

1 Water: historie, toekomst en waarde

Veel mythen in Eurazië, Amerika en Afrika plaatsen water aan de start van de schepping. Ze beginnen ermee dat de aarde en het water van elkaar worden gescheiden, of - vaker - dat de aarde te voorschijn wordt gehaald uit het water. De klassieke Chinezen hielden het erop dat alles uit water ontstaat en uiteindelijk ook weer tot water zal wederkeren. In de Indo-Germaanse mythologie vloeiden aan het begin van de schepping de kosmische wateren. De oude Germanen namen aan dat na de Godenschemering (Ragnarok) een nieuwe aarde zou opduiken uit de zee. In de klassieke Egyptische mythologie was er 'in den beginne' water en was water voorzien van scheppende en levengevende krachten. De oude Babyloniërs geloofden dat water het zaad van de Goden was. Ook de wereld van Homerus begon met water. De eerste Griekse filosoof, Thales van Milete, zag water als het eerste element. Hij stelde dat water de oorzaak was van alle verandering. Ook meende Thales dat uiteindelijk alles weer water zou worden. In de Bijbel is water de eerste vorm van materie. Volgens de Koran geeft water leven aan alles. Shari'a betekende oorspronkelijk: de weg naar het (put)water. De Maya's voorsagen dat bij het einde der tijden een zondvloed alles zou vernietigen.

1.1 Waar komt het aardse water vandaan?

Ondanks een wijdverbreid geloof in water als eerste vorm van materie was bij de oerknal, het begin van het heelal, geen molecuul water aanwezig. Hoe het met water stond bij het ontstaan van de aarde, is het voorwerp van uiteenlopende wetenschappelijke theorieën. Een theorie waarbij de aarde uit het water opdook, hoort daar niet bij. Volgens analyses van vroeg gevormde aardse mineralen is het waarschijnlijk dat 4,4 miljard jaar terug water aanwezig was op de aarde. 3,8 miljard jaar geleden was er vloeibaar water. Hoe dat water daar kwam, is het voorwerp van levendige discussie. Een belangrijk punt daarbij is de verhouding tussen twee isotopen van waterstof: het 'gewone' waterstof (^1H) en het 'zware' waterstof of deuterium (^2H). Water dat dicht bij de zon is gecondenseerd, bevat minder deuterium dan water dat ver van de zon condenseerde. Berekeningen suggereren dat water dat ooit condenseerde op de plaats waar de aarde nu staat ongeveer 80 atomen deuterium per miljoen atomen waterstof moet bevatten. In werkelijkheid is het aantal atomen deuterium per miljoen atomen waterstof echter beduidend hoger: namelijk 149.

Er zijn twee mogelijkheden om dat verschil te verklaren. De eerste is dat het water afkomstig is van de proto-planeten die in de buurt van de huidige aarde voorkwamen, maar dat relatief veel van het gewone waterstof uit de dampkring is verdwenen, de ruimte in. Door intensieve bombardementen met kometen en asteroïden en zeer sterke zonnwind kon een flink deel van het gewone waterstof de ruimte in verdwijnen, terwijl relatief veel van het zware waterstof achterbleef. De tweede mogelijkheid is dat tenminste een deel van het water op aarde komt uit een gebied in het zonnestelsel dat verder van de zon ligt dan de aarde nu. Er is geopperd dat het huidige aardse water afkomstig is van kometen, die wel worden aangeduid als 'vuile



sneeuwballen'. Het water in deze hemellichamen, zoals de kometen Hale-Bopp en Halley, bevat echter twee maal zoveel zware waterstof als het water op de aarde. Dit betekent dat dergelijke kometen betrekkelijk weinig (waarschijnlijk niet meer dan 15%) hebben kunnen bijdragen aan het water dat op aarde te vinden is. Een grotere bijdrage zouden de zogenaamde chondrieten geleverd kunnen hebben, vooral de koolstofrijke varianten daarvan. Deze soort meteorieten bevat ongeveer 0,1% water. Indien de chondrieten afkomstig zijn uit het gebied tussen Mars en Jupiter, bevat het daarin aanwezige water een hoeveelheid deuterium die sterk lijkt op die van het water op de huidige aarde. Zou de aarde volledig uit dergelijke chondrieten zijn gevormd, dan zouden deze genoeg water hebben bevat voor tenminste vier maal de hoeveelheid water die nu aanwezig is in de oceanen. Er is dan ook een plausibele wetenschappelijke theorie dat na het ontstaan van de maan de buitenkant van de aarde praktisch waterdicht was, en dat het thans aanwezige water 40 tot 100 miljoen jaar na het ontstaan van de maan goeddeels aan de aarde is toegevoegd door chondrieten afkomstig uit het gebied tussen Mars en Jupiter.

1.2 Veranderingen in de waterhuishouding

Hoe de waterhuishouding in elkaar zit, is niet gemakkelijk te doorgronden. De klassieke Grieken en Romeinen, en ook de Bijbel, meenden dat de zee voorzag in het zoete grondwater en de bronnen waaraan rivieren ontspruiten. Hoe kon het anders verklaard worden dat er water in de rivieren was als het niet regende? Om te verklaren waarom dat het rivierwater niet zout maar zoet was, werd aangenomen dat het zeewater door filtratie in de bodem het zout kwijt raakte. Deze opvatting bleef het denken in Europa tot ver in de zeventiende eeuw domineren. In de zeventiende eeuw stelden Engelse geleerden vast dat vooral neerslag het zoete grondwater aanvulde.

Ook de waterhuishouding van Holland was niet gemakkelijk te begrijpen. De zestiende-eeuwse geleerde Guicciardini dacht dat Holland op het water dreef. Er was immers het verhaal van een koe die bij Haarlem de wei inzakte om, verdrongen en al, op te duiken in het IJ.

Ijstijden

Inmiddels is niet alleen de huidige waterhuishouding in kaart gebracht, maar ook die in het verleden voor een belangrijk deel gereconstrueerd. De waterhuishouding van de aarde is geen constante. Ruwweg een half miljard jaar geleden was er bijvoorbeeld een periode waarin de continenten tot de equator toe vol lagen met sneeuw. Het water in de oceanen stond toen veel lager dan nu. Dat was de periode van 'sneeuwbal-aarde'.

Sinds ongeveer 2,7 miljoen jaar terug wisselen ijstijden en warmere perioden elkaar af. Tijdens ijstijden verdwijnt Noord-Europa goeddeels onder sneeuw en ijs. Ook elders op het noordelijk halfrond breidt de 'ijskap' zich stevig uit. Dit maakt veel uit voor de waterstanden. Tijdens ijstijden komt de zeespiegel 100 tot 150 meter lager te staan. Tussen de ijstijden zijn er langdurige warme perioden (interglacialen). In een zo'n

periode leven wij nu. Ook zijn er aanwijzingen dat er tijdens ijstijden kortdurende warme perioden optreden. Een van die korte perioden was er vermoedelijk ongeveer 81 000 jaar geleden. Toen stond de zeespiegel, naar het zich laat aanzien, ongeveer even hoog als nu.

Dertienduizend jaar geleden was de zee, vanuit de Lage Landen bekeken, weer ver weg. De Maas, Rijn, Thames en Schelde kwamen toen allemaal uit op een reuzenrivier, die ergens ten zuiden van de uiterste westpunt van Wales in de oceaan stroomde. Men kon toen vanuit de Lage Landen naar Engeland wandelen. Met het aflopen van de ijstijd ging de zeespiegel omhoog en vulde de Noordzee zich met water. Dit ging ten koste van land. Niettemin danken we ook flink wat land in de delta van Maas en Rijn aan deze periode. Maas en Rijn zetten tijdens het aflopen van de ijstijd gezamenlijk ongeveer 16 kubieke kilometer (km³) slib af. Vooral de Rijn deed dat op veel meer plaatsen dan nu. Ongeveer 2000 jaar geleden ging een flink deel van het Rijnwater bijvoorbeeld langs Katwijk en via de Kromme Rijn die onder meer door Utrecht loopt.

In het verleden konden wat nu de Lage Landen zijn niet altijd met het hoofd boven water komen. In Limburg komt mergel voor die dateert uit een geologische periode waarin het desbetreffende gebied zee was. Tien miljoen jaar terug lag de kust bij het (Duitse) Bentheim en Gildehaus. Ongeveer drie tot vijf miljoen jaar terug had de atmosfeer qua broeikasgassen ongeveer dezelfde samenstelling als nu, maar de zeespiegel was toen tussen de 5 en 40 meter hoger. Zo tussen 450 000 en 425 000 jaar geleden lag Nederland grotendeels op de bodem van een groot zoetwatermeer. Dit meer doorbrak uiteindelijk een dertig kilometer brede dam van gesteente in het nauw van Calais en stroomde met een plons uit in de Atlantische Oceaan. Nadien heeft Nederland naar alle waarschijnlijkheid tenminste deels het hoofd boven het water gehouden. Maar vermoedelijk was er in de perioden tussen de ijstijden een gerede kans dat een deel van het huidige Nederland kopje onderging. Zo stond bijvoorbeeld in de periode tussen de laatste en voorlaatste ijstijd de zee drie tot zes meter hoger dan thans. Kortom: de waterhuishouding kon hier in het verleden spectaculair anders zijn dan nu, en dat gold ook voor veel andere plaatsen.

Ernstige droogte

Tussen 135 000 en 90 000 jaar terug was er in wat nu nat-tropisch gebied in Afrika is, een mega-droogte. Het Malawimeer (in Oost-Afrika) bevatte toen maar 5% van de huidige hoeveelheid water, en ook het Tanganyika- en Victoriameer in Oost-Afrika en het Bosumtwimeer in West-Afrika waren een stuk minder nat. Grote delen van de Sahara kenden tijdens de laatste ijstijd daarentegen een relatief natte, groene periode. Deze liep ongeveer 5500 jaar geleden af.

Tussen 4100 en 4300 jaar terug was er in delen van Noord-Amerika, Noord-Afrika en Eurazië een periode met ernstige droogte. In het betrokken gebied was regenval de belangrijkste beperkende factor voor de landbouw. De oogsten namen sterk af en de sociale structuren kraakten in hun voegen.



Ook in latere tijd maakte de regen veel uit. Drieduizend jaar geleden werd in de Nijldelta de stad Piranesse ontruimd. Een reconstructie laat zien dat een droogteperiode, resulterend in verzanding van de Nijlarm waaraan Piranesse lag, de meest waarschijnlijke oorzaak daarvan was. Een studie over China in het afgelopen millennium maakt plausibel dat politieke instabiliteit sterk gecorreleerd is met zware overstromingen door te overvloedige regenval en met ernstige droogtes. Het zal dan ook niet toevallig zijn dat het Chinese symbool voor politieke orde gebaseerd is op het symbool voor water.

Op diverse plaatsen zijn agrarische activiteiten en zelfs steden door verwoestijning teloor gegaan. Ongeveer 3000 jaar geleden was er groen agrarisch gebied aan beide kanten van de al-Hajjar bergen in het oosten van het Arabische schiereiland. Dat was aanvankelijk mogelijk dankzij water uit de bergen. Later, toen de neerslag afnam, kon het groen blijven door grondwater dat via een systeem van quanats werd afgetapt. Dit groen is er niet meer. In Soedan floreerde 2000 jaar terug de stad Meroe, compleet met groen, paleizen en tempels. Meroe is nu opgeslokt door de Sahara. Tongwan (Binnen-Mongolië) werd in de vijfde eeuw gebouwd in een vruchtbaar gebied met adequate watervoorziening, maar ligt nu onder het zand van de Maowusuwoestijn.

Omgekeerd zijn er pogingen de woestijn te vergroenen. Egypte doet dat met water uit het stuwmeer achter de Assuan Dam en Israël met water uit het meer van Gallilea. De bestendigheid van die vergroening staat niet vast. De waterspiegel in het meer van Gallilea valt bijvoorbeeld als een baksteen en het Nijlwater wordt door klimaatverandering waarschijnlijk krappere.

Zeestromingen

Niet alleen de zeespiegel en het water te land, maar ook de zeestromingen zijn niet constant. Veranderingen daarin kunnen aanzienlijke gevolgen hebben, niet in de laatste plaats voor het klimaat. Ruim vier miljoen jaar geleden kwamen Noord- en Zuid-Amerika aan elkaar vast te zitten. Dat gaf aanleiding tot een ingrijpende wijziging van de zeestromen. Zo werd waarschijnlijk de Warme Golfstroom op gang gebracht, die het in West-Europa relatief warm maakt. Tussen 13 000 en 12 000 jaar geleden nam de afvoer van water uit het huidige Canada enorm toe. Waarschijnlijk leidde dit tot een stop op het afzinken van water afkomstig uit de Warme Golfstroom naar de bodem van de noordelijke Atlantische Oceaan. Dat gaf onder meer in West-Europa aanleiding tot een forse afkoeling van het klimaat. En 9300 jaar geleden was er wederom een koude periode die vermoedelijk samenhangt met een grote uitstroming van zoet water in de noordelijke Atlantische Oceaan, ditmaal vanuit de grote meren op de grens van de Verenigde Staten en Canada.

Thans kennen we de El Niño/La Niña verandering in het stromingspatroon en de temperatuur van de Stille Oceaan. Deze verandering wordt ook wel ENSO (El Niño Southern Oscillation) genoemd. El Niño gaat gepaard met de opwelling van voedselrijk water voor de kust van Peru. De ENSO beïnvloedt het weer op zeker een kwart van

de aardbol (de Amerika's, Australië, en delen van Afrika en Azië). Zo betekent het optreden van El Niño (met abnormaal warm water in het tropische gebied van de Stille Oceaan) traditioneel dat er een grote kans is op: veel nattigheid in Oost-Afrika, het uitblijven van de moessonregens in Indonesië (met bijbehorende droogte en branden), lage rijst oogsten in de Filippijnen en droogte in Australië. De ernstige hongersnood die voorafging aan de Franse revolutie is wel in verband gebracht met een uitzonderlijk lange El Niño.

La Niña gaat traditioneel vaak gepaard met een relatief heftig orkaanseizoen in China en Midden-Amerika en grote droogte in het Midden-Westen van de Verenigde Staten. Ook de ENSO-oscillatie is niet constant. Er zijn sterke aanwijzingen dat drie tot vijf miljoen jaar geleden de Stille Oceaan in het tropische gebied permanent zeer warm was (een soort permanente El Niño). Recent lijkt de invloed van de ENSO te veranderen. De plaats in de Stille Oceaan waar de sterkste opwarming door El Niño plaatsvindt, is onderhevig aan een aanzienlijke verschuiving. Deze verandering hangt vermoedelijk samen met de meer algemene opwarming van het klimaat.

De ENSO is niet de enige afwisseling op de oceanen. Er is bijvoorbeeld ook de AMO: de Atlantische Multidecade Oscillatie, die het weer in Europa aanmerkelijk beïnvloedt. Deze verloopt met een ritme van 60 jaar, met warme en koude perioden in het noorden van de Atlantische Oceaan. Tijdens de warme perioden is het zeewater in de Noordelijke Atlantische Oceaan ongeveer 1°C warmer dan tijdens koude perioden. De laatste koude periode was in de jaren 1970 en thans is het zeewater relatief warm. In het laatste geval is het westelijk deel van Europa relatief warm en valt daar ook verhoudingsgewijs meer neerslag.

1.3 Waterhuishouding nu en in de naaste toekomst

Op het ogenblik ziet de waterhuishouding er als volgt uit. De totale hoeveelheid 'vrij' of 'ongebonden' water op aarde is ruim $1,5 \times 10^9$ km³. Van dat vrije water is ongeveer 97% zout en 3% zoet. Van dat zoete water is thans ongeveer tweederde aanwezig in de vorm van ijs. Het meeste daarvan bevindt zich op Antarctica, Groenland en het Tibetaanse plateau. Als al dat ijs zou wegsmelten, komt de zeespiegel naar schatting 80 meter hoger te staan. Rivieren bevatten thans minder dan 0,01% van de totale zoetwatervoorraad. Van het vloeibare zoete water is het grote merendeel (ongeveer 96%) grondwater.

In de atmosfeer zit gemiddeld ongeveer 13 000 km³ water – goeddeels in de vorm van waterdamp. Waterdamp is een 'broeikasgas' en heeft als zodanig het grootste effect van de in de atmosfeer aanwezige broeikasgassen. Zonder waterdamp in de lucht zouden we in Nederland tot vervelens toe Elfstedentochten kunnen houden. Met de stijging van de temperatuur nabij het aardoppervlak neemt de verdamping van water toe. Er zijn ook aanwijzingen dat door de temperatuursverhoging de laaghangende bewolking afneemt. Het gecombineerde effect daarvan is dat de, door een toenemende concentratie kooldioxide veroorzaakte, opwarming verder wordt versterkt. Zeeën voorzien voor een belangrijk deel in de waterdamp die de atmosfeer bevat. De



aan de atmosfeer toegevoegde waterdamp regent voor ongeveer 10% uit op het land. Dat komt overeen met ongeveer 38 000 km³ regen per jaar. Anderzijds gaat er jaarlijks ook een grote hoeveelheid zoet water de zee in. Via rivieren en grondwater belandt naar schatting jaarlijks meer dan 38 000 km³ zoet water in zee.

Verdamping

De neerslag die op het land neerkomt, verdampt voor een goed deel. Deels gebeurt dat direct, deels verloopt de verdamping via de vegetatie. In de Verenigde Staten verdampt ongeveer 66% van de neerslag, in Australië 88% en in Jordanië 93%. In het laatste geval wordt maar 7% van de neerslag grondwater of oppervlaktewater. Per hoofd van de bevolking is dat jaarlijks ongeveer 160 m³ water. Ook in landen als Saudi-Arabië, Jemen, Koeweit en Israël blijft van de neerslag maar weinig bruikbaar zoet water over: per hoofd van de bevolking minder dan 300 m³ per jaar. Wereldwijd ligt het jaarlijkse waterverbruik per hoofd ruwweg op 900 m³.

De verdamping van neerslag op het land wordt voor een belangrijk deel bepaald door de temperatuur. Met de stijging van de temperatuur neemt de verdamping toe. Als bij temperatuurverhoging de hoeveelheid neerslag niet stijgt, blijft er minder water over voor de plantengroei, inclusief de landbouw. Dat kan een negatief effect hebben op de oogsten.

De verdamping wordt mede bepaald door de vegetatie. Grootschalige ontbossing heeft een negatief effect op de verdamping van water. Naar schatting is door ontbossing de hoeveelheid waterdamp die vanaf de continenten de lucht in gaat met ongeveer 4% (3000 km³ per jaar) gedaald. Ook de verstedelijking leidt tot een afname van de verdamping.

Anderzijds neemt door toenemende irrigatie de verdamping juist weer toe, waarschijnlijk tot nu toe met ongeveer 2600 km³ water per jaar. De toenemende irrigatie heeft plaatselijk een aanmerkelijk effect op de temperatuur. Zo is het daardoor in het zuidoosten van de Verenigde Staten en in delen van China naar schatting ongeveer een halve graad Celsius koeler dan zonder irrigatie.

Ook de door verbranding toegenomen concentratie kooldioxide in de lucht heeft effect op de verdamping. Deze toegenomen concentratie zorgt ervoor dat planten meer water uitdampen. Het precieze effect daarvan is niet bekend, maar zou thans in de orde van 2000 km³ per jaar kunnen liggen. Uit het weggedampte water kan weer nieuwe regen ontstaan. Van de regen die op het land valt, komt ongeveer een derde rechtstreeks uit de zee, de rest valt dankzij recycling van water dat eerder op het land viel.

Neerslag en afvoer

Door de grootschalige veranderingen in landgebruik, waterbeheer en klimaat die de afgelopen decennia hebben plaatsgevonden, zijn wijzigingen in neerslagpatronen en rivierafvoeren opgetreden.

De veranderingen in neerslag zijn verschillend al naar gelang de breedtegraad. In het gebied tussen 40 en 70 graden noorderbreedte, waarin Nederland ligt, is in doorsnee

sprake van een toename van de neerslag. Tussen 0 en 30 graden noorderbreedte vertoont de regenval netto een afname. Daar worden de droge gebieden flink droger. Wel neemt in de natte gebieden tussen 0 en 30 graden noorderbreedte de neerslag nog wat toe. In de zuidelijke tropen en subtropen was er decennialang een netto-toename van de neerslag. Deze was fors in de al natte gebieden, maar in de droge gebieden werd het ook daar droger. Het laatste decennium (het warmste sinds het begin van de metingen) is deze trend omgeslagen, en neemt op het zuidelijk halfrond de hoeveelheid neerslag netto af. Wereldwijd genomen neemt de kans op extreme neerslag toe. Dit is te zien aan het toenemende aantal ernstige overstromingen. Wereldwijd is dat aantal verzesvoudigd ten opzichte van 1980.

De rivierafvoeren veranderen. Tussen 1960 en 2000 nam de jaargemiddelde afvoer van de Yangtze-rivier bijvoorbeeld met 10% toe, terwijl die van de Gele Rivier met ongeveer 60% verminderde. Aan de ene kant verminderde tussen 1948 en 2004 de hoeveelheid zoet water die de Indische en Stille Oceaan instroomde bijvoorbeeld met ongeveer 5%. Aan de andere kant nam de afvoer van rivierwater naar de Noordelijke Poolzee met ongeveer 10% toe. Ontbossing en verstedelijking leidden verder tot een opwaarts effect op de pieken in de waterafvoer door rivieren. Dalende grondwater-spiegels (zie hoofdstuk 5) dragen bij aan de stijging van de zeespiegel. De veranderingen in de rivierafvoeren zetten steeds meer regeringen aan het denken. Nederland zet daarbij overwegend in op aanpassing, waaronder meer ruimte voor het rivierwater. In een aantal andere landen, waaronder Zuid-Afrika en Australië, is veeleer voor het uitgangspunt gekozen om de 'natuurlijke waterstromen' zoveel mogelijk te handhaven. Op deze manier zouden de functies van het stromende water (inclusief de ecologische functies) kunnen worden gegarandeerd.

In Nederland is de toenemende neerslag goed te zien. Tussen 1903 en 2006 is de hoeveelheid neerslag met ongeveer 20% toegenomen. De kans op, voor Nederlandse begrippen, extreme neerslag nam in de Lage Landen eveneens toe. De toename van de jaarlijkse neerslag treedt niet overal in kustgebieden op. Zo is het in de meeste kuststreken van Australië natter geworden, maar het westelijke kustgebied van dat land juist droger. In het oostelijke Middellandse Zeegebied is er afnemende neerslag.

Meer naar het binnenland kan het qua neerslag zowel natter als droger worden. Dat laatste ziet men de afgelopen jaren gedurende de lente en de zomer in het binnenland van Spanje. Het klimaat warmt daar op en ook de bodem is, door het verdwijnen van natte natuurgebieden en van hoog opschietend groen, warmer geworden. Wolken afkomstig van de Middellandse Zee, die vroeger tegen de bergen in het Spaanse binnenland bleven hangen en daardoor uitregenden, stijgen nu in de lente en de zomer door de toegenomen temperatuur hoger op en gaan over die bergen heen. Met als gevolg dat in het Spaanse binnenland de droogte toeneemt in een groot deel van het groeiseizoen. Dergelijke verschijnselen treden ook elders op: onder meer in Kerala, in het zuiden van India.

Natter of droger

De netto-gevolgen van voortgaande klimaatverandering zijn niet zeker. In een land als Nederland wordt er, op basis van modelstudies, mee gerekend dat het – gemiddeld over het jaar – natter wordt, maar dat de kans op droge zomers wat toeneemt. Dat is in lijn met de ontwikkeling van de neerslag in Nederland gedurende de afgelopen dertig jaar. Daarin is de neerslag in het voorjaar en de herfst toegenomen met 14% en in de winter met 21%, maar de regenval in de zomer is gedaald met ongeveer 2%. Bovendien is het 's zomers warmer geworden, waardoor er meer water verdampt. Dit betekent dat de hogere zandgronden in het oosten en zuiden van Nederland gedurende het groeiseizoen een grotere kans op vochttekort zullen krijgen. Vennen, natte heiden en de resterende hoogveengebieden zullen het daar een stuk moeilijker krijgen. Ook de kans op extreme regen neemt waarschijnlijk verder toe.

Het peil van rivieren en beken gaat waarschijnlijk meer fluctueren. Voor een deel komt dat door de toename van extreem weer: extreme regen, extreme droogte en hittegolven. De kans op benedenstroomse overstromingen langs beken en rivieren neemt toe. Ook de toename van de bebouwing speelt een rol. Die laat, bij extreme regen, de afstroming van water naar het oppervlaktewater toenemen.

Het ligt voor de hand dat het oppervlaktewater warmer wordt. Zo is bijvoorbeeld in Drenthe de temperatuur van het oppervlaktewater in de periode van 1977 tot 2009 gemiddeld met ongeveer een graad Celsius gestegen. De temperatuurstijging heeft een negatief effect op het zuurstofgehalte van het binnenwater en beperkt de mogelijkheid in warme zomers energiecentrales te koelen. Tevens neemt door de opwarming van het water waarschijnlijk de hoeveelheid koolstof af die in waterbodems wordt vastgelegd. Dit heeft een opwaarts effect op het kooldioxidegehalte van de atmosfeer. Ook neemt 'als alles zo doorgaat' de waterkwaliteit in sloten en meren tijdens het groeiseizoen waarschijnlijk af door toenemende verzilting, sulfaatrijker water en dalende waterpeilen.

Klimaatmodellen voorspellen ook wereldwijd meestal een toenemende kans op extreem weer, waaronder extreme droogte, extreme neerslag en extreme stormen. Alleen voor het gebied van de Poolzee wordt een verminderde kans op stormen voorspeld. De voorspelde toename van de kans op extreme neerslag is vaak wat kleiner dan de toename van de temperatuur en de luchtvochtigheid.

Een toenemende kans op extremen lijkt in lijn met wat zich aftekent. Wereldwijd is er een trend te zien dat meer naaldbossen afsterven door extreme droogte. Taiwan heeft na 2000 te kampen met bijna een verdubbeling van het aantal orkanen (tyfoons) vergeleken met de dertig jaar daarvoor. Deze toename wordt in verband gebracht met het warmere water in het westen en midden van de Stille Oceaan. De gebieden langs de Oder (1997, 2010), de Elbe (2002) de Rhone (2002, 2008) en de Neisse (2010) werden deze eeuw vanwege langdurige stortregens al getroffen door grote overstromingen. In 2010 was er een meteorologisch samenhangende extreme droogte in Rusland en extreme moesson in Pakistan.

Smeltende gletsjers

In grote delen van het binnenland op de continenten wordt er, op basis van modelstudies, mee gerekend dat in doorsnee het zomerse droogterisico toeneemt. Daarvan wordt, zonder een drastische aanpassing van de watervoorziening, een negatief effect op de oogsten verwacht. In het centrale deel van continentaal Europa zal de trend dat er vaker extreem veel neerslag kan vallen, waarschijnlijk doorzetten.

Rivieren die in de zomers traditioneel door gletsjers worden gevoed, veranderen extra sterk. Zo lang de gletsjers netto ijs verliezen, neemt de jaarlijkse rivierafvoer toe 'als al het andere hetzelfde blijft'. Daarna wordt het waterpeil wisselender. Een van de gebieden waar de gletsjers terrein verliezen is de Alpen, de 'watertoren' van Europa. De temperatuurstijging in het Alpengebied is de afgelopen eeuw ongeveer dubbel zo groot geweest als gemiddeld wereldwijd. Het terreinverlies van de gletsjers zal zich waarschijnlijk doorzetten. Dit vergroot de kans op zomerse droogte in de dalen van de Alpen. En er zijn gevolgen voor de (gedeeltelijk) uit de Alpen komende rivieren, zoals de Donau, de Po, de Rhône, de Rijn en de daardoor gevoede IJssel, Waal, Nederrijn en Lek.

Het water wordt nu over laatstgenoemde rivieren verdeeld bij Pannerden: 60% van het Rijnwater gaat daar naar de Waal, 22% naar de Nederrijn en Lek en 11% naar de IJssel. Er is gerede kans dat de afvoer van water door deze rivieren in de winter gaat toenemen. De afvoer van water langs de Waal en Nederrijn wordt echter moeilijker omdat de zeespiegel stijgt. Daardoor stijgt de kans op overstromingen in Gelderland en de Randstad. Dit heeft tot plannen geleid om meer Rijnwater door de IJssel te leiden en het water in het IJsselmeer meer te laten fluctueren. Dat noopt op zijn beurt tot aanvullende voorzieningen om de steden die aan het IJsselmeer liggen te beveiligen en om de grondwaterstanden achter de dijken in de hand te houden. Door de afnemende afvoer van de Rijn neemt in de zomer de kans op verzilting aan de monding van de Rijn toe.

Het terugtrekken van gletsjers is een wijdverbreid fenomeen. Een spectaculair voorbeeld levert een van de iconen van Afrika: de gletsjer op de Kilimanjaro. Deze heeft ruim 4000 jaar geleden een droogteperiode van drie eeuwen overleefd, maar lijkt nu af te stevenen op zijn einde. Van het gletsjerijs dat in 1912 aanwezig was, is nu 85% verdwenen. En van het ijs dat in het jaar 2000 nog aanwezig was, was in 2009 26% weggesmolten. Het verdwijnen van gletsjers is niet overal zo spectaculair. In het Himalayagebergte is de afsmelting een stuk minder. Van de gletsjers in India is bijvoorbeeld sinds 1960 20% weggesmolten. Het kleiner worden van gletsjers is overigens niet alleen het gevolg van klimaatverandering. Op het Tibetaanse Plateau wordt de afsmelting van gletsjers bijvoorbeeld aanzienlijk bevorderd door neergeslagen roet, dat – vergeleken met witte sneeuw – veel warmte absorbeert.

Het verdwijnen van gletsjers kan plaatselijk gepaard gaan met het ontstaan van instabiele meren en lawines van rotsblokken. Na het geheel of goeddeels verdwijnen van gletsjers kunnen structurele problemen ontstaan in de waterhuishouding. Lima,

de hoofdstad van Peru, zal het op den duur bijvoorbeeld moeilijk krijgen omdat 80% van de huidige watervoorziening afkomstig is van gletsjers die de komende decennia waarschijnlijk gaan verdwijnen. In de delta van de Sacramento/San Joaquin-rivier (nabij San Francisco) dreigen in toenemende mate dijkdoorbraken omdat de waterafvoer in de winter en de vroege lente onder invloed van klimaatverandering fors stijgt.

In Azië wordt verwacht dat de rivieren die hun water in zeer aanzienlijke mate krijgen van berggebieden met gletsjers, zoals de Himalaya en de bergen van het Tibetaanse plateau, gedurende enkele decennia in de zomer extra veel water zullen verwerken vanwege versnelde afsmelting. Daarna moet worden gerekend met sterkere fluctuaties in de afvoer van water dan thans gebruikelijk. Daardoor zullen bijvoorbeeld de waterstanden in rivieren als de Indus en Brahmaputra aanzienlijk wisselender worden, met vooral in het groeiseizoen (de late lente en de zomer tot aan het moessonseizoen) gemiddeld minder water. Dit is nadelig voor de irrigatie in het stroomgebied van deze rivieren. Zulks kan aanzienlijke gevolgen hebben voor de opbrengst van de landbouw in de nabij de rivieren gelegen gebieden. Ook van de waterstanden in de Ganges (Ganga), Gele Rivier, Yangtze en Mekong wordt verwacht dat ze wisselender worden, zij het in mindere mate dan in de Indus en de Brahmaputra.

Stijgende zeespiegel

De afvoer van water naar de zee wordt moeilijker door een stijgende zeespiegel. Net als in de Nederlandse delta, krijgt men daardoor ook elders te kampen met problemen rond de waterafvoer wanneer de rivier hoog staat, en oprukkende verzilting wanneer de rivier weinig water afvoert.

In de laatste vijf millennia voor het begin van onze jaartelling steeg de zeespiegel met naar schatting ongeveer vier centimeter per eeuw. In het tijdvak 1200 tot 1800 bleef de zeespiegelstijging onder de halve millimeter per jaar. Over de hele twintigste eeuw beliep de zeespiegelstijging tussen de 12 en 22 centimeter. Maar het tempo van de zeespiegelstijging neemt toe. Gedurende de periode 1993 tot 2008 steeg de zeespiegel gemiddeld met 3,4 millimeter per jaar. Over een eeuw genomen komt dat neer op een stijging met ongeveer 34 centimeter. Al het smeltende landijs bij elkaar bewerkstelligde over de periode 1993 tot 2007 een zeespiegelstijging van 1,1 tot 1,4 millimeter per jaar. De verwachte tendens is dat de snelheid waarmee de zeespiegel stijgt, verder toeneemt. Een belangrijke oorzaak daarvan is de versnelde afsmelting van gletsjers. Rijkswaterstaat rekent voor deze eeuw met een zeespiegelstijging van tussen de 80 en 130 centimeter. Aan de overkant van de Noordzee wordt druk gewerkt aan plannen voor de vervanging van de Thames Barrier die niet meer is opgewassen tegen het stijgende water. Daarbij wordt uitgegaan van een stijging van het hoogwater met 120 centimeter rond 2080. In de wetenschappelijke vakliteratuur ligt de verwachte bovengrens van de zeespiegelstijging gedurende deze eeuw op ongeveer 180 centimeter.

Een zeespiegelstijging van 1 à 2 meter kunnen we in Nederland waarschijnlijk voorlopig aan met de nodige drastische aanpassingen van de waterwerken aan.

Versteving van de zeekeringen, betere voorzieningen om het rivierwater kwijt te raken en een grotere doorspoeling van de kustprovincies om het zoute kwelwater weg te krijgen, behoren tot de benodigde aanpassingen. Maar het is onwaarschijnlijk dat de zeespiegelstijging bij 1 à 2 meter blijft. De G7, de machtigste landen, mikken op een klimaatverandering waarbij de temperatuur wereldwijd niet meer dan twee graden Celsius mag stijgen. Gegeven een dergelijke doelstelling, is het bij de huidige stand van kennis bijvoorbeeld zeer waarschijnlijk dat het ijs van Groenland geheel verdwijnt. En omdat de daden vaak achterblijven bij het realiseren van doelstellingen, is de feitelijke kans op dat verdwijnen waarschijnlijk nog groter. Bij een snelle afsmelting van het ijs op Groenland bestaat bovendien de mogelijkheid dat door de grote toevloed van zoet water de warme Golfstroom stopt. Dit zou kunnen leiden tot een aanzienlijke temperatuursdaling in West-Europa.

Bij een gelijksoortige concentratie van broeikasgassen in de lucht als we nu hebben, stond de zee eerder in de recente geologische geschiedenis, zoals hiervoor vermeld, 5 tot 40 meter hoger. Zouden Groenland en de meest kwetsbare delen van het Oost- en West-Antarctische ijs afsmelten, dan stijgt de zeespiegel met ongeveer 30 meter. Rechtstreekse berekeningen over de langzame instelling van het evenwicht tussen de huidige concentratie broeikasgassen en de hoogte van de zeespiegel wijzen op een stijging van 7 tot 9 meter. Het bereiken van dit evenwicht duurt naar schatting enige eeuwen. Maar of een dergelijk evenwicht ook wordt bereikt, is zeer de vraag. De concentratie broeikasgassen in de atmosfeer stijgt namelijk nog steeds in hoog tempo. De zeeën spelen daarbij ook een rol. Door het ijsvrij worden van de (Noord-)Poolzee kan de CO₂-opname toenemen, maar dat blijkt in de praktijk zeer tegen te vallen. De beschikbare metingen over de afgelopen vijftig jaar suggereren dat het percentage van de totale CO₂-emissie dat door de oceanen wordt opgenomen vermoedelijk een afnemende tendens vertoont. Mogelijk zal deze trend doorzetten. Een nog veel grotere invloed op het klimaat kunnen de zeeën krijgen wanneer het methaanijs (methaan clathraat) dat zich op en in de zeebodem bevindt, door opwarming van het water nabij de oceaanbodem instabiel zou worden. Dan kunnen grote hoeveelheden van het sterk werkende broeikasgas methaan vrij komen. In de Poolzee nabij de Svalbard-archipel is de temperatuur van het bodemwater de afgelopen eeuw vermoedelijk met ongeveer één graad Celsius toegenomen. Er zijn aanwijzingen dat de opwarming in de Poolzee op beperkte schaal het vrijkomen van methaan bevordert. Traditioneel wordt aangenomen dat de verdere opwarming van de oceaanbodem traag verloopt, omdat de verspreiding van de warmte die bij de poolgebieden afzakt naar de oceaanbodem langzaam gaat. Dat zou betekenen dat de dreiging van grootschalig instabiel methaanijs op de zeebodem over duizend tot tienduizend jaar gaat spelen. Recent onderzoek laat echter zien dat de warmte zich nabij de bodem van de oceanen ongeveer een factor tien sneller kan verplaatsen dan tot nu toe werd aangenomen.

De situatie kan voor Nederland precair worden wanneer het landijs van Groenland geheel afsmelt en een fors stuk van het West-Antarctische landijs de zee in verdwijnt.

Tegen de bijbehorende zeespiegelstijging van meer dan vijf meter is de verdediging van West- en Noord-Nederland, zoals wij dat kennen, waarschijnlijk niet vol te houden. De kans op een zeespiegelstijging met meer dan vijf meter is op een termijn van enkele eeuwen waarschijnlijk groot, tenzij men er wereldwijd in slaagt de stijging van de concentratie broeikasgassen in de atmosfeer om te buigen tot een forse daling. Gegeven de ligging van de huidige bodem, is het aannemelijk dat bij een zeespiegelstijging boven de vijf meter West-Nederland en een deel van Noord-Nederland kopje onder zullen gaan. Een van de consequenties van de veranderende waterhuishouding is dat de eeuwigdurend bedoelde opslagen voor gevaarlijk afval, zoals de vuilstort van Nauerna en de deponie voor chemisch afval op de Maasvlakte, vermoedelijk in het ongereede zullen raken.

De Waddeneilanden zullen het bij een zeespiegelstijging van meer dan vijf meter in enkele eeuwen waarschijnlijk niet redden. De afzetting van sediment (zand en slib) in de Waddenzee kan normaal gesproken een zeespiegelstijging tot ongeveer een halve meter per eeuw aan. Bij een sterkere zeespiegelstijging vallen de Waddeneilanden waarschijnlijk ten prooi aan een combinatie van sedimenthonger van de zee en een hogere zeespiegel. Er zijn overigens wel wilde plannen om de ondergang van het laaggelegen Nederland tegen te gaan, zoals het gebruiken van Veluws zand om West- en Noord-Nederland op te spuiten.

Nieuwe ijstijd?

Bij een invallende nieuwe ijstijd verandert de waterhuishouding met veel meer dan vijf meter. 'Van nature' zou de komende ijstijd over ongeveer 40 000 jaar een feit moeten zijn, maar de huidige opwarming van het klimaat maakt het minder waarschijnlijk dat de natuur haar gewone gang zal gaan. Niettemin, het is aannemelijk dat er ook in de toekomst ijstijden zullen zijn. De zeespiegel daalt in dat geval ten minste 100 meter en de piekafvoer van de Rijn neemt dan met ongeveer een factor tien toe. Daarbij wordt veel slib, zand en grind meegesleept dat deels blijft hangen in wat nu Nederland is. In een ijstijd kunnen wellicht ook de Weser en de Elbe (zoals in de voorlaatste ijstijd) in de Lage Landen nieuwe wegen graven in de bodem en daar materiaal afzetten.

Door de aanvoer van slib, zand en grind is het mogelijk dat West-Nederland na een volgende ijstijd weer boven het water uitsteekt. Maar dat is niet voor de eeuwigheid. Op termijn wrekt zich waarschijnlijk het probleem dat het Noordzeebekken, waartoe Nederland behoort, daalt. Deze daling wordt waarschijnlijk uiteindelijk zo groot dat Nederland op een termijn van tientallen miljoenen jaren hoe dan ook als geheel kopje onder gaat.

1.4 Water en land

Op een planeet met zoveel water aan het oppervlak als de Aarde, is de aanwezigheid van land niet vanzelfsprekend. Er zijn aanwijzingen dat inslagen van grote meteorieten hebben bijgedragen aan het ontstaan van continenten op de jonge Aarde. Later waren

vooral de bewegingen van 'schollen' of 'platen' in de aardkorst verantwoordelijk voor het blijvend boven het water uitsteken van land. Deze bewegingen zorgen voor vulkanisme en gebergtevorming. Zonder bewegende 'schollen' in de aardkorst was onze planeet aan het oppervlak nu waarschijnlijk geheel bedekt met water.

Het gevormde vaste land is niet gefixeerd. In de Alpen zijn fossielen gevonden die uitwijzen dat op die plaats ooit zee was. De omzetting van zeebodem in gebergte ging langzaam. Er komen ook meer abrupte veranderingen voor. Bij de aardbeving plus tsunami van Tweede Kerstdag 2004 kiepte bijvoorbeeld het eiland Nis (voor de kust van Sumatra) in één keer een flink stuk. De ene kant kwam 2 meter hoger te liggen en de andere kant 30 centimeter lager. In de Lage Landen hebben stormvloed en omvangrijke verliezen van land gezorgd. Een tempeltje dat twee millennia geleden nog op het land stond, treft men dezer dagen vijf kilometer ten noorden van Walcheren in de Noordzee aan. En een oude kerk van Egmond in Noord-Holland ligt ook ver buitengaats.

Te land is water een belangrijke vormgever. Het gaat niet zover als de zestiende-eeuwse dichter Andrew Marvell dacht. Hij meende dat Holland een uitbraaksel was van de Noordzee. Maar het relatief laaggelegen deel van Nederland dankt zijn bestaan goeddeels aan de afzettingen afkomstig van rivieren en zee, en de groei van veen dat alleen in een waterrijke omgeving kan gedijen. Het Zwin (beginnend op de grens van België en Nederland), dat in de middeleeuwen de zeeschepen voor de voor die tijd grote havenstad Brugge bediende, is door slibafzetting niet meer geschikt voor scheepvaart. Het Zwin is 'verland'. De afzettingen van löss in de Lage Landen zijn, naar het zich laat aanzien, tot stand gekomen door sneeuwstormen gedurende de ijstijden. De plooiën in het landschap boven de lijn Haarlem-Nijmegen ontstonden deels door het werk van het landijs gedurende de Elsterien- en Saalien-ijstijden. Modern landgebruik leidt nogal eens tot watererosie: het wegspoelen van grond. Een voorbeeld daarvan levert het dorp Velm nabij Sint Truiden in België. Dit dorp is de afgelopen twee decennia een aantal malen door een modderstroom getroffen. Door flinke buien ging in de omgeving van dit dorp gemiddeld jaarlijks per hectare 3500 kilo lössgrond over in modder. Inmiddels zijn er bij Velm voorzieningen om de modder op te vangen.

Door de veranderingen die Nederlanders in de waterhuishouding hebben aangebracht, verandert het land ook. In West-Nederland zouden de rivieren normaal gesproken elk jaar ongeveer 14 miljoen kubieke meter grond afzetten, maar door de bedijking gebeurt dat niet meer. Vanwege de verlaagde waterstand klinkt de West-Nederlandse bodem jaarlijks met ongeveer 19 miljoen kubieke meter in. Dit en de stijgende zeespiegel maken het steeds moeilijker in het laaggelegen deel van Nederland het hoofd boven water te houden.

Wat in Nederland geldt, geldt ook elders: water heeft een grote invloed op het land. Net zoals Nederland zijn bestaan voor een aanmerkelijk deel dankt aan afzettingen



van rivieren, zo is dat ook in andere deltagebieden het geval. De Nijldelta bestaat dankzij de Nijl en New Orleans dankzij de Mississippi. Op beide plaatsen leidt, net als in Nederland, de verminderde afzetting van slib tot groeiende problemen bij de verdediging tegen het zeewater.

Watererosie

Wereldwijd levert watererosie de belangrijkste bijdrage aan grondverplaatsing en aan kwaliteitsvermindering van agrarische gronden. Een dramatisch voorbeeld van grondverplaatsing door water is aardverschuiving na zeer heftige regens. Deze aardverschuivingen kunnen catastrofaal uitpakken. In 2004 eiste een muur van water, modder en stukken rots, uitgelokt door de orkaan Jeanne op Haïti, meer dan 4000 mensenlevens en in 2006 leidde een aardverschuiving op het Filipijnse eiland Leyte tot een laag modder van vier meter dik over een oppervlak van drie vierkante kilometer en een dodental van meer dan duizend mensen. In 2009 veroorzaakte de orkaan Morokot een regenval van twee meter in 24 uur op Taiwan en delen van China. Daar werden vele honderden mensen onder modderstromen begraven. In 2010 zorgden door regen uitgelokte aardverschuivingen in een deel van Tibet voor meer dan 1500 doden.

Watererosie levert ook wereldwijd een bijdrage aan de vorming van nieuw land. Ostia, nabij Rome, was ooit een zeehavenstad, maar is door bovenstroomse erosie langs de Tiber een stuk landinwaarts geschoven. Een ander voorbeeld is de delta van de Parel Rivier in China, thans een van de belangrijkste Chinese productiecentra. Tweeduizend jaar geleden was dit deltagebied nog water. Het verschil werd in beide gevallen gemaakt door slib dat door watererosie vrijkwam, goeddeels van ontbost land.

1.5 Waterhuishouding op zeer lange termijn

Het toekomstige lot van het aardse water kan, met enige slagen om de arm, voorspeld worden. Een ook voor de verre toekomst belangrijk fenomeen zijn de bewegende aardschollen. De thans gangbare theorie is dat de beweging van de aardschollen mogelijk is door twee factoren: de warmte in het binnenste van de aarde en de aanwezigheid van de zeeën aan het aardoppervlak. Beide factoren gaan op de zeer lange termijn veranderen. Het is aannemelijk dat het bewegen van de aardschollen niet onbeperkt zal doorgaan. De voor de beweging benodigde radioactiviteit die voor de opwarming van het binnenste van de aarde zorgt, zal vermoedelijk een afnemende trend vertonen. Men kan veronderstellen dat daardoor, op een termijn van vele honderden miljoenen jaren, de verheffingen op de continenten gaan afslipen. Uiteindelijk kan dan alle land kopje ondergaan.

Er wordt de komende miljarden jaren echter ook een toename voorzien van de instraling van zonne-energie. Daardoor zal het mettertijd (tussen één en drie miljard jaar van nu) op onze aarde zo warm worden dat de oppervlaktewateren leegdampen. Dat is een proces dat waarschijnlijk honderden miljoenen jaren in beslag zal nemen. De hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer zal het broeikaseffect drastisch opjagen.

Dieren, inclusief eventuele nazaten van de huidige mens, zullen dat waarschijnlijk niet overleven. Uiteindelijk breidt de zon zich zo ver uit en wordt het zo warm, dat de aarde, inclusief het resterende water, wordt weggevaagd. Dat is over ongeveer vijf miljard jaar.

1.6 Waarde van water

Het idee dat zoet water van goede kwaliteit voor de mens van groot belang is, moet zeer oud zijn. Het slaan van putten was van oudsher een Daad omdat het een lange en wijdverbreide mythische traditie is dat onderin die putten enge parallelle werelden beginnen. Uit onderzoek aan zoetwaterputten die in Nederland tijdens de Romeinse tijd werden gebruikt, komt naar voren dat deze werden voorzien van rituele voorwerpen, om met bovennatuurlijke hulp een goede watervoorziening veilig te stellen.

Fysiek gesproken staat het 'als een paal boven water' dat water zeer belangrijk is. Zonder water kunnen mensen niet leven, zoals in hoofdstuk 8 wordt uiteengezet. En dat geldt, zo blijkt uit hoofdstuk 7, voor alle leven. De financiële waardering voor water is echter bescheiden. Volgens de grondlegger van het vak economie, Adam Smith, is er sprake van de diamant versus water paradox. Water is van vitaal belang voor de mens, maar de prijs ervan is laag, zo het water al niet gratis is. Aan de andere kant kan een mens best zonder diamanten. Toch is de prijs daarvan zeer hoog.

Dit wil niet zeggen dat rijkdom en water niets met elkaar te maken hebben. In grote delen van Europa, en ook van de rest van de wereld, is de hoeveelheid neerslag sterk bepalend voor de omvang van oogsten. In de geschiedenis was dat lang de belangrijkste bron van rijkdom. Maar ook los daarvan is er een relatie tussen rijkdom en water.

In de klassieke tijd waren fonteinen en waterpartijen in tuinen een blijk van rijkdom en macht. De oudste bekende toepassing van waterdruk in waterwerken (vergelijkbaar met de meer recente watertoren) is gedateerd op 1400 voor Christus en diende om op Kreta in een paleis fonteinen te laten spuiten. In de door rijke en machtige Perzen aangelegde tuinen (die model stonden voor het bijbelse Paradijs) speelde het water een centrale rol. Dat was later ook het geval in het Romeinse rijk. De waarschijnlijk beroemdste illustratie daarvan is te vinden in de Villa Hadriana in het Italiaanse Tivoli. De siervijvers van Anuradapura op Sri Lanka en de klassieke Midden-Amerikaanse steden (voor de komst van Columbus) waren eveneens symbolen van macht en rijkdom.

Ook in zeer droge gebieden werden met water rijkdom en macht geïllustreerd. In Petra, gelegen in een zeer droog deel van Jordanië, kon men in de eerste eeuw voor het begin van onze jaartelling een weelderig tuinencomplex met vijvers en fonteinen bewonderen.

De Islamitische cultuur was de belangrijkste erfgenaam van de klassieke waterrijke tuinen van rijken en machtigen. In de late middeleeuwen sloeg de mode van waterrijke tuinen over naar Europa. Het voorlopige hoogtepunt daarvan is



waarschijnlijk de Villa d'Este in Tivoli, waar sprake is van een ware orgie van fonteinen, waterstralen en vijvers. In de Republiek der Nederlanden kon in de zeventiende eeuw geen tuin van hoogmogende heren zonder een bewegende waterpartij. De koninklijke tuinen van het Loo en Honselersdijk kregen een Herculesfontein en het Loo daarenboven nog een Venusfontein.

Toen fonteinen gewoontjes begonnen te worden, werden andere toepassingen van water bedacht om op te vallen. Buitenplaatsen en tentoonstellingen werden uitgerust met poppen en apparaten die door waterkracht werden bewogen. Londen kreeg een Mathematical Water Theater (wiskundig watertheater) en het waterorgel werd uitgevonden. Een theater met een waterorgel aan het Amsterdamse Rembrandtsplein is inmiddels ten onder gegaan. Maar de fontein op het nabij gelegen Frederiksplein doet het nog, dankzij de bescherming van de aan dit plein gelegen Nederlandse Bank.