

Samenvatting

Het besef dat menselijk handelen het klimaat zou kunnen veranderen heeft de publieke en wetenschappelijke belangstelling voor het klimaat aanzienlijk vergroot. Een thema van het hedendaagse klimaatonderzoek is de stabiliteit van de thermohaliene oceaancirculatie. Deze omwentelingscirculatie, ook wel aangeduid als ‘transport band (conveyor belt)’, verdeelt water, warmte en zout over de gehele wereld, en is onder meer verantwoordelijk voor het relatief zachte klimaat in West Europa. Ondanks het feit dat de thermohaliene circulatie momenteel erg stabiel is heeft het een grote rol gespeeld bij de klimaatsfluctuaties en -veranderingen die in grote mate het klimaat van het Pleistoceen hebben bepaald. De mogelijkheid dat de thermohaliene circulatie verzwakt of stil komt te liggen als gevolg van een opwarming van de aarde geeft reden tot bezorgdheid in het licht van scenario’s voor klimaatverandering.

De Atlantische Oceaan speelt een belangrijke rol in de mondiale thermohaliene circulatie. In de Noordse en Labrador zeeën wordt namelijk Noord-Atlantisch Diep Water (NADW) gevormd door afkoeling en subductie van oppervlaktewater. Dit NADW wordt verdeeld over de Wereldzee via de Zuidelijke Oceaan. Ter compensatie importeert de Atlantische Oceaan water op ondieper niveau. Deze compensatie kan via twee routes plaats vinden, maar het relatieve belang van deze twee routes is nog niet bekend. Een deel van het water komt de Atlantische Oceaan binnen via de Drake Passage als onderdeel van de Antarctisch Circumpolaire Strooming (‘koud-water route’). Het andere deel komt de Atlantische Oceaan binnen ten zuiden van Afrika, via het zogenaamde ‘Agulhas Lek’. Deze uitwisseling tussen de Indische en Atlantische Oceaan vindt voornamelijk plaats in de vorm van grote ringen (ongeveer 300 km in doorsnede), waarvan er ongeveer vijf à zes per jaar worden gegenereerd. Deze ringen zijn gevuld met warm en zout Indisch Oceaan water, en hebben een behoorlijke invloed op de stratificatie in de Atlantische Oceaan. Er is gesuggereerd dat deze Indisch-Atlantische zout uitwisseling de omwentelingscirculatie zou stimuleren. Het verzout namelijk de Atlantische oppervlaktewateren, zodat het subductieproces in de Noord Atlantische Oceaan vergemakkelijkt wordt. Agulhas Lekkage is afhankelijk van de windklimatologie van de Indische Oceaan, en is dus gevoelig voor klimaatveranderingen. Paleoklimatologische gegevens laten zien dat Agulhas Lekkage tijdens de laatste ijstijd sterk was afgenomen, of wellicht helemaal afwezig is geweest. Er is gesuggereerd dat het herstel van Agulhas Lekkage aan het eind van de laatste ijstijd de herstart van de omwentelingscirculatie heeft bevorderd.

In dit proefschrift wordt onderzocht hoe de sterkte en stabiliteit van de omwen-

telingscirculatie worden beïnvloed door de uitwisseling tussen de Atlantische Oceaan en de rest van de Wereldzee. In hoofdstuk 2 wordt een samenvatting gegeven van hetgeen bekend is over deze uitwisseling. In hoofdstuk 3 wordt geanalyseerd hoe de uitwisseling plaatsvindt in een modern oceaanmodel. De informatie van deze twee hoofdstukken vormt de basis voor de modelexperimenten in de hoofdstukken 4, 5 en 6. In de hoofdstukken 4 en 5 wordt een relatief eenvoudig model gebruikt, waarin de Atlantische omwentelingscirculatie wordt gemodelleerd in het 2-dimensionale latitude-diepte vlak. De uitwisseling van warmte en zout wordt gerepresenteerd door laterale fluxen (hoofdstuk 4) en bronnen/putten (hoofdstuk 5). In hoofdstuk 6 wordt een realistischer (3-dimensionaal) oceaanmodel gebruikt waarin Agulhas Lekkage wordt gerepresenteerd door warmte- en zoutbronnen in de Zuid-Atlantische Oceaan.

De modelstudies laten zien dat de uitwisseling van warmte en zout tussen de Atlantische Oceaan en de Wereldzee een behoorlijke invloed heeft op de sterkte van de Atlantische omwentelingscirculatie. Met name de warmte- en zouttoevoer door Agulhas Lekkage blijkt de omwentelingscirculatie te versterken. Agulhas Lekkage blijkt ook de omwentelingscirculatie te stabiliseren met betrekking tot bijvoorbeeld een toevoer van zoet water vanuit de Arctische Oceaan (voornamelijk afkomstig van de Stille Oceaan door de Bering Straat). Deze resultaten laten zien dat de afwezigheid van Agulhas lekkage tijdens de laatste ijstijd voor een deel verantwoordelijk is geweest voor de zwakkere glaciële omwentelingscirculatie. Het heeft waarschijnlijk ook de stabiliteit ervan verkleind, zodat het gevoeliger was voor verstoringen (zoals periodes van vergroot smeltwater toevoer). Het herstel van Agulhas Lekkage aan het eind van de laatste ijstijd heeft dus wel degelijk de herstart van de omwentelingscirculatie bevorderd. Momenteel is de variabiliteit van Agulhas Lekkage klein, zodat het effect ervan op klimaatfluctuaties in West-Europa te verwaarlozen is. Het feit dat het de hedendaagse circulatie stabiliseert verkleint echter de waarschijnlijkheid van een catastrofale klimaatverandering.

In zowel de 2- en 3-dimensionale modellen is de omwentelingssterkte direct gerelateerd aan het noord-zuid drukverschil in de Atlantische Oceaan. Dit drukverschil wordt beïnvloed door de warmte- en zoutbronnen in de Zuid-Atlantische Oceaan. In de 2-dimensionale modellen speelt warmte- en zoutuitwisseling ook een rol in de energiebalans van het model: het is een bron van potentiële energie die wordt omgezet in kinetische energie van de stroming, en als zodanig de omwentelingssterkte blijkt te limiteren. Essentieel voor de respons in zowel de 2- als 3-dimensionale modellen is het feit dat een warmteanomalie relatief snel zijn warmte afstaat aan de atmosfeer, terwijl een zoutanomalie veel langer blijft bestaan. Wanneer water via Agulhas Lekkage de Atlantische Oceaan binnenkomt is de ermee samenhangende dichtheidsanomalie klein, aangezien zijn warmte- en zoutanomalie een tegengesteld effect hebben op de dichtheid. Wanneer het water noordwaarts stroomt verdwijnt de warmteanomalie en blijft de zoutanomalie over. Het effect van Agulhas Lekkage op het dichtheidsveld is dus groter naarmate men verder van het brongebied af is. De tijd die een verandering in Agulhas Lekkage nodig heeft om de omwentelingscirculatie te beïnvloeden is slechts een paar jaar. Hoewel het zo'n 30 jaar vergt voordat een zoutanomalie de Noord-Atlantische Oceaan heeft bereikt, doen golven die worden uitgezonden er veel minder lang over om die afstand te overbruggen.