Bereits jetzt reichen die aktuellen Ozeantemperaturen aus, um die Eisschelfe in der Antarktis und in Grönland, welche die Gletscher bremsen, mehr und mehr zu destabilisieren und abzubauen. Der Zerfall einiger Gletscher ist vermutlich nicht mehr bremsbar. Starke Änderungen werden in der Bellinghausen und Amundsen See beobachtet, ebenso beim Totten Eisschelf, auf

¹ 50. Perzentil: In einer Bandbreite sind 50% der Werte kleiner als dieser Wert und 50% größer.

Grönland beim Zachariae Isstrøm, dem Jacobshavn Isbræ, dem Petermann und dem Humboldt-Gletscher. Aktuell scheint im Weddellmeer der völlige Zerfall des Larsen B Schelfs (3250 km²) und der Beginn des Zerfalls von Larsen C (Quelle: NASA) bevorzustehen. Die an ihn grenzenden Gletscher haben mittlerweile Fahrt aufgenommen (8-fach) und sind beträchtlich dünner geworden. Offensichtlich hat die Desintegration von Eisschelfen in der Antarktis teilweise schon in den vierziger Jahren begonnen, wie neuere Untersuchungen zeigen.

4 Fazit und Votum

Jüngste wissenschaftliche Erkenntnisse geben Grund zur Vermutung, dass bei einem ungebremsten Anstieg des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre im Jahr 2100 ein höherer Meeresspiegelstand erreicht sein könnte als im AR 5 des IPCC (2013), Szenario RCP 8.5, projiziert wurde. Darüber hinaus droht in der weiteren Zukunft ein noch weitaus höherer Meeresspiegelstand, je nach Verhalten der großen kontinentalen Eisschilde.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die heutigen Maßnahmen zur Sicherung der Küsten, Küstenbauwerke und Küstenbesiedlung zumindest bis zum Jahr 2050 einen ausreichenden Schutz vor Überflutungen bieten werden. Nichts desto trotz wird mit steigendem Meeresspiegel die Verletzlichkeit der flachen Küstenregionen zunehmen. Dieses betrifft eine mögliche dauerhafte Vernässung sowie erhöhte dauerhafte Überflutungsgefahr von Landflächen in Meeresspiegelniveau durch Probleme beim Süßwasserabfluss ins Meer, die schiffahrtliche Nutzung von staugeregelten und nicht staugeregelten küstennahen Wasserstraßen wie zum Beispiel dem NOK, sowie für die (Planung der) Besiedlung und die zukünftige wirtschaftliche und verkehrliche Nutzung von gefährdeten Räumen. Insbesondere muss dem NOK wegen seiner zusätzlichen Funktion als Vorfluter der oberen Eider und anderer Zuflüsse besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, da der Meeresspiegelanstieg die natürliche Entwässerungskapazität schrumpfen lassen wird.

Literatur:

Carling, C.H., E. Morrow, R.E. Kopp & J.X. Mitrovica (2015): Probabilistic reanalysis of twentieth-century sea-level rise. **Nature, 517**

Clark, P.U., J.D. Shakun, S.A. Marcott et al. (2016): Consequences of twenty-first-century policy for multi-millennial climate and sea-level change. **Nature Climate Change, 6**

DeConto, R.M. & D. Pollard (2016): Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise. **Nature, 531**

ECRA Collaborative Programme "Sea Level Change and Coastal Impacts" (2016): White Paper: Sea level related adaptation needs in Europe. **European Climate Research Alliance, December 5th, 2016**

Golledge, N.R., D.E. Kowalewski, T.R. Naish et al. (2015): The multi-millennial Antarctic commitment to future sea-level rise. **Nature, 526**

Grinsted, A., S. Jevrejeva, R.E.M. Riva, & D. Drahl-Jensen (2015): Sea level rise projections for northern Europe under RCP 8.5. **Climate Research, 64**

Jackson, L.P. & S. Jevrejeva (2016): A probabilistic approach to 21st century regional sea-level projections using RCP and high-end scenarios. **Global and Planetary Change, 146**

Jevrejeva, S., L. Jackson R. Riva et al. (2016): Upper Limit for Regional Sea Level projections. **EGU General Assembly 2016**

Jevrejeva, S. , L.P. Jackson, R.E.M. Riva et al. (2016): Coastal sea level rise with warming above 2°C. **PNAS 113, 47**

Kopp, R.E., R.M. Horton, C.M. Little et al. (2014): Probabilistic 21st and 22nd century sea-level projections at a global network of tide-gauge sites. **Earth's Future, 2**

Marcott, S.A., P.U. Clark, L. Padman et al. (2011): Ice-shelf collapse from subsurface warming as trigger for Heinrich events. **PNAS 108, 33**

Mouginot, J., E. Rignot, B. Scheuchl et al. (2015): Fast retreat of Zachariæ Isstrøm, north-east Greenland. **Science, 350, 6266**

Rintoul, S.R., A. Silvano, B. Pena-Molino et al. (2016): Ocean heat drives rapid basal melt of the Totten Ice Shelf. **Science Advances, 2**