

Wat betekent een vertragende AMOC voor het Nederlandse waterbeheer?

Michiel Pezij en Vincent Vuik (HKV)

Het verzwakken of zelfs instorten van de AMOC heeft ingrijpende gevolgen voor het Nederlandse waterbeheer. Bij een instorting in combinatie met gematigde klimaatverandering koelt Nederland sterk af, met koude-extremen in de winter. In de zomer neemt het neerslagtekort toe, waardoor droge jaren zoals 2018 bijna jaarlijks kunnen voorkomen. Het windklimaat wordt grilliger en de zeespiegel stijgt sneller. Hoewel het onzeker is of de AMOC vóór 2100 volledig zal instorten, zijn de potentiële gevolgen groot genoeg om serieus te nemen. De impact van een zwakkere AMOC op het waterbeheer verdient de komende jaren nadrukkelijk aandacht in onderzoek en beleid.

De Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC) is een grootschalige oceaanstrooming die warm water vanuit de tropen naar Noordwest-Europa transporteert en zo bijdraagt aan het gematigde klimaat van deze regio (zie afbeelding 1, links). Metingen en reconstructies wijzen erop dat de AMOC de afgelopen decennia is verzwakt. Diverse klimaatmodellen voorspellen een verdere verzwakking en zelfs een stilval, mogelijk zelfs al voor het jaar 2100 [1], [2].

Een sterke verzwakking of stilvallen van de AMOC heeft ingrijpende gevolgen voor het Nederlandse klimaat: versnelde regionale zeespiegelstijging, een grilliger stormklimaat, koudere, nattere winters en zomers met intensere droogte. In dit artikel beschouwen we de impact die deze veranderingen hebben op het Nederlandse waterbeheer en hoe we als waterbeheerders met deze onzekerheid om kunnen gaan.

De invloed van de AMOC op het Nederlandse klimaat

Het relatief warme water van de AMOC geeft onderweg warmte af aan de atmosfeer. Hierdoor is het klimaat in Noordwest-Europa relatief mild. Zonder de AMOC zou Nederland een klimaat hebben vergelijkbaar met dat van delen van Canada of Rusland op dezelfde breedtegraad. Verdamping van het warme oceaانwater zorgt bovendien voor aanvoer van vochtige lucht en neerslag boven Europa.

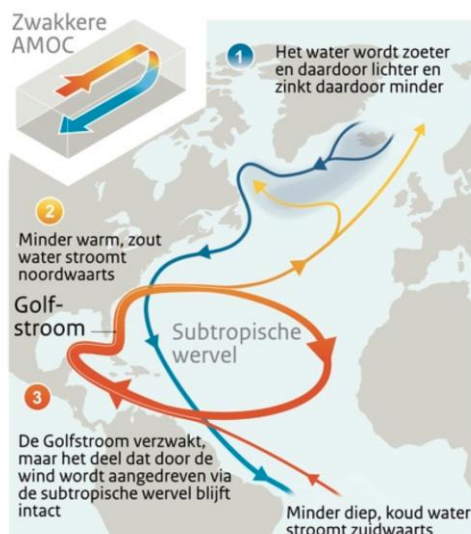
De oppervlaktestroom loopt door tot in de Noordelijke Atlantische Oceaan en de Noorse Zeeën. Hier koelt het water sterk af, wordt het zwaarder en zakt het tot op diepten van twee tot drie kilometer. Dit relatief koude, dichte water stroomt vervolgens op deze diepte langs de oostkust van Noord-Amerika zuidwaarts terug. Zo transporteert de AMOC op grote schaal warmte door de Atlantische Oceaan en vormt deze een essentiële schakel in het mondiale klimaatsysteem.

Nu

De Golfstroom is deel van de subtropische wervel en de verticale, Atlantische Meridionale Overturning Circulatie (AMOC)

**In een warmere wereld**

Klimaatverandering verzwakt de AMOC, waardoor de Golfstroom vertraagt



Afbeelding 1. Werking en verandering van de AMOC [3] en [4]

Verwachte veranderingen van de AMOC

Door klimaatverandering smelten de ijskappen en gletsjers rond de Noordpool. Het vrijkomende zoete smeltwater mengt zich met het zoute oppervlaktewater van de AMOC. Doordat zoet water een lagere dichtheid heeft dan zout water, zinkt dit water minder snel in de oceaan. Het gevolg is een verzwakking van zowel de diepe terugstroom als de aanvoer van warm oppervlaktewater naar Noordwest-Europa [3] en [4] (afbeelding 1, rechts).

Een steeds zwakkere AMOC kan een kantelpunt bereiken, waarop de circulatie nagenoeg stilvalt. Waar het laatste rapport van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) nog stelde dat het hoogst onwaarschijnlijk is dat dit kantelpunt vóór het jaar 2100 wordt bereikt, leiden recentere studies tot een ander beeld: zonder reductie van de CO₂-uitstoot (RCP8.5, Hoge scenario's KNMI'23) voorspellen veel klimaatmodellen dat de AMOC al voor 2100 begint stil te vallen. Ook bij gematigde klimaatverandering (RCP4.5, Middenscenario's KNMI'23) is de kans daarop zo'n 25 procent [5]. Dit heeft ingrijpende gevolgen voor het klimaat rond de Atlantische Oceaan.

Impact op het Nederlandse waterbeheer

Om de klimaateffecten van een mogelijk verzwakkende of instortende AMOC te kwantificeren, wordt in modelstudies de circulatie kunstmatig verstoord door grote volumes zoet water in te brengen in de noordelijke Atlantische Oceaan. Van Westen et al. (2025) [6] en Van Westen en Baatsen (2025) [7] combineren in hun studies verschillende niveaus van achtergrondklimaatverandering met scenario's waarbij de AMOC al dan niet instort. De achtergrondklimaatverandering is hierbij gedefinieerd als de verwachte klimaatverandering volgens RCP4.5 en RCP8.5. Voor dit artikel hebben wij de modelresultaten van [6] en [7] geanalyseerd en meerdere aspecten beschouwd die relevant zijn voor het Nederlandse waterbeheer. In lijn met aanbevelingen van het IPCC en het Expertisenetwerk Waterveiligheid [8] richten we ons hier op het scenario waarbij de AMOC instort bij 'matige klimaatverandering': RCP4.5, ongeveer 2 graden Celsius

wereldwijde opwarming rond 2100. Deze combinatie vormt een scenario met een kleine kans maar grote gevolgen, een combinatie die in de risicobenadering van het waterbeheer zwaar weegt.

Impact op warmte en kou

Fout! Verwijzingsbron niet gevonden. geeft een overzicht van de gemodelleerde temperaturen in Nederland onder verschillende scenario's van [7], gebaseerd op amocscenarios.org [9], voor midden-Nederland (ongeveer Utrecht): het pre-industriële klimaat, een klimaat met 2 graden opwarming en de huidige AMOC en een klimaat met 2 graden opwarming en een ingestorte AMOC. Hoewel de getallen voor het pre-industriële klimaat niet volledig in lijn zijn met historische metingen, geven verschillen tussen de scenario's wel een duidelijk beeld.

Een instortende AMOC remt de opwarming van het klimaat in Nederland sterk af. De gemiddelde zomertemperatuur komt in dat scenario uit op niveaus die vergelijkbaar zijn met het pre-industriële klimaat. Dat heeft directe gevolgen voor hittestress. Waar het aantal warme dagen in Nederland onder de reguliere klimaatprojecties de komende decennia sterk toeneemt, keert dat onder een 'AMOC-collapse'-scenario terug naar pre-industriële omstandigheden.

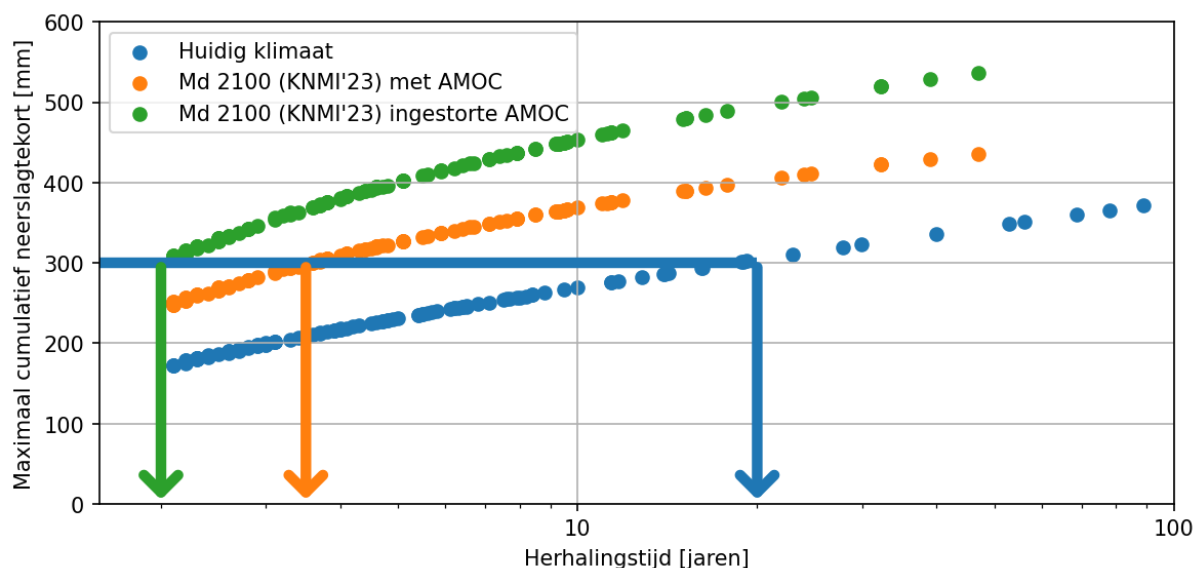
De opvallendste veranderingen doen zich voor in de winter, met gemiddeld ongeveer 24 dagen per jaar met een maximumtemperatuur onder 0°C en koude-extremen van -20°C bij een herhalingsstijd van tien jaar. Koudere winters maken ijsvorming opnieuw relevant voor het Nederlandse waterbeheer. In de resultaten van [7] verschuift de zuidgrens van het zee-ijs van de IJsslands-Noorse wateren naar de Noordzee ter hoogte van Nederland. Kruiend ijs in de Noordzee, Waddenzee en het IJsselmeergebied kan aanzienlijke schade veroorzaken aan boorplatforms, offshore windmolens, dijkbekledingen en haveninfrastructuur. Ook op de grote rivieren kan weer ijs ontstaan. Tot 1880 leidde de vorming van ijsdammen gemiddeld eens per 4 à 5 jaar tot een overstroming in Nederland [10]. Na 1880 zijn er door riviernormalisatie, dijkverhoging en hogere watertemperaturen door koelwaterlozingen en klimaatverandering, geen overstromingen meer geweest die toe zijn te schrijven aan ijsgang. Ondanks deze trends heeft ijsvorming nog steeds een significante invloed op de overstromingskansen van Nederlandse waterkeringen [11]. In een scenario met frequente langdurige vorst door een ingestorte AMOC wordt die invloed groter.

Tabel 1. Veranderingen van de temperatuur in Nederland in modelberekeningen [5] voor drie verschillende klimaatscenario's. Gebaseerd op [9] voor Midden-Nederland (lat=52 graden, lon=5,25 graden)

Aspect	Pre-industrieel klimaat	+2° i.c.m. huidige AMOC	+2° i.c.m. ingestorte AMOC
Jaargemiddelde temperatuur	10°C	14°C	8°C
Temperatuur juni/juli/aug.	16°C	20°C	15°C
Eens in tien jaar-warmte	31°C	35°C	33°C
Aantal dagen per jaar met mid-dagtemperatuur >25°C	11	30	11
Temperatuur dec./jan./feb.	4°C	8°C	1°C
Eens in tien jaar-kou	-7°C	-2°C	-20°C
Aantal dagen per jaar met mid-dagtemperatuur <0°C	2	0	24

Impact op droogte

Opwarming door klimaatverandering met de huidige AMOC-sterkte zorgt ervoor dat de verdamping sterker toeneemt dan de neerslag, waardoor het zomerhalfjaar gemiddeld droger wordt, zo blijkt uit de KNMI'23-klimaatscenario's. Een stilvallende AMOC versterkt deze verdroging verder, maar via een ander mechanisme. De AMOC-instorting koelt Europa af, waardoor de verdamping juist iets afneemt. Desondanks neemt het neerslagtekort toe, omdat de neerslag bij een instortende AMOC sterker daalt dan de verdamping [6]. Per saldo neemt het maximale cumulatieve neerslagtekort in het groeiseizoen met ongeveer 23 procent toe ten opzichte van de situatie met een sterke AMOC. Dat zou betekenen dat een droog jaar als 2018, dat nu gemiddeld eens per twintig jaar voorkomt en in 2100 bij sterke klimaatverandering eens per drie tot vier jaar, bij een afzwakkende AMOC vrijwel elk jaar zou voorkomen (zie Afbeelding 2) [12]. Bovendien kan de lengte van het groeiseizoen bij een stilgevallen AMOC met zo'n 9 procent afnemen. Het groeiseizoen is hier gedefinieerd als de periode in het jaar waarin de verdamping de neerslag structureel overtreft. In Nederland loopt dit seizoen ruwweg van eind maart tot eind september. Bij een instortende AMOC wordt deze periode korter, maar het tekort dus wel intensiever.



Afbeelding 2. Verandering in maximaal cumulatief neerslagtekort per jaar [12]

Toenemende neerslagtekorten hebben een sterke impact op de vraag naar zoet water in droge perioden. Landbouwopbrengsten kunnen naar verwachting met 30 procent afnemen als niet voorzien kan worden in de toenemende beregeningsvraag [13]. Dit komt boven op een stijgende doorspoelvraag in de poldersystemen vanwege een toename van brakke kwel door zeespiegelstijging. Verder nemen rivierafvoeren af, waardoor het wateraanbod verder af zal nemen en de balans tussen vraag en aanbod verder verstoord wordt.

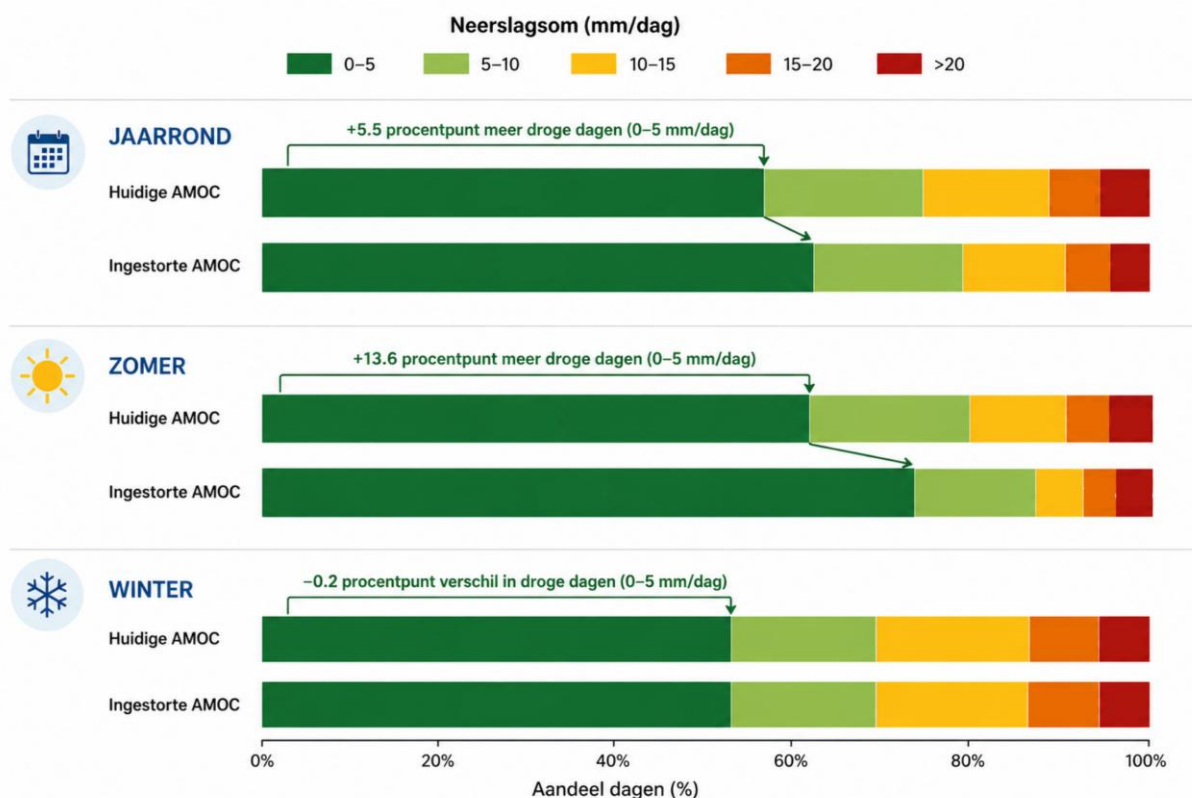
In de winterperiode zal het neerslagoverschot juist stijgen. Dat versterkt de noodzaak om zoveel mogelijk zoet water vast te houden in de winterperiode voor gebruik in droge tijden. De vraag daarbij is wel of dit wel kan. Zo is het maar de vraag waar we dit water kunnen bufferen en vasthouden, en of het er überhaupt nog is in de zomerperiode.

Impact op neerslagpatronen en wateroverlast

Een stilvallende AMOC beïnvloedt neerslagpatronen en heeft daarmee ook impact op wateroverlastproblematiek. Op basis van de dataset achter [7] hebben we de gemiddelde dagelijkse neerslagsommen geanalyseerd, jaarrond en voor het zomer- en winterseizoen (zie Afbeelding 3). Hieruit blijkt dat de gemiddelde neerslag zowel jaarrond als in de zomer afneemt bij een instortende AMOC.

Voor de winterperiode is het beeld complexer. Een verzwakte AMOC kan de baan waarlangs Atlantische depressies naar Europa trekken (de 'storm track') actiever maken (zie paragraaf 'Impact op waterkeringen'). Hierdoor kunnen meer en intensere depressies Noordwest-Europa bereiken, wat de kans op langere neerslagperioden en vervolgens hogere piekafvoeren vergroot. Dit leidt potentieel tot grotere belasting op regionale watersystemen, met bijbehorende gevolgen voor wateroverlast.

Dit winterse neerslagbeeld is niet direct zichtbaar in Afbeelding 3. Dat komt doordat de figuur gemiddelde dagelijkse neerslagsommen toont en niet de frequentie en intensiteit van individuele neerslaggebeurtenissen. In bestaande studies is dit onderscheid voor een AMOC-instorting nog niet voldoende geanalyseerd. Juist dit onderscheid vormt een belangrijke onderzoeksvraag voor de komende jaren: om de wateroverlast risico's beter te kwantificeren is een analyse van neerslagextremen onder verschillende AMOC-scenario's nodig.



Afbeelding 3. Verandering in dagelijkse neerslagsommen

Impact op waterkeringen

Veranderingen in de AMOC hebben invloed op de gemiddelde zeespiegel en het windklimaat, en daarmee op de hydraulische belastingen op waterkeringen. Een stilvallende AMOC veroorzaakt een zogenoemde dynamische zeespiegelstijging: de AMOC onttrekt minder water aan de noordelijke Atlantische oceaan, waardoor water zich daar 'ophoopt'. Daarnaast leidt een andere drukverdeling door zoeter water tot regionale verschillen. Het verwachte netto-effect in Nederland is tot 50 centimeter extra zeespiegelstijging in 2100 [13], [14], naast de zeespiegelstijging door 'achtergrondklimaatverandering'.

Op basis van de dataset achter [7] hebben we geanalyseerd hoe het windklimaat in Nederland verandert bij een stilvallende AMOC. Tabel 2 toont de verschilfactor tussen de frequentie van voorkomen van verschillende windsnelheden in RCP4.5 met en zonder stilgevallen AMOC. Te zien is dat voor lagere windsnelheden een verschuiving optreedt naar vaker wind uit (noord)oostelijke richting en minder vaak uit (zuid)westelijke richting. Voor waterkeringen zijn vooral windsnelheden boven 25 m/s relevant. Deze harde wind komt bij windrichtingen oost, zuidwest en west twee tot drie keer zo vaak voor, terwijl bij de richting noordwest een afname te zien is. Voor grote stormvloed in Nederland is voornamelijk noordwestenwind van belang. Langs de kust leiden deze veranderingen daarom niet direct tot een verhoogd risico. Anders ligt het voor bijvoorbeeld het IJsselmeer, waar dijken die gericht zijn op het oosten of het zuidwesten vaker te maken krijgen met harde wind en daardoor hogere waterstanden en golven. Mogelijk zijn hier extra dijkversterkingen nodig. Het Kennisprogramma Zeespiegelstijging heeft tot nu toe alleen effecten gepresenteerd van een stijgende zeespiegel, niet van een veranderend windklimaat.

Tabel 2. Verschil in frequentie van voorkomen van combinaties van windrichtingen en windsnelheidsklassen (m/s) in het RCP4.5-scenario, tussen de berekeningen zonder en met stilgevallen AMOC. De verschilfactor is alleen gepresenteerd voor combinaties die in beide berekeningen meer dan 0,5% van de tijd voorkomen

	NO	O	ZO	Z	ZW	W	NW	N
0-5	1.12	1.11	0.99	0.86	0.85	0.91	1.00	1.10
5-10	1.41	1.19	0.98	1.01	0.82	0.93	1.04	1.12
10-15	1.99	1.31	1.09	0.97	0.80	0.91	1.10	1.22
15-20	3.16	1.59	0.69		1.03	0.91	1.05	
20-25		2.03	0.44		1.45	1.10	0.78	
25-30		2.33			3.19	1.59	0.88	
30+						2.11		

Behalve voor beoordeling en ontwerp van waterkeringen heeft een grilliger windklimaat ook gevolgen voor andere functies van het watersysteem. De combinatie van lage rivierafvoeren en sterke westenwind leidt bijvoorbeeld tot problematische zoutindringing in de Rijn-Maasmonding. Het stormseizoen wordt minder afgebakend, wat beperkingen oplevert voor onderhoud aan bijvoorbeeld stormvloedkeringen. De keringen moeten vaker sluiten en stormen in het zomerhalfjaar kunnen ervoor zorgen dat er dan minder onderdelen in onderhoud mogen zijn.

Conclusies en handelingsperspectief

Ondanks de aanzienlijke onzekerheden over de toekomstige ontwikkeling van de AMOC tonen klimaatmodellen aan dat verdere klimaatverandering het risico op een substantiële afname vergroot. Een volledige instorting wordt op korte termijn als onwaarschijnlijk beschouwd, maar kan niet worden uitgesloten. Een geleidelijke verzwakking in de komende decennia is hoe dan ook een reëel scenario. Juist deze onzekerheid maakt de AMOC tot een belangrijk aandachtspunt voor de klimaatwetenschap.

Voor het waterbeheer in Nederland kan een afzwakkende AMOC verstrekkende gevolgen vanwege extreme kou, droogte, wateroverlast, zeespiegelstijging en een veranderend windklimaat. Het volledig instorten van de AMOC is een scenario met een lage kans, maar een potentieel zeer grote impact. We adviseren nader onderzoek om een beter beeld te krijgen van deze problematiek en het handelingsperspectief voor waterbeheerders. Dit handelingsperspectief ligt niet in het voorspellen van één specifieke toekomst, maar in het omgaan met een breed scala aan plausibele scenario's. Een scenario met een stilvallende AMOC onderstreept de noodzaak van het ontwikkelen van adaptieve waterbeheerstrategieën, en robuuste watersystemen en ecosystemen. Deze moeten bestand zijn tegen zowel droogte als wateroverlast. Beleid en infrastructuur moeten aangepast kunnen worden naarmate nieuwe kennis beschikbaar komt. Dit betekent investeren in flexibiliteit, monitoring en leervermogen, en het vermijden van vastomlijnde langetermijnvisies.

Referenties

1. Ditlevsen, P. & Ditlevsen, S. (2023). 'Warning of a forthcoming collapse of the Atlantic meridional overturning circulation'. *Nature Communications*, 14, 4254. doi:10.1038/s41467-023-39810-w
2. Portmann, V., Swingedouw, D., Khattab, O., & Chavent, M. (2026). Observational constraints project a ~50% AMOC weakening by the end of this century. *Science Advances*, 12(16) doi:10.1126/sciadv.adx4298
3. Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). Ocean, cryosphere and sea level change. In *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1211–1362). Cambridge University Press. doi:10.1017/9781009157896.011
4. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (2025). *In hoeverre zal de Golfstroom verzwakken onder klimaatverandering?* <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/in-hoeverre-zal-de-golfstroom-verzwakken-onder-klimaatverandering-amoc-tipping-point>, geraadpleegd op 15 juni 2026.
5. Drijfhout, S. Angevaere, J.R., Mecking, J., Van Westen, R.M. en Rahmstorf, S. (2025). 'Shutdown of northern Atlantic overturning after 2100 following deep mixing collapse in CMIP6 projections'. *Environmental Research Letters* 20. doi:10.1088/1748-9326/adfa3b
6. Van Westen, R.M., Van der Wiel, K., Falkena, S.K.J. & Selten, F. (2025). 'Changing European hydroclimate under a collapsed AMOC in the Community Earth System Model'. *Hydrology and Earth System Sciences* 29, 6607-6630, doi: 10.5194/hess-29-6607-2025

7. Van Westen, R.M., & Baatsen, M.L.J. (2025). 'European temperature extremes under different AMOC scenarios in the community Earth system model'. *Geophysical Research Letters*, 52, e2025GL114611.
8. Expertisenetwerk Waterveiligheid (2025). *Omgaan met klimaatverandering in de hydraulische ontwerpbelastingen voor waterkeringen*. ENW-advies nummer 25-05.
9. www.amocscenarios.org, geraadpleegd op 19 januari 2026.
10. Wijbenga, J.H.A. (1993). *Invloed van nevengeulen op ijsgang*. Waterloopkundig laboratorium, rapport Q1674.02.
11. De Jong, J.S., Diermanse, F., Becker, A., Van der Meer, A. & Teixeira, A. (2021). 'Effect ijsvorming op de overstromingskans'. *KPP Rivierkunde*. Deltares rapport 11205234-002-ZWS-0002
12. STOWA (2025). *Droogtestatistiek KNMI'23-klimaatscenario's*. STOWA-rapport 2025-23.
13. Ritchie, P. D. L. et al. (2020). 'Shifts in national land use and food production in Great Britain after a climate tipping point'. *Nature Food* 1, p76-83.
14. Van Westen, R. (2025). *European Climate Impacts under a Collapsing Atlantic Ocean Circulation*. *Lezing bij KNMI, 16 oktober 2025*. <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/agenda/european-climate-impacts-under-a-collapsing-atlantic-ocean-circulation>, geraadpleegd op 15 juni 2026.
15. Critical Atlantic current significantly more likely to collapse than thought. *The Guardian*, 15 april 2026. <https://www.theguardian.com/environment/2026/apr/15/critical-atlantic-current-significantly-more-likely-to-collapse-than-thought>, geraadpleegd op 15 juni 2026