

WATER

Lucas Reijnders

Open Universiteit
www.ou.nl



WATER

Lucas Reijnders

Open Universiteit
www.ou.nl



© Copyright L. Reijnders, 2010

All rights reserved. No part of this publication may reproduced, stored, in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Ontwerp omslag: Aline van Hoof, Afdeling Visuele Communicatie, Open Universiteit

Opmaak binnenwerk: Evelin Karsten

Redactie: Bep Franke

Drukwerk: OBT BV, Den Haag

ISBN/EAN: 978 90 358 1710 4

Printed in The Netherlands

Vooraf

Hoogleraren die met pensioen (emeritaat) gaan, geven meestal een afscheidscollege. Het nadeel daarvan voor een instelling met afstandsonderwijs is, dat daarbij maar weinig studenten aanwezig zijn. Dat vind ik extra jammer, omdat de studenten nu juist tot de grootste verdiensten van de Open Universiteit behoren en ik hen daarvoor wil bedanken. Daarom leek het mij beter afscheid te nemen met een boekje dat tevens vrij gedownload kan worden. Zo is het ook beschikbaar voor andere geïnteresseerden, in lijn met de mooie 'open source traditie' van de Open Universiteit. Het thema van mijn 'afscheidscollege' is water, net als bij jaarlijkse NW-symposium van de faculteit Natuurwetenschappen van 2010.

Een vast onderwerp uit een afscheidcollege wil ik echter behouden. En dat is een dankwoord aan de collega's en oud-collega's van de Open Universiteit voor de goede samenwerking.

Lucas Reijnders
November 2010

Inhoud

Vooraf 3

- 1 Water: historie, toekomst en waarde 7
 - 1.1 Waar komt het aardse water vandaan? 7
 - 1.2 Veranderingen in de waterhuishouding 8
 - 1.3 Waterhuishouding nu en in de naaste toekomst 11
 - 1.4 Water en land 18
 - 1.5 Waterhuishouding op zeer lange termijn 20
 - 1.6 Waarde van water 21
- 2 Water met wat erin zit 23
 - 2.1 Vies zoet water 24
 - 2.2 Vies zeewater 38
 - 2.3 Beter water 40
 - 2.4 Bovennatuurlijk water 46
 - 2.5 Verjongingsbron en bron des levens 50
- 3 De zee, de zee 51
 - 3.1 Gemengde gevoelens 51
 - 3.2 Bedreiging van het land 55
 - 3.3 De baten van de zee 62
- 4 Zoet water 67
 - 4.1 Zoet en zilt 67
 - 4.2 Hydroschizofrenie 71
 - 4.3 Rivieren 72
 - 4.4 Door de mens gemaakte waterpartijen 74
- 5 Te veel en te weinig water 81
 - 5.1 Oorzaken, gevolgen en bestrijding van te veel water 81
 - 5.2 Zoetwaterkrapte 88
 - 5.3 Strijd tegen waterkrapte 100
- 6 Heisa rond zoet water 111
 - 6.1 Heisa over schaars water 111
 - 6.2 Rivaliteit 113
 - 6.3 Militaire wateren 118
 - 6.4 Heisa over grondwater 120
 - 6.5 Vreedzame oplossingen 122

- 7 Leven in het water 127
 - 7.1 Invloed van mensen op het waterleven 127
 - 7.2 Toekomst van zeewater en het leven daarin 135

- 8 Water en menselijke gezondheid 139
 - 8.1 Infectieuze organismen en toxinen in drinkwater en uitwerpselen 141
 - 8.2 Wassen en baden 156
 - 8.3 Water met 'ongezonde' organismen 160
 - 8.4 Bezwaarlijke stoffen in het drinkwater 164

- 9 Besluit 171

- Bronnen 173

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, verdronken 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 qanats 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 gedeeltes 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 zeeeringen, 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 Oosten 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 ongerede 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 broeikas effect 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.

2 Water met wat erin zit

Het watermolecuul bestaat uit twee atomen waterstof en één atoom zuurstof (formule: H_2O). Maar wat we water noemen, is niet gelijk aan een verzameling watermoleculen. 'Water' kan grote hoeveelheden opgeloste stoffen bevatten en ook organismen. De grenzen in het spraakgebruik zijn daarbij merkwaardig. Het water van de Dode Zee bevat bijvoorbeeld veel meer opgeloste stoffen dan thee, toch wordt de inhoud van de Dode Zee wel en thee niet water genoemd.

Ook binnen de categorie die we water noemen, zijn er grote verschillen. Sommige verschillen worden al lang gemaakt. Daartoe behoren het verschil tussen zoet en bitter (zout) water. Het onderscheid tussen 'hard' en 'zacht' water (vooral bepaald door het kalkgehalte) is al in het werk van de klassieke arts Hippocrates te vinden. De verschillen die opvallen, zijn niet voor iedereen hetzelfde. In de Indiase Vedicische traditie wordt bijvoorbeeld onderscheid gemaakt tussen 19 soorten water, met 'het water dat zich verspreidt', 'het water van dauwdruppel' en 'het water van modderige vijvers' als aparte categorieën. Met de hedendaagse natuurwetenschappelijke kennis kan wat we water noemen in nog veel meer dan 19 categorieën worden onderverdeeld.

Deels danken we de verschillen in watersamenstelling aan 'de natuur'. 'Hard' water komt bijvoorbeeld uit kalkrijke bodems en 'zacht' water uit kalkarme. Wat de natuur doet, is voor de mens niet altijd welgedaan. In delen van Zweden is de bodem relatief rijk aan uranium, en dat weerspiegelt zich in voor de mens ongezond hoge uraniumconcentraties in het grondwater. Het fossiele grondwater in Jordanië en Egypte bevat, gezien vanuit de menselijke consumptie, teveel radium. In de Camarones-rivier (Noord-Chili) zit voor de mens teveel arsenicum, een karakteristiek die al ongeveer 6800 jaar geleden voor arsenicumvergiftiging zorgde. Ook in de delta's van de rivieren die in de Himalaya ontspringen, bevat het grondwater vaak te veel arsenicum.

In de loop van de geologische geschiedenis heeft de samenstelling van het water krasse veranderingen ondergaan. Aanvankelijk was het oppervlaktewater zuurstofloos, met daarin opgelost eerst overwegend zwavelverbindingen en daarna vooral ijzerverbindingen. 'Pas' ongeveer 580 miljoen jaar terug werden de oppervlaktewateren zuurstofrijk. De veranderingen in de samenstelling van het water leidden tot grote veranderingen in de natuurlijke soorten die het water bevolkten. Soms waren de 'natuurlijke' veranderingen in de samenstelling van het water zo drastisch dat grote aantallen waterorganismen het loodje legden. Een goed voorbeeld daarvan is het massale uitsterven van in zee levende soorten 252 miljoen jaar geleden. In het zeewater liep toen de concentratie zwavelwaterstof en kooldioxide hoog op. Ongeveer 90% van de toen aanwezige soorten zeedieren stierf daardoor uit.



2.1 Vies zoet water

Niet alleen de natuur kan voor variatie in de samenstelling van het water zorgen. De mens doet dat ook al geruime tijd. De menselijke activiteiten hebben grote gevolgen. Door de verontreiniging van grond- en oppervlaktewater is op aarde een steeds groter deel van het water zonder intensieve reiniging niet meer goed te gebruiken. Wereldwijd gaat het om ruim een kwart van het traditioneel jaarlijks voor de mens beschikbare water. Hoe is dat gekomen?

Uitspoeling

Een eerste belangrijke oorzaak voor de vervuiling van grond- en oppervlaktewater is de opkomst van de landbouw. Daardoor werden diep wortelende planten, zoals bomen, gekapt en vervangen door ondiep wortelende gewassen, zoals granen en vlinderbloemigen. Ook is de waterstand onder veel agrarische systemen anders dan van nature. De combinatie van deze twee veranderingen had en heeft grote gevolgen voor de uitspoeling van in de grond aanwezige koolstofverbindingen en mineralen, zoals calcium-, magnesium- en kaliumverbindingen, sulfaten, fosfaten en nitraten. De uitspoeling van deze stoffen werd sterk vergroot. Dat weerspiegelde zich waarschijnlijk al vroeg in problemen met het oppervlaktewater. In de Bijbel worden de tien 'plagen van Egypte' beschreven. Een daarvan bestaat uit een bloedrode Nijl, waarin de vissen sterven. Een aannemelijke verklaring hiervoor is een rode cyanobacterie die gifstoffen maakt en goed gedijt in relatief warm water met veel fosfaten en nitraten. In de Rijn gaan duidelijke sporen van agrarische beïnvloeding ongeveer 2800 jaar terug.

In West-Europa spoelde vanuit natuurlijke bossen per hectare jaarlijks ongeveer 10 tot 20 kilogram mineralen uit. Nu belooft langs rivieren de jaarlijkse uitspoeling van mineralen naar het oppervlaktewater gemiddeld ongeveer 1400 kilogram per hectare. In de noordelijke Europese bossen wordt thans gekeken naar de invloed van boomkap op de hoeveelheid oplosbare koolstofverbindingen in oppervlaktewater. Deze blijkt een jaar na de kap met ongeveer 50% toegenomen te zijn. Deze verhoogde hoeveelheid koolstofverbindingen leidt op zijn beurt tot meer zware metalen in, en meer verzuring van, het oppervlaktewater.

Ook de uitspoeling van mineralen naar het grondwater is sterk vergroot. Hier en daar pompen we in Oost-Nederland grondwater op dat duizenden jaren geleden, voor de komst van de landbouw, werd gevormd. Om daarvan drinkwater te maken, is nauwelijks een behandeling nodig. Over enige duizenden jaren is dat anders. Het dan eventueel van grote diepten opgepompte water moet grondig worden gereinigd om er goed drinkwater van te maken.

Een andere menselijke activiteit die al vroeg aanzienlijke gevolgen had voor de kwaliteit van water was de mijnbouw. De gevolgen van de zinkmijnbouw die ruim voor het begin van de jaartelling werd beoefend, kan men nog altijd onder meer terugvinden langs de benedenstroomse oevers van de rivier de Geul, waar nu het zinkvioletje bloeit. In meren nabij Huancavella (Peru) zijn de gevolgen te zien van een lokale kwikmijn die ongeveer 3400 jaar geleden in bedrijf kwam. De mijn is nu ter

plaatse bekend als 'mina de la muerte' (mijn des doods). In het ijs van Groenland treft men verhoogde loodconcentraties aan als gevolg van loodsmelterij door klassieke beschavingen in het Middellandse Zeegebied.

Water als vuilnisvat

De vroege vervuiling van water was verder een gevolg van de verplaatsing van alledaagse viezigheid: door wassen, schoonmaken en het deponeren van uitwerpselen. De lange geschiedenis van wassen en baden komt in hoofdstuk 8 aan bod. Het gebruik van water om behuizingen schoon te maken, heeft waarschijnlijk eveneens een hoge leeftijd. In het Nabije Oosten werden al in de vroege Steentijd de vloeren van behuizingen zo uitgevoerd dat ze zich goed leenden voor het schrobben met water. In sommige religies was de verplaatsing van alledaagse viezigheid naar water taboe. De Griekse schrijver Herodotos (vijfde eeuw voor het begin van onze jaartelling) meldt dat de oude Perzen 'stromend water niet verontreinigen, en daar niet in spugen. Zij wassen daar zelfs hun handen niet in en kunnen niet hebben dat anderen het water wel vervuilen'. Strabo, die rond het begin van onze jaartelling schreef, meldde dat de Perzen 'niet in water baden, en niets onreins in het water gooien'. Maar het gedrag van de Perzen was uitzonderlijk. En ook de oude Perzen vervuilden nog altijd water. Zo lang er mensen zijn, zijn er uitwerpselen. En deze hebben hun weerslag op het grond- en oppervlaktewater.

Homerus vermeldt de gewoonte vijanden en mismaakte en ongewenste kinderen in de zee te werpen, om van ze af te komen. Romeinen gooiden van alles in de Tiber, tot de standbeelden van onpopulaire politici toe. De bronzen standbeelden van de in ongenade gevallen Atheense politicus Demetrios werden deels omgesmolten tot een pispot. Deze werd in de zee geworpen. En in het Romeinse Athene werden de marmeren beelden van de onpopulaire keizer Balbinus in zee gedumpt. Deze praktijken hingen samen met de klassieke opvatting dat wateren een ideale plaats waren voor het laten verdwijnen en eventueel reinigen van zaken.

Maar dat viel tegen - ook al in de klassieke tijd. De tiran Polykrates van Samos wierp aan het eind van de zesde eeuw voor het begin van onze jaartelling een kostbare ring de zee in, om het ongeluk te ontlopen. De ring werd echter teruggevonden in een vis. Dat was een goede les, maar tot ver in de twintigste eeuw bleef het de gewoonte om van alles en nog wat legaal in zee te dumpen. Nederland had op dit punt een vooraanstaande positie. In de twintigste eeuw werden diverse 'smeerpippen' aangelegd die ongezuiverd afvalwater in zee dumpten. In de eerste helft van de twintigste eeuw 'verdween' veel stadsvuil en chemisch afval in de golven. Na de Tweede Wereldoorlog werden chemische wapens vanuit de Lage Landen in zee gestort, en nog in de jaren tachtig radioactief afval.

Ziekteverwekkers

Wat voor de ring van Polykrates gold (weg is niet weg), gaat ook op voor ziektekiemen in uitwerpselen. Het grondwater in de klassieke steden werd sterk met ziekteverwekkers belast door de aanwezige latrines. Als het besmette water werd geput en gedronken, kon de ziekte voortwoekeren.



Om de belasting van het grondwater te beperken, werden en worden riolen aangelegd. De riolen van de klassieke steden Rome, Samos en Athene kwamen uit op het oppervlaktewater. De kwaliteit van dat oppervlaktewater werd daar niet beter van. De riolen voorzagen het water van veroorzakers van infectieziekten, die met de gevangen vis gedeeltelijk weer aan land kwamen.

Nog altijd zorgt de lozing van menselijke uitwerpselen op oppervlaktewater voor omvangrijke infectieproblemen. Alleen al door het baden in zeewater dat verontreinigd is door ziektekiemen lopen jaarlijks wereldwijd 250 miljoen mensen maagdarmklachten en luchtweginfecties, die samen naar schatting \$1.6 miljard aan ziektekosten opleveren. En in veel steden en ook rond veel latrines op het platteland is het grondwater nog altijd met ziekteverwekkers besmet. De in het water aanwezige ziekteverwekkers, en hun invloed op de menselijke gezondheid, komen uitvoerig aan de orde in hoofdstuk 8.

Drieduizend jaar geleden was het water in de Lage Landen opvallend schoon. 'De natuur' zorgde ervoor dat in het water hier weinig opgeloste probleemstoffen voorkwamen en bovendien was er veel doorstroming. In het eerste millennium na het begin van onze jaartelling veranderde dat aanmerkelijk. Er werd in toenemende mate afgedamd. Dat leidde tot stilstaand, of veel langzamer stromend, water. En het oppervlaktewater werd in toenemende mate belast met stoffen die vrijkomen bij de afbraak van organisch materiaal. Daarbij gaat het om koolstofverbindingen en om stoffen zoals fosfaat, sulfaat, calcium, magnesium, natrium, ammoniak en nitraat. Dat deze stoffen vrijkwamen, lag deels aan de afbraak van veen en deels aan het in het water dumpen van organisch afval. In het afgelopen millennium nam het afdammen toe, en steeg de afbraak van veen en de dumping van organisch afval. In de praktijk eiste het vieze water vele malen meer slachtoffers dan de overstromingen. Maar de strijd tegen de vervuiling stelde zeer lang weinig voor.

Secreten of heymelickheden en ouwe pis

Gedurende de middeleeuwen werd in een stad als Amsterdam het niet bruikbare afval in de Amstel, het IJ en de grachten gegooid. Dat was elders niet anders. In Venetië 'verdween' het afval in het Canal Grande, de lagune en de kanalen, in Augsburg in de Lech en in Neurenberg in de Pegnitz. Vooral onder druk van de bijbehorende stank kwam het her en der geleidelijk tot verbodsbepalingen (in Nederland keuren genoemd). Zo vaardigde Amsterdam in 1399 een verbod uit op het werpen van aarde, vuilnis, mest en bloed in het IJ, de Amstel en de stadsgrachten. In 1475 werd het op straffe van een boete verboden dode lichamen van paarden, schapen en honden in het Amsterdamse water te gooien. Veel helpen deed dat allemaal niet. Aan het eind van de achttiende eeuw moest worden vastgesteld dat de grachten 'zeer dikwerf met vuilnis waren overdekt'. Een andere aanpak zette meer zoden aan de dijk. Er kwam een systeem om de inhoud van latrines (ook wel 'secreten' of 'heymelickheden' genoemd) en beerputten in te zamelen en toe te passen als meststof in de landbouw. Dat was ook in veel andere steden van de Lage Landen het geval. Dit droeg er belangrijk aan bij dat in de vroegmoderne tijd de landbouw in Vlaanderen en West-Nederland

vanwege zijn hoge productiviteit als een wereldwonder werd beschouwd. Textielsteden als Tilburg en Leiden zamelden bovendien 'ouwe pis' van 'kruykenzijkers' in, om daarmee wol te vervilten.

De ophaalsystemen fungeerden niet altijd goed en betroffen maar een deel van de uitwerpselen. Een illustratie daarvan geeft Leiden in de zestiende en zeventiende eeuw. Veel sekreten loosden daar direct op de grachten en ook de tonnen waarin de uitwerpselen werden verzameld, werden vaak in de grachten gelegegd. Het grachtenwater diende echter ook als water om te koken, te drinken en bier te brouwen. In de zeventiende eeuw werd de waterkwaliteit in de Leidse grachten, ondanks de inschakeling van vier molens die water wegpompten, zo slecht dat de brouwers hun water ergens anders vandaan gingen halen.

Stankoverlast

Ondanks alle inzameling van menselijke uitwerpselen en beperkingen op vervuiling van de grachten, bleef in Amsterdam de stank een groot probleem, vooral in de zomer. Reizigers in de zeventiende eeuw prezen de ijver van de Hollandse vrouwen bij het schoonhouden van de stoep. Maar de 'schone maagd' Amsterdam had volgens hen een 'stinkende adem'. De stank van de Amsterdamse grachten was moeilijk te harden. Op kilometers afstand van de stad kon je deze al ruiken. Rijke bewoners van de grachtengordel vluchtten in de zomermaanden dan ook massaal naar hun buitens. Het rampjaar 1672 bezorgde Amsterdam relatief schoon grachtenwater. Tegen de van alle kanten aanstormende vijanden was de Hollandse Waterlinie in werking getreden en daardoor moest extra veel water, dat afkomstig was van de Lek, richting Zuiderzee worden afgevoerd. De bijbehorende doorstroming verminderde de stank sterk. Het idee dat doorstroming uitmaakte, leidde tot pogingen om Zuiderzeewater te laten circuleren door de grachten en het vieze grachtenwater bij eb zoveel mogelijk te lozen op de Zuiderzee. Dat hielp echter weinig. Bij vloed kwam het vieze water vanuit de Zuiderzee goddeels weer terug, de stad in.

Het duurde na 1672 nog twee eeuwen voordat in Amsterdam het kwartje echt viel, en men versterkt betrekkelijk schoon water ging rondpompen om daarmee de lokale waterkwaliteit gunstig te beïnvloeden. Maar zelfs daarmee kon men maar gedeeltelijk op tegen wat Amsterdammers in het water wierpen. Gebouwen loosden ongezuiverd op de grachten. En de troep die in de grachten werd geflikkerd, stak niet zelden boven de waterspiegel uit. De grachten werden door een betere waterverversing iets schoner, maar de volkswijk Jordaan kenmerkte zich nog altijd door slecht ververste stinkende sloten die als open riool dienden.

Rotterdam bedacht een andere manier 'om orde op zaken te stellen'. Daar werd in 1854 het schrobben van de stoep bij openbare verordening verboden. Het gevolg was een golf van protest, en het verbod werd in 1858 weer ingetrokken. Vervolgens besloot men de viezigheid met een stoomgemaal weg te pompen naar de Maas, maar dat lukte niet goed. Veel uitwerpselen bleven hangen in de huidige singels, die dan ook 'ondragelijk stonken'. Tevens kwamen er velden met uitwerpselen in de Nieuwe Waterweg die met eb en vloed heen en weer schommelden.



Ook in het zeventiende-eeuwse den Haag werd massaal geklaagd over de stank van de grachten die als vuilnisvat en riolering dienden. Er werden regelmatig plannen gemaakt om daar iets aan te doen. Die plannen leidden lang tot niets. In 1888 kwam een 'Ververschingskanaal' gereed dat beoogde de Haagse viezigheid bij Scheveningen in zee te dumpen. Dat hielp de Hagenaars niet. De Scheveningers hadden er bezwaar tegen dat tijdens het zomerse badseizoen werd geloosd, en dat was nu juist de tijd dat de grachten het sterkst stonken.

Onder de schuilnaam 'Schim van Borger' werd op het Haagse Ververschingskanaal het volgende gedicht:

'Zij 's Gravenhage een hof van Eden
 Voor lieden zonder reukorgaan,
 Wie dikwijls langs de gracht moet treden,
 Wenscht heel de hofstad naar de maan'

In Vlaanderen was de situatie niet veel anders. Guido Gezelle dichtte in 1858 over de Mandelbeek:

'Maar dit alles is verdwenen!
 Droeve dagen zijn verschenen.
 't Mandelwater schiet nu vuil
 door den watermolenkuil.
 Niet één vogel komt er kwelen, niet één 'n komt er spelen
 Waar zij heure baren giet
 En besmette dampen schiet.
 Zelfs mag daar geen vis meer dartelen,
 Of 't is om hem dood te spartelen.

Van aanmerkelijke invloed op het behoud van ellende in de negentiende eeuw waren geleerde beweringen dat het allemaal reuze meeviel met de waterkwaliteit. Een boek van de plantkundige von Nägeli stelde dat de veelbesproken besmetting via het water 'zo zelden voorkwam, dat men de kans daarop buiten beschouwing kon laten'. Het wetenschappelijke tijdschrift Nature meldde dat, wanneer men rioolwater mengde met het twintigvoudige aan rivierwater, het organische materiaal na 18 kilometer volledig geoxideerd was. Het tijdschrift citeerde instemmend professor Pettenkofer die beweerde dat een deel rioolwater op 15 delen rivierwater de kwaliteit van het rivierwater niet nadelig beïnvloedde. Dezelfde professor, die in Nederland een zeer grote invloed had op het denken van medici, hield vol dat cholera niet via drinkwater kon worden verspreid. Voor de industriële lozingen werden ingenieuze rechtvaardigingen bedacht. Leon Poincaré, hoogleraar publiek hygiëne, verwelkomde industriële lozingen omdat ze bacteriedodend zouden werken.

Riolering

In de tweede helft van de negentiende eeuw ontstond niettemin, mede onder invloed van de cholera-epidemieën (zie hoofdstuk 8) en van de ergernis over stank, een stevige discussie over wat er met de poep moest gebeuren. Het voortvarendst was men daarmee in Engeland. Daar werden onder druk van de grote commotie over cholera na 1848 de ondergrondse rioolstelsels in hoog tempo uitgebreid. Deze ontwikkeling kreeg een extra impuls door 'de Grote Stank' van 1858, toen de rivier Thames zo stonk dat het raadzaam werd geacht het parlamentsgebouw te ontruimen. De geestelijke vader van de riolering was de hervormer Chadwick, die overigens ook, en goeddeels tevergeefs, beoogde dat de meststoffen uit het rioolwater werden gehaald. In 1866 bepaalde de 'Sanitaire Wet' dat burgers het recht hadden hun gemeente aan te klagen bij de regering in Londen als deze onvoldoende ernst maakte met de rioleringsvoorzieningen. Ook stadjes en dorpen, waarvan de bestuurders vonden dat ze helemaal geen problemen hadden, moesten als gevolg daarvan alsnog een riolering aanleggen.

Ook elders werd in deze periode stevig 'gerioleerd'. Parijs kreeg, dankzij het ijveren van 'hygiënisten', bij zijn grote negentiende-eeuwse herinrichting onder baron Haussmann een omvangrijk rioleringsstelsel. In Kopenhagen kwam in 1860 een rioolstelsel gereed. Dit was echter alleen bedoeld voor huishoudelijk afvalwater en regenwater. Er mochten geen watertoiletten op worden aangesloten of uitwerpselen in worden gedeponeerd.

De aanleg van rioleringen voor uitwerpselen was omstreden. Dat was ook in de Lage Landen het geval. Menselijke poep bracht als meststof geld op, en rioleringen kostten alleen maar geld en maakten een einde aan de traditionele toepassing van uitwerpselen in de landbouw. Ook waren er zorgen over het 'ziekteverwekkende' rioolgas dat de huizen kon binnendringen. In de praktijk was dat vaak een groter probleem dan bij de klassieke beerputten en latrines, omdat er geen voorzieningen waren die de kwalijke dampen tegen hielden (zoals de huidige zwanenhalzen in de afvoeren). Verder vreesde men dat het rioolgas ondergrondse ontploffingen kon veroorzaken. Verstoppingen van het riool die rioolwater lieten 'terugslaan', de huizen in, deden de reputatie van rioleringen ook geen goed.

Ratten hadden voorts hun huis in riolen en werden geacht via het toilet de woning in te kunnen. En het kon nog erger. Een wijdverbreide legende was dat jongetjes die voor het eerst op de wc gingen, de kans liepen te worden gecastreerd. Over de riolen van Hampstead bij Londen werd in de negentiende eeuw beweerd dat daar woeste zwarte varkens huisden, en de riolen van New York bevatten volgens een twintigste-eeuwse legende al dan niet witte en blinde alligators.

In Nederland zijn twee alternatieve opties voor de riolering uitgewerkt en toegepast die aan de benutting van menselijke uitwerpselen in de landbouw vasthielden. De ene was een verbeterde variant van de inzameling van uitwerpselen in tonnen. Deze variant werd onder meer toegepast in Delft, de Rotterdamse binnenstad en Zwolle.



Pleitbezorger daarvan was de ‘bekende Amsterdammer’ dokter Sarphati. Hij zag dit als beste methode om de prijs van volksvoedsel te verlagen. De andere optie was het ‘Liernur systeem’ een type riolering dat de uitwerpselen (die verplaatst werden met behulp van drukverschillen) centraal inzamelde. Dit systeem werd onder meer toegepast in Dordrecht en Amsterdam, maar werd minder populair omdat het vaak verstopte en men het ‘te duur’ vond. Uiteindelijk raakten deze beide alternatieven in onbruik.

Start met rioolwaterzuivering

De sterkste impuls voor het gebruik van rioleringen voor uitwerpselen gaf het watercloset. Het watercloset was comfortabel en na het doortrekken waren de uitwerpselen ‘weg’. De ingebruikname van waterclosetten leidde echter tot een grote toevloed van uitwerpselen naar het water. Beerputten liepen veel vaker over en bezoedelden zo meer het grondwater en ook het oppervlaktewater werd veel sterker belast. Om de effecten op het oppervlaktewater te beperken, werd door de Engelsen in 1876 een ‘Wet ter voorkoming van vervuiling der rivieren’ uitgevaardigd. In de tweede helft van de negentiende eeuw werd in Engeland dan ook op aanmerkelijke schaal aan de bouw van installaties voor rioolwaterzuivering gedaan.

In Nederland was dat niet het geval. Op sommige plaatsen werd besloten het water te laten uitstromen op vloeivelden. In Tilburg was dat bijvoorbeeld zo voor een deel van het afvalwater in 1901, en in Hilversum loosde men industrieel afvalwater op vloeivelden tussen de heidevennen (nabij het huidige Laarder Wasmeer). De in de bodems van de vloeivelden achtergelaten bodemverontreiniging bleek in de late twintigste eeuw vaak ernstig genoeg om over te gaan tot bodemsanering. Vaak bleef het echter bij lozing op het oppervlaktewater. Tilburg loosde veel afvalwater op de Leij. Vanwege de bijbehorende vervuiling werd de gemeente zeven maal veroordeeld. De opgelegde boetes waren zodanig dat een zuiveringsinstallatie niet loonde, en zodoende duurde het tot in de jaren 50 voordat het tot zuivering van het Tilburgse afvalwater kwam. De riolering van Utrecht leidde ook tot problemen met het oppervlaktewater. De Vecht raakte in de negentiende eeuw zo vervuild dat er stroomafwaarts van Utrecht over een lengte van meer dan 20 kilometer geen vis meer kon leven. In de vroege twintigste eeuw verviel de Vecht tot een ‘open rotvijver’.

In den Haag werd besloten tot versterkte doorspoeling van de grachten met afwatering naar Delfland en een persleiding voor rioolwater naar de Noordzee. De persleiding kwam in 1917 gereed, en werd prompt mede benut door de Gist en Spiritusfabriek in Delft, die wekelijks 16 schepen met het vuilste afvalwater naar den Haag bracht. De lozingen door de persleiding gaven aanleiding tot veel klachten van de Scheveningse badgasten. Directeur Mom van het Rijks Instituut voor de Zuivering van Afvalwater vond het niettemin in 1951 onnodig dat het Haagse rioolwater werd gezuiverd. Mits de grovere bestanddelen werden gemalen, kon het, wat hem betrof, zo de Nieuwe Waterweg in. Maar, dat kwam er ook niet van. In Scheveningen bleef men tot ver in de jaren zestig last houden van ongezuiverd Haags rioolwater. In 1965 werd

uiteindelijk in den Haag begonnen met een rioolwaterzuiveringsinstallatie (plus zeer lange persleidingen naar zee).

Stervende vissen

De zegetocht van met water gespoelde rioleringen ging in Nederland vergezeld van een zeer beperkte zuivering van het rioolwater. Daarnaast groeiden de bevolking en de industriële lozingen. In 1970 loosden ongeveer de helft van de bevolking en een groot deel van de industrie ongezuiverd afvalwater. Het aantal inwoners was tussen 1900 en 1970 met ongeveer een factor 2,5 gestegen en het bruto nationaal product per hoofd met ongeveer een factor 6 gegroeid, terwijl de zuivering veel viezigheid doorliet.

Tot ruwweg 1970 was de oppervlaktewaterkwaliteit in grote delen van Nederland dan ook zeer slecht. In 1900 werd geconstateerd dat het viswater van de Watergraafsmeer zo vergiftigd was door de Amsterdamse gemeentelijke gasfabriek 'dat de visch die in het water wordt bewaard sterft'. Tezelfdertijd stierven massaal de glasaaltjes, die vanuit de Sargassozee naar Nederland waren gezwommen om zich hier voort te planten, in de Amsterdamse kades en grachten, die als open rioleringen functioneerden. In Twente werd er aan het begin van de twintigste eeuw veelvuldig in de kranten over geklaagd dat het water in de beken veelkleurig was en ongenadig stonk. Bij Sas van Gent was in 1900 tijdens de suikerbieten- en vlasrootcampagne het water zo verontreinigd dat 'de visch bij duizenden kwam bovendrijven'. In de wateren van Eindhoven, Helmond en Geldrop, 'zag men geen vischje meer, levend noch dood'. Oss had een riolering die loosde op een polder, 'waar het water moest versterven'. Bij het bezoek van de Commissaris van de Koningin in 1913 zagen de wateren in die polder er 'ellendig' uit. In de Groenlose Slinge 'kon geen vischje meer leven'. In Zevenbergen werd aan het begin van de twintigste eeuw drinkwater uit de haven gehaald. Daarop loosden suikerfabrieken en riolen. Geen wonder dat er in 1909 in Zevenbergen nog cholera heerste.

In 1928 verscheen een rapport van de Reggecommissie over het Twentse oppervlaktewater. Daarin werd geconstateerd: 'Het behoeft geen betoog, dat de uit de richting van Enschede komende beken, die in droge tijden vrijwel uitsluitend een groot deel van den inhoud der Enschedese riolen evenals een grote hoeveelheid afvalwater afkomstig uit de gemeente Lonneker afvoeren, in hevige mate verontreinigd zijn. De Waarbeek voor Hengelo heeft daar dan ook meer het karakter van een open riool, dan van een beek'. Plaatselijke bewoners protesteerden, en bestuurders ruzieden vele jaren over de vraag wie daar wat aan moest doen. Uiteindelijk werd besloten een rioolwaterzuiveringsinstallatie te bouwen in Enschede. Deze werd in 1942 geopend.

Halverwege de twintigste eeuw werden de Eijser- en de Selzerbeek in Zuid-Limburg door het Rijks Instituut voor de Zuivering van Afvalwater als 'goor en stinkend' omschreven. In 1961 noemde een artikel in Vrij Nederland de kwaliteit van het Zuid-Hollandse boezemwater 'weezinwekkend'. Bar en boos was tot ver in de jaren zeventig de toestand in het Veenkoloniale gebied en rond Groningen. Suiker- zetmeel- en

strokartonfabrieken zorgden in flinke delen van Groningen, Drenthe en Overijssel voor veel overlast. Eemskanaal en Winschoterdiep veroorzaakten rond 1900 grote delen van het jaar een 'ondragelijke stank' en vis kon er niet leven. In 1973 werden 'penetrante zwaveldampen' afkomstig uit de lozingen van de veenkoloniale industrie nog altijd over Stadskanaal geblazen. Wachtkamers van huisartsen zaten vol lieden 'met klachten over hoofdpijn en ademhalingsmoeilijkheden'.

Chemicaliën

Ook de chemicaliën in huishoudelijke producten zorgden voor grote problemen. Het meest in het ooglopend daaronder waren de aromatische sulfonaten die in wasmiddelen werden toegepast. Deze waren slecht afbreekbaar. Rioolwaterzuiveringen produceerden daardoor tot twee meter hoge schuimbergen.

In 1969 werd de situatie in de Rijn zo gekarakteriseerd:

Een spelevaart op Vader Rijn
Vermaakt ons onbedaarlijk.
Maar met een flinke scheut venijn
Wordt vader toch gevaarlijk'

De musical 'Met man en muis' van Annie M.G. Schmidt bevatte de tekst:

De maan schijnt op de bulderbaan
De maan schijnt door de gassen
Op de doje bleke buiken
Van de vissen in de plassen'.

Tussen het eerste voorstel voor een Nederlandse Wet op de Waterverontreiniging en de aanneming daarvan door het parlement in 1969 lag een eeuw. In 1870 werd voor de Rijn een verdrag gesloten dat de lozingen van chemicaliën moest tegengaan, maar dit bleef tot ongeveer 1970 in Nederland een dode letter. In 1885 kwam er een Zalmverdrag van de Rijnoverstaten, maar dit bleef geduldig papier totdat (na een groot ongeluk in de fabriek van Sandoz bij Bazel) in 1986 plechtig werd verklaard 'dat de zalm terug moet komen in de Rijn'. In 1950 besloten de Provinciale Staten van Noord-Brabant tot de oprichting van het zuiveringsschap de Donge onder meer om het hoofd te bieden aan de sterk vervuilende lozingen van de leerindustrie, maar dit schap kwam in zijn twintigjarig bestaan nauwelijks aan zuiveren toe.

Het tempo waarin zuiveringsinstallaties werden gebouwd, ging na 1970 omhoog, zij het aanvankelijk nog met mate. Tot ver in de jaren zeventig van de twintigste eeuw werden lozingen op de grote rivieren door veel Nederlandse overheden als onproblematisch gezien, 'omdat het water toch snel naar de (alles reinigende) zee werd afgevoerd'. Er was tot ver in de jaren 1970 een traditie van voorstellen om problemen op te lossen met 'smeerpipen' die afvalwater naar het zoute water moesten transporteren. West-Brabant wilde en kreeg een systeem van smeerpipen voor industrieel afvalwater, die het afvalwater naar de Westerschelde brachten. En

Groningen wilde een smeerpijp om het afvalwater van de industrie in de Dollard te dumpen. Ook het IJsselmeer werd aanvankelijk nog als een korte route naar de allesreinigende zee gezien. Aan de ongezuiverde lozing van Amsterdams rioolwater op het Buiten-IJ (deel van het IJsselmeer) kwam pas in 1982 een eind.

Effect van rioolwaterzuivering

Het onderliggende idee van de rioolwaterzuivering was aan het begin van de twintigste eeuw dat de riolering door 'iedereen' werd gebruikt voor wat men kwijt wilde, mits dat de leidingen niet verstopte. Het overgrote deel van het rioolstelsel diende mede de afvoer van neerslag. De zuiveringsinstallatie moest de in het rioolwater aanwezige afbreekbare stoffen zoveel mogelijk afbreken. Niet- en moeilijk afbreekbare stoffen werden door de rioolwaterzuiveringsinstallatie verdeeld over slib en oppervlaktewater. Daarnaast werd wel gebruik gemaakt van ontsmettings-technieken, zoals behandeling met chloor.

Dit concept is in de loop van de jaren slechts beperkt veranderd. Er zijn meer dan vroeger beperkingen op wat bedrijven in de riolen mogen lozen. Wel zijn er nog altijd bizarre fenomenen. Een voorbeeld daarvan was de lozing in 2009 van niet-afbreekbare stoffen door Thermphos (Vlissingen) via de rioolwaterzuiveringsinstallatie van Evides op de Westerschelde. Daardoor veranderde de hoeveelheid Thermphos-viezigheid niet, en werd ook nog eens de normale zuivering ontregeld.

Vergeleken met de installaties van de jaren 60 slagen de huidige inrichtingen voor rioolwaterzuivering erin meer afbreekbaar materiaal daadwerkelijk af te breken. Ook halen ze meer stikstof en fosfor uit het afvalwater.

Een belangrijk product van de zuiveringsinstallaties was en is slib. Dit is, chemisch gezien, zo vuil dat het, anders dan de vroeger opgehaalde uitwerpselen, ongeschikt is om als meststof in de landbouw te dienen. In arren moede wordt het slib nu veelal 'gestort' of verbrand. Na verbranding blijven assen over die zeer smerig zijn en daarom ook worden gestort. Een andere kant van de huidige afvalwaterzuivering is dan ook de praktische 'vernietiging' van belangrijke hulpbronnen zoals meststoffen.

Sinds 1970 is de kwaliteit van het oppervlaktewater in Nederland verbeterd. Voor een deel komt dat door verminderde stedelijke en industriële lozingen in eigen land, en voor een deel doordat de Rijn schoner is geworden. Dit laatste hangt nauw samen met de consternatie rond massale vissterftes door lozingen van de firma's Hoechst (1969) en Sandoz (1986). In 1971 waren er eveneens grootschalige vissterftes in de Rijn, ditmaal door zuurstofloosheid. En ook dat gaf aanleiding tot veel commotie. De spectaculaire vissterftes stimuleerden langs de Rijn de vermindering van lozingen door steden en fabrieken. Rijnstaten als Zwitserland en Duitsland hebben zich op dit punt nog meer ingespannen dan Nederland. De Rijn is fors opgeknapt, al is het Rijnslib nog altijd relatief vies. De waterkwaliteit van Maas en de Schelde is verhoudingsgewijs minder verbeterd dan die van de Rijn.

Vanaf ongeveer 1995 trad in grote delen van Nederland geen verbetering meer op van de waterkwaliteit. Door het op gang komen van waterzuiveringsactiviteiten is er nog wel enige verbetering te verwachten wat betreft het water van de Maas en de Schelde.

Industrieën gebruiken nu op ruime schaal wat ooit in het water gedumpte afvalstoffen waren. Afbreekbare organische stoffen die vroeger na lozing veel problemen gaven, belanden veel minder vaak dan vroeger via industrieel en stedelijk afvalwater in het oppervlaktewater. Als gevolg van de afgenomen stedelijke en industriële lozingen gaat het met de visstand nu beter dan in 1970. Dit voordeel heeft overigens ook een nadeel. Omvangrijke lozingen van afbreekbare organische stoffen laten meer dan vroeger dode vissen bovendrijven. Zo leidde een melkzuurlozing op de Linge door het bedrijf Purac in september 2007 tot 20 ton dode vis. Ook de ongewervelde dieren en de waterplanten doen het in het Nederlandse oppervlaktewater wat beter dan in 1970. Dat zijn overigens niet noodzakelijk dezelfde organismen als vroeger. De massale sterfte van ongewervelden in de Rijn als gevolg van een brand bij Sandoz in 1986 schiep bijvoorbeeld ruimte voor 'exoten' zoals de Aziatische mossel en de Kaspische moddergarnaal.

Probleemstoffen

Een groeiend probleem vormen de bestanddelen van geneesmiddelen, huishoud-chemicaliën, cosmetica en een serie betrekkelijke nieuwe chemische stoffen die door bedrijven worden gebruikt. Deze typen stoffen worden in grotere hoeveelheden en in grotere getale dan vroeger in het oppervlaktewater, inclusief aanlandige stukken zee, en het bijbehorende slib aangetroffen. De genoemde typen stoffen zijn nu gezamenlijk verantwoordelijk voor het merendeel van de giftigheid van het Rijnwater voor de organismen die in de rivier leven. Dit weerspiegelt dat de afvalwaterzuivering gebrekkig is.

De hoeveelheid probleemstoffen die via agrarische gronden de oppervlaktewateren bereikt, is eveneens gestegen. Voor een deel ligt dat aan de hoeveelheden metalen en fosfaat die in agrarische gronden nog altijd een stijgende lijn vertonen, waardoor de uitspoeling van deze stoffen toeneemt. Voor een waterverontreinigende stof als nitraat speelt tevens het toenemen van de frequentie van plensbuien een belangrijke rol. Door dergelijke buien spoelt een grotere hoeveelheid sterk met nitraat vervuild ondiep grondwater het oppervlaktewater in. Ook zijn nogal wat gronden nu zozeer met stikstofverbindingen verzadigd, dat zelfs bomen ze niet meer met een hoge efficiency uit het grondwater kunnen halen. De uitspoeling van fosfaat en nitraat wordt verder in de hand gewerkt door de afbraak van organisch materiaal. In Nederland is dat goed te zien aan het dunner wordende veenpakket. De afbraak van organisch materiaal, waaruit veen bestaat, wordt in de hand gewerkt door de veranderde waterstanden en door de sinds 1900 ongeveer verdubbelde hoeveelheid sulfaat in het oppervlaktewater. Daarnaast is de zuivering van fosfaten en stikstofverbindingen in het stedelijke en industriële afvalwater beperkt.

De concentraties van fosfaten en stikstofverbindingen in het oppervlaktewater van de landen rond de Noordzee liggen naar schatting een factor 20 tot 800 boven het natuurlijke niveau. De toevoeging van gebonden stikstof aan het water van de Noordzee is een wereldrecord: jaarlijks meer dan 7000 kilogram per vierkante kilometer. Dat is ook fors meer dan 40 jaar terug. Deze stijging is temeer opmerkelijk

omdat in de oceanen, vermoedelijk als gevolg van klimaatverandering, het nitraatgehalte een dalende trend vertoont.

De hoge belasting van het zoete oppervlaktewater met stikstofverbindingen en fosfaten heeft onder meer nadelige effecten op de kansen voor ondergedoken waterplanten, en op de vegetatie van oevers en moerassen. In sloten bevordert fosfaat, al dan niet samen met stikstofverbindingen, de kroosvorming, en in kanalen en meren de groei van cyanobacteriën (blauwgroene algen) en brasems. De sterke watervervuiling met stikstofverbindingen leidde er ook toe dat het verbod op de toepassing van fosfaat in wasmiddelen curieuze neveneffecten kreeg. De afname van de algengroei die samenhangt met de afname van fosfaat in het rivierwater, betekende dat meer stikstofverbindingen de Waddenzee konden bereiken. Daar namen de problemen met de overvoeding van het water dan ook juist toe, terwijl ze voor de Noord- en Zuid-Hollandse kust afnamen. Om de overvoedingverschijnselen in de kustwateren fors te reduceren, moeten zowel de lozingen van fosfaat als die van stikstofverbindingen sterk worden teruggebracht.

Een andere factor die bijdraagt aan de verontreiniging van het afvalwater wordt gevormd door afvalstoffen. Stoffen aanwezig in mijnsteen, dat onder meer in de uiterwaarden van de Maas is gedumpt, beïnvloeden de kwaliteit van het Maaswater. Bij de zinkfabriek in Budel zijn 'jarosietvelden'. Deze hebben hun weerslag op het water van de Dommel. Fosforslakken (van Thermphos in Vlissingen) en staalslakken worden onder meer in waterkeringen toegepast, en lekken van daaruit naar het oppervlaktewater. En verder zijn er talloze afvalstorten en toepassingen van assen en slakken uit verbrandingsinstallaties, van waaruit het oppervlaktewater van bezwaarlijke stoffen wordt voorzien.

De balans voor Nederland

De balans opmakend, kan men stellen dat veel wateren knap ongezond zijn voor veel waterorganismen. In de grote rivieren is het water nog altijd zo belast met giftige stoffen dat meer dan 50% van de organismen die van nature daarin thuishoren, daar schade van ondervinden. In het Noordzeekanaal en in de wateren van Zuidoost-Brabant is dat net zo. Slechts twee waterschappen in Nederland kunnen bogen op een koperverontreiniging van het oppervlaktewater die niet de bestaande norm voor het maximaal toelaatbare risico overschrijdt. En bij de bepaling van dit maximaal toelaatbare risico is er geen rekening mee gehouden dat er andere stoffen in het water kunnen zijn die de schadelijke werking van koper versterken. Veel sloten lijken in het najaar door overmatige kroosvorming op een soort erwtensoep, waarin geen vis kan zwemmen. Ook de kans op infecties van amfibieën, zoals padden, neemt door de overvloedige aanwezigheid van voedingsstoffen toe.

In de Maas treden op ruime schaal sekseveranderingen en verminderde vruchtbaarheid op bij dieren door de overmatige aanwezigheid van hormoonverstorende stoffen, zoals PCBs, PBBs, HCB, DDT, ftalaten en kunstmatige muskusgeuren. De grote rivieren bevatten op veel plaatsen zorgelijke concentraties koper, nikkel, zink, cadmium, kwik,



lithium, selenium en borium. Gezwellen komen bij riviervis nog altijd in verhoogde mate voor. Bestrijdingsmiddelen zorgen nog steeds voor aanzienlijke schade aan het waterplanten- en dierenleven. In gebieden als Delfland en de Flevopolders is die schade zelfs zeer groot. Het Markermeer heeft een zo slechte waterkwaliteit dat het ecosysteem daarvan vergaand verpieterd is. En in de uiterwaarden hebben veel plantensoorten die daar eigenlijk thuis horen het, door de slechte samenstelling van het afgezette slib, buitengewoon moeilijk.

Daarbij komt dat de kans op weinig water in de rivieren gedurende de zomers door klimaatverandering toeneemt. Dat betekent dat er in de zomer perioden kunnen zijn, waarin de concentraties vervuilende stoffen sterk oplopen. Zo zijn bijvoorbeeld de (keuken)zoutlozingen sterk gedaald, maar het ziet er desondanks naar uit dat de zoutconcentraties in de Rijn tijdens toekomstige zomers de maximaal toelaatbare grens van 150 milligram per liter zullen overschrijden.

Lakse overheid

De nieuwe Europese Kaderrichtlijn Water dwingt Nederland tot verbetering. En er zijn ook andere redenen om het waterbederf te beperken, zoals de noodzaak het verbruik van natuurlijke hulpbronnen te verminderen. Zo wordt bijvoorbeeld de beschikbaarheid van fosfaat op afzienbare termijn problematisch. Fosfaat wordt gewonnen uit fosfaaterts waarvan maar een beperkte hoeveelheid aanwezig is. Bovendien wordt het fosfaaterts dat kan worden gewonnen, allengs 'viezer' door hogere concentraties vervuilende stoffen zoals cadmium en uranium. Dit maakt het aanbevelenswaardig fosfaat zoveel mogelijk te hergebruiken. Nederlandse overheden hebben zich tot nu toe niets aangetrokken van de op termijn dreigende krapte in de fosfaatvoorziening. Ze hebben zich wel ingespannen om de termijn waarop het water volgens de Kaderrichtlijn Water verbeterd moet zijn vooruit te schuiven en de verbetering zo klein mogelijk te houden. Het opschonen van water door ingrijpende maatregelen 'aan de bron' wordt welhaast gemeden als de pest. Lekke rioleringen en overstorten zorgen nog steeds voor aanzienlijke ongezuiverde lozingen. Zo leidde het overstorten van ongezuiverd rioolwater na hoosbuien in juli 2010 tot een forse vissterfte. Ook worden technieken die de efficiency verhogen waarmee zuiveringsinstallaties ongewenste stoffen uit het afvalwater kunnen halen, zoals membraan-technologie, nauwelijks toegepast. De drinkwaterbedrijven hebben al gewaarschuwd dat door deze laksheid, en de bijbehorende noodzaak meer geld uit te moeten geven voor de zuivering van drinkwater, de prijs van drinkwater met 15% zal stijgen. En reken maar dat niet de vervuiler maar de vervuilde daarvoor moet betalen.

Een fundamentele herziening van de omgang met stoffen die nu het riool ingaan, staat niet op de politieke agenda. Het heeft met name in de jaren zeventig en tachtig niet ontbroken aan pogingen om op te schonen door maatregelen 'aan de bron', zoals schonere praktijken en gescheiden inzameling. Deze hebben echter tot nu toe slechts bescheiden resultaten geboekt. Wel worden er sinds kort flink wat experimenten gedaan met 'nieuwe sanitatie', waarbij wordt geprobeerd urine en poep gescheiden te verzamelen en de daarin aanwezige plantenvoedingsstoffen te hergebruiken. Zweden en China lopen daarbij voorop, maar ook in Nederland (onder meer in Utrecht, Sneek,

Apeldoorn, Deventer, Meppel) zijn experimenten aan de gang. In de experimenten komen flink wat kinderziekten van deze aanpak naar boven. Vooral kinderen vinden de nieuwe sanitatie lastig, en verstoppingen van pijpen komen voor. Maar er wordt flinke voortgang geboekt met innovaties om deze kinderziekten te bestrijden. Aan de volgende stap, de agrarische toepassing van de meststoffen in de apart verzamelde uitwerpselen, zitten nog haken en ogen. Een daarvan is de aanwezigheid in de uitwerpselen van slecht of niet afbreekbare door de mens gemaakte stoffen, variërend van het geneesmiddel carbamazepine tot chloordioxinen.

De balans wereldwijd

Vervuiling van het zoete oppervlaktewater is niet alleen een probleem van Nederland. Sommige rivieren en meren hebben van nature te hoge concentraties bezwaarlijke stoffen, maar in overwegende mate is de vergiftiging van rivieren en andere oppervlaktewateren dezer dagen mensenwerk. De mijnbouw neemt sterk toe en dat heeft zijn weerslag op het oppervlaktewater. Zuur mijnwater, overwegend afkomstig van kolen-, ijzer- en kopermijnen, veroorzaakt nu wereldwijd ernstige schade in ongeveer 20 000 kilometer rivieren en 70 000 hectare meren. Ook belanden vanuit mijnafval veel zware metalen en andere bezwaarlijke stoffen (zoals arsenicum- en cyanideverbindingen) in het water.

Van al het huishoudelijke afvalwater wordt wereldwijd maar 15% gezuiverd. En ook het overgrote deel van het industriële afvalwater gaat zonder behandeling het oppervlaktewater in. In Afrika beneden de Sahara vindt nauwelijks reiniging van afvalwater plaats. In Zuid-Amerika en Azië wordt thans minder dan 10% van het rioolwater gezuiverd. En voor zover er zuivering is, laat deze vaak te wensen over. Van het in New Delhi geproduceerde rioolwater gaat de helft via zuiveringsinstallaties en een deel van deze zuiveringsinstallaties functioneert niet goed. Langs de Ganges was er sinds 1985 een, ondermeer door de Nederlandse regering ondersteund, project voor afvalwaterzuivering. Veel van de in dat kader gebouwde installaties functioneren echter bar slecht, zodat het Gangeswater ongeschikt is voor het 'van God gegeven' doel: reinigen.

In grote delen van Azië, Zuid-Amerika en Afrika is de vervuiling van het oppervlaktewater de afgelopen decennia sterk toegenomen. Vaak ligt de vervuilingsgraad daarvan nu op het niveau dat gangbaar was in Nederland gedurende de eerste helft van de twintigste eeuw. En soms is de vervuiling nog een stuk erger. Rivieren als Ganges (India), Yodo, Nikko, Tonbei en Asuwa (Japan), Chao Prada (Thailand) en Cai (Brazilië) bevatten - vergeleken met Nederlandse wateren - extreme hoeveelheden erfelijk materiaal veranderende stoffen. China spant qua oppervlaktewatervervuiling thans wereldwijd de kroon.

Kwaliteit grondwater

Een groot deel van het Nederlandse grondwater is thans uitgesproken vies. Van nature is het Nederlandse grondwater meestal 'schoon'. In de Nederlandse zandgebieden voldeed het diepere grondwater voordat de mens een belangrijke factor werd, veelal aan de huidige normen voor goed drinkwater. In het klei- en veengebied was dat niet



altijd het geval. De concentratie arsenicum kon in grondwater bijvoorbeeld van nature hoger liggen dan nu voor menselijke consumptie wenselijk wordt geacht. Voor een groot deel komt dat door de dumping van van alles en nog wat op en in de bodem. Ook het vieze oppervlaktewater heeft aanmerkelijk bijgedragen. Stoffen daaruit zijn op ruime schaal het grondwater binnengedrongen.

In Nederland hebben de bewoners voor een sterke verslechtering van de grondwaterkwaliteit gezorgd. Dat is in de steden al lang zo. In 1872 werden de veertig stadspompen van Breda bemonsterd, die grondwater oppompten. Naar de toenmalige soepele normen had maar één van de veertig goed water. Eveneens in 1872 kon worden vastgesteld dat viezigheid uit de Leidse stadsgrachten opdook in de drinkwaterputten aan de wal. In 1900 werd in Eindhoven het door grondwater gevoede putwater bemonsterd. Naar de ruime normen van die tijd was de kwaliteit van dit water in 40 van de 44 genomen monsters slecht. Sindsdien is de kwaliteit van het grondwater in steden, chemisch gezien, vies gebleven. Lekkages van riolen, infiltratie van vervuild oppervlaktewater en directe toevoeging aan de bodem zijn daarvoor verantwoordelijk.

Lekkages vanuit riolen hebben een aanzienlijke omvang. In een goed onderhouden stedelijk rioolstelsel is de lekkage ongeveer 1%, maar in veel Nederlandse steden is deze aanmerkelijk groter. De afgelopen tientallen jaren zijn vanuit lekke riolen aanzienlijke hoeveelheden moeilijk afbreekbare geneesmiddelen, cosmeticabestanddelen (zoals muskusgeuren) en gefluorideerde verbindingen in het grondwater beland. Ook de hoeveelheid borium in het grondwater is sterk verhoogd. Dit borium danken we aan perboraat in wasmiddelen. Boort men in de bodem, dan kan men in het stedelijk grondwater de industriële revolutie zo ongeveer zien langskomen. Voor de drinkwaterbereiding is het stedelijke grondwater dan ook nog steeds ongeschikt.

Op het platteland is de grondwaterkwaliteit vergeleken met 1900 aanmerkelijk verslechterd. Voor een deel komt dat vanwege de vele afvalstorten in het 'buitengebied'.

Wie in het agrarische deel van Nederland een grondboring doet, vindt verder veel landbouwchemicaliën, zoals nitraat en bestrijdingsmiddelen. De laatste decennia vertoont het gehalte fosfaten in ondiep grondwater een stijgende trend. Ongeveer 56% van de agrarische gronden in Nederland is nu 'fosfaatverzadigd': het grondwater daarin bevat meer dan 0,15 milligram fosfor per liter. Aan de andere kant is in het agrarische gebied het na 1990 gevormde grondwater op het punt van nitraat en sulfaat schoner dan het grondwater dat werd gevormd in de jaren zeventig en tachtig. Zelfs het grondwater onder zandige natuurgebieden is nu vaak vies. Dat komt vooral door bezwaarlijke stoffen die vanuit de lucht vallen.

2.2 Vies zeewater

Het volume zout zeewater is veel groter dan de hoeveelheid zoet water, niettemin ontkomen ook de zeeën niet aan vervuiling. De eerder genoemde ring die Polykrates in zee gooide, is gevolgd door van alles en nog wat. Van de door de mens geloosde

hoeveelheid kooldioxide is bijvoorbeeld ongeveer 30% in de oceanen beland. Het gaat overigens niet alleen om stoffen. Van de toegenomen warmte die samenhangt met de opwarming van het klimaat is bijvoorbeeld ongeveer 84% in de oceanen terecht gekomen, met als gevolg dat de bovenlaag van de oceanen (zeker tot 700 meter diepte) de afgelopen decennia is opgewarmd. Het gecombineerde effect van deze opwarming en de gestegen CO₂-concentratie in het zeewater komen aan de orde in hoofdstuk 7.

Ook het lawaai in de zee is sterk toegenomen. Vooral schepen dragen daaraan sterk bij. Dit bemoeilijkt de communicatie tussen walvissen, dolfijnen, zeehonden, zeeleeuwen en een aantal vissoorten.

Plastic

De aan de zee toegevoegde afvalstoffen zijn goeddeels niet met het oog waar te nemen. Op een aantal plaatsen is er wel wat van te zien. Op het eiland Torcello, nabij Venetië, kan de toerist een regelmatig droogvallende baai bewonderen, die bezaaid is met weggeworpen plastic spullen. Plastic vervalt in zee geleidelijk tot minder opvallende kleine stukjes. In de zeeën zijn elf cirkelstromingen en deze ontpoppen zich in toenemende mate als vuilnisbelten voor goeddeels zichtbaar plastic. In het noorden van de Atlantische Oceaan stikken jaarlijks meer dan 100 000 zeezoogdieren doordat ze verstrikt raken in grote stukken plastic afval zoals stukken visnet.

Het merendeel van het plastic dat thans in de zeeën rondzwerft, is kleiner dan een vierkante millimeter en is niet (goed) te zien. Op Hawaï treft men in het strandzand per vierkante meter 20 000 tot 25 000 stukjes plastic van kleiner dan één vierkante millimeter aan. Flinker hoeveelheden plastic worden verder aangetroffen in de ingewanden van wormen, zeevogels en zeezoogdieren. Soms lopen deze hoeveelheden zo hoog op dat het spijsverteringskanaal daardoor verstopt raakt. Daarbij komt dat de kleine stukjes plastic stapelplaatsen zijn voor verontreinigende stoffen. In kleine in de zee drijvende stukjes plastics zijn concentraties van polychloorbifenylen aangetroffen die een factor miljoen liggen boven de concentraties in de zee. Zelfs als er vanaf morgen geen plastic meer in zee wordt gegooid, dan blijft het probleem van plasticverontreiniging nog lang aanhouden. De levensduur van stukjes plastic in de zee is vermoedelijk honderden tot duizenden jaren.

Andere probleemstoffen

En plastic is niet de enige verontreinigende stof. Zelfs van stoffen die nauwelijks worden toegepast, zijn soms opmerkelijke concentratieveranderingen in zeewater aangetroffen. Een voorbeeld daarvan is osmium, een stof die in bescheiden hoeveelheden wordt toegepast in autokatalysatoren. Vooral via de uitstoot door metaal-smelters is de concentratie osmium in het water aan de oppervlakte van de oceanen fors toegenomen

De lozingen van meststoffen op zee zijn formidabel. Zo spoelt over de wereld jaarlijks naar schatting 8,5 tot 9,5 miljoen ton fosfaat de zeeën in. Het fosfaat draagt bij tot een toename van de kans op algenbloei die het kustwater zuurstofloos kan maken. Een tekort aan zuurstof treft thans wereldwijd meer dan 245 000 vierkante kilometer kustwater. In de zeeën is verder sprake van de ophoping van diverse probleemstoffen



door organismen. Tot de ophopende stoffen behoren zware metalen, zoals kwik, koper, lood en cadmium, en gechloreerde en gebromeerde koolwaterstoffen. De probleemstoffen komen deels met het van de continenten afkomstige zoete water in de zeeën terecht. Ook lozingen van schepen en al dan niet verongelukte boorplatforms, en rechtstreeks in zee gedumpte stoffen, hebben een aandeel. Een andere belangrijke bron is de luchtvervuiling. Deze draagt onder meer belangrijk bij aan de belasting van de zeeën met zware metalen, zwavel- en stikstofverbindingen, polycyclische aromaten en gechloreerde en gebromeerde verbindingen.

Nu al zijn de hoeveelheden van een aantal verontreinigende stoffen zo hoog opgelopen dat ze algen en van de zee afhankelijke dieren plaatselijk nadelig beïnvloeden. Er zijn bijvoorbeeld sterke aanwijzingen dat in delen van de Indische Oceaan algen worden geschaad door te hoge concentraties koper. In de Rode Zee en de Golf van Mexico hebben olielozingen een negatief effect op het zeeleven. In de Waddenzee en voor de Nederlandse kust is de wulk gedecimeerd door organotinverbindingen. Dieren die bovenaan in de voedselketen staan zoals zeehonden, bruinvissen, ijsberen en zee-otters, hebben het meeste last van de vervuiling. In het noorden van de Atlantische Oceaan bevat het vet van bruinvissen soms zoveel gechloreerde koolwaterstoffen, dat het aan de criteria voor chemisch afval voldoet, en dezelfde stoffen veroorzaken bij ijsberen stoornissen in de voortplanting. Ook aan de voortplantingsstoornissen bij een deel van de vissen en de ongewervelde dieren op de Noordzee is te zien dat ze worden blootgesteld aan aanmerkelijke hoeveelheden hormoonverstorende stoffen. Daarnaast draagt de zeewatervervuiling bij aan een van uit gezondheidsoogpunt te hoge inname van kwik en gechloreerde koolwaterstoffen door menselijke liefhebbers van 'zeebanket'.

2.3 Beter water

Sinds jaar en dag bestaat de opvatting dat bepaalde watervarianten beter voor de gezondheid zijn. De geschriften van Hippocrates en Galenus, die lange tijd een grote invloed op de westerse geneeskunde hadden, kennen diverse watertherapieën. In de negentiende eeuw kreeg het therapeutische gebruik van water nog een extra impuls van de Duitse waterenthousiasten Sebastian Kneipp en Vincent Piessnitz. En hoewel er voor de vochtvoorziening thans meestal niets boven het gewone kraanwater gaat, is er een traditie waarin het drinken van gewoon water minnetjes of zelfs een opoffering is.

De vroege Christelijke kluzenaars dronken 'uit versterving' geen wijn maar water. Maar er is ook 'beter' water. Water uit nader genoemde bronnen werd door de Romein Vitruvius net voor het begin van onze jaartelling aanbevolen om van sterke drank af te komen of nierstenen te vergruizen, dan wel als goed voor de maag. Sommige bronwaters hielpen volgens hem bij het vormen van een mooie zangstem. De Romeinse schrijver Plinius meldde bronnen waarvan het water de bevruchting bevorderde, een miskraam tegenging en het geheugen verbeterde. Zeewater was volgens hem geschikt tegen verstopping.

Zwavelrijk water

Aan zwavelrijke (mineraal)waters wordt vanaf ongeveer de derde eeuw in China een genezende werking toegeschreven. Water met zwavel werd geschikt bevonden tegen aandoeningen van de vrouwelijke geslachtsorganen, puisten, 'slecht bloed' en kaalheid. In de achtste eeuw werd het zwavelrijke water in China ook nog genezend geacht bij zweren en artritis. Tevens circuleerde in het oude China een verhaal over het land van de langharige blanke vrouwen die zwanger werden van het baden in zwavelrijk water.

Het water uit de Engelse stad Bath werd in de elfde eeuw onder meer geschikt geacht om lepra te genezen. De bijbehorende legende maakt gewag van koning Bladud, die als prins met lepra van het hof werd verbannen. Hij genas in Bath. Opgravingen laten zien dat het water in Bath door de pre-Romeinse Kelten waarschijnlijk als heilig werd beschouwd. In de Romeinse tijd waren de bronnen aan Sulis Minerva gewijd.

In het middeleeuwse West-Europa werden er ook grappen over 'beter' water gemaakt. In een twaalfde-eeuwse levensbeschrijving van Merlijn (*Vita Merlini*) komen bijvoorbeeld bronnen voor waarmee men een toorts kan ontsteken, dan wel alles kan vergeten.

Mineraalwater

De zegeningen van mineraalwaters voor de gezondheid werden in Europa vanaf de zestiende eeuw breed uitgemeten. Dat sloeg aan. Veel Italianen met nierstenen spoedden zich naar Anagi. Het bronwater daar zou nierstenen op buitengewone wijze laten verdwijnen. In 1556 reisden tienduizenden, waaronder veel aristocraten, naar het Duitse Bad Pyrmont om daar 'gezond' mineraalwater uit een lokale bron tot zich te nemen. Daarna daalde de belangstelling, maar de achttiende-eeuwse Pruisische koning Frederik de Grote dronk nog altijd elke morgen een glas water uit Bad Pyrmont.

Spa aan de Maas was in de zestiende eeuw vermaard. Louise de Colligny, de vierde echtgenote van Willem van Oranje, Vader des Vaderlands, kuurde er. Koningin Elizabeth I van Engeland frequenteerde vanaf 1572 de bronnen van Bath, en 'had daar elk jaar een bad of dat nu nodig was of niet'. In 1597 nam het Engelse parlement een wet aan die toegang tot het mineraalwater van Bath gratis maakte voor 'zieken en armlastigen'.

De Franse koning Hendrik IV benoemde aan het begin van de zeventiende eeuw zijn chef-arts tot opperhoofd van de Franse bronnen en de bijbehorende badgelegenheden. Deze trokken de betere standen. De beroemde brievenschrijfster madame de Sevigné bezocht in de zeventiende eeuw Vichy om van haar reuma te genezen. De Russische tsaar Peter de Grote streek neer in Spa. De ijzerrijkste bron daar is nog altijd naar hem vernoemd.

De echtgenotes van de Engelse koningen Charles II, James I en James II bezochten Bath om door mineraalwater de kans op zwangerschap te vergroten. Een anoniem pamflet uit 1714 veronderstelde dat het beweerde gunstige effect van het badwater in



Bath op de vruchtbaarheid alles van doen had met de wellust van de aanwezige jonge dokters. Het water van Bath werd toen onder meer heilzaam geacht tegen loodvergiftiging, waterzucht, verlamming en reuma. Een achttiende-eeuwse gast meldde dat hij door de dokters van Bath in een week van meer ziekten was genezen dan hij in zijn hele leven had gehad. In Londen en omgeving kwamen er rond genezende bronnen tuinen voor beter gesitueerden, waar men het drinken van beter water met netwerken kon verenigen.

Vanaf de zeventiende eeuw werd veel aandacht besteed aan de wetenschappelijke basis voor de heilzame werking van mineraalwater. De belangrijkste theorie was dat het heil zat in 'de elastische minerale vloeistof' of 'de geest' die in het mineraalwater aanwezig is. In hedendaagse termen betekent 'de geest': de gassen die zijn opgelost of de bubbels. De genezende werking van het zoute mineraalwater in Halle werd in het bijzonder toegeschreven aan de aanwezigheid van lood, dat een reinigende werking zou hebben. Zodoende had dit water 'veel succes' als tegengif en voor de zuivering van longen, lever, nieren en milt.

Hoge gasten en mindere lieden

De negentiende-eeuwse keizerin Eugénie bezocht één van de Franse kuuroorden zo vaak, dat dit naar haar is vernoemd: Eugénie-les-Bains. In 1830 werden de Franse spa's bezocht door ongeveer 30 000 rijke lui en aan het eind van de negentiende eeuw waren er tien maal zoveel bezoekers. De beroemde spa Vichy legde zich toe op leveren ingewandsklachten en in de jaren 1890 werd het kuren met Vichy-water tevens aangeprezen tegen verslaving aan opiaten. Ook de Franse koloniën kregen hun spa's. In het kuuroord Antsirabe (Madagascar) kon men zich in Frankrijk wanen. Baden Baden kreeg in 1863 de keizers van Frankrijk, Rusland en Oostenrijk te gast. In Bad Pyrmont liep het aantal 'kuurgasten' weer op: van 1424 in 1800 tot ongeveer 19 000 in 1900. De chef arts van Bad Pyrmont, Menke, gaf een handboek uit voor de algemene en speciale balneotherapie (mineraalwatertherapie). De Oostenrijkse keizerin Elizabeth (bij film liefhebbers beter bekend als Sissi) spendeerde een groot deel van haar tijd in kuuroorden als Kissingen, Aix les Bains, Geneve, Territet, Karlsbad, Nauheim en Gastein. En de Amerikaanse president Ulysses S. Grant ging vaak kuren in Cambridge Springs (Pennsylvania).

Ook mindere lieden bezochten de kuuroorden. In Bad Pyrmont zocht een aanzienlijke groep in de buurt woonachtige boeren en boerinnen hun heil bij het lokale mineraalwater. Sommige boerenvrouwen hadden de jaarlijkse tocht naar een kuuroord zelfs laten vastleggen in hun huwelijkscontract. Tot de helft van de negentiende eeuw was het deze boerenlui overigens verboden om over de beboomde hoofdstraat (Hauptallee) te flaneren of te dansen in de lokale balzaal.

Specialisatie

Aan het begin van de twintigste eeuw ging de radioactieve uitwaseming van bronnen in kuuroorden als gezond gelden. Er verscheen onder meer in de Verhandelingen van de Keizerlijke Academie van Wetenschappen te Wenen een vergelijkende studie over

deze uitwaseming in kuuroorden als Mariënbad en Karlsbad. De Mühlbrunnen in Karlsbad (nu Karlovy Vary) wasmede het best uit. Inmiddels is duidelijk dat de uitwaseming radon bevat en dat inademing daarvan de kans op longkanker kan vergroten.

Ook andere aspecten van mineraalwaterbronnen werden de hemel in geprezen. Veel Franse Universiteiten hadden leerstoelen medische hydrologie en de Franse spa's kregen hun eigen specialismen. Mont Dore specialiseerde zich op astma, Vichy op maagdarmklachten, Evian en op nier- en hartvaatziekten en La Bourbole op ademhalingsklachten en huidziekten, Sallins-Moutiers op leverziekten, Aix-les-Thermes op luchtwegklachten, Divonne op zwakke zenuwen en Brides-les-Bains op overgewicht.

In 1938 bezochten 500 000 Fransen een kuuroord met mineraalwater. In Duitsland dienden de kuuroorden vaak voor alle ziekten, maar was er ook enige specialisatie. Bad Nauheim richtte zich bijvoorbeeld in het bijzonder op hartvaatziekten. Frankfort kreeg een instituut voor de balneologie (medische waterkunde). Baden moesten volgens de aldaar opgeleide balneologen worden gebruikt om een 'nieuw vegetatief evenwicht te bereiken'.

In het ziekenfonds

Na de Tweede Wereldoorlog kwam het kuren met mineraalwater in de ziekenfondspakketten van Frankrijk, Duitsland, en Italië. De Universiteit van München kreeg in 1951 een instituut voor balneologie. In 1992 bezochten 2,73 miljoen Duitsers een kuuroord met mineraalwater, in Italië 1,8 miljoen. In Frankrijk trokken de spa's dat jaar 640 000 bezoekers, waarvan 90% op kosten van het ziekenfonds. In Engeland daarentegen daalde het aantal bezoekers van spa's tot 3500 in 1992. Een belangrijke factor daarbij was de opstelling van de National Health Service, die in 1969 verklaarde dat het spawater geen geneeskundig nut heeft. Nederland is qua spa's niet ver gekomen. Het Groningse Nieuweschans heeft in 1989 een kuuroord opgericht. Dit benut zout water van honderden meters diepte waarin 'veel metalen' zouden zitten en streeft naar de eretitel Bad Neuschanz. En het Amsterdamse Bos heeft een Spa Zuiver.

In Duitsland is het moeilijk om iemand op leeftijd te vinden die niet 'gekuurd' heeft met mineraalwater. In België is er Spa. Een Flash Beauté behandeling daar kost 59 euro en voor 60 euro kan je bovendien 'herbronnen' door 'drie energiestromen per sessie te laten verbinden'. Italië heeft ongeveer 300 kuuroorden met mineraalwater en Duitsland 260. De Verenigde Staten hebben er rond de 10 000.

Voor de bemiddelden heeft het kuren in mineraalwater recent een sterke extra impuls gekregen. Men hoeft niet alleen in een bad te liggen, maar kan ook een waterval-massage krijgen van een zevenkoppig doucheapparaat en een ginko biloba elixir drinken uit een champagneglas. Desgewenst kan men zijn aura laten fotograferen, zich 'op Koreaanse wijze' laten schuren met gemalen jade, de geest laten reinigen met turquoise klei naar oud Hopi-Indiaans recept, of de huid laten hydrateren met lers mos.



Voorts mogen in een flink aantal kuuroorden ook 'de kids' van de baders meekomen, zodat hun ouders die ook eens in een ontspannen omgeving zien. De kinderen worden voor deze gelegenheid niet alleen in het water gezet, maar desgewenst ook in de aardbeienpasta. In de Amsterdamse Spa Zuiver kon men in de zomer van 2010 genieten van een chocoladepakking en een fruity-peel.

Flessenwater

Van de zegeningen van mineraalwater kan men ook profiteren door er elders van te drinken. Vanaf de zestiende eeuw wordt in het Belgische Spa mineraalwater gebotteld, en in de zeventiende eeuw werd gebotteld water uit Bath geleverd aan Londenaren. Het gebruik van flessenwater bleef aanvankelijk bescheiden. Vanaf de achttiende eeuw komt in Europa het drinken van 'gezonde mineraalwaters' uit de fles in de mode. Medische tijdschriften besteedden daar toen veel aandacht aan. Het minste dat deze mineraalwaters geacht werden te doen, met name als ze waren voorzien van koolzuurbelletjes, was het oplossen van nier- en blaasstenen. Dat was te optimistisch, en merkwaardig genoeg was er in de medische tijdschriften geen sprake van de noodzaak veel water te drinken om nier- en blaasstenen te voorkomen. In de negentiende eeuw werd er 'afkoelend' mineraalwater uit de fles gedronken tegen malaria (koorts). Tussen de wereldoorlogen en ook in de eerste decennia daarna was het drinken van radioactieve mineraalwaters een grote mode. Grootverbruikers van dit soort mineraalwater zijn aan stralingsziekte gestorven.

Italianen drinken nu het meeste mineraalwater. Ze slobberen hoofdelijk ongeveer 184 liter mineraalwater per jaar. België staat op de zesde plaats met 148 liter per hoofd. In Nederland wordt jaarlijks per persoon ongeveer 18 liter gedronken. De consumptie van mineraalwater groeit. Voor een grote groep jongeren is een plastic fles mineraalwater in de zomer een ongeveer even essentieel accessoire als een mobiele telefoon. In lijn daarmee stijgt de omzet van verpakt water deze eeuw wereldwijd jaarlijks met ongeveer 10%. In geld uitgedrukt, wordt er nu over de wereld jaarlijks voor ruim \$35 miljard dollar aan gefleest water afgezet. Om de pret daarvan te vergroten, brengt de firma Spa 'geinige' dan wel 'vette' rode flesjes op de markt.

Lege plastic flessen

De bijbehorende hoeveelheid op straat rondslingerende lege plastic flessen heeft het karakter van een vloedgolf. Producenten van mineraalwater en detaillisten haten namelijk retourflessen-met-statiegeld. In Nederland moet dat kunnen. Elders is de opwinding groter. De Vereniging van Burgemeesters in de Verenigde Staten berekende dat voor de in de Verenigde Staten verbruikte mineraalwaterflesjes 17 miljoen vaten olie nodig waren en kwam in 2008 met een speciale set maatregelen om het gebruik van kraanwater te bevorderen. Chicago legde bijvoorbeeld een belasting van vijf dollarcent op elke fles mineraalwater die binnen de stadsgrenzen werd verkocht. In 2009 werd het stadje Bundaroon (New South Wales, Australië) de eerste plaats ter wereld waar flessen mineraalwater in de ban werden gedaan.

Nieuwe vormen van aanbod verruimen intussen de consumptiemogelijkheden voor mineraalwater. Op heel wat kantoren staan doorzichtige plastic 20 liter vaten met mineraalwater, waarin gedurig wordt geroerd. Het beperkte in de wetenschappelijke vakpers gepubliceerde onderzoek naar de bacteriologische kwaliteit van dit soort water laat zien dat deze minder is dan van kraanwater.

Met mineraalwaters wordt in toenemende gesleept. De Finse firma Nord Water bottelt flessen water voor de markt in Saudi-Arabië. In Amerika wordt op grote schaal mineraalwater ingevoerd uit Fiji - over een afstand van 9000 kilometer. Dit mineraalwater uit het tropenbos zou 'niet met de mens in contact zijn geweest', en wordt verkocht in vrolijk met tropische bosmotieven beschilderde plastic flessen. O18 wordt aangeprezen als het natuurlijkst gezuiverde water op aarde, en zou in het bijzonder goed zijn voor de huid. O18 kan dankzij het Internet uit Australië worden aangesleept. Uit Hawaï is er aanvoer van Kona Deep, uit de diepste drinkwaterbron ter wereld. Het zou ongeveer 1000 meter diep in de oceaan nabij Kona Hawaï geput worden, en vrijwel geen bacteriën of vuil bevatten. Na ontzilting zou Kona Deep 'rijk zijn aan natrium en elektrolyten' en 'met aloha worden gebotteld'.

Dure illusies

De beweringen over de redenen waarom mineraalwater beter is, worden verruimd. Zo is er aanbod van 'gezonde' mineraalwaters 'met extra zuurstof'. Dat is curieus want om zuurstof binnen te krijgen, gebruikt men de luchtwegen en niet het spijsverteringskanaal. Het mineraalwater Au le Cadeau zou gouddeeltjes bevatten die rugklachten verhelpen. Wil je extra veel geld kapot gooien, dan kan je Au le Cadeau aanschaffen in flessen met de vorm van de Eiffeltoren. Bepaalde goudpreparaten worden als paardenmiddel gebruikt tegen ernstige vormen van reuma, maar Au le cadeau tegen rugklachten is waarschijnlijk niet beter dan een nepmiddel. Het vermoedelijk chiqueste mineraalwater is thans BlingH₂O uit Tennessee. Dit wordt voor \$552 per doos van 24 'babyflessen' aan de mens gebracht.

Bij dit alles passen Internationale Waterproefwedstrijden, compleet met de beroemde 'watermeester' Arthur von Wiesenberger. Volgens deze meneer moet het mondgevoel van goed mineraalwater 'licht' zijn, en de nasmaak 'naar meer mineraalwater smaken'.

Voor het na dit alles broodnodige leedvermaak heeft de firma Coca Cola gezorgd. Aan de overkant van de Atlantische Oceaan verkoopt deze firma onder het merk Dasani water, volgens de reclame 'levend water', in gestileerde blauwe flessen van een halve liter. Aan de kassa betaal je daar ongeveer anderhalve dollar voor. In 2004 werd Dasani in Engeland op de markt gebracht. Het gefilterde kraanwater betrokken bij de firma Thames Water, dat als Dasani werd verkocht, bevatte meer bromaat dan van overheidswege was toegestaan. Toen dat werd ontdekt, ging de Dasani in Europa roemloos ten onder.

Dasani is niet het enige geval van opgeklopt water. In 2002 bleek dat 'puur gletsjerwater' afkomstig was uit de kraan. In 2007 werd in Japan een bende opgerold die mineraalwater maakte van kraanwater onder de toevoeging van badzout. En in 2009



bleek dat een flink aantal Nederlandse caféhouders nog slimmer waren. In plaats van het gevraagde Spa water, serveerden ze kraanwater – wel tegen de prijs van Spa water natuurlijk.

Nep is duur en exotische nep zeer duur, maar ook het goedkoopste, en niet van nepaanprijzingen voorziene, mineraalwater is nog altijd prijzig. Je betaalt er meer dan 200 maal zoveel voor als voor kraanwater. Chique mineraalwater is al gauw 10 000 keer zo duur als kraanwater.

2.4 Bovennatuurlijk water

Nog krachtiger dan mineraalwater werkt bovennatuurlijk water. Bovennatuurlijke wezens die in het water huizen kunnen het slecht met de mensen voorhebben. Van Japan tot Ierland, en van Finland tot Zoeloeland, zijn er legenden over watermonsters die in putten, meren, beken en rivieren huizen en van alles, waaronder mensen en koeien, het water intrekken en ombrengen. Ook zijn zulke geesten niet te beroerd om de oogst en schepen te vernietigen. Een variant daarop is de klassieke mythe van Narcissus. Deze zag zijn spiegelbeeld in het water. Zijn ziel werd daardoor het water in getrokken. Narcissus verpieterde en stierf.

In het klassieke Egypte, waar de afhankelijkheid van irrigatiewater groot was, waren bezwingingen populair tegen demonen die huisden in de irrigatiekanalen, poelen en meertjes. In de Ilias van Homerus vochten riviergoden tegen de Grieken met overstromingen. Krijgers uit het oude Rome die de Etruskische plaats Veius belegerden, kregen de schrik van hun leven toen in een droge periode het Albanomeer ten zuiden van Rome plotseling overstroomde en grote verwoestingen veroorzaakte. Dit werd geweten aan de boosheid van Poseidon, die tevens de beschermheer van Veius was. De echte oorzaak was waarschijnlijk vulkanische activiteit. De Romeinse schrijver Tacitus schrijft dat de veldheer Vitellius varkens, schapen en koeien in de rivier Eufrates wierp om deze gunstig te stemmen.

Water als straf

In het jodendom, het christendom en de islam gebruikte de Godheid water nogal eens om slechte mensen te straffen. De Zondvloed (compleet met de ark van Noach) laat in alle drie de godsdiensten de hand van God zien. Maar de hand van God bleef ook later water gebruiken. Jahweh liet de farao en zijn troepen, die het Joodse volk achtervolgden, door de Rietzee verzwelgen. De grote overstromingen die Nederland troffen, werden binnen de dominerende kerkgenootschappen (eerst de katholieken en daarna de hervormden) van de middeleeuwen tot en met de achttiende eeuw stelselmatig uitgelegd als straf voor de zondigheid. De achttiende-eeuwse dominee Smytegelt wees in dat verband op de aanwezigheid van 'katholieken, blote boezems en openbare dronkenschap' als 'eigenlijke verschijningsvorm van zonde'.

Ook binnen de gelovige minderheden gold zondigheid als oorzaak voor wateroverlast. Doopsgezinden zagen overstromingen als Gods straf voor de slechtheid in eigen

kring. De zeventiende-eeuwse Roermondse katholieke bisschop Cuykius wees erop dat katholieke zondaren de hemel ertoe brachten 'in tranen uit te barsten', waardoor 'schadelijke regens werden uitgestort'. Ook na de achttiende eeuw waren er in de Lage Landen altijd wel predikers te vinden die wateroverlast toeschreven aan menselijke zondigheid. Daarbuiten was en is dat niet anders. De tsunami na de uitbarsting van de Krakatau in 1883 werd door islamitische geestelijken in Atjeh uitgelegd als goddelijk oordeel over de wandaden van de Nederlandse koloniale bezetters, en dat resulteerde in een oproep om daartegen in opstand te komen. En islamieten in Thailand meenden na de tsunami van 2004 precies te kunnen zien in welke kustplaatsen de goede en de slechte mensen woonden. De laatste waren verwoest en de eerste gespaard. Na de orkaan Katrina, die in 2005 New Orleans onder water zette, gaf TV-dominee Pat Robertson daarvoor als reden dat New Orleans 'het epicentrum is van zondige jazz muziek'. Michael Maveage van Repent America weet de overstroming van New Orleans 'aan de openbare seks van dronken homoseksuelen in het French Quarter' en Franklin Graham aan 'duivelsverering en seksuele perversie'.

Water als zegen

Vaak pakt bovennatuurlijk water goed uit. Van Ierland tot Japan zijn er legendes waarin water prachtige paarden en koeien baart en de vruchtbaarheid van vrouwen bevordert. Ruwweg 4000 jaar geleden werd in Mesopotamië een beeld tot godsbeeld gemaakt door dit veelvuldig de mond te wassen en werden duivels uitgedreven met water. De voorchristelijke Europese mythologie kende nimfen die in bronnen huisden en de kracht van het bronwater gebruikten om mensen te genezen. De schepping van de oude Germanen omvatte de bron Mimir. Het bovennatuurlijke water van Mimir bevatte alle wijsheid van de wereld. De oude Germanen kenden heilige bronnen, waarbij heilig offervee graasde dat door niemand mocht worden aangeraakt. De heilige Willibrordus doopte deze bronnen om. Hij liet het offervee doden en gebruikte het bronwater als doopwater.

India is een belangrijke bron van bovennatuurlijke waterigheid. Binnen het in India ontstane Boeddhisme speelt de rituele toepassing van water een grote rol. Vanuit India verspreidde de cultuur van heilige 'genezende wateren' zich met het Boeddhisme over grote delen van Azië. Japanse Boeddhistische tempels kregen bijvoorbeeld genezende baden voor bedelaars en invaliden. En ook voor het in India ontstane Hindoeïsme is bovennatuurlijk water zeer belangrijk. De Indiase Sapatatha Bramana beschrijft het kosmische water als bron van waarheid en onsterfelijkheid. De rivier Ganges zou op verzoek van koning Bhagiratha uit de hemel zijn afgedaald om de zonden der voorvaderen weg te wassen en eeuwig te reinigen. Een bad erin verschaft dezer dagen hindoes een nieuw leven. De huidige samenstelling van het Gangeswater bekort dat nieuwe leven trouwens wel. Hindoetempels worden met heilig water gereinigd. Baden waarin men via een trap kan afdalen, waren en zijn onder hindoevrouwen populair. In dergelijke baden huist de godin Devi, die ervoor kan zorgen dat moeders zonen krijgen. Toen in april 2006 het water van het Mahimstrand te Mumbai, in plaats van zout, zoet was, ontstond er een massale run om dit zoete heilige water te bemachtigen.



Ook in Afrika is bovennatuurlijk water belangrijk. Bij de Yoruba in Nigeria worden rituele baden in de rivier aanbevolen bij moeilijke zwangerschappen en onvruchtbaarheid, een ritueel bad in de lagune voor gezondheid en het sprokelen van dauw voor voorspoed. Afrikaanse sjamanen gebruiken veelvuldig 'spiritueel behandeld' water voor de genezing van zieken.

Het joodse geloof achtte water hoog. In een visioen van de profeet Ezechiël over het wederopgebouwde Jeruzalem stroomde er vanuit de tempel een rivier met leven gevend water. Isaïas zag water als een blijk van Gods' zegen. Volgens het Bijbelboek Koningen genas Naaman van lepra door zeven maal onder te dompelen in de Jordaan.

Rituele reiniging

Het jodendom kent rituele reinigingen met water. Voorafgaand aan gebeden moet men zich met water wassen. Volgens het bijbelboek Leviticus kunnen verschillende ziekten met water worden verdreven. De rivier de Jordaan leende zich voor rituele onderdompeling. Johannes de Doper doopte de joden die hun zonden bekenden en daarover spijt betuigden en 'verloste' hen daarmee. Opgegraven stukken van het klassieke Joodse Palestina laten de ruime aanwezigheid zien van mikva'ot, van een trapje voorziene rituele baden waarin men kon onderdompelen. Deze waren niet alleen geschikt voor de rituele reiniging, maar ook voor de verspreiding van infectieziekten.

Tijdens het beroemd geworden beleg van Massada (Israel) door de Romeinen, meer dan 1900 jaar terug, werden daar twee mikva'ot aangelegd. Het schaarse daarin opgevangen regenwater werd hierin meer op zijn plaats geacht dan in de cisternen voor de drinkwatervoorziening. Het water van de mikva'ot moet 'levend' zijn. Regenwater, smeltwater van sneeuw en bronwater behoren tot de categorie 'levend water', maar kraanwater moet door een bijzondere behandeling 'levend' worden gemaakt.

Het islamitische gebruik van water vertoont een aanmerkelijke verwantschap met het joodse. Het 'absolute' of 'zuivere' water dat geschikt is voor rituele reiniging is stromend water, regenwater, smeltwater of mineraalwater. Islamiëten worden geacht zich voor het bidden te reinigen. Het gezicht moet worden gewassen en de handen tot aan de elleboog. Behalve wanneer men ernstig 'verontreinigd' is door bijvoorbeeld menstruatie of geslachtsverkeer. Dan moet men helemaal in bad. De profeet Mohammed beschouwde de rituele reiniging met water als 'half het geloof'.

Water in het christendom

Het christendom borduurde voort op het grote belang van water in het joodse denken. Volgens het Bijbelboek der Openbaringen zal bij het einde der tijden een rivier met levengevend water, helder als kristal, te voorschijn komen uit de troon van God. Het christendom kent reiniging van zonden, genezing en boetedoening door het gebruik van water. In hoog aanzien staat de doop, die de mens van de erfzonde

verlost. 'Wie niet uit water en de geest geboren wordt, kan het koninkrijk der hemelen niet in', aldus de evangelist Johannes. Bisschop Maximus van Turijn (vijfde eeuw) meende dat de doop het element water in het algemeen had geheiligd. Toen de Verlosser op geleide van Johannes de Doper in het water plonsde, heiligde hij, volgens Maximus, alle waterlopen en bronnen. Samen met water is Christus de moeder van alle volkeren, aldus deze bisschop.

Chrytologus van Ravenna hield water voor 'de baarmoeder van Maria, waaruit het volk Gods was geboren'. De kerkvader Honorius noemde Christus 'de bron des levens, waaruit rivieren van levend water stromen, namelijk de heilige geest, waarmee hij de tuin van de kerk bevoeit zodat deze de stengels van de bloemen des levens kan voortbrengen'. De hervormer Hus noemde het water dat aan het kruis uit de zijde van Christus vloeide 'een genereuze bron voor het reinigen van zonden'. En er was in de laatmiddeleeuwse tijd een wijdverbreide opvatting dat 'levend water' de stank van de duivel kon wegwassen.

Het katholicisme introduceerde wijwater waarmee vanaf de negende eeuw kerk-gangers werden gezegend en dat onder meer werd gedronken tegen geslachts-ziekten. In de middeleeuwen beschikten veel katholieke kerken voorts over een speciaal bad met gewijd water voor de duiveluitdrijving. In 1402 werd bijvoorbeeld de duivel uitgedreven bij Ysbrand Loefs door hem in de kerk van Egmond in zo'n bad onder water te houden. Dat was zo effectief dat ook Ysbrand zelf de geest gaf.

Al vroeg zijn er christelijke pelgrimstochten naar wonderdadige putten en bronnen. Cornwall (Verenigd Koninkrijk) had in de vroege middeleeuwen 90 heilige putten en bronnen. Nederland kwam er verhoudingsgewijs bekaaid af, maar beschikte niettemin onder meer over een serie Sint Willibrordus putten. Nabij Doornik kon uit de put van St. Amand water worden gehaald dat hielp tegen verlamningsverschijnselen, kortademigheid en alle longaandoeningen.

Het geloof in heilig water leeft tot de dag van vandaag. Katholieken hebben hun bedevaartplaats Lourdes waar bovennatuurlijk bronwater voor genezing zorgt. Een standbeeld voor de overleden paus Johannes Paulus II in Wadowice (Polen) trekt katholieken die geloven dat het water dat over het voetstuk van dit beeld stroomt wonderdadig is, en dit in flessen verzamelen.

Ingestraald water

Daarnaast is er ook een lange westerse esoterische traditie rond water. Deze leeft voort. Het Nederlandse medium Jomanda werkt met 'ingestraald water'. Moderne alchemisten kunnen zich in het Belgische Halle trainen in het bewust omgaan met water. Water heelt, aldus deze alchemisten, en maakt het mogelijk het lichaam 'emotioneel in evenwicht te brengen, en tot helder weten te komen'. En in het kader van Madonna's bekering tot de kaballah was ingestraald water te koop voor \$5 per flesje.



2.5 Verjongingsbron en bron des levens

Een opvallende mythe die aan water een bovennatuurlijke kracht toeschrijft, is die van de bron, of de fontein, van de jeugd. Voor het begin van de jaartelling was er in Europa een wijdverbreide opvatting dat in bepaalde bronnen nimfen huisden die het water benutten om hun geliefden jong te houden. In de hindoemythologie komt een bron van de jeugd voor. Deze wordt vermeld in de ongeveer 2700 jaar oude legende van Cyavama, en het bijbehorende geloof is waarschijnlijk nog ouder. De klassieke Grieks-Romeinse traditie kende het verhaal van de topgodin Hera die eens per jaar in een speciale bron baadt om jong te blijven. In de tweede eeuw tekende Aelianus het bestaan op van ene Anahita die na elke geslachtsgemeenschap baadt in een heilige bron tussen de Eufraat en de Tigris en daardoor haar maagdelijkheid terugkrijgt. Rond de vierde eeuw dook in Europa het verhaal op van een adelaar die regelmatig een bad neemt in de verjongingsbron. Ook verscheen in deze tijd een boek van pseudo-Kallistenes, waarin mythische reizen van Alexander de Grote werden beschreven. Tijdens deze reizen zou de kok van Alexander de Grote, Andreas, de bron des levens hebben ontdekt. Hij dronk daarvan en werd daardoor onsterfelijk. Alexander ontstak daarover in een zo grote woede, dat hij Andreas in zee smeed. Daar zwerft de kok volgens pseudo-Kallistenes nog altijd rond.

Later werd de verjongingsbron genoemd in de verzonnen brief uit 1165 van prester Johannes, de zogenaamde leider van in het Oosten huizende christenen. De brief van prester Johannes vermeldde dat ieder die het water uit de fontein van de jeugd drinkt, altijd 32 blijft. Deze nepbrief had in de eeuwen daarna grote invloed. Mandeville, die in de dertiende eeuw een (goeddeels verzonnen) reisboek schreef, gewaagde ervan en in de latere middeleeuwen waren er diverse Europese ontdekkingsreizigers die in Azië de verjongingsbron van prester Johannes zochten.

Aan het begin van de zestiende eeuw ging Ponce de Leon op zoek naar het jeugdbrengende water. Een bron met dat water zou te vinden zijn op een van de Bahama's, het eiland Bimini, en een complete rivier met dergelijk water zou stromen in het huidige Florida. De reis van Ponce de Leon bleef zonder resultaat.

3 De zee, de zee

Van het vrije of ongebonden water bevindt thans 97% zich in de zeeën. De zeeën bedekken ruim 70% van de Aarde. Ze zijn gemiddeld vier kilometer diep. Het water in de zeeën heeft zijn ups en downs. In sommige zeeën zijn de verschillen tussen up en down zeer spectaculair. Een goed voorbeeld daarvan is de Middellandse Zee. Deze was rond 5,6 miljoen jaar geleden goeddeels een zoutwoestijn. 5,33 miljoen jaar geleden kwam daaraan een einde omdat oceaanwater de Straat van Gibraltar binnenstroomde. Binnen naar schatting twee jaar stroomde de Middellandse Zee daardoor voor ongeveer 90% vol.

Elders zijn de ups en downs vaak minder spectaculair, maar nog altijd zeer aanzienlijk. Tijdens de IJstijden stond de zeespiegel bijvoorbeeld 100 tot 150 meter lager dan thans. Nu zorgt de door de mens veroorzaakte klimaatverandering voor een up. De zeespiegel stijgt stevig.

Zeeën maken sinds mensenheugenis grote indruk. De zeeën zijn groot, en in de voorstelling van veel klassieke bewoners van het Nabije Oosten werden ze nog groter gemaakt. De zee zou niet alleen het land omspoelen, maar ook boven het firmament zitten en in de onderwereld zijn.

De oude Grieken woonden aan de voor onze begrippen vriendelijke Middellandse Zee, maar ze hadden toch twee goden nodig (Poseidon en Okeanos) om ermee om te gaan. De Germanen beschikten voor de zee over meer bovennatuurlijke types. Ze hadden een god van de rustige zee (Aegir) en een godin van de stormachtige zee (Rana of Ran) en hun negen goddelijke dochters als beschermsters van de zeevaarders.

3.1 Gemengde gevoelens

De zee roept sinds jaar en dag gemengde gevoelens op. Deels zijn de gevoelens positief. Plato schreef dat de oude Grieken rond de Middellandse Zee en Zwarte Zee leefden: 'als kikkers rond een poel'. Geen enkele belangrijke Griekse kolonie lag meer dan 25 kilometer landinwaarts. Het relatief gemakkelijke scheepstransport was daarbij een belangrijke factor. En het bereiken van de zee door Griekse huurlingen, beschreven door Xenofon, gaf aanleiding tot een van de beroemdste vreugdekreten uit de Europese geschiedenis (thalassa, thalassa: de zee, de zee). In de Indische Veda wordt de oceaan beschreven als verschafter van juwelen en rijkdom en als geboorteplaats van Vac: de tot god verheven geluiden van het offeren. De oude Germanen associeerden de zee met vruchtbaarheid.

Ook de negatieve gevoelens over de zee zijn oud, en waarschijnlijk vaak heftiger dan de positieve. Tijdens de Bronstijd, drie tot vier millennia geleden, werd in Noordwest-Europa zwaar ritueel geschut ingezet om bescherming over zeevarenden af te roepen. Ook bij de zeegangers aan de Zuid-Aziatische kusten was dat tijdens de Bronstijd het geval. In de klassieke Perzische mythologie levert de oppergod Marduk strijd tegen de



zoute waterige chaos die Tiamat heet. Tiamat wordt bijgestaan door vreselijke zeeslangen. Marduk weet deze uiteindelijk te overwinnen. Ook in de hindoe-mythologie is er strijd tussen een topgod en zeemonsters.

Volgens de Ugaritische mythen behaalde de god Baal een overwinning op de zeegod Yammu en zijn monsters, zoals de zevenkoppige Tunnan en Lotan. In de Baaltempel in Ugarit (nu in westen van Syrië) zijn stenen ankers gevonden, waarschijnlijk dankbetuigingen voor een behouden vaart. Bij opgravingen in de Caänitische havenstad Ashkelon is een 3600 jaar oud heiligdom gevonden waar men Baal (in de vorm van een verzilverd kalf) kon bedanken voor een veilige zeereis, of aanbidden voordat men het schip in moest.

Staf voor slechte mensen

De ergste monsters uit de Bijbel Leviathan en Rahab bivakkeerden in de zee. Jahweh, een concurrent van Baal, vocht daarmee en won. Jahweh kon daardoor de zee gebruiken om slechte mensen te straffen. In het Bijbelboek der Openbaringen gaat het slechte Babylon door God's hand als 'een molensteen' in de zee ten onder. Flavius Josephus, die de verwoesting van Jeruzalem door de Romeinen beschreef, zag deze als een straf voor de slechtheid van de joden. Zouden de Romeinen Jeruzalem niet hebben verwoest, dan zou Jahweh volgens Josephus vanuit zee een vloedgolf hebben gestuurd om Jeruzalem weg te vagen. De overwinning van Yahweh op de zeemonsters is niet definitief. Volgens het Boek der Openbaringen duikt tegen het einde der tijden weer een verschrikkelijk zeemonster op. Het wegnemen van de negatieve gevoelens aangaande de zee blijft dan ook iets voor na het einde der tijden. In het Boek der Openbaringen wordt aangekondigd dat er dan een nieuwe aarde zal ontstaan bij gelegenheid waarvan de zee zal worden opgeheven.

De aanhangers van Zoroaster meenden dat het water door slechtheid in twee soorten was gesplitst: het goede zoete water en het slechte zoute water van de zee. Volgens de Germaanse mythologie zat er een verschrikkelijke slang in de Wereldzee (lörmungandur) en was de Atlantische Oceaan de woonplaats van de slang Midgardsormen, die door de goede goden als gemeen monster werd beschouwd. Germaanse zeevaarders offerden in de Lage Landen om de godin Nehalennia gunstig te stemmen. In de Odyssee van Homerus komen ter zee verschrikkingen voor als de Sirenen, Scylla en Charibdis.

Angst voor zeemonsters

De Griekse filosoof Aristoteles schreef dat er voor de kust van Noord-Afrika reuzenslangen in de Middellandse Zee huisden die schepen van 36 meter konden doen kapseizen. De Romeinse dichter Vergilius beschreef woeste en reusachtige zeeslangen 'met sissende mond en vurige tongen'. En Plinius (de Oudere) meldde de aanwezigheid van reusachtige inktvissen die schipbreukelingen verorberden. Wanneer op de Noordzee in het jaar 16 een Romeinse vloot door een storm uiteen wordt gedreven, vermeldden de overlevenden, volgens de Romeinse schrijver Tacitus, dat ze onderweg zeemonsters waren tegengekomen. Posidonius (eerste eeuw na Christus)

stelde dat voor de Syrische kust een beest huisde met een lengte van ongeveer dertig meter en een breedte van twee meter. Dit monster kon een man en een paard tegelijk opslokken. Pelgrims die in de late middeleeuwen de doopplaats van Johannes de Doper bezochten, zaten in de rats vanwege een Dode Zee monster dat het voorzien had op baders in de Jordaan.

In het vroegmiddeleeuwse epos Beowulf verslaat de held het vreselijke zeemonster Grendel. In het psalter van Winchester (daterend van ongeveer 1145) is de ingang van de hel verbeeld als de mond van een reusachtig zeemonster. In West-Europese piratenverhalen komt het zeemonster Kraken voor dat in het noorden van de Atlantische Oceaan zou huizen. De op Groenland werkzame missionaris Hans Egede zag voor de kust van dit eiland in de achttiende eeuw een reuzenslang (het schilderij daarvan is te bewonderen in het Hart Museum te Cambridge Massachussets). Op Fiji was men bang voor de twaalf meter grote haai-god Dakuwaqua. En wij hebben nog altijd de Bermuda driehoek (tussen Bermuda, Puerto Rico en Florida) waar menig schip en vliegtuig spoorloos zou verdwijnen.

Gestolde zee

Een andere oude angst betreft het fenomeen van een gestolde zee, waarin de schepen reddeloos vastraken. Dit angstbeeld van de zee komt voor in de geschriften van de Romein Plinius en later in de werken van Solinus (ongeveer 200) en Isidorus van Sevilla (circa 560). In de middeleeuwse teksten over de reizen van Sint Brandaan en de geschiedenis van de kruisvaarder hertog Ernst figureert de gestolde zee eveneens.

In de praktijk een stuk gevaarlijker dan de gestolde zee waren de piraten. De eerste meldingen daarover wat betreft de Middellandse Zee dateren uit de achtste eeuw voor het begin van onze jaartelling. De hele daaropvolgende periode van de klassieke Romeinse en Griekse beschavingen blijven Mediterrane piraten een probleem. Ook middeleeuwse piraten droegen bij aan de verschrikkingen van de zee. Ze bleven de Middellandse Zee onveilig maken en de 'Friese' piraten stonden hun mannetje op de Noordzee.

Gruwelen van een zeereis

De Dominicaner monnik Felix Fabri die in 1480 per schip naar het 'Heilige Land' (Israël) voer, beschreef de gruwelen van windstilte en storm. Bij windstilte raakt alles bedorven en schimmelig, gaat het water stinken en wordt de wijn ondrinkbaar. Zelfs gedroogd en gerookt vlees zit dan vol maden en je wordt aangevallen door horden vlooiën, kakkerlakken, luizen, wormen, muizen en ratten. De laatste vallen aan als wilde zwijnen. En de luizen worden zo groot dat ze bij zeeziekte stukken matroos overgeven. Door stormen werd volgens Fabri alles doornat en kon men niet aan land om het zoete water aan te vullen. De potten met uitwerpselen vlogen je dan om de oren. Het vee aan boord stierf bij storm volgens Fabri van de dorst, bij gebrek aan voldoende zoet water. En dan had Felix Fabri het nog niet eens over schipbreuken door storm en over de verspreiding van infectieziekten door de zeevaart. Voor de pest,



die vanaf de veertiende eeuw in Europa op een verschrikkelijke manier huishield, waren de scheepsrat en zijn vlooiën het belangrijkste vehikel bij het overbruggen van lange afstanden.

Ook na de middeleeuwen bleef de zeevaart zorgen voor negatieve gevoelens. De Bijbel werd in het zestiende-eeuwse West-Europa vaak zo geïnterpreteerd dat de zee werd gezien als overblijfsel van de vreselijke Zondvloed, gekenmerkt door chaos en zeemonsters en de verblijfplaats van de Satan. De zeevaart bleef een belangrijk vehikel voor de pest en droeg ook bij aan de verspreiding van darminfecties.

Zeeroverij

In de zestiende en zeventiende eeuw beoefende de vloot uit de Lage Landen op grote schaal zeeroverij, en de schepen uit de Nederlanden werden op hun beurt vaak niet ver van huis gekaapt door piraten uit Duinkerken of Engeland. De Franse en Engelse regeringen beschermden tijdens de 'gouden eeuw' van de zeeroverij (1650-1730) hun kapers, die in eigen land vaak net zulke helden werden als 'onze' Piet Hein (zijn naam is klein, zijn daden bennen groot).

Ook verder van huis had de zeeroverij grote omvang. Nederlanders kaapten enthousiast mee, onder meer in het Caraïbisch gebied en de Middellandse Zee. Op de Middellandse Zee was verder veel piraterij vanuit Noord-Afrika ('Barbarije'). En in de Perzische Golf waren 'moeras Arabieren' beruchte kapers. De Verenigde Oost-Indische Compagnie (VOC) had volgens haar statuut de kaapvaart als belangrijke taak. De VOC huurde desgewenst ook buitenlandse piraten in om klussen te klaren. Zo werden in de zeventiende eeuw Chinese kapers ingeschakeld om de Chinese overheid te dwingen de Chinese buitenlandse handel via de VOC te laten lopen. De uitbundige kaperij door de VOC kreeg de zegen van Nederland's grote rechtsgeleerde Hugo de Groot. Hij zag de VOC als een soort wereldwijd opererende politieagent annex rechter die alles uit de kast mocht halen om slechtigheid te bestraffen. De Groot was ook een fan van het kapen in het Caraïbisch gebied. Omgekeerd werden Chinese kapers door de Chinese overheid eeuwenlang gebruikt als een soort Chinese muur op zee.

Infectieziekten

Op lange reizen eisten infectieziekten en slecht weer een nog veel hogere tol dan de zeeroovers. De sterfte van zestiende-eeuwse Spaanse zeelieden op de (enkele) reis naar Amerika door infectieziekten lag tussen de 10 en 15%. Dat kwam de populariteit van de zeescheepvaart niet ten goede. Van de zestiende-eeuwse Spaanse vloot die tussen Spanje en Amerika pendelde, deserteerde op elke vaart ongeveer 20% van de zeelieden in Amerikaanse havens.

Voorals men ten einde raad was, monsterde men in Nederland als matroos aan op de schepen van de West- en Oost-Indische Compagnie. In de achttiende eeuw was de sterfte op de schepen die, voor de slavenhandel, vanuit Europa via Afrika naar Amerika voeren nog altijd kras. 10 tot 15% van de bemanning overleed tijdens de tocht naar het Caraïbisch gebied. Van de emigranten die in de achttiende eeuw van Europa naar

Noord-Amerika gingen, overleefde tegen de 4% de reis niet; onder kinderen lag de sterfte op ongeveer 9%.

Stormen

En dan waren er nog de stormen. Veel Nederlandse zeevarenden zijn tijdens stormen met boot en al ten onder gegaan. Aan het begin van de twintigste eeuw was dat nog altijd een veelvoorkomend lot van vissers. Het toneelstuk 'Op Hoop van Zegen' van Herman Heijermans maakte daar een groot punt van.

Stormen zijn nog altijd een punt. In warme gebieden kunnen ze nog dodelijker zijn dan in de buurt van Nederland. In een zware (sub)tropische orkaan zit ongeveer evenveel energie verpakt als alle elektrische centrales wereldwijd opwekken. De afgelopen vijftig jaar is het aandeel van zware orkanen in het totaal aantal orkanen toegenomen. Niettemin is de feitelijke sterfte op zee-reizen enorm gedaald. Maar: nog steeds verongelukken zeeschepen. Ze lopen op rotsen of kapseizen in zware stormen. En zeeroverij komt ook nog steeds voor: meer recent het sterkst in de buurt van Somalië.

3.2 Bedreiging van land

Niet alleen op zee kan het gevaarlijk zijn; de zee bedreigt ook de laaggelegen kustgebieden. Tot op zekere hoogte kon en kan men zich tegen overstroming wapenen. De Lage Landen hebben daarin een lange traditie. Bescherming tegen stormvloed kwam al vroeg tot stand. In het kustgebied waren in de Romeinse tijd terpen of wierden aanwezig, waarop men zich bij vloed en storm kon terugtrekken. Romeinse schrijvers vergaaptten zich daaraan. 'De bewoners zijn bij vloed net scheepslui en bij eb schipbreukelingen', schreef Gaius Plinius. En dat bleef eeuwenlang zo. Rond het jaar 1000 waren er, naar schatting, tussen de zuidpunt van Vlaanderen en de huidige Duitse grens ongeveer 2000 terpen in gebruik. Volgens een Utrechtse priester in de zevende eeuw leefden de terpbewoners 'als vissen in het water'. En er waren ook al vroeg zeedijken. In het Friese Donjum en Wijnaldum zijn dijken opgegraven uit de tweede eeuw.

Veenexploitatie

Het was echter niet alleen bescherming tegen de zee wat de klok sloeg. De grote veenpakketten in de Nederlandse en Vlaamse kustgebieden takelden af door zoutwinning, akkerbouw en turfsteken voor brandstofvoorziening. Zoutwinning (waarvoor veen werd verbrand) en turfsteken leidden tot direct verlies van veen. Ten behoeve van de akkerbouw moest het veen worden ontwaterd. Door de ontwatering werd de oxidatie van het veen in de hand gewerkt. Daardoor werd de veenlaag dunner.

De aftakeling van het veen begon al vroeg. De sporen van veenexploitatie in Noordwest-Europa gaan terug tot de Bronstijd. Er zijn bij Monster en in de polder Westmade (Zuid-Holland) sporen van veenexploitatie gevonden die dateren van



tussen 700 en 400 voor Christus. In de Romeinse tijd en de vroege middeleeuwen wordt deze exploitatie doorgezet. Gedurende de Romeinse tijd was er waarschijnlijk in het huidige Vlaanderen en West-Brabant al een flinke aftakeling van het veenpakket door akkerbouw en zoutwinning. Ook de duinen hadden te lijden van menselijke activiteiten. Met name door overmatige beweiding waaide veel duinzand weg.

Bedijking

Vanwege de door mensen veroorzaakte aftakeling van veen en duinen werd in het middeleeuwse Vlaanderen flink bedijkt. Dat was tot ver buiten de Lage Landen bekend. In de *Divina Comedia* (goddelijke Komedie) van Dante is sprake van bedijking tussen Cadzand en Brugge. Daar was Dante niet positief over. Dijkenbouw was in zijn, en Gods, ogen even tegennatuurlijk als homofilie.

De dijken konden in ieder geval niet verhinderen dat in 1042 een groot stuk van de Vlaamse kuststreek onder water liep. En Dante's God was niet de enige vijand van de zeewering. De Vlaamse graaf Philip vaardigde in 1213 een edict uit, waarin bepaald werd dat van degene die dijken beschadigde de rechterhand zou worden afgehakt en de bezittingen zouden worden geconfisqueerd. En dan waren er de ratten en de konijnen. De veertiende-eeuwse Vlaamse gravin Jeanne gaf de, normaal aan edelen voorbehouden, konijnenjacht vrij in de hoop zo zeeweringen te redden.

Maar de problemen bleven. In 1404 ging bij een overstroming in Vlaanderen ongeveer 3000 hectare verloren. In 1483 was er een reusachtige overstroming, waarvan de ratten de schuld kregen. Een fors deel van het Vlaamse kustgebied benoorden de IJzer ging in de periode tot 1500 over in zee. Ook verdwenen de bewoonde eilanden Wulpen en Koezand. Een vergelijkbaar proces trad op in Zeeland en West-Brabant. Daar werden eveneens grote stukken land water. In West-Brabant verdwenen daardoor onder meer nederzettingen zoals Niervaart en Friezendinge. Ook aan de kusten van het huidige Nederland werd vanaf ongeveer het jaar 1000 flink bedijkt.

Overstromingen

Tot in de zeventiende eeuw werden de Noord-Nederlandse overstromingen vaak genoemd naar de heilige(n) van de dag waarop de overstroming plaatsvond. Zodoende zijn er onder meer vier dramatische Sint Elizabethsvloeden bekend (van 1134, 1404, 1421 en 1424) twee grote Cosmas en Damianus overstromingen (van 1477 en 1509) en twee spectaculaire Allerheiligenvloeden (1170 en 1570).

De Sint Elizabethsvloed van 1134 schiep de Zeeuwse eilanden. In 1163 waren er grote overstromingen in het Merwedegebied en verdween de handelsnederzetting Vlaardingen van de kaart. Ook kwam er een massa zeewater door de Rijnmond bij Katwijk, waardoor Rijnland goeddeels onder water liep. In 1164 was er een Julianusvloed, die verschrikkelijk huishield in het noordelijke kustgebied.

De Allerheiligenvloed van 1170 overspoelde Kennemerland en bracht eb en vloed tot aan de poorten van Utrecht. De veenpakketten tussen Enkhuizen en Stavoren, en tussen Schokland en Elburg werden doorbroken. Aldus ontstond een groot deel van

de latere Zuiderzee (het huidige IJsselmeer) en de Westelijke Waddenzee. Een overstroming in 1196 vergrootte de Zuiderzee en de Waddenzee aanzienlijk. Ook daarna ging het landverlies in dat gebied nog eeuwen voort. Zo werd in 1267 het stadje Grint op het eiland Griend door de Sint Lucievloed overspoeld. In 1289 liep een groot deel van Friesland en Groningen onder water. Het zoute water kwam tot Wolden, ten zuidoosten van Groningen. Aan het begin van de veertiende eeuw brak de Diemerzeedijk nabij Amsterdam en kwam het Zuiderzeewater tot ver in Utrecht en Holland. In Gouda klaagden de bierbrouwers dat daardoor het water te zout was om nog bier van te brouwen.

De Elizabethsvloed van 1404 leidde tot overstromingen in het Braakmangebied, waarbij de stadjes IJzendijke en Hughevliet van de kaart werden geveegd. Waarschijnlijk was deze vloed rampzalig voor veel kleine boeren in het huidige West- en Zeeuws-Vlaanderen. De Elizabethsvloed van 1421 overspoelde vrijwel geheel Zuidwest-Nederland. In de vijftiende eeuw ging de Grote Waard met dorpen als Dubbelmonde, Almonde en Almsvoet ten onder. Daar is nu de Biesbosch en de Moerdijkbrug. In de late middeleeuwen werd het veenpakket aan de monding van de Eems weggespoeld en ontstond de Dollard.

Verzilting

De verzilting van de bodem die het gevolg was van de overstromingen, zorgde in de kustgebieden voor misoogsten. Abt Menko van het klooster Wittewierum bij Delfzijl beschrijft dat in 1249 'de zilte grond het gewas dor maakte. Hoe meer warmte de zon gaf, hoe meer zout naar de oppervlakte werd getrokken. Zodoende werden de mensen gestraft zodat zaad verloren ging en arbeid voor niets was'. De Cosmas en Damianus vloed van 1509 bracht zoveel verzilting dat in de omgeving van Leiden, Haarlem en Amsterdam 'alle bomen doodgingen'.

Landverlies

De Allerheiligenvloed trof in 1570 het merendeel van Holland. De zee kwam verder tot voor de poorten van de stad Groningen. In het Dollardgebied werden dorpen en stadjes zoals Tijsweer, Oosterreide, Wilgum, Zwaag, Ooster-Finsterwolde, Megenham en Torum, van de kaart geveegd. In de zeventiende eeuw reikte de Dollard tot aan het huidige Nieuweschans. Het landverlies kwam hard aan. Een karakteristieke uiting daarvan is de volgende passage uit een gedicht van de eerste rector van de Groninger Universiteit Ubbo Emmius (1547-1625) over de Dollard:

'Met recht wordt uwen naam de Dollaart nog geheten,
Wijl gij het dolle volk, weleer in 't land gezeten,
Dat gij bedekt hebt in uw dollen waterkuil
Gesmoord, bedolven en nog dagelijks uw gehuil
Doet horen, ja mij ook met uwe dolle baren
Ontzettet, toen ik 's nachts eens door uw stroom kwam varen.'



Bij de Sint Maartenvloed van 1686 en de Kerstvloed van 1717 reikte de zee tot de stad Groningen. Anno 1808 waren er alleen al op Schouwen-Duiveland 58 dijkdoorbraken. In 1825 gingen de laaggelegen gebieden van Overijssel, Friesland, Waterland, de Oostelijke Zaanstreek, Zeeland en Noord-Brabant kopje onder. Van de Waddeneilanden bleven toen alleen de duingebieden boven water.

Het uiteindelijke effect van al die overstromingen op de Nederlandse kust was spectaculair. In het jaar 800 bedroeg de kustlengte van Nederland ongeveer 800 kilometer. Rond 1900 was die 3400 kilometer.

In 1916 liepen Waterland en de Oostelijke Zaanstreek opnieuw onder water door een breuk in de Zuiderzeedijk. Het Oostzijderveld (Zaanstad) was toen 'een grote zee met woeste golven'. Er vielen 20 doden. De overstroming van 1916 maakte zoveel los dat deze de opmaat vormde voor de uitvoering van de, sinds 1894 in de la liggende, plannen voor Zuiderzeewerken. Deze werken schiepen het huidige IJsselmeer.

In 1953 eiste de zoveelste stormvloed vooral op de Zuid-Hollandse en Zeeuwse eilanden veel slachtoffers.

De watersnood van 1953

In 1939 werd door de Nederlandse regering een stormvloedcommissie ingesteld. Deze constateerde in 1944 dat de Nederlandse dijken niet bestand waren tegen extreme stormvloeden. De kans dat dijken in Zuidwest-Nederland zouden breken, werd geraamd op een keer in de 100 tot 200 jaar. Het desbetreffende rapport werd niet openbaar. Deskundigen van Rijkswaterstaat maakten daarop plannen voor de bescherming van Zuidwest-Nederland met hogere dijken. Met deze plannen gebeurde niets, al sprak de minister van Verkeer en Waterstaat er in algemene termen over dat de zeewering niet optimaal was. In de praktijk werd stevig bezuinigd ten koste van de zeeweringen.

Dat veranderde toen op 1 februari 1953 een zware noordwesterstorm 200 000 hectare land overstroomde en aan 1835 mensen het leven kostte. De regering trof daarvoor, buiten de kring van de communisten, geen parlementaire blaam. Want zoals de toenmalige minister van verkeer en waterstaat (Algra) stelde: 'Wie kan keren de hand des Heren?' En dominee 't Zand (SGP) zag het zo: 'De watersnood is ons toegeschikt tot onze lering en bekering door Hem, zonder wiens wil geen muske ter aarde valt'.

In 1953 werd een Deltacommissie opgericht die, voortbouwend op eerder uitgewerkte ideeën, in 1954 met een plan kwam. Bij de toenmalige zeespiegel en het toenmalige klimaat moest dit Deltaplan de kans op een overstroming door zeewater terugbrengen tot waarden, die - al naar gelang de dichtheid van de bewoning - varieerde tussen een keer in de 4000 tot een keer in de 100 000 jaar.

De kern van het Deltaplan bestond uit dammen en hoge dijken, met de nadruk op dammen. Rond de Oosterschelde leidde dit tot een harde botsing met een coalitie van vissers en natuurbeschermers, die de Oosterschelde open wilde houden. Deze coalitie gaf de voorkeur aan hoge dijken.

Bij wijze van compromis werd het plan de Oosterschelde af te dammen in 1974 aangepast met een half open dam, die inmiddels tot wereldwonder is verklaard. Dit wereldwonder zal echter waarschijnlijk geen zeer lang leven hebben. Bij een stijging van de zeespiegel van meer dan 1 meter moet de halfopen Oosterscheludedam waarschijnlijk worden vervangen. Volgens de Tweede Deltacommissie die in 2008 rapporteerde, kan dat het best met: verhoogde dijken.

Tijdelijk meer bescherming

De uitvoering van de Zuiderzeewerken in de eerste helft van de twintigste eeuw en het Deltaplan in de tweede helft daarvan, bieden een betere bescherming tegen stormvloed. Ze zijn echter niet het laatste woord over de relatie tussen Nederland en de zee. In samenhang met de ontwatering van het veen treedt nog altijd oxidatie en inklinking van de veenlaag op. Mede als gevolg daarvan ligt nu ongeveer een kwart van Nederland onder de zeespiegel. Het diepste punt ligt in Nieuwerkerk aan de IJssel, waar de bodem tot 6,7 meter onder het zeeniveau is gedaald.

De komende eeuwen worden we bovendien naar alle waarschijnlijkheid geconfronteerd met een stijgende zeespiegel - als uitvloeisel van het opwarmende klimaat. De Tweede Deltacommissie voorziet voor de 21^{ste} eeuw een wereldgemiddelde zeespiegelstijging met 55 tot 110 centimeter en voor de periode tot 2200 met 1,5 tot 3,5 meter. Wetenschappelijk gezien liggen, zoals eerder vermeld, de onzekerheidsmarges nog ruimer: voor deze eeuw tussen 30 en 180 centimeter. Bij een hogere zeespiegel kan het rivierwater moeilijker weg. Dit leidt tot opstuwing van de benedenrivieren, wat de kans op overstromingen fors doet toenemen. Deze eeuw zijn daarom van de kust tot ver landinwaarts aanzienlijke aanpassingen nodig om de kans op overstromingen niet te laten toenemen.

Nederland deelt zijn kwetsbaarheid voor de zee, inclusief de gevoeligheid voor stormvloed en kusterosie, met andere laaggelegen, aan de zee grenzende gebieden. De strijd daartegen is ook elders oud. Koningin Cleopatra van Egypte liet in de laatste eeuw voor het begin van onze jaartelling een dijk aanleggen en extra zand op het strand brengen, om zo 'haar' Alexandrië te beschermen. Maar evenzogoed ligt Cleopatra's paleis nu op de bodem van de Middellandse Zee. En de problemen blijven. Zo kwamen in 1970 tijdens een tyfoon in Bangladesh door overstromingen ongeveer 300 000 mensen om. Sindsdien is in Bangladesh hard gewerkt aan terpachtige constructies en vluchtbunkers waar mensen bij overstroming hun toevlucht kunnen zoeken. Niettemin kwamen bij een orkaan die in 2007 Bangladesh trof, nog altijd duizenden mensen door verdrinking om. De orkaan Nargis geselde in 2008 de Irrawaddi-delta in Birma. Dit veroorzaakte de verdrinkingsdood van naar schatting 100 000 mensen en zette een flink deel van het deltagebied om van land in water.

Dichtbevolkte gebieden

Deels zijn de voor stormvloed en zeespiegelstijging kwetsbare gebieden, net als Nederland, dicht bevolkt en volgestopt met economische activiteiten. Ongeveer 60% van het op de wereld geïnvesteerde kapitaal bevindt zich in laaggelegen deltagebieden. Eén van die gebieden is de Yangtze-delta, waarin onder meer Shanghai



ligt. Shanghai is in de 20^{ste} eeuw drie meter gezakt en daalt nu met ongeveer één centimeter per jaar, terwijl de zeespiegel stijgt. Bovendien voert de Yangtze-rivier minder water af, waardoor het zoute water verder de riviermonding inkomt. Verzilting vormt dan ook een groeiend probleem voor de landbouw rond Shanghai.

De kwetsbaarheid van de Yangtze-delta voor stormvloed en neemt snel toe. Enorme investeringen zijn nodig voor een effectieve bescherming van Shanghai en omgeving tegen het zeewater. Shanghai kan zich deze investeringen voornamelijk veroorloven, maar dat is lang niet overal het geval. Vooral veel kustgebieden in Afrika, Indonesië, en Zuid-Azië komen daardoor in toenemende mate in de problemen. Een goed voorbeeld daarvan betreft Bangladesh. Gegeven de stijging van de zeespiegel, de kans dat door opwarming van het klimaat het aantal zware orkanen toeneemt, de beperkte financiële middelen en het slopen van de resterende mangrovebossen, is het in het dichtbewoonde Bangladesh weleens met de kraan wijf open. Het tot Bangladesh behorende eiland Bhola, waarop ooit anderhalf miljoen mensen woonden, verdwijnt geleidelijk van de landkaart. Er is berekend dat in de periode tot 2050 in Bangladesh ongeveer 14000 kilometer dijk en 3000 kilometer straat door de golven zal worden verzwolgen. In aanzienlijke gebieden aan de kust van Bangladesh groeit al geen rijst meer omdat de bodem te zeer verzilt is. Als de zeespiegel 30 centimeter stijgt, dan wordt, 'als alles zo doorgaat', ongeveer 20% van het huidige landbouwareaal in Bangladesh onbruikbaar. Miljoenen mensen moeten dan hun heil elders zoeken.

Vergelijkbare problemen betreffen diverse andere deltagebieden in de derde wereld. In Afrika zijn het de Nijldelta en de rivierdelta's in West-Afrika (in Nigeria, Gambia en Senegal) die naar verhouding veel land zullen kwijtraken. Wanneer de zeespiegel één meter stijgt, gaat bijvoorbeeld naar schatting ongeveer 30% van de Nijldelta teloor. Eilandstaatjes als Kirbati, de Malediven, de Marshalleilanden en Tuvalu, dreigen door de combinatie van een stijgende zeespiegel en gangbare stormen goeddeels kopje onder te gaan.

Zelfs in rijke industrielanden die voorzieningen treffen ter bescherming van de bevolking en om te vluchten, blijven stormvloed en een probleem. De overstrooming van New Orleans in 2005 door de orkaan Katrina (ongeveer 1200 dodelijke slachtoffers) wees daar nog eens op. In het gebied waarin New Orleans ligt, lijkt de kans op zware stormen toe te nemen wanneer het zeewater verder opwarmt en La Nina heerst. En de zeespiegel stijgt. De kans dat New Orleans de komende eeuwen het hoofd boven water kan blijven houden, lijkt gering.

Geschat wordt dat in 2080, bij de huidige kustverdediging, wereldwijd jaarlijks ongeveer 100 miljoen mensen moeten evacueren vanwege stormvloed en. Op sommige plaatsen heeft de bevolking in dit licht al eieren voor zijn geld gekozen. Op het eiland Vanatu is de nederzetting Lateu op een hoger gelegen plaats in veiligheid gebracht. En de huidige president van de Malediven werd gekozen op een programma dat voorziet in de aankoop van hooggelegen grond in het buitenland, om daarheen de wijk te kunnen nemen.

Tsunami's

Naast stormvloeden vormen tsunami's een probleem. Deze zijn het gevolg van aard-, annex zeebevingen. Het Middellandse Zeegebied wordt gekenmerkt door het relatief frequent optreden van tsunami's. Sommige ervan duiken op in het werk van klassieke auteurs zoals Herodotos en Thucydides. De laatste legde ook het correcte verband tussen aardbeving en tsunami.

De afgelopen 3300 jaar zijn er in de Middellandse Zee naar schatting rond de 300 tsunami's geweest. In december 2002 zakte bijvoorbeeld een stuk van de Stromboli-vulkaan de Middellandse Zee in en veroorzaakte daar een golf van tien meter hoog. Het eind van de Minoïsche beschaving (met het centrum op het eiland Kreta) wordt wel in verband gebracht met een tsunami die 3600 jaar geleden optrad als gevolg van een uitbarsting van de vulkaan Santorini. Er zijn aanwijzingen dat ongeveer 8000 jaar geleden een groot stuk van de vulkaan Etna op Sicilië (ongeveer 35 kubieke kilometer) de Middellandse zee inplonsde en een wijdverbreide verwoesting van nederzettingen aan de Middellandse Zeekust veroorzaakte.

Stevig in het geheugen gegrift is de tsunami in de Stille Oceaan op tweede kerstdag 2004, die meer dan 230 000 dodelijke slachtoffers eiste. Fundamentalistische christenen en islamieten trokken bij gelegenheid daarvan een parallel met de Zondvloed van Noach: de tsunami zou bedoeld zijn om zondaren te straffen. Op een islamitische website verscheen ter ondersteuning daarvan een foto van het dorpje Taunom (Sumatra) waar alleen de moskee overeind stond en alle huizen waren geveld. De moskee was dan ook het enige stenen gebouw in het dorp. Omdat de spanning in de aardkorst ter plaatse door de aardbeving van 2004 slechts voor een beperkt deel zijn ontladen, is het waarschijnlijk dat in de komende decennia nog een tsunami zal optreden die tenminste even verwoestend zal zijn als die van 2004, ongeacht de lokale zondigheid.

Ook voorheen waren er in de Stille Oceaan tsunami's. Bij de tsunami van 1883 ten gevolge van de uitbarsting van de Krakatau-vulkaan in Indonesië, verdronken tenminste 36 000 mensen. Er zijn verder aanwijzingen gevonden dat vergelijkbare tsunami's met die van Kerstmis 2004 optraden in de veertiende en negende of tiende eeuw. En ook de Atlantische Oceaan is het toneel van tsunami's. In samenhang met de aardbeving die in 1755 Lissabon verwoestte, trof een tsunami de kusten van Noord-Amerika en het Caraïbisch gebied.

De uit de geschiedenis bekende tsunami's zijn overigens bescheiden vergeleken bij wat er kan gebeuren als zeer grote stukken vulkaan afbreken. De afgelopen tien-duizenden jaren is dat waarschijnlijk twee keer gebeurd op de Canarische eilanden. Er zijn aanwijzingen dat de bijbehorende vloedgolf een hoogte bereikte van vele tientallen meters. Wanneer de vulkaan Cumbre Vieja op de Canarische eilanden inzakt, kan in de toekomst iets vergelijkbaars gebeuren.



3.3 Baten van de zee

Ondanks alle gevaren had en heeft leven aan zee ook aantrekkelijke kanten. In de periode dat de Homo sapiens door jagen en verzamelen aan de kost kwam, was verblijf nabij de zee vaak aantrekkelijk voor de voedselvoorziening. In hoofdstuk 7 komt dit nader aan de orde. Vroege landbouwers en veehouders in Holland combineerden deze wijze van bestaan deels met zeevisvangst.

Middeleeuwen

De 'Friese' bewoners van wat nu Nederland is, richtten zich al vroeg op de zeevaart. In de vroege middeleeuwen was er een graantekort in West- en Noord-Nederland, dus begaven de 'Friezen' zich te water om door handel graan te bemachtigen. Ze visten ook. Zij legden de basis voor een gelijksoortige cultuurontwikkeling langs de kusten van de Noord- en Oostzee. Nederduits, waaruit het Nederlands is ontstaan, werd in de betrokken kustgebieden een algemeen gesproken taal. Kinderen werden op soortgelijke wijze opgevoed. Er ontstonden relatief vroeg steden. De geletterdheid was verhoudingsgewijs groot. Later was er in dit gebied geen heksenjacht en brak het protestantisme snel door.

Anders dan nu, lag men tijdens warme dagen in de middeleeuwen niet massaal op het strand. Maar in zee gezwommen werd er wel, tot in de hoogste kringen. Jacoba van Beieren nam op 9 augustus 1416 met haar hofdames een zeebad.

In Zuidwest-Nederland maakte men op nog een andere wijze gebruik van de zee: door de bouw van getijdenmolens, die eb- en vloed gebruikten als energiebron. De eerste bekende vermelding betreft een getijdemolen bij Zierikzee uit 1220. Uiteindelijk werden er, voor zover bekend, 42 getijdenmolens geplaatst. Deze dienden onder meer als korenmolen, papiermolen, zaagmolen en oliemolen. In 1887 werd de laatste daarvan (bij Bergen op Zoom) buiten gebruik gesteld.

Ook elders in Europa werden in de middeleeuwen de banden met de zee aangehaald. Een evident voorbeeld is Venetië. Er ontstond daar een ceremonie waarbij de doge van Venetië met de zee trouwt. De stad kreeg dankzij haar schepen grote invloed in het oostelijk deel van de Middellandse Zee.

Gouden Eeuw

Wanneer de landbouw in grote delen van West-Nederland gedurende de zestiende eeuw teloor gaat, monteren de boeren uit Holland massaal aan op de vloot. Dat legde de basis voor de Gouden Eeuw. Hollandse spraakmakers waren tijdens de Gouden Eeuw positief over de zee. Dat is te zien op de toen gemaakte kaarten van Amsterdam. Normaal is op kaarten het noorden boven en het zuiden beneden, maar op zeventiende-eeuwse Amsterdamse kaarten is dat net andersom. Onderaan deze kaarten is het IJ te zien, dan een uitloper van de Zuiderzee, compleet met talloze schepen.

Ook elders stond de zee bij gelegenheid in hoog aanzien. De inwoners van een van de eerste kolonies in Noord-Amerika, Jamestown, werden rond 1610, tijdens een periode van verschrikkelijke oogstvernietigende droogte, voor uitsterven behoed door het eten van oesters.

De liefde voor de zee was echter verre van algemeen. Dat gold ook voor Holland. De ex-boeren uit Waterland zaten op de zeeschepen omdat ze geen andere keus hadden. Toen de landbouw zich herstelde dankzij het wegpompen van water door verbeterde windmolens, kozen de mannen van Waterland vaak weer voor het boerenbedrijf. Het werk op de schepen werd toen vooral iets voor bajasklanten en straatarme sloebers.

Zeventiende-eeuwse Amsterdammers bezochten het strand als er iets zeer bijzonders, zoals een walvis, was aangespoeld. Maar verder was het strand toch meer iets voor strandjutters. Zeeziekte werd toegeschreven aan de kwade dampen van de zee.

In de achttiende eeuw wordt in Europa de houding ten opzichte van de zee gunstiger. Theologische interpretaties van de zee als oord van chaos, zeemonsters en de Satan, raakten uit zwang. De West-Europese elite ging in toenemende mate op 'Grand Tour' in Italië en leerde daarbij de geneugten van de Italiaanse stranden. Profeten van het gezonde zeewater dienden zich aan. Zo begon in de jaren 1740 dr. Russel in Brighton met het voorschrijven van baden in, en drinken van, zeewater ter genezing van 'ziekten van de klieren'.

Negentiende eeuw

In de negentiende eeuw, wanneer stoomschepen de zee 'temmen', veranderde de houding ten opzichte van de zee verder. Een geopolitiek theoreticus als Ernst Moritz Arndt meende dat 'elk land zijn zee moest hebben'. Karl Marx zag een oorzakelijke relatie tussen politieke macht en toegang tot de zee. Is op schilderijen uit de Gouden Eeuw het strand maar zelden een gunstig belicht onderwerp, in de negentiende eeuw wordt datzelfde strand een veelgeschilderd object dat wordt geacht aangename gevoelens op te roepen. De romantiek maakte de kust tot een gunstige plaats voor het verwerven van zelfkennis, zoal niet voor de waarneming van 'het sublieme'.

Tijdens de discussies van de Duitse Nationale Assemblee te Frankfurt in 1848 over de vraag of Duitsland een marine moest hebben, zag de liberaal Tellkamp het zo: 'in klassieke en moderne tijden was het in de zeevarende handelsnaties dat de meest vrije vorm van politiek leven zich ontwikkelde en domineerde. De zee, dat bewegende element, gedooft geen stagnatie noch in het politieke noch in het sociale leven. Door het frisse en magnifieke zeeleven blijft een volk voor eeuwig jong en sterk'.

Europese dokters bevalen in de negentiende eeuw op ruime schaal baden in zeewater aan tegen onder meer depressies, zenuwziekten, astma en andere longziekten. Om daar een graantje van mee te pikken, begon Jacob Pronk in 1818 een badhuis in Scheveningen, geschikt voor de bestrijding van kwalen die de betere standen teisterden, zoals zwaarlijvigheid, melancholie en verveling. Dit badhuis werd in 1828 vervangen door een Grand Hotel des Bains, en in 1885 door het nog chiquere Kurhaus. De negentiende-eeuwse elite begaf zich niet alleen in toenemende mate naar



Scheveningen, maar ook naar andere badplaatsen zoals Banyuls sur Mer, de Noordduitse waddeneilanden, Knokke en Ostende. Keizerin Elizabeth (Sissi) van Oostenrijk bezocht in 1884 en 1885 voor haar gezondheid Zandvoort. In 1894 presenteerde de Fransman Rene Quinton zijn theorie dat zeewater en bloedserum chemisch identiek zijn, hetgeen volgens hem de 'gezondheid' van zeewater onderstreepte.

Twintigste eeuw

Het kuren met zeewater bleef in de twintigste eeuw populair. Het kreeg een nieuwe naam (thalassotherapie) en een nieuwe impuls toen de befaamde wielrenner Louis Bobet in 1964 dankzij thalassotherapie herstelde van een auto-ongeluk. De huidige zeer bemiddelde wereldburger spoedt zich naar zeebadgelegenheden als Le Fontaine Centre in Bahrein, geadverteerd als 'een oase van stilte', of de Soleil d'Or in Jeddah, bekend vanwege de 'organische zuiverheid'.

Tot in de psychiatrie is de omslag in de appreciatie van de zee te vinden. In de Freudiaanse traditie is zo ongeveer het mooiste: 'een oceanisch gevoel'. Dit zou vergelijkbaar zijn met het Nirvana, en geassocieerd zijn met een terugkeer naar het vruchtwater in de baarmoeder.

Het twintigste-eeuwse massatoerisme werpt zich niet zozeer op het kuren met zeewater als wel op de zeestranden. Deze moeten wel worden aangekleed om ze aantrekkelijk te maken. Een kleine minderheid van de strandbezoekers opteert voor het strand zoals dat 'in het wild' voorkomt. De overgrote meerderheid wil echter ruime faciliteiten in de sfeer van horeca en vermaak, en voorzieningen om comfortabel te zitten en te liggen, en plankier om niet te veel door het zand te hoeven 'baggeren'. De geopolitieke waarde van een ligging aan de zee, vermindert niet. Een voorbeeld is het in de jaren 1920 ontstane, en tot op de dag van vandaag voortdurende, gebruik om Polen jaarlijks met de zee te laten trouwen, waarbij een platina ring in de Oostzee wordt geworpen. Tijdens de Last Night of the Proms wordt in de Albert Hall nog altijd luid 'Britannia rules the waves' gezongen.'

Rijkdommen van de zee

Met het krappere worden van de voorraden natuurlijke hulpbronnen te land nam in de twintigste eeuw de interesse in de exploitatie van de minerale rijkdommen ter zee sterk toe. De firma Billiton ging bijvoorbeeld tinertsen baggeren aan de kusten van wat nu Indonesië is. Na de Tweede Wereldoorlog verschenen booreilanden voor olie en gas.

Allengs wordt via deze booreilanden op steeds grotere diepten in zee geboord en de omstandigheden waaronder steeds heftiger. Langs de Amerikaanse Westkust werd de goldrush uitgebreid naar de zee. In Namibië werd de winning van diamanten voortgezet in het gebied voor de kust. In de periode van 1970 tot 1985 werd ongeveer een miljard dollar in het water geworpen in een vergeefse poging om mangaanknollen van de bodem van de oceaan te halen.

Dankzij de gestegen grondstofprijzen staat men klaar voor een nieuwe ronde in de exploitatie van de zee: fosforertsen voor de kusten van Marokko, Namibië, Zuid-Afrika, Australië, Mexico, Peru en Chili, metaalertsen uit de bodem van de Rode Zee en uit de

kustwateren van Nieuw-Guinea, en wederom mangaanknollen van de bodem der Stille Oceaan. De zeevisvangst nam in de twintigste eeuw een grote vlucht, die duur wordt betaald, ditmaal door, zoals in hoofdstuk 7 wordt uiteengezet, het ineensstorten van een groot aantal vispopulaties.

De 'rijkdommen' van de zee, en de uitputting daarvan, leiden tot de vraag hoe het zit met eigendom. De eigendom van de zee is sinds lang het voorwerp van levendige discussies. In het Romeinse recht was het uitgangspunt dat volgens de Natuurwet de zee en de kust tot het gemeenschappelijke erfgoed behoren. Heersers konden geen eigenaar zijn. Ook gedurende de middeleeuwen was in Europa de aanhang voor dit standpunt groot. De Engelse koningin Elizabeth I en de Nederlandse rechtsgeleerde Grotius waren voor een vrije zee (*mare liberum*), in lijn met het oude Romeinse recht. Nederland bleef dat volhouden (omdat het goed was voor de Nederlandse handel), maar de Stuart-koningen van Engeland zagen meer in een *mare clausum* (gesloten zee), niet in de laatste plaats om de Nederlanders weg te houden van de haring die voor de Britse kust zwom. Het bijbehorende concept van territoriale wateren heeft sindsdien ruim baan gekregen.

Daarbij is het niet gebleven. De interesse voor 'bodemschatten' vergrootte de interesse in de zeebodem, en in het voetspoor daarvan is de zeggenschap van kuststaten over de zeebodem uitgebreid tot de grenzen van het 'continentale plat'. In de noordelijke Poolzee, waar het zeewater het in de zomer steeds meer wint van het ijs, woedt nu een geopolitieke twist over de vraag van wie de vrijkomende zee en zeebodem nu eigenlijk zijn. Canada en de Verenigde Staten ruziën erover of de zeeroutes van Baffin Bay naar Alaska internationale of Canadese wateren zijn. Rusland en Noorwegen strijden over het grensverloop ter zee op plaatsen waar gasvoorraden kunnen zijn. En alle aangrenzende landen mikken op zoveel mogelijk continentaal plat in dat gebied, met het oog op de vermoede 'bodemschatten'.

Buiten de territoriale wateren en het continentale plat is de zee vrij, maar daar duikt regelmatig de vraag op wie daar militair de baas is. De Engels-Nederlandse oorlogen in de zeventiende en achttiende eeuw gingen in belangrijke mate over de kwestie welke marine 'de golven regeert'. De rivaliteit tussen de Engelse en Duitse marines was een belangrijke factor bij het uitbreken van de Eerste Wereldoorlog. En 2010 was het jaar van een heftig debat over de zeeblokkade van Gaza door Israël, waarbij schepen werden gestopt in de 'internationale wateren'.

4 Zoet water

Naast heel veel zout water, is er ook zoet water. Dit is voor de mens, zoals eerder vermeld, van vitaal belang. De mens kan vele weken zonder eten, maar veel korter zonder zoet water. Ook voor de huidige voedselvoorziening is een adequate hoeveelheid zoet water onmisbaar. Vaak was en is de neerslag een belangrijke beperkende factor bij de voedselvoorziening. Middeleeuwse West-Europese kronieken besteden daaraan veel aandacht. Overstromingen, te natte akkers, droogte en grote hagelstenen zijn veelvuldig de oorzaak van hongersnood. Studies over de agrarische productie in Rusland tijdens de twintigste eeuw laten zien dat de fluctuaties daarin vooral worden bepaald door de regenval. 2010 was daarop geen uitzondering met een omhoogschietende tarweprijs door ernstige droogte in Rusland.

Sommige landbouwplanten kunnen redelijk tegen verzilte grond. Daartoe behoren spinazie, dadelpalmen, sommige bieten, katoen en gerst. Maar dat zijn uitzonderingen op de regel. Er wordt al tijdens gewerkt aan gewassen die beter tegen zout kunnen, maar tot nu toe zonder noemenswaardig succes.

Zoet water vervult ook een rol als vaarwater, als vuilnisvat, bij de voorziening met waterkracht, en als woonplaats en drinkwater voor vele natuurlijke soorten. Zoet water heeft ook cultureel belang. Wie de landschapsschilderkunst uit de zeventiende eeuw overziet, merkt dat de kern van het landschap vaak niet zozeer het land is als wel het oppervlaktewater: de meren, poelen, rivieren, kanalen en sloten.

4.1 Zoet en zilt

Het vloeibare zoete water bevindt zich op en in de continenten: te land. Zoet water maakt ongeveer 3% uit van de hoeveelheid water op aarde. Het grootste deel daarvan is, zoals eerder vermeld, opgeslagen in ijs. Van het vloeibare water is het grootste deel grondwater. De precieze hoeveelheid zoet grondwater is niet bekend, maar er wordt geschat dat ongeveer 97% van al het vloeibare zoete water grondwater is. In Europa is de hoeveelheid zoet grondwater zelfs ruwweg 500 tot 1000 maal zo groot als de hoeveelheid zoet oppervlaktewater.

Het zoete grondwater en oppervlaktewater onderhouden nauwe relaties. De toevoer van water naar rivieren bestaat grotendeels uit grondwater. Omgekeerd kan rivierwater door oeverinfiltratie grondwater worden. Deze relaties vindt men terug in de vervuilingsspatronen. Zo kunnen in het grondwater nabij rivieren microben, virussen en slecht afbreekbare geneesmiddelen worden gevonden, afkomstig uit het rivierwater. Omgekeerd ontstaat de vervuiling van rivieren met nitraten goeddeels als gevolg van door agrarische activiteiten vervuild grondwater.

Verzilting van zoet water

Niet alle water te land is zoet. Sommige oppervlaktewateren op de continenten zijn zout geworden door de aanvoer van zout met rivierwater en/of grondwater en door verdamping. Daartoe behoren de Kaspische en de Dode Zee.

Onder Nederland zit ongeveer tien maal zoveel zout water als zoet water. Het kost bijvoorbeeld veel moeite om het oppervlaktewater in de kustgebieden zoet te



houden. Een goede illustratie vormt de opmars van zout water in de Nieuwe Waterweg. Traditioneel waren aan de 'Maasmond' diverse inlaten voor zoet water, bestemd voor Delfland (inclusief het Westland). In de periode tot 1947 kwamen deze allemaal te vervallen vanwege het uit de Nieuwe Waterweg afkomstige zoute water. Sinds 1988 wordt er dan ook, via een pijpleiding onder de Nieuwe Waterweg door, zoet water vanuit het Haringvliet naar Delfland gepompt om de verzilting te beperken. In de zomer van 2003 bleek dat dit onvoldoende was om Zuid-Holland zoet te houden en moest via Amsterdam IJsselmeerwater worden aangevoerd om de tuinders voor grote schade te behoeden. En er moet veel zoet water door de Nieuwe Waterweg worden gejaagd om de 'zouttong' niet nog verder het land in te laten komen. Er is daarom geopperd stroomopwaarts van de Maeslantkering in de Nieuwe Waterweg een stuw te bouwen. Het opgestuwde zoete water zou dan mede kunnen worden gebruikt voor het zoet houden van de Zuid-Hollandse en Zeeuwse eilanden. Want ook daar is de verzilting in toenemende mate een probleem. Er loopt daarom al een zoetwaterleiding van de Biesbosch naar Zuid-Beveland.

Ongeveer 15% van het regenwater dat in Nederland valt, is thans nodig om de polders zodanig door te spoelen dat het zoutgehalte van het oppervlaktewater niet te veel oploopt. Als er in de winter veel zout wordt gestrooid tegen gladheid, dan moet dat percentage omhoog.

Met de stijging van de zeespiegel neemt de voor het doorspoelen benodigde hoeveelheid regenwater toe. Dat is het gevolg van toenemende 'zoute kwel': het omhoog komen van zout grondwater. Op een aantal plaatsen valt de zoute kwel nog wel mee, omdat het zoute water in de bodem opgesloten zit onder een afsluitende laag. Of de afsluitende lagen het houden als de zeespiegel stijgt, is twijfelachtig. Met name bij een zeespiegelstijging van twee meter of meer wordt gevreesd dat de thans nog afsluitende lagen het zullen begeben.

De zoute kwel bedreigt ook in toenemende mate de diepgelegen polders in West-Nederland. Dat komt omdat het zeewater onder de duinen door naar binnen dringt, met een stroomsnelheid van ongeveer 2,5 kilometer per eeuw. Men verwacht dat daardoor een diepgelegen polder als de Beemster in de loop van de komende eeuwen gaat verzilten, als het zeewater al niet over de dijken de Beemster instroomt.

Andere landen kampen eveneens in toenemende mate met verzilting van het zoete water. Wat betreft het oppervlaktewater is daarbij een belangrijke factor dat veel rivieren minder zoet water afvoeren. Verminderde waterafvoer kan ertoe leiden dat het zeewater in de riviermonding opruikt. Een voorbeeld daarvan is de Nijl. Het zoute water van de zee komt daardoor inmiddels ongeveer 30 kilometer de Nijldelta in. Er kunnen ook andere redenen zijn voor oprukkend zout grondwater. In de bodem van de Jordaanvallei zijn op een relatief geringe diepte zoutafzettingen en insluitsels van pekels te vinden die afgezet zijn in de tijd dat daar het zoute Lisanmeer was. Dit meer strekte zich uit van het huidige Meer van Gallilea tot ongeveer 30 kilometer ten zuiden van de Dode Zee. De zoutresten daarvan in de bodem geven plaatselijk aanleiding tot zout bronwater. Dat verschijnsel neemt toe door overmatig gebruik van zoet grondwater.

Overmatig gebruik van zoet grondwater leidt ook elders tot het oprukken van zout grondwater. Bijvoorbeeld in Gaza, waar door zoetwateronttrekking in toenemende mate sprake is van verzilting van waterbronnen. In hoofdstuk 5 worden meer voorbeelden van verzilting door overmatige zoetwateronttrekking besproken.

Zoute grond

Daarnaast kampt men op een groot aantal plaatsen met verzilting van de bovengrond die voor de landbouw wordt benut. Verzilting van de bovengrond is een oud probleem. Er zijn sterke aanwijzingen dat in het verleden de verzilting van agrarische bodems twee maal spectaculair uit de hand is gelopen, beide malen in wat nu Zuid-Irak is. De eerste keer was rond 1700 voor Christus. Door deze verzilting ging waarschijnlijk de derde dynastie van Ur ten onder en raakte wat toen Zuid-Babylonië was goeddeels verlaten. De tweede keer was tijdens het kalifaat van de Abbasiden. Rond het jaar 1000 raakte Zuid-Irak daardoor opnieuw vergaand ontvolkt. De verziltingsproblemen van agrarische bodems zijn thans het grootst in relatief droge gebieden, waar de neerslag minder dan 20 tot 30 centimeter per jaar bedraagt en landbouw wordt bedreven met behulp van irrigatie. Het in het irrigatiewater aanwezige zout hoopt zich in deze gebieden vaak op in de bovengrond. In beginsel is het mogelijk verzilting afdoende te bestrijden door het gebruik van voldoende irrigatiewater voor uitspoeling en drainage op een diepte van twee tot drie meter. Dat kan. In de oases van Samarkand en Tashkent wordt al vele eeuwen irrigatielandbouw bedreven zonder verzilting. Maar op veel plaatsen gebeurt dat niet, en wordt jaarlijks twee tot vijf ton zout per hectare aan bovenlaag van de bodem toegevoegd.

Wanneer het zout wel uit de bodem wordt gespoeld, leidt dit tot een ander in belang toenemend probleem. Diverse benedenlopen van rivieren waaraan veel irrigatiewater wordt onttrokken, zijn sterk aan het verzilten. Dit bemoeilijkt het nuttig gebruik door mensen en verandert het rivierecosysteem. Tot deze categorie rivieren behoren onder meer de Oranjerivier in Zuid-Afrika en de Murray-rivier in Australië. Langs de Gele Rivier in China gaan rietkragen teloor omdat de bodem, en het daarin aanwezige grondwater, daarvoor te zout zijn.

Verzilting kan daarnaast ook het gevolg zijn van stijgend grondwater, dat het in de bodem aanwezige zout naar de oppervlakte brengt. Dit kan samenhangen met ontbossing of de aanleg van stuwweren.

Naar schatting is nu vier miljoen vierkante kilometer bovengrond sterk verzilt. Verzilte gronden kunnen worden gevonden onder meer in de landen in Noord-Afrika en het Nabije Oosten, van Libië tot Iran, en verder: Uzbekistan, Tadjikistan, Australië, de Verenigde Staten, Pakistan, India en China. De verzilting neemt snel toe. Alleen al voor Zuidwest-Australië wordt geraamd dat het sterk verzilte areaal, 'als alles zo doorgaat', zal toenemen van 1 miljoen hectare nu tot 5,4 miljoen hectare in 2050. Wereldwijd is op 45 miljoen hectare grond die wordt geïrrigeerd sprake van een snelle stijging van het zoutgehalte in de bovengrond. Jaarlijks gaat over de wereld naar schatting anderhalf miljoen hectare geïrrigeerde grond door verzilting verloren voor de landbouw.



Ontzilt water

Zout water kan worden omgezet in zoet water door ontzilting. Ontzilting vindt slechts beperkte toepassing. Dat hangt samen met de hoge energiekosten. Moderne ontziltingsinstallaties verbruiken ongeveer vier kilowattuur om een kubieke meter zoet water te produceren. In theorie moet dat verbruik omlaag kunnen naar ongeveer 1,5 kilowattuur, maar ook dat is nog altijd een forse inzet van energie. Met stijgende brandstofprijzen in het vooruitzicht, wordt naarstig gezocht naar mogelijkheden om deze installaties te bedienen met duurzame energie. Curacao heeft windmolens die de ontziltingsfabriek gedeeltelijk van stroom voorzien. Ook zonnecellen worden wel toegepast en het gebruik van golfenergie is in studie.

Het aandeel van ontzilt water in de wereldwijde voorziening van drinkwater is ongeveer 1%. Zestig procent van de productie van ontzilt water vindt plaats in het gebied van de Perzische Golf. De ontziltingsinstallaties daar worden gestookt met (goedkoop gehouden) fossiele brandstoffen uit de regio. Het ontzilt water is als regel geschikt voor menselijke consumptie, maar bij toepassing in land- en tuinbouw kunnen problemen ontstaan. In Israël, waar ontzilt water werd gebruikt bij de teelt van tomaten en bloemen, trad bijvoorbeeld gewasschade op door een teveel aan borium en een tekort aan magnesium. In Saudi-Arabië, het land met de meeste ontziltingsinstallaties en de minste geldzorgen, is het aandeel ontzilt water in de totale watervoorziening ongeveer 5%. Het grote belang van ontziltingsinstallaties maakt ze – bij gelegenheid – tot doel voor militaire acties. Tijdens de eerste Golfoorlog gebeurde dat met de ontziltingsinstallaties van Koeweit

Fossiel water

Ongeveer driekwart van het zoete grondwater in de bodem wordt fossiel grondwater genoemd. De desbetreffende voorraad is tot stand gekomen in een ver verleden, vaak in een periode dat het relatief nat was. Aanvulling van de voorraden fossiel grondwater die thans in gebruik zijn, vindt niet of nauwelijks plaats.

Zo zijn in de Sahara grondwatervoorraden tot stand gekomen gedurende perioden waarin het daar flink regende. In de Kharga- en Dakhla-oases (Zuid-Egypte) regent het nu gemiddeld minder dan 0,8 millimeter per jaar, maar dat was niet altijd zo. Tijdens de 'kleine ijstijd', tussen 1350 en 1650, regende het daar beduidend meer, zoals uit nog overeind staande dode bomen (acacia's en zoute ceders) kan worden afgeleid.

130 000 jaar geleden was de neerslag in Zuid-Egypte vele honderden millimeters per jaar. In die tijd is water in de bodem opgeslagen dat nu de bronnen van de oases voedt. Dat water maakt deel uit van een grote voorraad in de Nubische zandsteen aquifer. Deze strekt zich ook uit onder de Sinaiwoestijn en tot aan de Dode Zee, omvat een oppervlak van ongeveer twee miljoen vierkante kilometer en bevat naar schatting 150 000 kubieke kilometer grondwater. De gemiddelde verblijftijd van water in de Nubische aquifer wordt geraamd op ruwweg 270 000 jaar. In de Westelijke Sahara is er eveneens een grote voorraad zoet fossiel water. Het water daarin is gemiddeld 200 000 tot 400 000 jaar oud. En in Australië wordt zoet fossiel water benut dat naar schatting al een miljoen jaar in de bodem zit.

De fossiele grondwatervoorcomens zitten deels opgesloten in de bodem en lopen deels geleidelijk leeg. Water uit de Nubische aquifer stroomt bijvoorbeeld in de Nijl, de Middellandse Zee, de Rode Zee en de Dode Zee en voedt oases en meren in de woestijn. Het gebruik van het fossiel grondwater door omleiding van het water dat rechtsreeks naar zee zou stromen, is iets dat men vaak met droge ogen kan doen. Maar het feitelijke verbruik van fossiel grondwater gaat daar op veel plaatsen ver bovenuit. Grote onttrekkingen van fossiel water vinden onder meer plaats in het zuidwesten van de Verenigde Staten, in India, Australië, en een aantal landen in het Midden-Oosten en Noord-Afrika, waaronder Egypte, Oman, Bahrein en Saudi-Arabië. Van het water dat wordt verbruikt in de landen van de Gulf Cooperation Council (Arabische landen nabij de Perzische Golf) is ongeveer 60% fossiel grondwater. Het grootste project voor de uitbreiding van het fossiel waterverbruik is thans 'de grote door de mens gemaakte rivier' in Libië. Dit project betreft een aantal grote pijpleidingen (met een doorsnee van ongeveer vier meter), die fossiel water uit het zuiden van het land naar de kuststreek moeten brengen.

Hernieuwbare zoetwatervoorraden

Daarnaast zijn er grondwatervoorraden die vernieuwbaar zijn. Deze worden flink aangevuld door de recente toevoer van regenwater, of vanuit oppervlaktewater. Vergeleken met de totale hoeveelheid niet-fossiel grondwater, ligt de jaarlijkse toevoeging in de orde van enkele procenten. Een aanmerkelijke hoeveelheid van het vernieuwbare grondwater stroomt de zee in. De hoeveelheid grondwater die van de continenten de Atlantische Oceaan inspoelt, is volgens de beste beschikbare schatting ongeveer even groot als de toestroom vanuit de rivieren.

Voorts is er een aanzienlijke hoeveelheid zoet oppervlaktewater, in totaal ongeveer 3% van het vloeibare zoete water. Dit zoete water wordt in aanmerkelijke mate aangevuld met neerslag, en geldt dan ook als vernieuwbaar.

Alles bijeen wordt jaarlijks door neerslag een aanzienlijke hoeveelheid zoet water toegevoegd aan de vernieuwbare voorraad. Daarvan kan in theorie ongeveer een derde worden benut. In de praktijk is dat minder. De regen die neerdaalt op de dunbevolkte delen van Scandinavië heeft bijvoorbeeld geen praktische betekenis voor de zoetwatervoorziening van Zuid-Spanje of Libië. Ongeveer 20% van de hoeveelheid zoet oppervlaktewater zit in één meer: het Baikalmee. Maar daar heeft men in de Amerikaanse Mohavewoestijn weinig aan. Met enig optimisme wordt de beschikbare hoeveelheid zoet water die jaarlijks voor onttrekking door mensen beschikbaar is zonder dat wordt ingeteerd op de voorraden, geraamd op 14 000 kubieke kilometer.

4.2 Hydroschizofrenie

Hoewel zoet oppervlaktewater maar een klein deel uitmaakt van de totale hoeveelheid zoet water, trekt dat oppervlaktewater de meeste aandacht van spraakmakers en machthebbers. Dit wordt wel als hydroschizofrenie getypeerd. Ook in Nederland zijn daar tekenen van. Bij watermanagement wordt door de Nederlandse kroonprins



vooral gedacht aan het tegengaan van overstromingen, en veel minder aan de verdroging door de verlaging van de grondwaterstand. Vervuiling van oppervlaktewater is veel meer een punt van publieke opwindning dan vervuiling van grondwater. En dat terwijl deze laatste vorm van vervuiling, wanneer die eenmaal is ontstaan, eeuwen en soms wel duizenden jaren kan aanhouden. Een andere illustratie van hydroschizofrenie is de enorme grondwateronttrekking door de bruinkoolmijnbouw nabij Aken. Deze leidt tot een forse daling van de grondwaterstand in Limburg, onder andere in het beschermde natuurgebied Meinweg, waar de natuur dan ook fors schade lijdt. De politieke opwindning daarover is minimaal en het lijkt onwaarschijnlijk dat zulks ook het geval zou zijn geweest wanneer iets vergelijkbaars met de Rijn of Maas zou zijn gebeurd.

Hydroschizofrenie staat haaks op het grote belang van grondwater voor de voedsel- en drinkwatervoorziening. Ongeveer 50% van het wereldwijde drinkwater is of wordt gemaakt van grondwater, en in de grote steden is de afhankelijkheid van grondwater nog aanmerkelijk groter. Het grote merendeel van de voedselproductie benut grondwater. De hydroschizofrenie miskent merkwaardigerwijze ook dat het oppervlaktewater voor een zeer groot deel door grondwater wordt gevoed. De gevolgen van de hydroschizofrenie zijn op veel plaatsen te zien. Her en der verdwijnen door grondwater gevoede meren en beken. Door overmatige onttrekking van zoet grondwater rukt in flink wat kustgebieden het zoute water versneld op.

De redenen voor hydroschizofrenie zijn niet gemakkelijk te begrijpen. Het kan zijn dat 'uit het oog, uit het hart' toepasbaar is op grondwater. In China was bijvoorbeeld volgens studies de spectaculaire daling van het grondwater in het noorden van het land tot voor kort geen punt, omdat 'die niet in het oog liep'. Hydroschizofrenie kan ook een onbedoeld bijproduct zijn van privaat grondbezit. Oppervlaktewater en grondwater kennen veelal verschillende 'regimes' (beheerssystemen). In veel landen zijn de oppervlaktewateren van de overheid. Maar wat het grondwater betreft, mag in veel landen iedereen op eigen grond een put slaan. Voor onttrekking van oppervlaktewater zijn vaak moeizame publieke procedures nodig, zoals geen steekpenningen, met de bijbehorende publieke aandacht. Voor het oppompen van eigen grondwater meestal niet.

In een aantal relatief intensief benutte droge gebieden hebben de negatieve gevolgen van hydroschizofrenie er al hard ingehakt. Voorbeelden daarvan zijn China, India, Israël, Mexico, delen van de Verenigde Staten en Spanje.

4.3 Rivieren

Rivieren zijn er in vele soorten en maten. In sommige rivieren (wadi's) staat maar een zeer klein deel van het jaar water. Andere hebben gedurende een flinke periode water, maar bestaan 'van nature' ook een goed deel van het jaar uit droge stukken en poelen. Een voorbeeld daarvan is de Limpopo-rivier, die de grens vormt tussen Zuid-Afrika, Botswana en Zimbabwe. Andere rivieren hebben het hele jaar water.

Rivieren die het hele jaar water bevatten, behoren tot de voor de mens belangrijkste oppervlaktewateren. Hun ligging en waterafvoer zijn echter verre van constant. Rijn en Maas bevatten in het winterseizoen in de regel meer water dan in het zomerseizoen. In de vroege middeleeuwen ging een fors deel van de Rijnafvoer door Utrecht. In het eerste millennium moesten de gebouwen van wat nu de stad Utrecht is een aantal malen worden opgegeven omdat de loop van de Rijn veranderde. Elders zijn de veranderingen niet minder opmerkelijk. Tot 1500 was de Amu Darya via de Uzboi-rivier verbonden met de Kaspische Zee, maar deze laatste rivier is nu geheel droog gevallen.

Riviergoden en demonen

Grote rivieren boezemden traditioneel veel ontzag in. In de vroege Babylonische beschaving was Tammuz een van de topgoden. Hij vertegenwoordigde de wateren van de Eufraat en de Tigris. De ontstaansmythe over het Chinese rijk gaat terug op rivieren die buiten hun oevers traden. Tijdens een grote overstroming zorgde de ingenieur-keizer Yu voor de aanleg van kanalen die het water afvoerden. Ook verdeelde hij wonderklei om dijken te bouwen. Hij handelde daarbij 'in harmonie met de oorspronkelijke natuur'. Aldus voorkwam hij dat de Chinezen 'vissen en garnalen' werden.

Het oversteken of bevaren van rivieren was van oudsher niet zelden een Daad. In de Bijbel moet aartsvader Jacob worstelen met Peni'el, een riviergeest die hem wilde beletten de rivier over te steken. In de Bijbel komt verder het monster Behemoth voor. Dat monster ziet eruit als een nijlpaard en is in staat de rivier de Jordaan leeg te drinken.

De Sumerische riviergod Yammu stond garant voor chaos. De Phoeniciërs hadden riviergoden die men te vriend moest houden, wilde men veilig aan de overkant komen. Elke 8^{ste} december moest de Romeinse god van de Tiber, Tiberinus, met fors ritueel tot goed gedrag worden gemaand. De Romeinse geschiedschrijver Livius beschreef een veldtocht van Decimus Junius Brutus in Spanje. Diens soldaten weigerden de rivier de Lima over te steken, omdat volgens een legende degenen die de rivier passeerden hun oorsprong zouden vergeten. Een veldtocht van de Romeinen in Noord-Afrika tegen Carthago kwam tijdelijk tot staan bij de rivier de Bagradas (thans de Medjerda). Deze rivier bevatte een enorme slang die een flink aantal soldaten at als deze water kwamen halen. Slechts met een massieve inzet van wapens lukte het de slang te doden. Zijn huid en kaken werden naar Rome verscheept en aldaar in opdracht van de Romeinse Senaat opgemeten. De huid bleek daarbij 'ongeveer 36 meter lang' te zijn. Tristan, uit de middeleeuwse romance Tristan en Isolde, is in staat over een rivier te springen, iets dat zijn minder heldhaftige achtervolgers niet kunnen.

Een van de wonderen van de vroegmiddeleeuwse Sint Maarten (van Tours) was dat hij een vervaarlijke rivierslang tot omkeren wist te bewegen, waardoor de brave burgers van Tours met een gerust hart gebruik konden maken van de rivier. In China beschikte de Gele Rivier tot in de negentiende eeuw over een beschermheer in de vorm van een goddelijke zoon van de Gouden Draak, die de rivier in toom kon houden, varenslui kon redden en schepen goed in de vaart kon houden. Katholieken hadden de heilige Christoffel om aan te roepen wanneer ze veilig een rivier wilden oversteken.



Verkeersaders

Met desgewenst een bovennatuurlijke steun in de rug, werden rivieren al vroeg benut. De 'rivierwaardige' kano was vele duizenden jaren voor het begin van onze jaartelling de gemakkelijkste manier om lange afstanden te overbruggen. Lang bleven vaarwegen, zoals rivieren, de belangrijkste verkeersaders. Het transport over water ging niet altijd van een leien dakje. Er waren tollers, ruzies met bezitters van door water gedreven molens over de waterstanden, en verraderlijke stukken, maar transport over land was vaak moeilijker.

In Nederland domineerde in grote delen van het land het transport over water tot ver in de negentiende eeuw. Vrachtvervoer maakte er bij grote voorkeur gebruik van, maar ook voor personenvervoer was verplaatsing over het water vaak te verkiezen boven reizen over land. De grote voorkeur voor scheepsvervoer zat op zijn beurt de bouw van bruggen in de weg, want die zouden het scheepvaartverkeer maar hinderen. Pas na 1850 begint dat te veranderen, en gaan rail- en wegvervoer het verkeer domineren. In de twintigste eeuw loopt dat laatste zo uit de hand dat Sint Christoffel zijn werkzaamheden moet verplaatsen naar het oversteken van de straat door kinderen.

4.4 Door de mens gemaakte waterpartijen

Er is een lange en wijdverbreide traditie van door mensen aangelegde waterpartijen, dijken en dammen. De aangelegde waterpartijen dienden onder meer de waterbeheersing en de irrigatie. Deels was hun functie de bestaande natuurlijke waterwegen 'te verbeteren' of nieuwe vaarwegen te maken.

Aan het begin van de waterbouwtraditie staat vermoedelijk het oude Mesopotamië, het gebied van de Eufraat en de Tigris. Deze twee rivieren waren een stuk ongeduriger dan de Nijl en het hoogwater kwam te vroeg in het seizoen voor de landbouw. Daardoor ontstonden daar al zeer vroeg in de geschiedenis omvangrijke waterwerken voor irrigatie. Aan de oorsprong van het vroege Sumerische rijk stond volgens de overlevering de godheid Ninurta die grote waterwerken verrichtte. Hij legde onder meer dijken aan langs de Tigris ter bescherming van steden. De kanalen Nahrwan en Katul al Kirsrawi die door de geestelijke nazaten van Ninurta in Mesopotamië werden gebouwd, waren de grootste waterwerken in de klassieke tijd. Beide waren meer dan 200 kilometer lang.

Maar de waterwerken waren precair. De Sumerische god Enlil stond bekend om het wegvagen van dijken en het veroorzaken van overstromingen. De vroegste grote, voor irrigatie bedoelde, waterwerken in Egypte dateren van ongeveer 5100 jaar terug. Ook in China werden al vroeg dammen in rivieren aangelegd om het water op te stuwen en dit bijvoorbeeld te gebruiken voor irrigatie. Een van die dammen in Sichuan nabij de stad Chengdu is na 2200 jaar trouwe dienst nog steeds in gebruik. In de klassieke rijken van de Indusvallei en Zuid-Amerika, werden door de Hittieten en de oude Romeinen eveneens waterwegen aangelegd ten behoeve van irrigatie, waterbeheersing en transport.

Voorts werden in de klassieke tijd door water voortbewogen raderen of waterwielen geïnstalleerd. Deze waren geïntegreerd in 'watermolens' en werden vaak gecombineerd met een kleine stuw. De klassiek Romeinse dichter Ausonius meldde bijvoorbeeld het bestaan van zo'n molen voor het zagen van marmer aan een zijrivier van de Moezel.

Terugkijkend was de waterbouw een grote vinding. De klassieke beschavingen van Egypte, Mesopotamië en de Indusvallei zijn ondenkbaar zonder waterbouw.

In West-Europa kwamen de grote waterwerken een stuk later tot stand dan in de gebieden van de klassieke rivierbeschavingen, zoals Mesopotamië. De eerste dam die op Nederlands grondgebied is gevonden, dateert van ongeveer 2175 jaar terug. De Romeinen groeven tijdens de eerste eeuw in Zuid-Holland een vaarweg (het kanaal van Corbulo) tussen het huidige Monster en Leiden. Dit kanaal verbond de Maas met de Oude Rijn, en volgde ruwweg de loop van de huidige Vliet. Ook legden de Romeinen een kanaal aan tussen Arnhem en Driel (de Drususgracht).

Kanalen

De Chinezen hebben op het punt van kanaalaanleg een formidabele traditie. Zo werd daar gedurende wat in Europa de vroege middeleeuwen heette een 1500 kilometer lange 'Officiële Waterweg' aangelegd om de hoofdstad van voldoende graan te voorzien.

In de latere middeleeuwen werd de kanaalaanleg in Europa hernomen, zij het op een bescheidenere schaal dan in China. Dat gold ook voor de aanleg van door water voortgedreven raderen (watermolens), plus veelal bijbehorende kleine stuwen, die werden benut voor een veelheid van werkzaamheden, variërend van houtzagen, het malen van graan en de productie van papier tot het bedienen van blaasbalgen om metaal te smelten.

De eerste vermelding van zo'n watermolen in Nederland dateert uit 704 en betreft een molen bij Waalre in Noord-Brabant. Vooral in Limburg, Gelderland, Noord-Brabant en Overijssel kwamen er uiteindelijk alles bijeen ongeveer 800 waterraderen.

Anno 1148 werd in Nederland begonnen met de aanleg van de Vaartsche Rijn. In de dertiende eeuw groeven Groningers het Schuitediep. In 1385 startte de aanleg van de Leidsche Rijn. Rond 1400 groef men het Aduarderdiep en in 1460 werd een bocht in de Maas bij Heusden afgesneden.

Daarna waren er twee explosies in de aanleg van kanalen: één in de zeventiende eeuw toen de basis werd gelegd voor veel ringvaarten en het trekschuitvervoer tussen de belangrijke steden in het westen en noorden; en één in de negentiende eeuw die vooral gericht was op de vrachtafvaart. De zeventiende-eeuwse waterwerken maakten Nederland tot wereldkampioen hydraulische kennis. Deze kennis werd op ruime schaal geëxporteerd, met name naar Engeland, Polen en Pruisen.

In andere westerse industrielanden was de negentiende eeuw eveneens een toptijd voor de aanleg van kanalen, die deels dienden om rivieren te 'kanaliseren'. In de Verenigde Staten was in de negentiende eeuw de opvatting gangbaar dat de mens

door God bedoeld was om rivieren door kanalen met elkaar te verbinden. Aldus geschiedde. Voorts explodeerde vanaf de late achttiende eeuw de aanleg van irrigatiekanalen. Een plantagebezitter ten tijde van de Amerikaanse revolutie meldde dat delen van staten als South Carolina en Georgia daardoor waren veranderd in 'reusachtige hydraulische machines'.

Aan het begin van de 21^{ste} eeuw vindt nog altijd kanaalaanleg plaats. Lange afstands-transport van water naar gebieden met structurele watertekorten en irrigatie zijn daarvoor belangrijke drijfveren. En in een aantal gevallen zijn kanalen nodig om de problemen te beperken die worden veroorzaakt door eerdere kanalen. Een recent voorbeeld daarvan is de aanleg van een ongeveer 450 kilometer lang kanaal in Turkmenistan, dat drainagewater gaat afvoeren naar wat een 'Gouden Eeuw Meer' moet worden. Dit is een uitvloeisel van problemen rond het eerder gegraven 1375 kilometer lange Karakum-kanaal dat water van de Amu Darya naar de hoofdstad van Turkmenistan en de omgeving daarvan voert (en sterk bijdraagt aan de teloorgang van het Aral Meer). Het Karakum-kanaal heeft tot de vorming van moerassen en ernstige bodemverzilting geleid. Het nieuwe drainagekanaal moet dat probleem helpen oplossen. Of het geheel veel meer zal opleveren dan een nieuwe variant op de Dode Zee, moet nog blijken.

Stuwdammen

De oudst bekende grote stuwdam werd aangelegd in Egypte in de Wadi el Garawi (ten zuidoosten van Helwan, nabij Caïro) tussen 2950 en 2750 jaar voor het begin van onze jaartelling. De dam was ongeveer 100 meter lang en 10 meter hoog en bleek een spectaculaire mislukking. Hij brak snel door, en dat schrok eeuwenlang aspirant-dammenbouwers in het Middellandse Zeegebied af. De echte hausse in het aanleggen van grote stuwen (met een hoogte van ongeveer 10 meter of meer) begint in de westerse industrielanden pas in de negentiende eeuw. Deze stuwen dienen voor de watervoorziening en de scheepvaart en voorzien in het aandrijven van turbines voor de productie van waterkracht (witte steenkool).

In de twintigste eeuw kreeg de bouw van stuwdammen een extra stimulans door zeer grote projecten voor de economische ontwikkeling van gebieden. De opgewekte elektriciteit werd gebruikt voor industrieën en steden, en een deel van het water voor de grootschalige irrigatielandbouw en soms voor de drinkwatervoorziening. Al vroeg in de twintigste eeuw leidde dat in industrielanden tot confrontaties met natuurvrienden. De stuwdam in de Hetch Hetchy vallei in Californië was vanaf 1909 het voorwerp van strijd met de pas ongerichte Sierra Club. De dam kwam er toch, al zijn er nu weer discussies over de sloop. In de jaren dertig vatte de Nederlandse regering het plan op om van het Geuldal een stuwmeer te maken. Daartegen kwamen natuurbeschermers met succes in het geweer. Succes voor natuurvrienden was echter zeldzaam. De twintigste en 21^{ste} eeuw zijn dan ook het tijdperk van zeer grote damprojecten gericht op economische ontwikkeling. Deze projecten leiden vaak tot een omvangrijke aftap van water, overwegend voor irrigatiedoeleinden, maar ook voor

koeling en drinkwatervoorziening. De aftap vermindert de hoeveelheid water benedenstrooms en dat kan daar tot waterkrapte leiden.

Een lichtend voorbeeld van stuwdamprojecten gericht op economische ontwikkeling was het project in de vallei van de Tennessee (Verenigde Staten), onder leiding van de Tennessee Valley Authority, dat dateert van de jaren dertig. Eveneens van de jaren dertig dateert het Eerste Hydraulische Plan voor Spanje, bedoeld om 'het onrecht en de wanorde van de natuur te corrigeren'. Dit onder het motto 'dat Spanje nooit rijk zal worden zolang de rivieren nog de zee in stromen'. Na de Spaanse burgeroorlog maakte generalissimo Franco daar ernst mee. Onder zijn bewind werden meer dan 600 grote stuwdammen gebouwd, waardoor Spanje het land werd met de meeste stuwdammen per hoofd van de bevolking. Ook werd een wateroverdracht gerealiseerd tussen de Tajo en de Segura en kreeg Barcelona water dat afgetapt was van de 100 kilometer verder gelegen rivier de Ter. De grote waterwerken bezorgden Franco de bijnaam: Paco de kikker, en werden in zijn tijd veel bezongen. Dat gebeurde met grote woorden als strijd tegen de 'oude steriliteit van de rivieren', compleet met 'kanalen van beton' die de 'oude dorst van de boer lessen' en wanden van staal 'die licht brengen'.

Moderne tempels

De damprojecten in industrielanden maakten zoveel indruk dat de eerste premier van India, Jawarharlal Nehru grote dammen vergeleek met moderne tempels. Vermoedelijk onbewust sloot hij daarbij aan op grote damprojecten uit het zestiende-eeuwse India, zoals de 30 meter hoge en 900 meter lange Rayakere-dam welke voorzien was van torens waardoor de dam op een tempel leek. De Rayakere-dam was een spectaculaire mislukking. De grond was te poreus. De huidige Indiase politieke leiders denken bij de bouw van grote dammen echter aan succes - net als Nehru. Gedurende de komende 15 jaar moeten volgens de bestaande plannen in het Indiase Himalyagebied ongeveer 280 stuwdammen worden gebouwd met een gemeenschappelijke capaciteit van ongeveer vijf maal het Nederlandse park elektriciteitscentrales. Nehru besepte dat de 'moderne tempels' niet alleen tot winnaars zouden leiden. De mensen die in 1948 moesten verkassen voor de aanleg van de Hiraakud-dam hield hij voor 'Als u moet lijden, dan moet u lijden voor het landsbelang'. En dat 'lijden' bleek later niet alleen de mensen te treffen die moesten wijken. Studies geven aan dat de mensen die in een Indiaas district wonen waar nu een dam ligt, worden geconfronteerd met sterker wisselende oogsten.

In het moderne China is de achting voor grote stuwdamprojecten niet minder. Er zijn in China nu meer dan 25 000 grote stuwdammen, waarvoor meer dan 23 miljoen mensen hebben moeten verkassen. De zeer recente Drieklovendam in de Yangtze-rivier is een rechtstreekse geestelijke nazaat van de dammen in de Tennessee valley. En China is nog lang niet uitgebouwd. Alleen al in Tibet worden door China 750 nieuwe grote stuwdammen gepland.

Het aantal grote stuwdammen bedraagt thans ongeveer 45 000, in 140 landen. Het totale aantal stuwdammen loopt thans in de honderdduizenden. Nederland heeft

daarin slechts een miniem aandeel, wat gezien de geringe hoogteverschillen niet verbazend is. Zo wordt op bescheiden schaal gebruik gemaakt van waterkracht bij Hagestein, Maurik, Linne, Alphen en Borgharen. Deze waterkrachtcentrales hebben een totaalvermogen van 47 megawatt. Dat is apenootjes vergeleken bij wat elders gebeurt. Het waterkrachtvermogen van de Drieklovendam is ongeveer vijfhonderd maal zo groot. Stuwmeren bevatten thans tegen de 6% van het totale watervolume in de zoetwatermeren. In dit percentage zit een flinke groei.

Het huidige bestand aan stuwdammen heeft grote gevolgen voor de rivierecosystemen en in toenemende mate ook voor de ecosystemen van zeegebieden nabij riviermondingen. Deze zeegebieden moeten het vaak met minder nutriënten (voedingsstoffen) doen, omdat deze achter de dammen blijven 'hangen'. Wanneer bij de dambouw veel weelderige vegetatie onderloopt, dan produceren de stuwmeren grote hoeveelheden methaan. De methaanproductie kan zo hoog oplopen, dat men met het oog op de bescherming van het klimaat beter een kolencentrale kan bouwen. Ook de waterhuishouding in het gebied rond de afgedamde rivieren en landecosystemen worden door stuwdammen beïnvloed.

Gebrek aan waterefficiëncy

Het geloof in de zegeningen van stuwmeren heeft in de praktijk vaak als neveneffect dat nauwelijks aandacht wordt besteed aan efficiëntie bij het gebruik van water en dat onvoldoende wordt stilgestaan bij de vraag wat er moet worden gedaan bij extreme droogte. Spanje onder 'Paco de Kikker' (Franco) was daarvan een goed voorbeeld. Grote problemen door extreme droogteperiodes en massaal verzet tegen plannen om water uit de benedenloop van de rivier de Ebro af te tappen voor het zuiden van Spanje en Barcelona, duwen Spanje langzaam een andere kant op. Geleidelijk komt er meer aandacht voor waterefficiëncy en er wordt gewerkt aan betere voorzieningen met het oog op extreme droogte, maar de gevestigde Spaanse 'hydraulische orde' spartelt heftig tegen. Ook wordt er nogal eens onvoldoende stilgestaan bij wat er moet worden gedaan bij extreme neerslag. De overstromingen langs de Indus in 2010 zijn daarvan een goede illustratie.

Tenslotte: stuwdammen kunnen falen. De eerder genoemde stuwdam in de Wadi el Garawi (Egypte) en de Rayakere-dam in India zijn daarvan voorbeelden. Een andere illustratie vormt de bouw van een 'moderne stuwdam' in de Sampean-rivier op Java door Nederlandse ingenieurs. De bouw begon in de negentiende eeuw en beoogde de irrigatie te verbeteren. De aanleg van de stuwdam was, zo concludeerde ir J.T. Rietveld in 1932, 'een historie van mislukkingen en tegenslagen omdat de werken voortdurend wegspoelden of ernstige schade opliepen'. De gevolgen daarvan voor de naaste omgeving waren aanzienlijk.

Er konden door falende stuwdammen ook grote rampen optreden. Het tot nu toe meest dramatische voorbeeld daarvan is de doorbraak van de Shimantan-dam aan de Chinese Ru-rivier in 1974. Deze dam barstte omdat het stuwmeer overbelast raakte

door extreme regenval. De vloedgolf die daarvan het gevolg was, leidde tot het falen van 61 andere dammen. Zes miljoen woningen werden verwoest, 11 miljoen mensen werden dakloos en 171 000 mensen kwamen om.

Naast overvulling, kunnen ook aardbevingen leiden tot het falen van dammen. Tijdens de aardbeving van 2001 in Buji (India) werden verscheidene dammen verwoest. Omgekeerd kunnen sterke fluctuaties in oppervlaktewateren op daarvoor gevoelige plaatsen aardbevingen uitlokken. In 1967 leidden sterke fluctuaties in het stuwmeer achter de Koyna-dam in India tot een aardbeving met als gevolg 180 doden. Er wordt wel gespeculeerd dat de dramatische Sichuan-aardbeving in 2008 (ongeveer 70 000 doden) het gevolg was van sterke fluctuaties in het stuwmeer achter de Zipingpu-dam in de Min Rivier (China).



5 Te veel en te weinig water

5.1 Oorzaken, gevolgen en bestrijding van te veel water

Van water kan er zowel te veel als te weinig zijn. Jaarlijks sterven wereldwijd naar schatting 280 000 mensen door verdrinking. Wanneer over te veel water wordt gesproken, denk je misschien allereerst aan overstromingen. Maar er is meer. In West-Europa leidden zeer natte jaren vele eeuwen lang tot hongersnood omdat de gewassen 'rotten op het veld'. In 1116 waren er in Luik (vergeefse) processies om hongersnood door het teveel aan regen af te wenden. De spectaculaire vermindering van de bevolking in West-Europa gedurende de veertiende eeuw werd ingeleid door overvloedige regens in de zomer van 1314 en 1316, die tot dramatische oogstverliezen leidden. De hongersnood in Ierland in de jaren 1840 is niet los te zien van de nattigheid die de aardappelschimmel *Phytophthora* ruim baan gaf.

Moerassen

Historisch gezien is de vorming van moerassen lang een belangrijke reden geweest voor ontvolking. Circa 5500 jaar geleden moest een nederzetting ter plaatse van het huidige Schipluiden (Delfland) ontruimd worden vanwege oprukkend veenmoeras. Tussen vier- en vijfduizend jaar geleden zorgde moerasvorming voor de ontvolking van de kustvlakte in het huidige Israël.

In het huidige West-Nederland was in de periode rond het begin van de jaartelling het duingebied, naar toenmalig begrip, dicht bevolkt. In het veel grotere moerasgebied veengebied daarachter waagde zich bijna niemand. Veenmoerassen waren toentertijd in de Lage Landen plaatsen waar afval werd gedumpt en boze geesten en ander gespuis huisden. Volgens de Romeinse schrijver Tacitus executeerden de Germanen homoseksuelen en gooiden ze deze, evenals slechte strijders en misdadigers, in het veenmoeras. De Drentse dominee Picardt schreef in 1660 dat venen 'niet van menschen handt zijn gemaect, maar door de straffende handt Gods verordineert, tot een plaegh van die mensen die in oude tijden hier te Lande gewoont hebben, en tot een waerschouwinge van ons, als hare nakomelingen'. De veenmoerassen in de Lage Landen waren tevens een broeinest van malaria.

Ook elders stonden (veen)moerassen niet in hoog aanzien. In Ierland werden vermoedelijk rond het begin van onze jaartelling lieden die faalden in hun poging om koning te worden, na moord en verminking, in het veen gedumpt. De zestiende-eeuwse Engelse schrijver Edmund Spenser noemde moerassen: 'het tegendeel van beschaving'. Ten tijde van de Amerikaanse revolutie karakteriseerde de gouverneur van Georgia moerassen als 'een thuis voor gespuis', gekenmerkt door 'baarbaar onwetendheid' en ontvankelijk voor 'slechtigheid en corruptie'. In de sprookjes van Andersen zijn venen oorden van slechtigheid, waar onder meer de grootmoeder van de duivel woont.

Moerassen konden van nature ontstaan, maar ook door menschenhand. Een voorbeeld van dat laatste zijn de Pontijnse moerassen, ten zuiden van Rome. Bij het ontstaan van het oude Rome was dat bebost gebied. Later is het omgezet in akkers. De grondwaterstand werd door de ontbossing verhoogd en door de aanleg van de Via Appia werd de



afvoer van water uit het gebied bemoeilijkt. Het resultaat was een van malariamuggen vergeven moerasgebied, waarin de nederzettingen werden ontruimd. De oude Romeinen en een aantal pausen hebben tevergeefs moeite gedaan om de Pontijnse moerassen droog te leggen. Pas in de twintigste eeuw was het mogelijk deze voor veilige bewoning geschikt te maken. Dat was prima p.r. voor Mussolini's fascistten. De Nazi's volgden dat voorbeeld met de drooglegging van de Pripetmoerassen in het bezette Polen, nadat de Polen de moed daartoe hadden opgegeven.

Een andere verschijningvorm van te veel water is vochtige huizen. Vochtige huizen verhogen bij de bewoners de kans op luchtwegklachten. In West-Nederland is het vocht in woningen sinds mensenheugenis een probleem. Kelderwoningen die rond 1900 door veel armen in het westen des lands werden bewoond, waren erom berucht. Huizen die gebouwd zijn in de negentiende eeuw en tussen 1960 en 1980 hebben nog altijd naar verhouding veel last van vocht. In die perioden werd vaak haastig gebouwd op plaatsen die gezien de waterhuishouding minder geschikt waren.

Overstromingen

De spectaculairste vorm van te veel water is een overstroming. Overstromingen moeten wijd en zijd diepe indruk hebben gemaakt. In de mythologie van Europa, Amerika, Afrika, Australië en Azië is er vaak sprake van een verschrikkelijke vloed die 'de wereld' overspoelde. Alles bijeen zijn er honderden zondvloedverhalen. Het kan goed zijn dat dit soort mythologie geheel of gedeeltelijk teruggaat op daadwerkelijke overstromingen.

Overstromingen zijn meestal het gevolg van heftige regenval en/of zware stormen. Krachtige cyclonen, tyfoons of orkanen genoemd, combineren beide. De orkaan Katrina die in 2005 New Orleans trof, was daarvan een voorbeeld. Regen en wind werden daar uiteindelijk teveel voor de dijken die het water buiten moesten houden. De schade beliep ongeveer 90 miljard dollar.

Dit soort cyclonen treft niet alleen het Caraïbisch gebied. In juli 2007 trof een tyfoon China. Er viel ongeveer 40 centimeter regen: 2,45 miljoen mensen moesten worden geëvacueerd, 265 000 huizen gingen verloren en er waren 612 doden. Dit dodental werd fors overtroffen door een cycloon die in november 2007 Bangladesh trof en daar de waterstanden in grote delen van de rivieren met enkele meters verhoogde.

Ook zonder storm kunnen de overstromingsproblemen groot zijn. Op 9 oktober 1963 was er door overvloedige regen een grote aardverschuiving langs het stuwmeer achter de Vajont-dam, ten noorden van Venetië. Deze aardverschuiving veroorzaakte een 'seiche', waardoor 50 miljoen kubieke meters water over de dam heen vloeiden en benedenstrooms vijf dorpen verwoestten.

Dezer dagen dreigt iets vergelijkbaars bij het Sarez-meer in West-Turkmenistan. Dit meer is ontstaan na een grote aardbeving in 1913 en gevreesd wordt dat een instabiele helling in het inmiddels 56 kilometer lange meer gaat schuiven. In een zwart scenario zou dit een vloedgolf van 250 meter hoog veroorzaken, die miljoenen bewoners benedenstrooms in gevaar brengt.

Ook anderszins kan regen voor problemen zorgen. In Bangladesh staat tijdens de moessonperiode meestal tenminste een kwart van het land onder water door overstromingen van de Ganges, Brahmaputra en Meghna. Halverwege augustus 2007 waren er in Nepal, Noord-India en Bangladesh tengevolge van de overstromingen ongeveer 25 miljoen daklozen en 1500 doden.

In 2008 was het raak in het laaggelegen deel van Bihar (India). Door indijking van de rivier de Kosi kwam het stroombed van de rivier steeds hoger te liggen. In augustus 2008 brak een rivierdijk. De huizen van drie miljoen Bihari liepen onder water.

In juli 2010 waren er in China overstromingen langs de Yangtze. Meer dan een miljoen mensen moesten worden geëvacueerd, ongeveer duizend Chinezen kwamen om en 10% van de rijstooft ging teloor. In juli en augustus 2010 werd Pakistan getroffen door extreme moessonregens. Er waren ongeveer 20 miljoen getroffen en meer dan 1600 mensen kwamen om.

Jakarta is een andere goede illustratie van wat door regen mis kan gaan. Daar daalt de bodem sterk door grondwateronttrekkingen. Kanalen die het water moeten afvoeren, dienen als vuilnisbelten en het onderhoud van dijken is droevig. In de moessonperiode moeten grote hoeveelheden water worden afgevoerd door het steeds lager gelegen gebied waarin Jakarta ligt. In 1996, 2002, 2007 en 2009 ging dat mis. Delen van de Indonesische hoofdstad liepen onder water.

Overstromingen zorgen in toenemende mate voor problemen. Daar zijn redenen voor. Door de opwarming van het klimaat neemt de hoeveelheid neerslag in veel kustgebieden toe en stijgt ook de kans op extreme neerslag. De zeespiegel stijgt. Onderzoek laat verder zien dat de kans op de zwaarste categorie cyclonen de afgelopen decennia in de lift zit. Zou de temperatuur met ongeveer 1,2 graden Celsius verder stijgen, dan loopt, 'als alles zo doorgaat', het aantal jaarlijkse slachtoffers van overstromingen wereldwijd vermoedelijk op tot ongeveer 140 miljoen.

Infecties

Overstromingen kunnen niet alleen tot de verdrinkingdood leiden. Ook de kans op infecties kan toenemen. Na de orkanen Katrina en Allison, die de Verenigde Staten troffen, was onder de overlevenden de kans op ernstige vormen van diarree en op huidinfecties sterk verhoogd. Ook de kans op door virussen veroorzaakte hersenvliesontsteking stijgt dikwijls bij overstromingen in de zuidelijke Verenigde Staten. In Indonesië neemt bij overstromingen onder meer de kans op (para)tyfus en infecties met *Cryptosporidium* sterk toe. Bij overstromingen in Bangladesh en West-Bengalen breken vaak cholera-epidemieën uit. In tropische gebieden stijgt na overstromingen meestal ook de kans op leptospirose, hepatitis A (een leverinfectie) malaria, dysenterie, knokkelkoorts (dengue) en diarree door infectie met Rota- en Norovirussen en schadelijke varianten van de bacterie *Escherichia (E.) coli*.

Zware regens die niet op dramatische wijze het land onder water zetten, verhogen eveneens de infectiekans. Voor een deel hangt dit samen met het vrijkomen van ziektekiemen die geassocieerd zijn met menselijke uitwerpselen. In Nederland treedt dit op als gevolg van het bestaan van riooloverstorten. Deze zorgen ervoor dat bij zware regens een deel van het rioolwater op het oppervlaktewater wordt geloosd. Ook



de relatief sterke besmetting van oppervlaktewater met dierlijke uitwerpselen na zware regenval draagt vermoedelijk bij aan een hogere infectiekans. In de Verenigde Staten is vastgesteld dat in de twintigste eeuw ongeveer de helft van de infecties die voortkwamen uit contact met besmet water, direct volgden op episoden van zware regenval. Het betrof infecties met onder meer Norovirussen, Campylobacter, Giardia, Cryptosporidium, E. coli en Shigella.

Vegetatie

Menselijke activiteiten vergrootten al vroeg de kans op overstromingen van rivieren. Een belangrijke oorzaak daarvan was en is het ruimen van natuurlijke vegetatie in het stroomgebied van rivieren. Bossen worden wel vergeleken met sponzen, omdat ze grote hoeveelheden regenwater opzuigen. Zowel de bomen als de bosgrond kunnen forse hoeveelheden water bergen. Daarnaast is het belangrijk dat een deel van het door bomen opgezogen water als waterdamp aan de atmosfeer wordt afgegeven. Door ontbossing treedt meestal een stijging op in de piekafvoer van rivieren en beken. Het effect daarvan was bijvoorbeeld te zien in het sinds de middeleeuwen sterk ontboste Twente. Daar nam in de winter de kans op overstromingen sterk toe. Het kostte grote moeite om dit probleem te beheersen. Ondanks omvangrijke waterwerken liep bijvoorbeeld in 1946 nog een flink deel van Almelo onder water.

Voorts zijn natuurlijke bossen zeer goed in het vasthouden van materie. Gronddeeltjes in bodems die bedekt zijn met natuurlijke vegetatie worden slechts mondjesmaat de rivier in gespoeld. Wordt de natuurlijke vegetatie geruimd, dan verandert de situatie aanzienlijk. Op hellingen stijgt de kans op aardverschuivingen. In berggebieden kan de afspoeling van bodemdeeltjes naar de rivier met wel een factor 100 toenemen. Grote hoeveelheden slib kunnen het overstromingsrisico vergroten. De kans daarop neemt toe als er bedijking is. Het mechanisme daarachter is te zien aan de uiterwaarden langs de Nederlandse grote rivieren. Deze uiterwaarden liggen gemiddeld twee meter boven het land achter de dijken. En daarmee komt ook het stroombed van de rivier hoger te liggen.

Nog sprekender dan de situatie langs de grote rivieren in Nederland is de toestand van de Gele Rivier in China. De hoeveelheid sediment die wordt meegevoerd door de Gele Rivier is de afgelopen duizend jaar door menselijke activiteiten met ongeveer een factor tien verhoogd. Daardoor stijgt in de benedenloop van de rivier de bodem met ongeveer één centimeter per jaar. Het huidige rivierbed ligt daardoor inmiddels tussen de vijf en tien meter boven de laagvlakte waardoor de Gele Rivier stroomt. En dat kan dramatisch misgaan. De Gele Rivier staat dan ook bekend als 'de vloek van China'. Het is diverse malen voorgekomen dat overstromingen van deze rivier vele honderdduizenden slachtoffers maakten en op enorme schaal de oogst vernietigden. In dit licht is het niet verbazend dat de Chinese mythologie veel aandacht besteedt aan overstromingen. Zo is er onder meer sprake van een drakenkoning die overstromingen veroorzaakt, en die door de 'ware draak' (de keizer) moet worden verslagen. Het laatste megadrama was in 1931 toen door de overstromende Gele Rivier ongeveer 1,4 miljoen mensen omkwamen. Sindsdien zijn de waarschuwings- en evacuatiesystemen verbeterd. En sedert de overstromingen van 1998, die in China

3000 doden en \$ 20 miljard aan schade veroorzaakten, wordt er ook gewerkt aan een betere behandeling van de bomen. In 1998 werd het kappen van bomen langs de bovenloop van de Yangtze en Gele Rivier verboden. In 2000 werd het verbod op het kappen van bomen uitgebreid tot het drievoudige van het gebied dat in 1998 werd gevrijwaard. Ook wordt gewerkt aan bovenstroomse herbebossingsprogramma's. Niettemin verdween in China het afgelopen decennium jaarlijks ongeveer 5000 vierkante kilometer bos, voor een belangrijk deel door illegale houtkap – met zegen van omgekochte functionarissen.

Strijd tegen rivierwater

Nederland heeft naar verhouding grote problemen met te veel water. Veel van die problemen komen traditioneel van de zeezijde. Daar is na het aflopen van de IJstijd een precare balans ontstaan tussen de stijging van de zeespiegel en de ophoging van het land door aanslibbing, opwaaiing van zand en veengroei. Ook binnenslands zijn er al lang moeilijkheden. Rivieren verlegden veelvuldig hun loop, hetgeen bewoners verjaagde. Ook als ze hun loop niet verlegden, zorgden Nederlandse rivieren en riviertjes in het verleden veelvuldig voor overstromingen. Bisschop Radbod van Deventer meldde bijvoorbeeld in het jaar 900 een 'zondvloed' afkomstig van overstromende rivieren.

Pogingen om daar wat tegen te doen, zijn oud. Bij Vlaardingen is bijvoorbeeld een dam gevonden die dateert uit ongeveer 175 voor Christus. Rond 1150 lag het Utrechts-Hollandse veengebied al vol met rivierdijken. En in 1300 waren ook de rivieren en riviertjes in Oost-Nederland bedijkt. Daarnaast werd er stevig gedamd - ook buiten Rotterdam en Amsterdam. In 1188 werd de Kromme Rijn bij Wijk bij Duurstede afgedamd en in 1285 de Hollandse IJssel bij Vreeswijk.

Maar dat alles was pas het begin. Waar de dijken dwars op de rivier liggende stukken zand kruisten, bleken ze kwetsbaar. Het water vloeide rijkelijk door het zand en dat ondermijnde weer de dijken. Er zijn stukken dijk op dergelijke plaatsen die meer dan 25 keer zijn doorgebroken. Ook bleken dijken kwetsbaar voor bergen van opgehoopte ijsschotsen.

Verder kwamen door de indijkingen de rivierbeddingen steeds hoger te liggen. En dat noopte weer tot hogere dijken. Soms koos men voor andere oplossingen. In Noordoost-Brabant, langs de Maas, werd in de zestiende eeuw de Beerse overlaat gecreëerd, waardoor het teveel aan water via een oude Maasbedding verder kon stromen. En men besloot tot het graven van een kanaal om het rivierwater beter te verdelen: het Pannerdens kanaal. Dat kwam in 1707 gereed.

De strijd met het rivierwater bleef echter precair. Deels kwam dat omdat het effect van het Pannerdens kanaal in de praktijk zeer tegenviel. Er moest veel te veel water langs de Lek. En als een benedenstroomse Lekdijk brak, liep een fors deel van Holland onder.

De precare situatie in het rivierengebied bevorderde de verdere aanleg van overlaten, waarheen het hoogwater kon worden afgeleid. In de jaren 1730 kwam de Hardinkveldse overlaat en rond 1760 de Baardwijkse overlaat. En in de vroege negentiende eeuw onder meer de Lijmerse, de Bingerdense en de Ellekomse overlaat. De overlaten

waren impopulair bij de boeren in het desbetreffende gebied. De boeren werden namelijk niet gecompenseerd bij het vollopen van de overlaat. Het Pannerdens kanaal, de overlaten en het werk aan de dijken boden maar beperkt soulaas. In 1740/1741 waren er in het rivierengebied 'nooyt gehoorde hoge wateren'. De Over-Betuwe en een groot stuk van Holland liepen onder. Tussen 1750 en 1800 waren er in het gebied van de grote rivieren meer dan 150 dijkdoorbraken. In 1808 faalden diverse Waaldijken door kruierend ijs, waardoor de Betuwe, de Tieler- en Bommelerwaard, Vijfherenlanden, het Land van Altena en de Alblasserwaard overstromden. Na een grote overstroming in 1820 stelde Koning Willem I vast dat 'ene onvoorstelbare ramp op eenig punt vroeg of laat te duchten is'.

Inpolderen

In het Friese en Hollands-Utrechtse veengebied ontstonden in de loop der eeuwen meren door het inklinken en afgraven van veen. In Friesland hebben bijvoorbeeld het Sneekermeer, de Zoutepoel en de Grongarijsterpoelen hun oorsprong in de inklinking van veen, en de Leijen en Nannewijd in turfafgraving. Bij het ontstaan van meren in Holland speelde de turfwinning eveneens een belangrijke rol. In 1409 bepaalde graaf Willem VI van Holland dat afgegraven turfland binnen het jaar moest worden beplant met elzen, kennelijk met het doel tot veenherstel te komen. Deze bepaling bleef echter goeddeels een dode letter. Daardoor nam de hoeveelheid land sterk af. Bewoners moesten zich in toenemende mate tevreden stellen met riet-snijderij, het vangen van watervogels en visserij om financieel gezien het hoofd boven water te houden. Aan velen ontviel de bestaansbasis op het land: een flink aantal daarvan moest een heenkomen zoeken op de vloot.

De aftakeling van het veen in Holland ging allengs van kwaad tot erger. Veenriviertjes zoals Beemster en Schermer werden complete meren. Sommige van de meren in het veengebied waren moeilijk in toom te houden. Noord-Holland boven het huidige Noordzeekanaal verviel daardoor in de periode tot de Gouden eeuw tot een zeer waterige gatenkaas. In Zuid-Holland was dat niet anders. Kaarten uit de zeventiende eeuw laten zien dat Zuid-Holland grotendeels uit water bestond. Diverse dorpen, waaronder Schoot, Jacobswoude en Hogeveen, werden daar aan het water prijs gegeven en predikanten klaagden er steen en been over dat ze door het water hun kerken niet meer konden bereiken. Het oppervlak van het Leidsemeer, later Haarlemmermeer, groeide in de periode van 1250 tot 1800 door veenwinning en afslag van 90 tot 170 km². Het meer kreeg de bijnaam waterwolf. Dezelfde bijnaam werd gegeven aan de Zuidplas in Zuid-Holland.

In de zeventiende eeuw werd een groot deel van de Noord-Hollandse meren ingepolderd. In de achttiende eeuw gebeurde hetzelfde met dertig Zuid-Hollandse plassen. Het droog houden van de in polders omgezette plassen bleek een zware klus. Flink wat inpolderingen mislukten dan ook. Dat had ook weer zijn voordeel, want de inpolderingen leidden tot een slechtere waterkwaliteit: de viezigheid die in het water werd gegooid kon minder goed worden verdund en afgebroken. 'Diarreeziekten' als tyfus en dysenterie namen mede daardoor toe. Het stoomgemaal, dat in de negentiende eeuw beschikbaar komt, leidt wat betreft mislukkende inpolderingen tot een keer. In de negentiende eeuw waren er weer omvangrijke droogleggingen. De

omvangrijkste was de omzetting van het Haarlemmermeer in de Haarlemmermeerpolder. De waterversing in Holland nam fors af, en de waterkwaliteit holde navenant achteruit.

Maakbaarheid

De negentiende-eeuwse conservatief Bilderdijk (1756-1831) overzag het geheel en meende dat de Nederlandse waterbouwstrategie tot mislukken is gedoemd.

Nederlanders hebben hun land 'op allervernuftigste wijze bedorven, om er (uit)eindelijk mee te verzinken', aldus Bilderdijk. Aan de andere kant van het politieke spectrum stelde Multatuli in 1881 voor het bouwen van rivierdijken strafbaar te maken.

Daar trokken de waterbouwers zich in de praktijk niets van aan. Met name na 1850 ging onder hen bovendien het geloof in maakbaarheid overheersen. Het water kon in hun ogen afdoende getemd worden. En de middelen die hen ter beschikking stonden, betekenden meer dan in de eeuwen daarvoor. Dijken werden verder verhoogd en verstevigd. Meanders werden afgesneden. Plaatsen waar ijsschotsen konden worden opgestuwd werden 'gefatsoeneerd'. De grote rivieren werden in een nauw keurslijf geregen of 'genormaliseerd'. De meeste overlaten verdwenen in de negentiende en de vroege twintigste eeuw. Aan de Beerse-overlaat kwam in 1942 een einde met de verhoging van de rivierdijk tussen Gassel en Linden. En de pompcapaciteit ging, zoals uit het voorbeeld van de Haarlemmermeerpolder bleek, omhoog. Een groot gemaal in Noord-Groningen kreeg de naam die eerder was gereserveerd voor de woeste wateren van het Haarlemmermeer en de Zuidplas: waterwolf.

'Maakbaarheid' was echter niet het laatste woord. In 1993 en 1995 waren de waterstanden in Rijn en Maas, door zeer veel neerslag in de stroomgebieden, extreem hoog. In 1995 kwam het daardoor tot evacuatie van ongeveer 200 000 mensen. In de warme en droge zomer van 2003 ging de veendijk van Wilnis aan de wandel. Er kon door het uitgedroogde veen van de dijk niet voldoende weerstand meer worden geboden aan het oppervlaktewater. 600 huizen liepen onder en 2000 mensen moesten worden geëvacueerd. Vrijwel overal wordt nog altijd veen ontwaterd waardoor de oxidatie (afbraak) van veen wordt versneld. Bovendien loopt de temperatuur op, wat eveneens een versnellend effect heeft op de afbraak van veen. Daardoor zijn in het westen van het land op grote schaal varianten op de badkuip ontstaan die bij een dijkbreuk of het falen van pompen gemakkelijk vollopen met water.

Het land komt dieper te liggen en het water komt hoger. Nog altijd worden waterkeringen versterkt en wordt her en der de pompcapaciteit vergoot, maar Bilderdijk krijgt alsnog ten dele gelijk. Water moet volgens overheden op het land meer ruimte krijgen. Van die meerdere ruimte is tot nu toe weinig gerealiseerd. Plannen om de verdwenen overlaten in ere te herstellen, werden onder invloed van plaatselijke bewoners goeddeels weer opgeborgen in de la. Ook de discussies rond het IJsselmeer verlopen moeizaam. Het water moet er hoger worden opgezet om te kunnen blijven lozen op de Waddenzee. En het water moet meer fluctueren om in de winter de verhoogde afvoer van de Rijn en in droge zomers de behoefte aan extra water op te

vangen. De waterkeringen en grondwaterbeheersing langs het IJsselmeer kunnen ook niet blijven zoals ze zijn. Dat valt verkeerd bij de aan, en bij, het IJsselmeer liggende plaatsen. En dan zijn de huidige plannen nog maar een bescheiden begin vergeleken met de veranderingen in de waterhuishouding die waarschijnlijk metertijd door het veranderende klimaat zullen worden afgedwongen.

5.2 Zoetwaterkrapte

Krapte in de zoetwatervoorziening is oud. In de Bijbel maken de herders van aartsvader Abraham en koning Abimelech ruzie over het schaarse water in de bronnen tussen Gaza en Beer-Sheva. De Griekse schrijver Herodotos vermeldt dat de Garamantes, bewoners van wat nu Zuid-Libië is, beschikten over een vernuftig systeem van waterwintunnels dat door slaven werd aangelegd en onderhouden. Daarmee werd fossiel water afgetapt. Maar het fossiele water dat met de tunnels kon worden gewonnen, bleek eindig, en het verwerven van meer slaven om nog diepere tunnels aan te leggen ging boven de macht van de Garamantes. Zij gingen dan ook aan voedseltekorten en politieke instabiliteit ten onder.

Een niet minder spectaculaire illustratie van het belang van voldoende water wordt geleverd door de beschaving die tussen 500 voor en 650 na Christus het Nasca-plateau en de Palpavallei, in wat nu Peru is, domineerde. In die tijd werden enorme geoglyfen aangelegd: tot twee kilometer grote figuren van onder meer dieren die waren opgebouwd uit kunstig gerangschikte stenen. Deze dieren waren zo spectaculair dat in 1968 een boek verscheen van Erich von Däniken, die meende dat de geoglyfen het werk waren van buitenaardse wezens. De geschiedenis van de betrokkenen is inmiddels gereconstrueerd en het is hoogstwaarschijnlijk dat hun beschaving aan het eind kwam door het opdrogen van de laatste waterbronnen.

De Garamantes en de bewoners van het Nasca-plateau en de Palpavallei werden gefnuikt door een blijvend structureel tekort aan water. Maar ook tijdelijke tekorten aan water kunnen grote problemen veroorzaken. Een langdurige droogte in de periode van 4000 tot 4300 jaar terug wordt in verband gebracht met de ineenstorting van het rijk van Akkad in Mesopotamië, de neergang in de macht van Egyptische farao's in het 'Oude Koninkrijk' en grote problemen voor de vroege beschavingen in Griekenland en in de vallei van de Indus. In het laatste gebied probeerde men twee eeuwen lang de agrarische productie aan te passen aan het sterk veranderde patroon van regenval. Uiteindelijk lukte dat niet en rond 3600 jaar geleden trokken de meeste bewoners weg uit de Indusvallei. In China geldt de Tangdynastie als een culturele toptijd voor literatuur en kunst. Maar in de periode van 700 tot 900 brachten de moessonregens in de zomer ongebruikelijk weinig water en juist in deze periode verzwakte het rijk van de Tang sterk. Het stortte rond 907 in. In de periode tussen ruwweg 700 en 1100 werd Midden-Amerika getroffen door ernstige droogteperiodes, en er zijn sterke aanwijzingen dat deze hebben bijgedragen aan de neergang van de plaatselijk grote beschavingen zoals die van de Maya's. In de tiende eeuw bevorderde een heftige droogte de uitbreiding van de zandverstuivingen op de Nederlandse Veluwe, waardoor akkers overstoven raakten en mensen de wijk moesten nemen. In 1059 was de stand van de Nijl zo laag, dat een derde van de Egyptenaren door honger

om het leven kwam. In 1202 schreef Abd al-Latif aan zijn broodheren van de Ayyubidendynastie dat door de lage stand van de Nijl in diverse Egyptische steden niemand meer leefde. De weg naar Damascus beschreef Abd al-Latif als een banket voor gieren en wilde beesten, die zich verlustigden aan het lijkenvlees. Tijdens een langdurige of megadroogte in de vijftiende eeuw ging in Noord-Amerika de Mississippicultuur ten onder.

Militair ingrijpen

Krapte in de beschikbaarheid van goed water hing vaak nauw samen met 'de grillen van de natuur', maar er waren ook gevallen waarin de mens bijdroeg. Het ontzeggen van goed drinkwater is bijvoorbeeld een oude tactiek in de oorlogvoering. In het Bijbelboek Koningen staat dat de Israëlieten in hun oorlog tegen de Moabieten als tactiek hadden de waterbronnen onklaar te maken. En bij het onderdrukken van een opstand in het Bijbelse Shechem werd zout uitgestrooid, zodat het putwater ondrinkbaar werd. Ruim 2600 jaar geleden was het beheersen van waterbronnen een hoofdmoot in de strategie van koning Asurbanipal van Assyrië in zijn oorlog tegen de bewoners van Arabië. Putvergiftiging met de giftige schimmel moederkoorn was een van de Assyrische wapens.

Sennacherib verwoestte de kanalen die de watervoorziening van Babylon verzorgden, om de bewoners van die stad een lesje te leren. Rond 590 jaar voor het begin van onze jaartelling woedde volgens latere Griekse geschiedschrijvers 'de eerste heilige oorlog' rond de stad Crisa. Bij die gelegenheid zou het water in een leiding die de belegerde stad inliep, vergiftigd zijn met een extract van de wortels van Helleborus (Kerstroos). De tactiek was, volgens de geschiedschrijvers, succesvol: wegens ingewandsklachten moesten de verdedigers hun posten verlaten. Solon van Athene zou bij het neerslaan van de Ionische opstand een giftig kruid hebben gebruikt om het water van Phocaea te vergiftigen. Bij de oorlog van de Romeinen tegen de Parthen in de eerste eeuw van onze jaartelling liet de Romeinse veldheer Corbulo forten bouwen om bepaalde bronnen te beschermen en vulde hij andere bronnen met zand. Keizer Barbarossa liet bij het beleg van Tortona (1155) lijken in de vijandelijke waterputten dumpen. Het Japanse leger maakte bij de inval in China (1937) onder meer gebruik van het vergiftigen van putwater.

De watervoorziening trekt nog steeds militaire belangstelling. In de oorlog om de Serviërs weg te krijgen uit Kosovo bombardeerde de NATO de watervoorziening van Belgrado, en bij de laatste Irakoerlog werd het waterleidingsysteem van Bagdad vernield, zowel door Amerikanen als later door opstandelingen.

Landbouw

Voor zover waterkrapte direct het belang van mensen raakt, is het probleem meestal het grootst voor de grootste waterverbruiker: de landbouw (inclusief veeteelt). Te weinig water betekent minder of geen oogst en sterfte van vee. Vroege landbouwvolken waren dan vaak gedongen voedsel van anderen te stelen of land te veroveren waar wel voldoende kon worden geoogst, en zo werden heel wat oorlogen geboren. De kans op waterkrapte werd verminderd doordat de vroege landbouwnederzettingen vaak waren gevestigd nabij oppervlaktewater of bronnen.



Het aandeel van de landbouw in het waterverbruik was en is groot. Traditioneel lag het dicht bij de 100%. Thans wordt wereldwijd ongeveer 70% van alle aan grond- en oppervlaktewater onttrokken water verbruikt in de landbouw. Plaatselijk, met name in droge gebieden, kan het percentage onttrokken water dat als irrigatiewater voor de agrarische sector wordt gebruikt, oplopen tot boven de 85 à 90%. Wordt het regenwater meegerekend, dan komt het aandeel van de landbouw in het wereldwijde waterverbruik boven de 95% te liggen.

Een Nederlander drinkt per dag ongeveer twee liter water, maar voor de voedingsmiddelen zijn per hoofd dagelijks naar schatting 4000 tot 5000 liter water nodig. Een kopje koffie kost, inclusief het waterverbruik in de koffieteelt, ongeveer 140 liter water en een glas melk 200 liter. Een appel voor de dorst kost ongeveer 60 liter water, een ei 135 liter, en een biefstuk van een ons 1500 liter. Een ons pinda's met een gekleurd laagje chocolade en suiker eromheen kost 400 liter, en een pizza margherita ruim 1200 liter per 725 gram. Al dat water komt niet noodzakelijk uit eigen land. Internationale voedseltransporten zorgen voor grote stromen 'virtueel water'.

Kijkt men bijvoorbeeld naar het eten van de Nederlanders, dan is daarvoor de import van ongeveer 9,4 kubieke kilometer virtueel water nodig plus het verbruik van ongeveer een half miljard kubieke meter Nederlands water. Naast import van virtueel water via voedsel en veevoer is er ook de import via andere 'biomassa' of daarvan afgeleide producten (zoals hout, houtpulp, biobrandstof, zeep, papier, karton, 'bioplastic', behangplaksel, kokosmatten, natuurrubber, touw, enzovoort). De Lage Landen zijn op dit punt een grootverbruiker. De import van virtueel water door de Benelux is groter dan die van China, en maar weinig kleiner dan die van 's werelds grootste importeur van virtueel water: Japan. De import van virtueel water door Nederland is voorts groter dan die van Duitsland, en de import van virtueel water door België groter dan die van het Verenigd Koninkrijk.

Overconsumptie

Wereldwijd is nu op jaarbasis voor het verbouwen van gewassen ongeveer 7000 kubieke kilometer zoet water nodig. Het land waar vee graast, heeft daarbovenop nog eens 8000 tot 13 000 kubieke kilometer zoet water per jaar nodig. Uit agrarische gronden wordt thans wereldwijd meer water gehaald dan er door neerslag bij komt. In de Oude Wereld (Azië, Europa en Afrika) treedt de overmatige wateronttrekking vooral op in een brede band die loopt van de Noord-China via onder meer Pakistan, Iran, Saudi-Arabië en delen van Turkije naar Ethiopië en Griekenland, en vandaar naar de westkust van Noord-Afrika en via het zuiden van Italië naar het zuiden van Spanje. In Zuid-Afrika zijn er aanzienlijke gebieden waar overmatige wateronttrekking plaatsvindt. De trend is dat binnen afzienbare tijd in geheel Zuid-Afrika meer water wordt onttrokken dan er bijkomt. En in Amerika zijn het vooral het westelijke deel van de Verenigde Staten, Mexico en delen van het westelijk kustgebied van Zuid-Amerika, waar meer water wordt verbruikt dan er door neerslag wordt aangevuld. In Mexico komt bijvoorbeeld ongeveer de helft van het opgepompte water uit grondwatervoorraden die afnemen. Met de aanmerkelijke invoer van producten uit landen als

China, India, Spanje, Pakistan, Turkije, Soedan, Zuid-Afrika, de Verenigde Staten en Mexico draagt een land als Nederland ook indirect sterk bij aan de overconsumptie van water in deze landen.

De landen met de, qua totale hoeveelheid, grootste overconsumptie van water zijn nu waarschijnlijk: China, India, Pakistan, Iran, Israël en de Palestijnse gebieden, de Verenigde Staten en Mexico.

Onder ongeveer 50% van de Noord-Chinese vlakte daalt de waterspiegel snel. In de buurt van Beijing is de grondwaterspiegel 100 tot 300 meter gedaald en is de jaarlijkse daling in de orde van 1,5 meter. Er wordt nu in Noord-China grondwater geput dat niet zelden tienduizenden jaren oud is. Alleen al in het stroomgebied van de rivier de Hai wordt jaarlijks 40 miljard ton water te veel gebruikt. Schattingen van de Chinese regering komen erop uit dat in China als geheel 'als alles zo doorgaat' de overconsumptie van water in 2030 ongeveer 200 miljard ton (200 kubieke kilometer) zal bedragen. De schatting is dat door de overconsumptie van water ongeveer de helft van de graanproductie op de Noord-Chinese vlakte in gevaar komt. Als het ondergrondse waterreservoir dat voor de watervoorziening wordt benut, is uitgeput en er geen vervangend water is, dan daalt de oogst van granen met naar schatting 40 miljoen ton, waarmee nu 120 miljoen Chinezen worden gevoed. Op een aantal plaatsen raakt de Chinese landbouw voorts in de problemen door de concurrentie met zware industrieën en steden die veel water gebruiken.

India, Pakistan en Iran

Op plaatsen in het Indiase Gujarat is de grondwaterspiegel in één generatie meer dan 200 meter gedaald. In het kustgebied van deze Indiase deelstaat, waar de Saurashtra-aquifer voor een belangrijk deel is leeggepompt, is de plaats van het zoete grondwater ingenomen door zout water. De rijke boeren hebben vaak de spreekwoordelijke bui zien hangen en hebben hun geld geïnvesteerd in opleidingen voor goede banen in de stad. Veel kleine boeren zijn door de opmars van het zoute water brodeloos geraakt. In het Koppaldistrict van Karnataka is zoveel zoet water opgepompt, dat voor irrigatie nog slechts zout water beschikbaar is. Veel jongeren trekken er weg om banen te zoeken in de bouw en de visserij. Tussen augustus 2002 en oktober 2008 werd aan de grond in de Indiase deelstaten Rajasthan, Punjaab en Haryana ongeveer 109 kubieke kilometer meer water onttrokken dan er bijkwam. Onder de Indiase deelstaten Punjab, Haryana, Rajasthan, Maharashtra en Karantaka daalt de grondwaterspiegel gemiddeld met vier centimeter per jaar en plaatselijk met 50 tot 70 centimeter per jaar, en in Tamil Nadu (Zuid-India) lokaal met meer dan een meter per jaar. Waar de wateronttrekking relatief groot is, zijn diverse dorpen bij gebrek aan water verlaten. En er zijn flink wat textielbedrijven die door een te lage grondwaterstand de poorten hebben moeten sluiten.

Volgens de Wereldbank wordt nu ongeveer 15% van de Indiase graanproductie bedreigd door een snelle daling van de grondwaterstand. Anderen houden het op 25%. En het is moeilijk dat te stoppen. In 2004 stemden de inwoners van Andra



Pradesh een regering weg die had ingestemd met prijsverhogingen voor de elektriciteit waarmee water werd opgepompt. De nieuwe eerste minister van Andra Pradesh beloofde de boeren gratis elektriciteit, en zijn ambtgenoot in Tamil Nadu volgde hem daarin op binnen enkele uren. Over heel India wordt ongeveer 6 miljard dollar aan subsidie gegeven voor de energie die nodig is om grondwater voor de boeren op te pompen. Vooral in relatief droge gebieden met een rotsige ondergrond zorgt dat voor grote problemen. Miljoenen arme boeren komen daar meer en meer water te kort.

De stedelijke dorst in India zorgt op een aantal plaatsen eveneens voor daling in de grondwaterstand. In New Delhi voorziet het grondwater in een derde van de waterbehoefte. Als gevolg daarvan is de waterspiegel onder New Delhi met 10 tot 40 meter gedaald. Daling van de grondwaterspiegel door stedelijke dorst kan ook buiten het stedelijk gebied optreden. Een voorbeeld daarvan levert Chennai (vroeger: Madras). Deze stad wordt dagelijks bevoorrad door 13 000 watertankers, die water leveren dat geput is in het agrarische gebied rond de stad. Om dat mogelijk te maken is in een deel van het gebied nabij Chennai de grond uit agrarische productie genomen.

In Pakistan en Iran zijn gemiddeld over het hele land de onttrekkingen van grondwater groter dan de aanvulling van grondwater: er wordt in beide landen ongeveer 5 miljard ton (5 kubieke kilometer) water meer gebruikt dan er jaarlijks bijkomt. In oostelijk Iran raken dorpen door watertekort ontvolkt. Het structurele watertekort in Israël en de Palestijnse gebieden komt in hoofdstuk 6 aan de orde.

Amerika

In het zuiden van de Great Plains en het Zuidwesten van de Verenigde Staten is op grote schaal sprake van dalende grondwaterspiegels en vaak ook dalende kwaliteit van het beschikbare water. In delen van Oklahoma, Kansas en Texas is de grondwaterspiegel ongeveer 30 meter gedaald. Niet alleen de landbouw ook de stedelijke waterconsumptie kan in de Verenigde Staten voor spectaculaire effecten in de waterhuishouding zorgen. Amerikaanse consumenten verbruiken veel water. Een aantal gemeenten ten westen van Chicago heeft daarvoor zoveel grondwater opgepompt, dat de plaatselijke grondwaterspiegel met ongeveer 244 meter is gedaald. Een ander voorbeeld van spectaculaire stedelijke waterconsumptie levert Las Vegas (Nevada), de hoofdstad van het gokken. De bewoners en bezoekers van deze stad laten het breed hangen, en verbruiken per hoofd alleen al ongeveer 660 liter water per dag uit de kraan. Ook is het in Las Vegas mogelijk om op nagemaakte Venetiaanse grachten te varen en zich te vergapen aan een voetbalvelden-groot meer nabij een namaak-Toscaans paleis. De grondwaterstand in de buurt van Las Vegas is door dit alles met meer dan 90 meter gedaald. Er wordt voor Las Vegas grondwater in de wijde omgeving van de stad aangesproken. Het laatste plan om Las Vegas van water te voorzien, zal de grondwaterstand, zelfs bij 'normaal weer', in een gebied van ongeveer 130 000 vierkante kilometer (groter dan Nederland) drastisch doen dalen. Daardoor zal het weinige groen worden gedecimeerd en een fors aantal diersoorten en micro-organismen uitsterven. Las Vegas betreft daarnaast een groot deel van zijn

koelwater uit Lake Mead (gevoed door de Colorado). De inhoud van dit enorme stuwmeer halveerde in de periode van 1999 tot 2004 en is sindsdien zo gebleven. Gezien de afnemende wateraanvoer door de Coloradorivier en de kans op 'megadroogtes' die tientallen jaren kunnen duren, is berekend dat in de toekomst met een kans van tussen de 15 en 50% jaarlijks het Lake Mead geheel droog zal vallen. Ook andere grote stedelijke gebieden waaronder, Los Angeles, San Diego, Phoenix, Salt Lake City, Denver, Houston, Atlanta en New York, komen in de toekomst, 'als alles zo blijft', grote hoeveelheden water te kort. In de stad El Paso (Nieuw-Mexico) zal, als 'alles zo doorgaat' het grondwater voor de watervoorziening in 2025 op zijn.

Pogingen om de waterefficiëncy van steden sterk op te voeren, zijn tot nu toe zeldzaam. Een goed voorbeeld van hoe het efficiënter kan, is Singapore. Aan het begin van de jaren zestig kwam ongeveer 80% van het voor deze stad benodigde water uit het nabijgelegen Maleisië. Het is de bedoeling dat dit percentage tot nul is teruggebracht in 2011. Dat wordt bereikt door waterbesparende maatregelen, en door het water dat in deze stadstaat valt zoveel mogelijk op te vangen en, na reiniging, te gebruiken en te recycleren.

Dalende grondwaterspiegels

Ook buiten de landen waar het overmatige verbruik van water het omvangrijkst is (de Verenigde Staten, China, India, Pakistan, Iran en Mexico), kunnen de effecten van waterkrapte aanzienlijk zijn. In Jemen daalt de grondwaterspiegel onder het agrarisch gebied met gemiddeld twee meter per jaar. Rond de Jemenitische stad Sanaa wordt aan de bodem tien maal zoveel water onttrokken als er aan regen bijvalt. De grondwaterspiegel daalt er vier tot zes meter per jaar. Dat komt het zeker stellen van toekomstig drinkwater niet ten goede. De derde stad van Jemen, Taiz, is nog verder afgeleden dan Sanaa. De burgers hebben daar slechts eens in de 45 dagen toegang tot de publieke watervoorziening.

De Garamantes, genoemd door Herodotos, hebben nu een tegenhanger in de Tafilalt-oase (Marokko). Daar functioneert al ongeveer 1000 jaar een watervoorzienings-systeem gebaseerd op qanats. De qanats vallen de laatste decennia in toenemende mate droog doordat te veel water via diepe putten worden opgepompt. Het is de verwachting dat, 'als alles zo doorgaat', de fossiele watervoorraden van Saudi-Arabië en Libië ruim voor het eind van deze eeuw zijn uitgeput. In beide landen wordt thans ongeveer zeven maal zoveel water verbruikt als er jaarlijks bijregent. Onder de Syrische akkers daalt de grondwaterstand met ongeveer een meter per jaar.

Snel groeiende gewassen als eucalyptus (vooral gebruikt voor papierfabricage) en suikerriet, slurpen zeer veel water. Rijstboeren in Noord-Thailand klagen dat hun rijstvelden door eucalyptusplantages 'als een woestijn worden', omdat te weinig water overblijft en omdat de slangen verdwijnen die normaal de rijstetende muizen en ratten opeten. In Ecuador klagen werkers op eucalyptusplantages dat 'hun rivieren verdwijnen'. In het suikerrietgebied van Brazilië is menige beek en menig meertje verdwenen.



In Nederland treedt vanwege de landbouw een andere vorm van verdroging op. Hier is traditioneel een probleem dat in het voorjaar een deel van het agrarische land een flinke tijd onder water staat. Ook is het agrarische veengebied niet goed bereikbaar voor zware werktuigen. Om dat tegen te gaan, wordt jaarlijks ongeveer 7,6 kubieke kilometer water weggepompt. In droge perioden maakt het grondwaterpeil op veel plaatsen een extra val doordat grondwater wordt opgepompt voor beregening. De verlaagde grondwaterstand heeft op zijn beurt een grote invloed op de ecosystemen te land. Traditioneel waren deze vaak aangepast aan 'natte voeten', maar door het wegpompen verdwijnen waterminnende soorten.

Bodemdaling

Daling van de grondwaterspiegel kan afhankelijk van de bodemgesteldheid tot bodemdaling leiden. Het Hollandse veengebied is daarvan een illustratie. Het veenpakket in West-Nederland daalt door de verlaagde grondwaterstand vaak met een aantal millimeters per jaar. Ook zijn er in de veenweidegebieden nog altijd boeren die aan onderbemaling doen, zodat de grondwaterspiegel extra daalt. Daardoor kan de jaarlijkse bodemdaling oplopen tot meer dan vijf centimeter. Het verdwenen veen komt als kooldioxide in de atmosfeer terecht. Per hectare kan bij onderbemaling de bijbehorende uitstoot van CO₂ tientallen tonnen per jaar belopen.

Het Nederlandse veengebied is niet de enige plaats waar bodemdalingen worden gezien. De stad Semarang, op Java, zakt 15 centimeter per jaar. Diverse straten van deze miljoenenstad zijn in zee verdwenen. Door de onttrekking van grondwater daalde de bodem in Tokyo in de jaren zestig met ongeveer tien centimeter per jaar, en nu nog altijd met ongeveer één centimeter per jaar. In Bangkok is het grondwater-niveau in de tweede helft van de twintigste eeuw op sommige plaatsen met meer dan 60 meter gezakt en de bodem meer dan 60 centimeter. De grondwaterspiegel in Bangkok daalt nog steeds, vooral door wateronttrekkingen van grote bedrijven. In Shanghai beloopt de bodemdaling ongeveer 1,8 meter en zakt de stad met ongeveer 1 millimeter per maand. Spectaculairder is de verzakking in Mexico Stad en omgeving. In de vallei van Mexico wordt tenminste tweemaal zoveel water uit de grond gepompt als er door neerslag bijkomt. In een gebied van 225 vierkante kilometer is de bodem nu tot 8,5 meter gedaald. Het huidige tempo van bodemdaling in de vallei van Mexico beloopt tot 40 centimeter per jaar.

Krimpde meren

Flink wat meren zijn door toenemende wateronttrekking ingekrompen. Op de plaats van, en rond, Mexico Stad lag bijvoorbeeld 3000 jaar geleden een meer van 1500 km². Het nabij Mexico Stad gelegen, daarvan overgebleven, Chapala-meer verloor tussen 1982 en 2002 90% van zijn volume. Een ander spectaculair voorbeeld van krimp is het Aralmeer. Het Aralmeer is vanwege verminderde wateraanvoer door de Syr Darya en Amu Darya zover gekrompen dat watervoorziening, vissersschepen en veerdiensten vergaand in het ongerede zijn geraakt. Het noordelijke deel van het meer is thans door een dijk van het zuidelijke gescheiden. In het noorden stijgt het water nu weer, maar in het zuiden daalt het nog steeds. De hoeveelheid water in het zuidelijke deel van het Aralmeer beliep in 2007 nog 10% van de hoeveelheid water aan het begin van de

20^{ste} eeuw. Om het Aralmeer terug te brengen op het waterniveau van 1960 zou de afvoer door de Syr Darya en de Amu Darya moeten verviervoudigen.

In China zijn meer dan 190 meren (met een totale oppervlakte van meer dan 660 vierkante kilometer) verdwenen. Door inefficiënte irrigatieprojecten en kassen voor de bloementeel in de Great Rift Valley drogen de in Kenia gelegen Elmenteita-, Nakuru- en Naisvasha-meren uit.

Opdrogende rivieren

Diverse rivieren bereiken door de toegenomen wateronttrekking gedurende kortere of langere tijd hun mondingen niet meer. Bekende voorbeelden daaronder zijn de Gele Rivier in China, de Indus, en de Coloradorivier (Verenigde Staten en Mexico).

Maar ook bij minder bekende rivieren zoals de Draa-rivier (Noord-Afrika), de Luni-rivier (India) en de Hai-rivier (China) is de waterloop fors ingekort. In het stroomgebied van de Chinese Tarim-rivier zijn zes van de negen zijrivieren permanent opgedroogd en in de winter van 2007/2008 viel 300 van de 321 kilometer Tarim-rivier droog. De Santa Cruz rivier die 500 000 jaar lang van de Canelo-heuvels naar het huidige Phoenix (Arizona) liep, is door de overmatige consumptie van water geheel verdwenen. Van de San Joaquin-rivier die eindigt in de baai van San Francisco is de meeste jaren 100 kilometer nagenoeg waterdicht. In 2005 viel een groot stuk van de San Pedro-rivier in Arizona (Verenigde Staten) voor het eerst sinds menscheugenis droog.

Sinds de jaren 1970 breidt het gebied waar een structureel watertekort is zich sterk uit. In 1970 ging het om 10 tot 15% van het landoppervlak en nu is dat ongeveer 30%. Thans leven al ongeveer een miljard mensen in gebieden waar minder dan 1000 kubieke meter per hoofd aan zoet water beschikbaar is. Door de toenemende bevolking en de toenemende consumptie van dierlijke producten (die relatief veel water kosten) neemt de vraag naar water snel toe. 'Als alles zo doorgaat' dan zal rond 2050 wereldwijd mogelijk 5000 tot 6000 kubieke kilometer *meer* zoet water nodig zijn dan nu om de mensheid naar wens te voeden.

Een sterke expansie van de vraag naar biobrandstoffen zal de behoefte aan extra water nog flink kunnen vergroten. De productie van biobrandstoffen vraagt in doorsnee vele malen meer water dan een vergelijkbare hoeveelheid fossiele brandstoffen. Een liter soja biodiesel vraagt bijvoorbeeld ongeveer 10 000 maal zoveel water als een liter conventionele diesel. Per liter bioethanol uit maïs is naar schatting 2000 tot 3000 liter water nodig. De vervanging van alle fossiele autobrandstof door biobrandstof uit maïs vereist, gunstig geschat, ongeveer 5600 kubieke kilometer zoet water. Wil men de biobrandstof maken uit suikerbiet, tarwe of raapzaad, dan is nog veel meer water nodig. Ter vergelijking: de totale hoeveelheid zoet water die jaarlijks beschikbaar is voor onttrekking, wordt geraamd op ongeveer 14 000 kubieke kilometer water, waarvan nu ongeveer 6500 km³ daadwerkelijk wordt benut. De beschikbare hoeveelheid goed water neemt aanzienlijk af door toenemende vervuiling. 'Als alles zo doorgaat' is daardoor rond 2050 nog ongeveer 10 000 kubieke kilometer 'schoon' water beschikbaar. Kortom, de komende decennia zal een groeiend aantal gebieden worden geconfronteerd met structurele discrepanties tussen vraag naar en aanbod van schoon zoet water.



Naast structureel droge gebieden, zijn er gebieden waar natte en droge perioden elkaar afwisselen. In Nederland gebeurt dat op bescheiden schaal. We hebben wel eens een droog jaar. In 1383 en 1388 was het mogelijk de droge Rijnbedding over te steken. In 1389 en 1540 viel de Rijn vrijwel droog. In 1473 en 1503 waren er mede door de droogte enorme bos-, heide- en veenbranden. In 1857, 1864 en 1920 viel in Nederland ongeveer de helft van de normale hoeveelheid regen. En 1976 en 2003 werden gekenmerkt door zeer droge zomers. Zulke 'droge' perioden zijn een wijd-verbreed fenomeen. Zo werd India in 2009 getroffen door uitblijvende moessons, en was het ook in het noorden van China in de zomer zeer droog. In 2010 was de zomer zeer droog in Rusland en Kazakstan.

Langdurige droogte

Problematischer zijn tijdelijke ernstige droogteperioden die langer dan een jaar duren. Een voorbeeld daarvan is de meerjarige droogte in China rond 1640. In combinatie met boerenopstanden maakte deze een eind aan de Mingdynastie. Andere voorbeelden van meerjarige droogtes in het zuiden van Azië waren die van 1756 tot 1768, die tot grote sociale onrust leidde; de grote droogte in het oosten van India (1790-1796); en de droge periode van 1876-1878, die naar schatting 30 miljoen slachtoffers eiste. Deze twee laatste droogteperioden houden vermoedelijk verband met zeer heftige El Niño's.

Afrika was de afgelopen eeuw veelvuldig het toneel van meerjarige droogtes. Als we ons beperken tot droogteperioden met meer dan 100 000 dodelijke slachtoffers dan waren dat: Sahel (grenzend aan de Sahara, 1913-1914), Rwanda (1943-1944), Ethiopië (1957-1958), Sahel (1969-1974), Ethiopië (1972-1974), Mozambique (1982-1985), Ethiopië (1983-1985) en Somalië (1991-1993). In de tweede helft van de twintigste eeuw waren er 43 ernstige droogtes die langer dan een jaar duurden en een gebied van tenminste 500 000 vierkante kilometer troffen. Ongeveer de helft daarvan trad op in Azië. Zulke droogtes leiden niet alleen tot voedseltekorten, maar ook tot drinkwaterschaarste. Tijdens de droogte in India van 2002 liep bijvoorbeeld de tijd die een gezin op het platteland moest besteden aan het halen van water op tot 6 à 8 uur. Ook zeer problematisch zijn perioden van meer dan tien jaar met structureel een stuk minder regen dan 'normaal'. In de vorige eeuw waren er wereldwijd ongeveer dertig gebieden die werden getroffen door dergelijke langdurige droogteperioden. In het Sahelgebied aan de rand van de Sahara is het bijvoorbeeld sinds 1971 duidelijk droger dan in de periode van 1920 tot 1969. Toch treedt daar her en der een zekere mate van vergroening op. Deze hangt waarschijnlijk samen met waterconserverende maatregelen en de uittocht van miljoenen mensen uit het gebied na een ernstige droogte in de vroege jaren negentig. In flinke delen van de Sahel maakt de droogte het leven niettemin nog altijd moeilijk. Niet alleen voor de mensen in de Sahel, maar bijvoorbeeld ook voor de Westafrikaanse olifanten die leven in het noorden van Mali en bedreigd worden met uitsterven.

Deze eeuw valt de meerjarige droogte in het oosten en zuidoosten van Australië op. Sinds 1997 is de regenval daar beduidend minder dan normaal. Vanaf begin 2005 is de jaarlijkse regenval ongeveer 20% van het gemiddelde daarvoor. In 2004 lag de oogst

van tarwe op 26 miljoen ton, in 2006/2007 was dat nog 10 miljoen ton. De rijst oogst daalde van 1 miljoen ton tot 21 000 ton in 2008. En in 2009 werd de Australische deelstaat Victoria geteisterd door dramatische branden in de kurkdroge vegetatie. Meren in het gebied zijn in doorsnee met 60 tot 80% geslonken.

Ook opvallend was de droogte in Californië tussen 2006 en 2010. Gouverneur Schwarzenegger van Californië riep in februari 2009 een 'waternoodtoestand' uit. Water ging in Californië in hoge mate 'op de bon'. In de Centrale Vallei van Californië was de toevoer van irrigatiewater voor de boeren in 2009 ongeveer 15% van de normale hoeveelheid. In 2010 was de ergste droogte over, maar was het aanbod van water nog steeds beduidend kleiner dan de vraag.

In China is de droogte spectaculair in de zuidelijk gelegen provincie Yunnan. Daar wordt het sinds 1960 droger en warmer. In 2010 was daar sprake van een barre droogte met veel oogstverlies. Menselijke activiteiten, waaronder het kappen van bossen, de teelt van zeer dorstige gewassen en de wereldwijde klimaatverandering, worden in belangrijke mate verantwoordelijk gehouden voor de problemen in Yunnan.

Langdurige, ernstige droogtes van meer dan een jaar kwamen ook in het verre verleden voor. Ze hingen en hangen vermoedelijk samen met veranderingen in de temperatuur van de zeeën. Daaronder vallen droogtes die veel heftiger waren dan wat we de laatste decennia hebben meegemaakt. De 21^{ste}-eeuwse droogte in Californië is nog maar apenootjes vergeleken met megadroogtes in hetzelfde gebied gedurende de vijftiende en zestiende eeuw. Ook de droogtes in het Sahelgebied in de periode van 1969 tot 1974, de jaren 80 en vroege jaren negentig waren bescheiden wanneer ze vergeleken worden met eerdere droogtes in de regio. Eerdere droogteperiodes in de Sahel gedurende het afgelopen millennium duurden daar naar schatting twee eeuwen.

Effecten klimaatverandering

Klimaatverandering heeft aanzienlijke effecten op de watervoorziening. In Niger en het stroomgebied van de Okavango (Angola, Namibië, Botswana) is er een dalende trend in de regenval te zien, terwijl de temperatuur (en daarmee de verdamping) toeneemt. Een illustratie van wat er door klimaatverandering, gecombineerd met toenemende wateronttrekking, kan misgaan, leveren de ontwikkelingen rond het Tsjaadmeer. Het Tsjaadmeer in Afrika (voorheen Victoriameer), van waaruit de Witte Nijl wordt gevoed, is sinds 2003 met ongeveer 1,5 meter gedaald. Onder invloed van klimaatverandering is in het stroomgebied van het Tsjaadmeer de regenval verminderd met 25%. Tussen 1990 en 2004 steeg het aantal mensen in dit stroomgebied van 26 miljoen naar 37,2 miljoen. Mede als gevolg daarvan stijgt de wateronttrekking voor economische activiteiten. De komende 15 jaar wordt een verdere stijging van de bevolkingsomvang tot ongeveer 55 miljoen verwacht, bij een dalende regenval. Door bevolkingsgroei en dalende neerslag komt het einde van het Tsjaadmeer in zicht.

Een ander gebied waar klimaatverandering de watervoorziening aanzienlijk beïnvloedt, is het Middellandse Zeegebied. In het oostelijke deel daarvan was het de afgelopen vijftig jaar al een stuk droger dan sinds 1500, maar in het westen bleef een



sterke toename van de droogte tot nu toe beperkt tot enkele gebieden, bijvoorbeeld Murcia in Zuidoost-Spanje waar de neerslag de afgelopen eeuw van 370 tot 270 millimeter daalde, terwijl door opwarming de verdamping steeg. Er wordt verwacht dat in deze eeuw de droogte ook het westelijke Middellandse Zeegebied hard zal treffen. De neerslag zal volgens de beschikbare voorspellingen in het hele Middellandse Zeegebied afnemen en de verdamping toenemen. Het nettoresultaat daarvan zal zijn: minder water in de rivieren en lagere grondwaterstanden. Bovendien is er in het Middellandse Zeegebied de tendens dat de regenval verschuift naar buiten het groeiseizoen.

Andere gebieden die door klimaatverandering waarschijnlijk met ernstige droogtes te kampen zullen krijgen, zijn het westen van de Verenigde Staten en het noorden van Mexico, het noorden van China en het noordoosten van Brazilië. Tijdens het groeiseizoen wordt er minder neerslag verwacht in het Amazonegebied en het gebied dat wordt bediend door de Aziatische moessonregens. Daarnaast zal er, na een overgangperiode met veel smeltwater, tijdens de zomers minder water zijn in rivieren die nu nog door gletsjers worden gevoed. En in grote delen van alle continenten, behalve Antarctica, verwacht men dat in de zomers de hoeveelheid neerslag die niet verdampt gaat afnemen. Door deze ontwikkelingen is de kans dat in veel voedselproducerende gebieden de oogst vermindert aanzienlijk.

Wanneer de temperatuur wereldwijd gemiddeld met twee graden stijgt, krijgen een extra 700 tot 1500 miljoen mensen op de thans bewoonde plaatsen te maken met watertekorten. Als gevolg daarvan worden bijvoorbeeld voor delen van Tanzania, Mozambique en de Democratische Republiek Congo, toenemende hongerproblemen voorzien. Verwacht wordt dat de door droogte bedreigde mensen ten dele wegtrekken, en vanwege watertekort vluchteling worden. Voor 2050 wordt, 'als alles zo doorgaat', het aantal vluchtelingen vanwege waterkrapte geschat op vele tientallen miljoenen. Ter vergelijking: het totale aantal vluchtelingen waarvoor de UNHCR (de vluchtelingenorganisatie van de Verenigde Naties) zorgt, belooft thans ongeveer tien miljoen.

Daarbij komt dat ook de oogsten in een aantal belangrijke voedselproducerende delta's, zoals die van Bangladesh/Oost-India, Myanmar (Birma) en Thailand, in toenemende mate worden bedreigd, niet door droogte, maar door wassend water. Deze door klimaatverandering veroorzaakte tangbeweging belooft weinig goeds voor de wereldwijde voedselzekerheid.

Nederland

Nederland lijkt in eerste aanleg een van de laatste landen ter wereld waar droogte een probleem kan worden. De neerslag vertoont een gestage stijging en Nederland ligt aan het einde van drie grote rivieren. Niettemin is er gereede kans dat Nederland in de komende eeuw meer dan de afgelopen eeuw met tijdelijke tekorten aan zoet water te maken zal krijgen. Eerder is al opgemerkt dat door klimaatverandering op de hoge zandgronden het vochttekort gedurende het groeiseizoen structureel toeneemt. De Rijn verandert en wordt 's zomers meer een regenrivier (met vaak lagere water-

standen). Ook in meren, sloten, beken en andere rivieren is er de tendens dat de waterstanden in de zomer structureel lager worden. Dit leidt in de zomerperiode tot een slechtere waterkwaliteit, waardoor het minder aantrekkelijk wordt dit water 'in te nemen' voor droogtebestrijding. Daarnaast neemt de zoute kwel toe, waardoor meer zoet water nodig is om al het zout weg te spoelen.

De stedelijke grondwaterstand kan dalen wanneer er in een stad weinig groen is en het hemelwater dat op straten en huizen valt snel via riolen wordt afgevoerd. In dat geval kan de toevoer van neerslag onvoldoende zijn om te compenseren voor de 'natuurlijke' daling van het grondwater door wegvloeiing. Dit verschijnsel treedt nu al op, maar wordt ernstiger omdat er naar verhouding meer zeer zware buien zijn waarbij relatief veel water wegvloeit en omdat het klimaat opwarmt, waardoor er meer water verdampt. Voor de binnensteden waarin de huizen op houten heipalen staan, wordt het daardoor waarschijnlijk moeilijker om zomers hun grondwaterstand op peil te houden en daarmee ervoor te zorgen dat de heipalen intact blijven.

Een ander probleem is de elektriciteitsvoorziening. In de zomers van 2003 en 2006 moest een groot aantal elektrische centrales op een lager pitje vanwege een combinatie van watertekorten en hoge watertemperaturen. Van de toen gedane beloftes 'om daar iets aan te doen' is zeer weinig terecht gekomen. Met de toenemende opwarming van het klimaat dreigen koelwatertekorten in de zomer dan ook een groeiend probleem te worden.

In Nederland wordt er verhoudingsgewijs weinig geïnvesteerd in de strijd tegen tijdelijke watertekorten.

Natuur en waterkrachte

Niet alleen mensen ondervinden de problemen van waterkrachte. Geen organisme kan zonder water. En mensen kunnen meer tegen waterkrachte doen dan de meeste andere organismen die op het land huizen. In de strijd om schaars water trekt de mens als regel aan het langste eind. Daarbij helpt dat de natuur bijna nooit 'terugvecht'. Een van de weinige uitzonderingen daarop betreft een groep vervetapen die halverwege maart 2000 in het dorp Takaba (Kenia) mensen wegjoegen bij drie tankers die drinkwater waren komen brengen. Aanvankelijk vluchtten de dorpelingen, waarop de apen naar hartelust konden drinken. Later kwamen de inwoners van het dorp terug, gewapend met stokken en messen. Na de dood van acht vervetapen tijdens een heftig gevecht nam de rest van hen de benen.

In diverse gevallen is watertekort de opmaat voor grootschalige natuurvernietiging. Elke zomer zijn er in het Middellandse Zeegebied bosbranden die natuurgebieden hard treffen. Sommige zomers komen bij de natuur extra hard aan. Gedurende de zomer van 2003 was er droogte in een gebied dat zich uitstrekte van het noorden van Portugal tot het noordoosten van Duitsland. In deze periode nam de kans op bosbranden sterk toe. In het Italiaanse Alpengebied vielen velen vennen droog. Dit leidde tot een sterfte van veenmossen, waarvan deze mossen nog steeds niet zijn hersteld.

5.3 Strijd tegen waterkrapte

De strijd tegen waterkrapte is waarschijnlijk even oud als de waterkrapte zelf. Sinds jaar en dag wordt getracht waterkrapte op bovennatuurlijke wijze te bestrijden. Relatief droge gebieden kennen een lange traditie van hooggeplaatste en invloedrijke regenmakers die rituelen uitvoeren om regen te brengen. In zulke gebieden spe(e)l(d)en aan water gerelateerde goden vaak ook een belangrijke rol. De god van de joden, Jahweh, die zelf in de Bijbel een aantal malen verschijnt als (welkome) onweersbui, had een belangrijke rivaal in de regengod Baal. In het klassieke Babylonië was er een ondergrondse god Enki of Ea, die geacht werd alle bronnen van water te voorzien. In aanvulling daarop zag de beroemde Babylonische koning Hammurabi zichzelf als 'god onder de koningen' en 'verschafte hij zijn volk overvloedig water'. Het klassieke Anatolië kende vier goden die betrokken waren bij de watervoorziening. De oude Egyptenaren zagen de Nijl als een god. Een door waterproblemen ontstaan tekort aan graan kon het politieke einde betekenen van een Egyptische farao, omdat de Nijlgod hem kennelijk niet meer steunde. De Bijbelse profeet Isaias hield de Egyptenaren voor dat Jahweh een betere verschafter van water was dan de Egyptische goden, die de Nijl droog lieten vallen. Vroege Griekse koningen (bij de gratie Gods) werden geacht in hun gebied regen te maken. De Griekse topgod Zeus gold op het eiland Kos als regenverschafter. Bronnen hielden er in het door de klassieke Grieken en Romeinen beheerste gebied op zijn minst een half goddelijke nimf op na. Bij de tempel van Mars in het oude Rome stond een steen met bovennatuurlijke krachten die in tijden van ernstige droogte in processie werd rondgedragen. Libië had in de klassieke tijd een belangrijke regengod: Tanit.

In de Koran maakt Allah er een groot punt van dat hij regen en andere onderdelen van de waterhuishouding, zoals de vorming van diep grondwater, in de hand heeft. In flinke delen van Noord-Afrika is het woord voor regen dan ook synoniem met 'goddelijke genade'. In West-Afrika kent men de watergeest Maami Waata, die de moeder van het zoete water is, maar als het gedrag van mensen haar niet bevalt droogte veroorzaakt. In Zuid-Afrika is regen traditioneel het werk van God, en mensen kunnen voor droogte zorgen door zich te misdragen, bijvoorbeeld door het verkeerde gewas te telen. Toen de introductie van maïs rond 1650 samenviel met een ernstige droogte, kwam maïs geruime tijd te boek te staan als een duivels gewas dat beter niet geteeld kon worden.

India heeft de watergod Viruna uit wiens navel de boom des levens groeit. De Maya's in Zuid-Amerika hadden de hooggeplaatste regengod Chac, de Azteken de regengod Tlaloc en de Tolteken de regengod Platoc, die met kinderooffers moest worden vermurwd. In China werden goddelijke wezens (waaronder een rijk assortiment draken) tot in de negentiende eeuw geacht voor voldoende regen te zorgen. Deden ze dat niet, dan werd er meestal gebeden en geofferd. Als de droogte toenam, volgden er eventueel ook mensenoffers. Reageerden de goden dan nog niet, dan werd wel gestraft. Godenbeelden werden als straf in de verzengende zon gezet, draken werden verbannen en goden kregen zweepslagen of werden van hun tong beroofd. Dat was niet zonder risico, want de goden konden met dood en verderf terugslaan.

En er is een variant op de Christelijke legende van Sint Joris en de draak, waarbij de draak met zijn staart een waterbron blokkeert. Nadat hij door Sint Joris is verslagen, gaat de bron weer vloeien en wordt het land gezond. En Sint Joris is niet de enige heilige die kon worden aangeroepen tegen watertekorten. Anderen zijn: Sint Willibrordus, Sint Christoffel, Sint Donatus en Sint Laurentius (bijgenaamd Lauke de zeikerd). De negentiende-eeuwse mormonen meenden dat hun geloof door Gods gunst het weer kon verbeteren. Seculiere utopisten ontwikkelden soms varianten op deze opvatting. De negentiende-eeuwse navolgers van de socialistische utopist Charles Fourier meenden dat ze het klimaat zo konden beïnvloeden dat dit altijd gunstig zou zijn.

Het beroep op hogere machten om watertekorten aan te vullen is nog steeds met ons. In 2007 deden gouverneur Purdue van Georgia (USA) en premier Howard van Australië een beroep op God om het te laten regenen. Enkai, de god van de Maasai die een relatief droog deel van Kenia bewonen, fungeert nog altijd als waterschaffer. Is hij gelukkig, dan zorgt hij voor veel regen en is hij ontevreden, dan leidt dat tot droogte. In het droge deel van Tanzania wordt door christenen het al dan niet regenen door vrijwel alle boeren toegeschreven aan God-de-Vader.

Landbouwkundige aanpassingen

Een voor de hand liggend niet-bovennatuurlijk wapen in de strijd tegen waterkrapte is sinds jaar en dag: aanpassing. Voorbeelden daarvan zijn: geboorte- en consumptiebeperking en het benutten van middelen van bestaan die droogtebestendig zijn. Vanaf het ontstaan van de landbouw in het Nabije Oosten is de gewaskeuze aangepast aan het (wisselende) klimaat. Gerst en emmertarwe konden goed tegen droogte en waren daarom populaire gewassen wanneer het water krap was. In Zuid-Amerika werd, wanneer bestendigheid tegen droogte belangrijk was, op aanmerkelijke schaal het gewas amarant geteeld. Amarant kan als groente en als graan dienen. Variëteiten van de prosopis-boom, die voedzame bonen voortbrengt, werden benut in droge gedeelten van Azië, Afrika en de Amerika's.

De aanpassingsstrategie raakt door bevolkingsgroei en klimaatverandering in toenemende mate in het ongerede. Een illustratie van de bijbehorende problemen vormt Niger. Sinds de jaren 1960 is de bevolking van dat land verdrievoudigd. In dezelfde periode halveerde door droogte het landbouwareaal. Er is, mede dankzij hulporganisaties, veel aan gedaan om door verbetering van de efficiency waarmee water wordt gebruikt, de productiviteit van het resterende land op te voeren. Maar dat blijkt in de praktijk niet genoeg te zijn. De graanproductie ligt structureel minstens 15% onder het niveau dat minimaal nodig is om de bevolking goed te voeden. Ook in relatief regenrijke jaren lijdt tot tientallen procenten van de bevolking in Niger honger. De kindersterfte onder de vijf jaar belooft 'normaal' 25%. In perioden van relatieve droogte is dat percentage nog veel hoger.

Een tweede belangrijke aanpassing aan waterkrapte was en is de bouw van waterwerken.

Jericho, een van de eerste steden, ligt in een gebied waar weinig regen valt. Waarschijnlijk al kort na het ontstaan van de landbouw werden daar waterwerken aangelegd om het water te gebruiken van wat nu de Ain es Sultanbron heet. Daarmee kon een gebied van ongeveer 500 hectare worden bevoeid. In de vallei van de Yangtze-rivier in China zijn eveneens spectaculaire vroege aanpassingen aan waterkrachte te vinden. Tussen 6400 en 4500 jaar geleden leidden perioden met minder moesson-regens tot de aanleg van grote irrigatiewerken, die het mogelijk maakten de voedselproductie op een goed peil te houden. In de periode tussen 4200 en 4000 jaar geleden werd de droogte echter zo erg, dat ook de irrigatiewerken te kort schoten en de 'rivierbeschaving' in het dal van de Yangtze ten onder ging.

Ruim 5000 jaar geleden werden in Jawa (Jordanië) grote waterwerken gebouwd, compleet met ondergrondse en bovengrondse bergingen, om het water van de regenbuien in de winter op te vangen. In het laatste millennium voor het begin van onze jaartelling werden in Iran en Oman voor de watervoorziening op grote schaal ondergrondse kanalen (quanats of falaj) gegraven. In het jaar 760 voor het begin van onze jaartelling werd in de Tehuacán-vallei (Mexico) de Purrón-dam aangelegd, met een lengte van 400 meter, een breedte van 100 meter en een hoogte van 25 meter. Deze dam diende om in de landbouw het droge half jaar te overbruggen. De Nabateërs (aan het begin van onze jaartelling onder meer woonachtig in het huidige Saudi-Arabië, Jordanië en de Negev-woestijn), zagen zich geconfronteerd met een gemiddelde regenval van ongeveer tien centimeter per jaar. In reactie daarop ontwikkelden ze een infrastructuur voor de wateropvang die woestijnlandbouw mogelijk maakte.

Waterwerken

Ook voor de drinkwatervoorziening werden waterwerken aangelegd. In de vierde eeuw voor Christus, toen het Middellandse Zeegebied werd geteisterd door een periode van droogte, werd in Athene een aquaduct gebouwd om water van de berg Parnes (18 kilometer weg) de stad in te brengen. Om de watervoorziening van Constantinopel (nu Istanboel) veilig te stellen, bouwde keizer Constantinus in 324 een waterleiding die een afstand van 242 kilometer overbrugde. En ook in de woestijn kwam het tot spectaculaire waterwerken. Langs de pelgrimsroute tussen Damascus en Mecca werden rond 800 waterreservoirs aangelegd om het water van de schaarse regenbuien te verzamelen, en zo de hadj mogelijk te maken.

De complexe waterwerken die in het verleden werden gebouwd om de watervoorziening veilig te stellen, zijn inmiddels overtroffen. Voor de watervoorziening van Athene zijn thans vier reservoirs, tot op ongeveer 200 kilometer van de stad, en 500 kilometer kanaal nodig. Om de watervoorziening van de bemiddelde wijken in Johannesburg (Zuid-Afrika) te regelen, zijn tot ongeveer 300 kilometer verderop in Lesotho dammen gebouwd. En voor het water dat naar Istanboel moet, zijn 15 dammen geconstrueerd.

In China zijn grote werken in uitvoering om water uit relatief natte streken te vervoeren naar het relatief droge noorden. China realiseerde in de periode tussen de revolutie en 1995 zeven kanalen die water van het relatief waterrijke zuiden naar het droge noorden aanvoeren. Thans is een nog groter project in uitvoering voor een beoogde totale verplaatsing van ongeveer 80 kubieke kilometer water per jaar. Daartoe worden onder meer de Yangtze-rivier in het zuiden en de Huai, Hai en Gele Rivier in het noorden aan elkaar geknoopt. Dit project bestaat uit drie transportroutes. De eerste daarvan, de oostelijke, is klaar. Aan de tweede (de middelste) wordt gewerkt, maar de aanleg ligt door heftige discussies over de gevolgen daarvan ongeveer vier jaar achter op schema. Dit tweede project moet onder meer de verplaatsing realiseren van 3000 kubieke meter water per seconde uit de Yangtze naar Noord-China. Daarop is groeiende kritiek vanwege negatieve neveneffecten. Wateronttrekking uit de Yangtze leidt bijvoorbeeld tot toenemende verzilting in de omgeving van Sjanghai, die ten koste gaat van de landbouwopbrengsten. De resterende westelijke route beoogt water van het Quinghai-Tibet plateau af te tappen, waardoor onder meer de Mekong-rivier minder water zou gaan bevatten. Deze route is thans fel omstreden. En zelfs al zouden alle beoogde grote werken worden voltooid, dan nog is, als de waterefficiëntie in het noorden niet drastisch verbetert, het watertransport van zuid naar noord onvoldoende om in de dorst van Noord-China te lessen. De gebrekkige waterefficiëntie wordt in de hand gewerkt doordat de prijs die in noorden van China wordt betaald voor het water uit het zuiden maar ongeveer 10% bedraagt van de kostprijs. In India bestaat het (fel omstreden) plan om 46 rivieren aan elkaar te knopen met een kanalenet van 10 000 kilometer dat het water naar relatief droge gebieden moet sluizen.

Ook tussen landen zijn er wel akkoorden over watertransport. In 2003 tekenden Iran en Koeweit een verdrag voor de levering van in totaal 300 miljoen kubieke meter water uit de Karkeh-rivier aan Koeweit. Turkije en Israël werden het in 2004 eens over een verdragstekst aangaande de levering van 50 miljoen kubieke meter Turks zoet water aan Israël. En Turkije heeft voorgesteld landen in het gebied van de Perzische Golf en droge gebieden in het oosten van het Middellandse Zeegebied te gaan bedienen met een 'vredeस्पilleiding'.

Verspilling

Waterwerken functioneren lang niet altijd efficiënt. De met irrigatieprojecten gerealiseerde 'waterproductiviteit' (gewasopbrengst uitgaande van een bepaalde ingenomen hoeveelheid water) ligt vaak beduidend onder het haalbare. Bij de teelt van granen haalt men in Israël ongeveer 2,3 kilogram graankorrels uit een kubieke meter irrigatiewater en in China ongeveer 0,85 kilogram.

Het waterleidingsysteem in Albanië verliest naar schatting 75% van het drinkwater. In Teheran lekt ongeveer 37% van het drinkwater weg dankzij kapotte leidingen. In New Delhi verliezen waterleidingen door lekkages ongeveer een derde van hun water. En in

veel andere grote steden in ontwikkelende landen is dat net zo of erger. Maar in Kopenhagen is het verlies van water uit het leidingnet bijvoorbeeld 5%. Dit geeft aan dat er veel ruimte is voor (efficiency)verbetering.

Bossen

Verbetering van waterefficiëncy is niet altijd een recht-toe-recht-aan zegen. Neem bijvoorbeeld de bossen. In gematigde streken 'drinkt' een altijdgroen naaldbos ongeveer 700 millimeter regenwater per jaar, een loofbos 400 en een grasland 200. Hierbij gaat het om neerslag die al dan niet via de bladeren verdampt. Een bos is dus een 'waterslurper'. Dit effect van bos is onder meer goed te zien in de Pyreneeën. Daar is de afgelopen decennia veel landbouwgrond verlaten. Als gevolg daarvan 'vergroenen' de Pyreneeën met bomen. En dat ziet men weer terug in beken en rivieren. Deze bevatten minder water dan vijftig jaar terug.

Betekent waterefficiëncy dat de bomen maar het beste kunnen worden gekapt? Of dat plannen voor herbebossing maar beter niet door kunnen gaan? Inderdaad is er wereldwijd een groeiende scepsis over de effecten van herbebossing gezien de effecten daarvan op de waterhuishouding. Waterefficiëncy is echter niet de enige factor die van belang is. Tegenover de lage 'waterefficiëncy' staan ook andere effecten. In de Pyreneeën zorgt de boomgroei voor afname van de erosie. In delen van West-Australië heeft het ruimen van bos geleid tot verzilting van de bodem. Dit komt door een hogere grondwaterspiegel. Deze bracht ook het zout omhoog dat daar in de grond zat, en dat leidde tot meer verzilting in de bovenlaag van de bodem. In dit deel van Australië worden nu weer bomen gepland om de grondwaterstand te verlagen en daarmee de verzilting tegen te gaan.

Door bossen wordt de neerslag die op de continenten valt, daar langer vastgehouden dan door weiden of akkers. Grootschalige boskap leidt ertoe dat rivieren meer water afvoeren naar de zeeën. En in het gebied waar bos stond, treedt niet zelden verdroging op. In delen van Zuid-Amerika, Australië en Afrika ging het ruimen van bos gepaard met 'onverwachte' droogte in de regio. In een aantal gevallen gaan de effecten van boomkap de regio zelfs te boven. De ontbossing van Afrika beïnvloedt bijvoorbeeld het patroon van de moessons in het zuiden van Azië. Omgekeerd beïnvloedt het toegenomen verbruik van zoet water in Noord-India de neerslagpatronen in het noorden van Afrika.

En bos heeft met het oog op de waterhuishouding meer voordelen. Bos kan meer water opvangen dan weiden of akkers en verkleint zodoende de kans op overstromingen bij heftige regenval. Ook kunnen diepwortelende bomen vaak beter tegen droogte dan gras.

Soms kan de kap van bomen, gezien de waterhuishouding, het overwegen waard zijn. Een bos met zoute ceders slurpt bijvoorbeeld zo'n twee meter regenwater per jaar. De zoute ceder is in de Verenigde Staten een niet van nature voorkomende boom die zich enorm heeft vermenigvuldigd en daar nu voor sterk verlaagde grondwaterstanden en minder rivierwater zorgt. In de Verenigde Staten worden op grote schaal zoute ceders gekapt. Dat is overigens wel controversieel, want elk nadeel heeft zijn voordeel; de

zoute ceder is aantrekkelijk voor een zeldzame vogel: de vliegenvanger. Eveneens in de Verenigde Staten leidt de opmars van de jeneverbes (daar ook een exoot) tot het verdwijnen van oppervlaktewater op de Great Plains. Ook die worden nu gekapt. Op andere plaatsen in de wereld zorgen exoten eveneens voor dalende waterstanden. In Zuid-Afrika gaat het om een aantal wilgensoorten en de rooikrans. Deze vormen thans het object van het werkverschaffingsproject 'Werken voor water' dat gericht is op de kap daarvan.

Voor zover het om landbouw gaat, is verbetering van de waterefficiëncy in de regel het overwegen waard. Er valt ook wat te kiezen: tussen landbouwgewassen en landbouwtechnieken zijn grote verschillen in waterverbruik. Vooral als de grondwaterspiegel dan wel het aanbod van oppervlaktewater daalt, is meer efficiency vaak zinvol.

Waterefficiëncy en voedselproductie

Gewassen verschillen aanzienlijk van elkaar in opbrengst per kubieke meter voor de teelt gebruikt water. Door de band genomen, levert wereldwijd een kubieke meter water ongeveer 800 gram tarwekorrels op en 400 gram rijstkorrels. De opbrengst per kubieke meter water van katoenvezel ligt op ongeveer 200 gram en van maïskorrels ruim boven de kilogram. Verder levert een kubieke meter water in doorsnee thans bijna 500 gram bruine bonen op, ruim 160 gram erwten en ongeveer 600 gram sojabonen - alles berekend als drooggewicht. In dit licht zijn rijst, erwten en katoen thans in doorsnee relatief grote 'watervreters'. Suikerriet vreet verder meer water dan een doorsnee zetmeelgewas. Dat is geen prettig vooruitzicht, want met een toenemende rijkdom verorberen veel mensen meer suiker en minder zetmeel.

Binnen zekere grenzen kan waarschijnlijk de waterefficiëncy verbeteren door gerichte plantenverdeling. Zo is het gelukt voor Afrika een rijstvariant te ontwikkelen die in de traditionele teelt, zonder irrigatie en kunstmest, ongeveer 50% meer aan korrelrijst produceert. Waar de grenzen van gerichte verdeling voor betere waterefficiëncy liggen, is overigens niet duidelijk. Een plausibel standpunt is dat bij gewassen die al lang met grote inzet worden 'veredeld', zoals tarwe, de meeste efficiëncy-winst al is bereikt, en dat vooral de minder intensief veredelde gewassen op dit punt mogelijkheden bieden. Een voorbeeld van de laatste categorie is sorghum. Sorghum is een graansoort die al goed tegen droogte kan, maar dat kan nog verbeteren door het selecteren van varianten waarvan de bladeren minder transpiratie vertonen. Ook kan men selecteren op sorghum met dieper stekende wortels. Het werken aan reeds lang veredelde gewassen is de moeite waard, omdat ook kleine beetjes flink kunnen helpen. Er wordt dan ook hard gewerkt om rijst waterefficiënter te maken.

De teeltmethode maakt eveneens uit. Het toepassen van compost op het land vermindert het waterverlies. En het laten vervallen van mechanische grondbewerking ('no till') ook. Als gronden aftakelen, gaat de waterefficiëncy in de regel achteruit. Op matig afgetakelde gronden is de waterefficiëncy ongeveer 13% slechter dan op goede gronden. Met snel rijpende gewassen kan men droogteperioden in de zomer voor zijn. De waterefficiëncy van tarwe bij irrigatie kan worden opgevoerd door het water vooral te geven als dat er veel toe doet (bijvoorbeeld tijdens stengelgroei) en minder als het er minder toe doet (bijvoorbeeld



tijdens het vullen van de aren). Diverse gewassen hebben met druppelirrigatie maar de helft of minder van het gangbare irrigatiewater nodig. Er zijn succesvolle demonstratieprojecten met druppelirrigatie van Curaçao tot Gujarat in India, maar de toepassing van druppelirrigatie is nog altijd zeer beperkt. Landen als Cyprus, Jordanië en Israël maken er op grote schaal gebruik van, maar in de Verenigde Staten heeft druppelirrigatie een aandeel van slechts 4%. Bij rijst is forse verbetering van de waterefficiëncy mogelijk door een veld voorafgaand aan de teelt korter onder water te zetten, door tijdens de teelt afwisselend te werken met droge en natte akkers, en door afstromend water op te vangen en te hergebruiken. Dan kan uit een kubieke meter water mogelijk 750 gram rijst worden gehaald. Ook kan het waterverlies uit kanalen die irrigatiewater aanvoeren vaak worden verminderd. Gemiddeld ligt het waterverlies op 60 tot 70%, maar in Australië weet men het verlies tot ongeveer 10% te beperken. Azië kan ook meer koolhydraten produceren indien men de waterslurpende rijst zou vervangen door minder waterbehoeftige tarwe.

Veel inefficiënter dan alle vormen van plantenteelt is de veeteelt. Omgerekend naar eenzelfde hoeveelheid energie (joules of calorieën), kost vlees gemiddeld acht tot tien maal zoveel water als een plantaardig eiwitgewas, en melk twaalf maal zoveel water. Nu over de wereld de consumptie van dierlijke producten sterk toeneemt, gaat het wereldwijde verbruik van water voor de landbouw extra snel omhoog.

Hergebruik van water

Hergebruik van water is eveneens een oude aanpassing aan waterkrapte. In Qumran, nabij de Dode Zee, was er ruwweg twee millennia terug een bad voor rituele reiniging dat alleen in de winter werd verversd. Dat had als evident nadeel dat het bad ideaal was voor de verspreiding van diverse infectieziekten. Deze les is geleerd: in toenemende mate wordt thans *gezuiverd* afvalwater hergebruikt. Bij de zuivering moeten gevaarlijke micro-organismen uit het afvalwater worden gehaald. Ook bezwaarlijke stoffen moeten goed worden verwijderd. Anders hopen deze zich op in de bodem en vindt men ze in aanzienlijke mate terug in het voedsel. Het verwijderen van bezwaarlijke stoffen is vaak lastig en kostbaar. Om dat probleem fors te verminderen moet drastisch worden ingegrepen in het gebruik van milieugevaarlijke stoffen.

De technische mogelijkheden voor verbetering van de waterefficiëncy en toename van het hergebruik van water zijn aanzienlijk. Zouden deze allemaal worden benut, en komt het niet tot een grootschalig gebruik van biobrandstoffen, dan hoeft de wereldwijde waterconsumptie, ondanks een toenemende bevolking en de verwachte verschuiving naar een groter verbruik van dierlijke voedingsmiddelen, niet veel te stijgen. Een probleem is echter dat op plaatsen waar waterefficiëncy grote baten zou kunnen hebben vaak de stimulansen ontbreken om daadwerkelijk efficiënter met water om te gaan.

Reserves voor droge perioden

Een andere belangrijke aanpassing aan waterkrapte is het opslaan van een deel van de goede oogsten om daarmee de droge periode door te komen. Het klassieke voorbeeld van de laatste strategie vinden we in de Bijbel. Daar gaf Jozef aan de farao de raad in de zeven vette jaren te sparen om de zeven magere door te komen. Elders en in

andere perioden voerden overheden een vergelijkbaar beleid. Het Chinese 'Boek der Riten' dat dateert van ergens tussen de achtste en vijfde eeuw voor het begin van onze jaartelling meldt: 'Een land zonder graanreserves voor 9 jaar doet onvoldoende, zijn de graanreserves voldoende voor 6 jaar dan is de situatie gespannen, en zijn de graanreserves maar voldoende voor 3 jaar dan overleeft de regering dat niet.' In het achttiende-eeuwse Chinese keizerrijk werd een uitgebreid systeem van graanvoorraden aangelegd in tijden van goede oogsten, om deze in tijden van schaarste beschikbaar te stellen. Ook kende China in tijden van droogte vaak prijsinterventies en belastingverlagingen om de bestedingsmogelijkheden van de burgers te verruimen. De voorwaarde voor deze aanpassing is een goed functionerende staat die bereid is de marktkrachten te trotseren. Terwijl de Engelse overheid in de negentiende eeuw, aangemoedigd door economen, de graanvoorziening aan de markt overliet, beschouwde de Chinese overheid door de staat gegarandeerde voedselzekerheid als hoogste goed. Dat werkte niet altijd. In de periode van 1876 tot 1879 werd het systeem van graanvoorraden en prijsinterventie overweldigd door een extreme meerjarige droogte. De Chinese staat overleefde dat, ook al omdat de lokale bevolking de droogte toeschreef aan de eigen zonden, zoals het eten van vlees, het roken van opium en immorele vrouwen, terwijl Christelijke missionarissen de afgoderij de schuld gaven. Later in de negentiende eeuw wordt de Chinese staat in het ongerede gebracht door Europese koloniale avonturen. Dit leidt tot dramatische hongerperioden in de late negentiende eeuw die niet alleen het gevolg waren van droogte, maar ook van een falende staat. In India, waar de Engelsen gedurende de negentiende eeuw aan de macht waren, functioneerde de staat, maar vonden de heersers de vrije markt zo belangrijk dat staatsinterventies achterwege bleven, met als gevolg eveneens: een massale sterfte door honger in droogteperioden.

Voedselimport

Een laatste strategie om waterkrapte de baas te worden, is de aanvoer van voedsel van elders. Door voedselhulp van buiten is het bijvoorbeeld sinds 1990 in Afrika mogelijk om in tijden van tenminste betrekkelijke vrede, massale sterfte door plotselinge 'hongersnoden' te voorkomen. Tussen 1980 en 1990 stierven in Afrika naar schatting nog 552 000 mensen door hongersnood vanwege extreme droogte. En hoewel de frequentie van ernstige droogtes niet afneemt, is het aantal extra acute sterfgevallen door hongersnoden vanwege extreme droogte in Afrika het afgelopen decennium teruggelopen tot ongeveer duizend. Probleem is wel dat steeds grotere groepen Afrikanen afhankelijk worden van buitenlandse voedselhulp, waardoor de prikkel verzwakt om in eigen land door onder meer structurele veranderingen in de waterhuishouding en beperking van de bevolking 'de tering naar de nering te zetten'. Daarmee is de hier besproken eerste vorm van traditionele aanpassing aan droogte praktisch verdwenen.

Er is een structurele toename te zien in het transport van voedsel naar droge gebieden, dat in dit verband virtueel water wordt genoemd. In Noord-Afrika en het Midden-Oosten is de import van virtueel water thans van levensbelang. Zonder deze import is het onmogelijk de bevolking adequaat te voeden. In de jaren 1950 ging

Israël voorbij het punt dat er voldoende water was om de bevolking te voeden. In Jordanië was dat in de jaren zestig en in Egypte gedurende de jaren zeventig. Sindsdien zijn Israël, Jordanië en Egypte netto importeurs van een groeiende hoeveelheid graan.

Noord-Afrika voert jaarlijks ongeveer 51 kubieke kilometer virtueel water in en het Midden Oosten ongeveer 40 kubieke kilometer. Jordanië voorziet thans in ongeveer 80% van zijn waterbehoefte met de import van virtueel water. De invoer van virtueel water in het stroomgebied van de Nijl is ongeveer een derde van de hoeveelheid water die door de Nijl stroomt. De grootste exporteur van virtueel water is de Verenigde Staten. Dit land exporteert jaarlijks ongeveer 160 kubieke kilometer daarvan. Een snel in betekenis groeiende exporteur van virtueel water is Brazilië. Alleen al de export van sojabonen vanuit Brazilië naar China komt overeen met 45 kubieke kilometer water. In beide gevallen wordt duidelijk dat zulke arrangementen de problemen rond water deels verschuiven. De export van granen vanuit de Verenigde Staten vindt deels plaats op basis van een uitputbare voorraad fossiel water (de Ogallalla-aquifer) en leidt op ruime schaal tot verdroging. Dat laatste fenomeen is ook merkbaar in Brazilië waar een groot aantal bronnen en beken, en ook een deel van de rivier de Cedro is uitgedroogd door de sterk toegenomen exportlandbouw. Daarbij komt dat, enkele uitzonderingen zoals Jordanië en Israël daargelaten, landen die grote importeurs zijn van virtueel water veelal onvoldoende doen om de waterefficiëntie van de eigen landbouw te verbeteren.

Of de positie van de huidige exporteurs van virtueel water, zoals de Verenigde Staten en Brazilië, (geheel) overeind kan blijven is in het licht van het veranderende klimaat onzeker. Een belangrijk deel van het graan exporterende gebied in het Amerikaanse Westen wordt bedreigd door verdroging. De neerslag loopt terug terwijl de temperatuur oploopt. Ook de exporten van virtueel water vanuit Europa zijn in de toekomst onzeker. In het zuiden van Europa moet worden gerekend met afnemende agrarische productie door oplopende watertekorten. In de noordelijke helft van Europa kan de agrarische productie stevig groeien, mits toereikende voorzieningen worden getroffen om overstromingen te beperken en watertekorten in droge zomers op te vangen. Of aan de mits zal worden voldaan, is onzeker: er wordt tot nu toe maar weinig in geïnvesteerd.

Opmerkelijk is voorts dat het opslaan van voedsel voor magere jaren sterk in betekenis is afgenomen. Dit is temeer opmerkelijk omdat er wereldwijd maar zeven landen zijn die substantieel meer voedsel en veevoer produceren dan ze verbruiken. Dat zijn: de Verenigde Staten, Frankrijk, Canada, Australië (althans voorafgaand aan de recente langdurige droogte), Argentinië en Thailand. 193 landen zijn in aanzienlijke mate netto importeurs. En de centraal aangehouden graanreserves nemen af. De officiële wereldwijde graanreserves waren in 1986 voldoende om de wereldbevolking 130 dagen te voeden, thans is er nog voorraad voor ongeveer 50 dagen.

Vrijwel algemeen wordt er door de bemiddelde landen op vertrouwd dat er voldoende geld is om bij dreigende hongersnood voedsel in te kopen op de wereldmarkt. De Europese Unie houdt bijvoorbeeld geen graanvoorraad aan voor het geval dat de

oogst in Europa goeddeels mislukt of de wereldwijde graanproductie naar beneden duikelt. In India zijn de graanvoorraden sterk afgebouwd. China beschikt nog wel over grote graanvoorraden. De schatting is dat de Chinese graanreserve ongeveer 230 miljoen ton bedraagt. China wordt echter steeds meer een uitzondering. In steeds grotere mate wordt voor het aanzuiveren van voedseltekorten op de markt vertrouwd. Dat kan grote gevolgen hebben voor de voedselprijzen. Wanneer bijvoorbeeld, zoals ook in het verleden voor is gekomen, China wordt getroffen door een meerjarige ernstige droogte, dan kan de Chinese oogst van granen met 150 tot 200 miljoen ton teruglopen. Zo'n hoeveelheid gaat in normale oogstjaren de buffercapaciteit van de wereldmarkt te boven. Er is dan ook een grote kans dat een dergelijke oogstdaling de graanprijzen snel sterk zal opstuwten. De rapen zijn helemaal gaar wanneer er tegelijkertijd een meerjarige ernstige droogte is in China, India en het middenwesten van de Verenigde Staten.



6 Heisa rond zoet water

Krapte in het zoetwateraanbod kan samengaan met zowel strijd als verbroedering. Ook te veel water kan zowel tot heisa als tot samenwerking leiden. Datzelfde geldt voor moeilijkheden betreffende andere aspecten van watergebruik zoals scheepvaart en visvangst.

De evacuaties vanwege het te hoge water in het Nederlandse rivierengebied halverwege de jaren 90 hadden een verbroederend effect. De verbroedering kan ook traditionele tegenstellingen overbruggen. In het zeventiende-eeuwse Aleppo was er strijd om waterrechten, waarbij de in een buurt woonachtige moslims, joden en christenen zich aaneenschaarden om andere buurten te bestrijden. Maar veel vaker is er heisa. In het huidige Zuid-Irak voerden ongeveer 4500 jaar geleden twee steden, Lagash en Umma, een oorlog over irrigatiewater. Wie terugkijkt op de geschiedenis van Europa, het Nabije Oosten, Afrika en China gedurende de afgelopen twee millennia, ziet een sterke correlatie tussen extreme droogte of extreme regenval en gewapende strijd.

Heisa is ook in Nederland niet vreemd. Tijdens de vijftiende eeuw woedde er een heuse zalmoorlog in de Delta van Rijn en Maas. Maar meestal blijft de heisa bij woorden. Nederlandse waterschappen ruziën onderling sinds mensenheugenis over van alles en nog wat, maar vooral over wat net over de grens met andere waterschappen gebeurt. En ook binnen waterschappen wordt er heel wat afgetwist. Een studie die de zestiende eeuw betreft, laat decennialange ruzies zien tussen de hoogheemraden die het waterschap Delfland leidden en de 'ambachtsbewaarders' van Maasland die zich met het waterbeheer in polders bemoeiden. Er was eeuwenlang heisa tussen de relatief oude Mijzenpolder en de relatief nieuwe droogmakerijen zoals de Beemster over het waterpeil in Noord-Holland. De bewoners van de Mijzenpolder gingen daarbij zover dat ze knoeiden met de meting van het waterpeil in Avenhorn. In mei 2010 liep een twist tussen inwoners van de Horstermeer enerzijds en het waterschap en de Vereniging Natuurmonumenten anderzijds over het waterpeil in de polder uit de hand. De bewoners verwijderden een stuw en riepen de republiek Horstermeerpolder uit, compleet met een eigen volkslied en vlag.

6.1 Heisa over schaars water

Schaars water is bijna een recept voor twisten. Een recent voorbeeld daarvan is te vinden in Israël en Palestijns gebied.

Waterkrapte in Israël en Palestina

Aan het begin van de oorlog rond het ontstaan van de staat Israël (1948) bliezen Arabieren een pijpleiding op die water vervoerde naar kibbutzim in de Negev-woestijn. Voorafgaand aan de oorlog van 1967 was er een langdurige crisis over het aftappen van



Jordaanwater, vanaf 1963 aangemoedigd door de grootmachten van de Sovjet Unie en de Verenigde Staten. Na een periode waarin de misvatting werd opgeruimd dat Israël een land van melk en honing was dankzij overvloedig grondwater, werkte Israël aan een National Water Carrier die Jordaanwater richting Negev-woestijn voerde. Syrië en Libanon ondernamen tegelijkertijd activiteiten om zo min mogelijk Jordaanwater naar de Joodse staat te laten stromen. In de tijdvakken 1951 tot 1953 en 1964 tot 1966 vonden daarbij schotenwisselingen plaats. Het heftigst ging het toe in de laatstgenoemde periode. De eerste aanslag van Fatah in Israël in 1964 betrof de pijp waarmee Jordaanwater werd afgetapt voor de National Water Carrier. Jordanië bombardeerde in 1965 een Israëlische waterleiding in Kamin. Omgekeerd wist Israël met bombardementen de aanleg van kanalen voor het aftappen van Jordaanwater in Syrië en Libanon te stoppen.

In 1967 verklaarde de toenmalige Israëlische premier Eshkol, dat water 'voor Israël een kwestie van overleven is' en dat het land 'alle noodzakelijke middelen zal gebruiken om het water te laten vloeien'. Door de Joodse staat wordt nog altijd groot misbaar gemaakt wanneer Syrië of Libanon extra water dreigen te onttrekken aan 'hun deel' van de Jordaan. Na 2001 gold het misbaar het plannen van Libanon om nieuwe pompen te installeren bij het riviertje Wazzani.

Er is in Israël en de Palestijnse gebieden thans een structureel watertekort van ongeveer 12 kubieke kilometer en het blijkt tot nu toe onmogelijk daar een structurele oplossing voor te vinden. Ook belangrijk is de ongelijke verdeling van water in Israël en de bezette gebieden. Van het water beschikbaar voor Israëli en Palestijnen, verbruiken de Israëli ongeveer 95%. Veel Palestijnen zijn daarover boos, maar veel Israëli vinden dat terecht, omdat de Palestijnen minder efficiënt zouden omgaan met water. In de intifada die vanaf 2000 bij vlagen de Westoever van de Jordaan teistert, is van Palestijnse zijde de strijd gedeeltelijk gericht tegen de waterbronnen van Joodse nederzettingen en neemt het Israëlische leger regelmatig de watervoorziening van Palestijnse kampen en steden op de korrel.

In de Gazastrook gaat het inmiddels met de watervoorziening helemaal verkeerd. Agrarische productie behoort daar tot de weinige mogelijkheden om iets te verdienen en draagt er belangrijk toe bij dat de grondwaterspiegel snel daalt. De jaarlijkse toevoeging aan het grondwater bedraagt er honderd miljoen kubieke meter en het jaarlijkse verbruik 1,6 maal zoveel. In 2006 was de grondwaterspiegel in Gaza tot ongeveer 13 meter beneden het zeeniveau gedaald. Met als gevolg onder meer verzilting van het grondwater die de toekomstige agrarische productie bedreigt.

Een andere uiting van de waterkrapte is het lot van de Dode Zee. Aan de Jordaan wordt zoveel water onttrokken dat de afvoer naar de Dode Zee is gedaald van ruwweg 1370 naar ongeveer 300 miljoen kubieke meter per jaar. Daardoor is de waterspiegel van de Dode Zee in de afgelopen dertig jaar jaarlijks met 70 centimeter verminderd. Ook de klimaatverandering bevordert de verdamping van zeewater. Om deze redenen valt jaarlijks ongeveer 4 vierkante kilometer zeebodem droog en daalt het volume van de Dode Zee jaarlijks met ongeveer een halve kubieke kilometer. Als dat zo doorgaat, valt de Dode Zee als geheel over ongeveer vijftig jaar vrijwel droog. Door de daling van de zeespiegel stroomt in toenemende mate grondwater uit het omliggende gebied de Dode Zee in. Daarbij worden in de bodem aanwezige zoutafzettingen weggespoeld, wat er op zijn beurt toe leidt dat er regelmatig grote gaten vallen in de wegen rond de Dode Zee.

Recente heisa over waterkrapte is niet beperkt tot Israël en Palestina. Jordanië protesteert al jaren tevergeefs bij Syrië tegen de, gegeven de bestaande akkoorden, te grote hoeveelheid water die Syrië aan de rivier Yarmoek onttrekt. In Jemen draagt de waterkrapte bij tot de spanningen die ten grondslag liggen aan de gewapende conflicten die daar woeden.

Somalië is in belangrijke mate een strijdtoneel geworden doordat clans van nomaden uit het relatief droge noorden naar het relatief natte zuiden trokken. In Ethiopië leidden recente droogtes tot de verhuizing van 600 000 mensen en aanzienlijke bijbehorende conflicten. Door droogte mislukte oogsten leidden bij vlagen tot bloedige conflicten tussen de Guji en Borena in Zuid-Ethiopië. De burgeroorlog in Darfur en de schermutselingen in het aangrenzende deel van Tsjaad worden bevorderd doordat de regenval sinds 1971 met 15 tot 30% is verminderd ten opzichte van de daaraan voorafgaande periode. Dit leidt tot de migratie van nomaden vanuit drogere gebieden naar streken waar het traditioneel nat genoeg is voor landbouw. In Zuid-Soedan loopt de spanning weer op doordat nomadische herders vanwege de droogte zich gedwongen zien te verhuizen naar het gebied waar de akkerbouwende Nuba wonen. Indiase kranten staan bol van ruzies over waterputten. En in 1990 gingen Kyrgiezen en Oezbeken elkaar te lijf over de krappe watervoorraad in Osh.

6.2 Rivaliteit

Rivaliteit en rivier hebben een zelfde stam. Volgens etymologen is een rivaal iemand die water uit dezelfde stroom gebruikt. Voor rivaliteit betreffende de rivieren hoeven we niet ver van huis. De Westerschelde is al eeuwenlang het toneel van touwtrekken tussen de Noord-Nederlandse havensteden en Antwerpen. Sinds Zeeland in 1321 voor het eerst tol hief op de scheepvaart naar Antwerpen, is het niet meer echt goed gekomen. Het meest dramatisch was de situatie tussen 1585 en 1795. In deze periode werd de zeescheepvaart naar Antwerpen geblokkeerd. In 1830, toen Nederland en België uiteengingen, werd de Schelde weer afgesloten. Daaraan kwam in 1839 formeel een einde met het scheidingsverdrag tussen beide landen. Na de Eerste Wereldoorlog wilde België van het gezeur af zijn en zocht het genoegdoening voor de verwoestingen van de oorlog door Zeeuws-Vlaanderen in te lijven. Tevergeefs, meer recent is de uitdieping van de Westerschelde een punt van ongemak tussen België en Nederland. Uitdiepen van de Westerschelde helpt de haven van Antwerpen, de rivaal van Rotterdam. De onderhandelingen daarover en de uitvoering van het in 2005 bereikte akkoord hadden en hebben dan ook de snelheid van een slak.

De Schelde is niet het enige object van internationale heisa over rivieren. De Syr Darya en de Amu Darya zorgen voor onenigheid in Centraal-Azië (tussen Afghanistan, Turkmenistan, Kazakstan, Uzbekistan, Tadjikistan en Kyrgyzstan). De ruzies gaan over waterkrachtcentrales, visvangst en irrigatie. De verdragen over de Syr Darya die in 1992 en 1998 zijn gesloten, worden door geen van de betrokken landen nageleefd. In 2001 waren er overstromingen van de rivieren Sutley en Sinag die in India 130 mensenlevens eisten en ongeveer 50 miljoen dollar schade aanrichtten. Daarop brak een ruzie uit tussen India en China over het beweerde versneld afvoeren van



bovenstrooms water op Tibetaans grondgebied. Onder de Mekongstaten, die deel uitmaken van de Mekong Commissie (Cambodja, Laos, Thailand en Vietnam), is er grote ergernis over China. Dit land heeft geweigerd te participeren in de Mekong-commissie, maar is wel vrolijk bezig met de planning en bouw van vijf stuwdammen in het stroomgebied van de Mekong. Voor de Salween-rivier, die door China, Birma (Myanmar) en Thailand stroomt, zijn er niet met elkaar verenigbare plannen voor dambouw. En dat zijn voorbodes voor meer problemen. China is een tegenstander van verdragen over grensoverschrijdende rivieren, maar is wel in het bezit van Tibet, waarin de oorsprong ligt van een groot deel van de rivieren die Pakistan, Bhutan, Nepal en Bangladesh bedienen.

Een ander voorbeeld van ongemak is het stroomgebied van de Ganges/Brahmaputra: een twistappel tussen een aantal deelstaten van India, Nepal en Bangladesh. Zo heeft de Farakka-dam, die de stroom water richting Bangladesh vermindert, veel kwaad bloed gezet in het laatstgenoemde land. In 1996 werd de dalende waterafvoer benedenstrooms de Farakka-dam zorgt voor blijvend ongemak. En India heeft ook ruzie met Pakistan. Pakistan meent dat India een verdrag uit 1960 over het water in het stroomgebied van de Kashmir-rivier niet nakomt, en beschuldigt Indiase investeerders ervan dat ze met de bouw van waterkrachtcentrales het irrigatiewater in twee rivieren die van Afghanistan naar het noorden van Pakistan stromen laten opdrogen. De bouw van een grote stuwdam in de Ksihenganga-rivier door India doet de spanningen over Kashmir verder toenemen.

Ook de waterkwaliteit van rivieren is een bron van internationale heisa. In het kruitvat van de Kaukasus loopt de rivier de Kura-Arak, onder meer door Armenië, Georgië en Azerbeidzjan, waar groeiende onmin bestaat over vervuiling. Een van de pijnpunten tussen Griekenland en Macedonië is de beweerde watervervuiling van een meer op de grens van beide landen door Griekse boeren. Deze vervuiling zou Macedonische vissers schaden. Argentinië en Uruguay ruziën over de lozingen van een papierfabriek op de Uruguay-rivier. In de jaren zestig tot en met tachtig was er regelmatig Nederlands ongenoegen vanwege Franse en Duitse lozingen op de Rijn. En meer recent hebben Nederland en Wallonië het met enige regelmaat aan de stok over lozingen op de Maas die het nodig maken in Nederland de waterinname uit de Maas stil te leggen.

Oorlog om water

De spanningen over de Schelde, Rijn en Maas waren geen wapengekletter waard, maar dat is bij rivieren en kanalen niet altijd zo. In de achttiende en negentiende eeuw was de politiek van de Egyptische heersers gericht op volledige militaire controle over de Nijl, inclusief de Blauwe Nijl. Dit om de toevoer van voldoende water veilig te stellen. Met dat doel werd in 1820 Soedan bezet, en daarop volgde een oorlog tegen Ethiopië, die overigens in 1875/1876 door Egypte werd verloren. In 1929 kwam het, onder Engelse regie, tot een verdrag dat Egypte recht gaf op 87% van het Nijlwater plus een vetorecht ten aanzien van bovenstroomse projecten. In de tweede helft van

de twintigste eeuw, nadat het Engelse koloniale bestuur te einde kwam, waren er heftige ruzies tussen Egypte en Soedan compleet met Egyptische dreigingen van militair ingrijpen. In 1979 verklaarde de Egyptische president Sadat: 'water is het enige dat Egypte tot een oorlog kan brengen'. Rond 1990 torpedeerde Egypte financiering van een dam in de Blauwe Nijl (Ethiopië). In 1993 ging de knop tot op zekere hoogte om door de totstandkoming van regelmatig overleg tussen de landen in het stroomgebied van de Nijl: de Nijlcommissie. Maar de spanningen ebden daardoor niet weg. Na 11 jaar vergaderen over een verdrag dat de verdeling van Nijlwater bij een commissie zou leggen, viel in mei 2010 het doek voor de Nijlcommissie. Ethiopië, Ruanda, Oeganda en Tanzania tekenden het nieuwe verdrag over de waterverdeling. Soedan en Egypte niet. Egypte verklaarde alleen te kunnen leven met een verdrag dat de bestaande toewijzing aan Egypte van 55,5 miljard kubieke meter Nijlwater ook in de toekomst zou veilig stellen. Dat is gegeven de verandering van het klimaat vermoedelijk hoe dan ook onmogelijk.

Toen in 1869 het Suez-kanaal werd geopend, voorspelde de ontwerper daarvan, Ferdinand de Lesseps, dat hij de plaats voor een toekomstig slagveld had gemarkeerd. Daarna speelde het Suez-kanaal inderdaad drie keer een belangrijke rol in een oorlog. Alles bijeen zijn de afgelopen 50 jaar 37 gevallen gemeld, waarin staten in gewapend conflict raakten over rivieren en kanalen. Meestal waren dat gewapende schermutelingen van kleine omvang. Maar dat is niet altijd het geval. In 1969 raakten de Sovjet Unie en China bijvoorbeeld slaags over de grensrivier Oessoeri. De strijd duurde zeven maanden en eiste 3000 doden. Iran en Irak maakten al vele decennia ruzie over het water van de Eufraat en de Tigris met haar zijrivieren, voordat het in 1980 tot een oorlog kwam die in belangrijke mate draaide om het bezit van de Shat el Arab, de uitmonding van Eufraat en Tigris in de Perzische Golf.

Ruzie over stuwdammen

Een relatief nieuwe variant in de traditie van heisa over water betreft stuwdammen. Sinds de Iran-Irak oorlog in de jaren 80, is de ruzie over Eufraat en Tigris verschoven naar het bovenstroomse deel daarvan. De bouw van stuwmuren in Zuidoost-Turkije staat daarbij centraal. Turkije beschouwt de Eufraat en de Tigris als 'Turkse wateren' en meent dat de benedenstroomse landen moeten leven met de Turkse waterwerken, zoals Turkije moet leven met de Arabische olie. Halverwege de jaren negentig dreigde de Turkse president Özal Syrië met beperking van de watertoevoer als het land niet zo stoppen met steun aan Koerdische rebellen. In 1998 belandden Syrië en Turkije in hun ruzie over de bouw van stuwdammen op de rand van een gewapend conflict. Jamal Batikh, lid van de landbouwcommissie van het Irakese parlement, zei in 2009 dat 'Iran en Turkije Irak de wateroorlog hebben verklaard'. Door de verminderde hoeveelheid water in Irakese stuwmuren wordt de landbouw inderdaad bemoeilijkt en ontvolken de laatste jaren in de buurt van Bagdad agrarische dorpen. Het kan ook heftiger. In de Tweede Wereldoorlog, de Korea-oorlog, de Vietnamoorlog, de oorlog tussen Irak en Iran en de oorlog rond het uiteenvallen van Joegoslavië werden stuwdammen gebombardeerd.

Daarnaast kunnen stuwdammen worden gebruikt om benedenstrooms de boel te ontregelen. Zo heeft Zuid-Korea dammen en dijken gebouwd om te voorkomen dat het opengooien van de Kumgansan-dam in Noord-Korea, Seoul zal overspoelen. En ook op andere manieren zijn stuwdammen verbonden met heisa. De Pak Mun Dam in de Mekong-rivier (1994) veroorzaakte een eis tot schadevergoeding door bovenstrooms wonende boeren en vissers, die door de bouwer van de dam (Thailand) nog steeds niet is gehonoreerd, en Mozambique maakt ruzie met Zuid-Afrika over de schade door verzilting als gevolg van dambouw in de Incomati-rivier.

Binnenlandse heisa

Water geeft niet alleen aanleiding tot heisa *tussen* landen. In de middeleeuwen was het aanvankelijke standpunt van Europese rechtsgeleerden dat het stromende water van Europese rivieren 'van nature' tot het gemeenschappelijk erfgoed behoort. Dat ging niet goed. Roofridders hadden niets met 'gemeenschappelijk erfgoed' en persten scheepvarenden af. Vissers die hun netten uitzetten, en watermolenbezitters die water wilden opstuwen, belemmerden de scheepvaart. Deze rivaliteit leidde al snel tot ruzies. En de toe-eigeningen van de rivier gaven weer aanleiding tot interventies van 'hogehand'.

Vergiftiging van putten als strijdmiddel zat bij Europeanen zo 'tussen de oren' dat ook onterechte beschuldigingen van putvergiftiging gedonder gaven. Tijdens een pestepidemie (1347-1349) werden 'de joden' ervan beschuldigd deze veroorzaakt te hebben door de vergiftiging van putwater. Naar verluid werden om die reden in een aantal IJsselsteden, Utrecht en Arnhem, in 1349 alle joden levend verbrand. Ook in andere steden, waaronder Keulen, Frankfort, Straatsburg en Bazel, werden joden uitgemoord vanwege de vermeende vergiftiging van putwater met de verwekker van pest. In 1831 werden Hongaarse edellieden ervan verdacht door de vergiftiging van putten cholera te hebben uitgelokt. Dit koste diverse adellijken de kop.

De negentiende-eeuwse schrijver Mark Twain schreef over het 'Wilde Westen: 'whisky is om te drinken en water om over te vechten'. En inderdaad was er in het westen van Noord-Amerika gedurende de negentiende eeuw ruzie van velen met velen over water. Mensen die benedenstrooms woonden, twistten met lieden die bovenstrooms water onttrokken. Oorspronkelijke bewoners hadden het aan de stok met kolonisten. Degenen die het eerste water benutten, ruzieden met bewoners die later kwamen. In het twintigste-eeuwse Kansas werden waterdisputen nog altijd voor een deel met de wapens beslecht. Indianen langs de Columbia River in de Verenigde Staten hebben het al decennialang aan de stok met overheidsinstanties over visrechten. Dit leidde onder meer tot kaping van een veerboot.

De Colorado is het voorwerp van onmin tussen een aantal deelstaten van de USA. In 1934 rustte de Amerikaanse deelstaat Arizona zelfs een eigen marine uit met het doel een bovenstroomse dam en de bovenstroomse aftap van Coloradowater te voorkomen.

Sinds 1990 bevechten drie staten in het Zuidoosten van de Verenigde Staten, Florida, Georgia en Alabama, elkaar voor de rechter over de toedeling van water uit de

Chathochee- en Flint-rivier. In Californië zijn er volop spanningen tussen boeren, steden en natuurbeschermers over waterrechten. Los Angeles tapt sinds 1913 het water van de Sierra Nevada River af en sinds 1923 het water van de Owens River. De aftapperij decimeerde de landbouw in de valleien van beide rivieren. De boeren langs de Owens River waren zo getergd dat ze de pijplijn met zoet water richting Los Angeles elf keer hebben opgeblazen. Los Angeles zette door, maar meer recent heeft de rechter bepaald dat Los Angeles veel minder water mag onttrekken aan de Owens River.

Staatsbemoeienis

In 1969 kwamen Peruviaanse stedelingen in opstand tegen het private eigendom van water. Het water werd staats eigendom, waarop de Peruviaanse regering het aan de stok kreeg met boeren in de Andes die traditionele rechten hadden op irrigatiewater uit bepaalde bronnen, beken, rivieren en meren. Ook in Bolivia en Ecuador kwamen boeren die meenden van oudsher recht op water te hebben, in opstand tegen regeringen die met nieuwe waterwetten kwamen. Een ander voorbeeld van binnenlandse heisa kwam uit de koker van de Iraakse president Saddam Hussein. In 1991 besloot hij de rebelse 'moeras-Arabieren' die in de delta van Eufraat en Tigris leven, aan te pakken. Met dammen, dijken en een nieuw kanaal (de 'Saddam-rivier'), werd de hoeveelheid water die de moerassen instroomde drastisch teruggebracht, en vele bewoners van het gebied verloren hun traditionele middelen van bestaan. De moerasbewoners verklaarden op hun beurt een 'water-jihad'.

De Indiase deelstaten Tamil Nadu, Karnataka en Kerala zitten elkaar regelmatig in de haren over de rivier Kaveri (Cauvery). In 1991 vonden door de bijbehorende ongeregelde heden 12 mensen de dood en sloegen honderdduizenden op de vlucht. Daarna zijn er transportblokkades geweest en schermutselingen, waarbij eveneens dodelijke slachtoffers zijn gevallen. Bij de ontvoering van een lokale filmster in april 2004 was een van de eisen der ontvoerders dat de stroomopwaartse deelstaat Karnataka meer Kaveriwater zou vrijgeven.

In India zijn er, naast de Kaveri en de Ganges, diverse andere rivieren die twistappel zijn tussen deelstaten. Het betreft onder meer de Yamuna, de Krishna, de Ravi en de Beas. De rivier de Krishna voerde rond 1960 ongeveer 57 kubieke kilometer water af naar de zee, in 2004 was dat nog maar 0,4 kubieke kilometer. De mensen die benedenstrooms langs de Krishna wonen, maken daar begrijpelijkerwijze heibel over. In het conflict over het water van de Yamuna heeft de deelstaat Hariyana enige malen de watertoevoer naar New Delhi afgesloten om claims kracht bij te zetten. In Tamil Nadu, langs de Palar en zijn zijrivieren, is een conflict uitgebroken tussen leerlooierijen die het water vervuilen en boeren die irrigatiewater willen gebruiken. In Pakistan is er al decennialang ruzie tussen de deelstaten Pundjab (bovenstrooms) en Sindh (benedenstrooms) over de verdeling van het water in het stroomgebied van de Indus. In 2001 raakten duizenden boeren aan de benedenloop van de Gele Rivier (China) slaags in een ruzie over de toedeling van water aan irrigatie, stedelijk en industrieel gebruik. Langs het Cambodjaanse deel van de Mekong is er regelmatig handgemeen over visrechten.



In Afrika zijn er onder meer heftige binnenlandse twisten over het water van de Pangani en de zijrivieren daarvan. In 2000 gingen in Tanzania dorpsbewoners elkaar te lijf over de verdeling van het schaarser wordende irrigatiewater uit de Hingili, een zijrivier van de Pangani. Langs de Pangani-rivier zelf zijn er conflicten tussen natuurbeschermers en watergebruikers, met onder andere als gevolg dat een natuurgebied in brand werd gestoken. Pogingen om vanwege de Tanzaniaanse staat orde op zaken te stellen met waterrechten en heffingen zijn goeddeels verzand. In en rond de Congolese plaats Dongo is er sinds 1946 heisa over visrechten. Bij de zoveelste gewapende ruzie daarover in 2009 kwamen 150 mensen om.

Heisa over water richt zich sinds mensenheugenis tegen de medemens. Maar dat was niet altijd zo. In de goede oude tijd konden riviergoden op hun donder krijgen als iemand iets niet beviel. De geograaf Strabo meldde een rechtszaak tegen de god van de rivier Meander (in West-Turkije) die door het verleggen van zijn loop de grenzen tussen de bezittingen aan zijn oevers had veranderd. Tijdens zware droogteperiodes werden de Chinese goden bedreigd met maatregelen als ze niet tijdig voor regen zorgden, bijvoorbeeld met eeuwigdurende verbanning, verwoesting van de tempel of slaags.

Een vergelijkbare gewoonte werd in de negentiende eeuw in Spanje gerapporteerd. Daar werden heiligen bestraft wanneer zij de gebeden om regen niet verhoorden.

6.3 Militaire wateren

Water kon ook een militaire functie hebben. In hoofdstuk 5 kwam al het strijdmiddel van vergiftigde, of anderszins onklaar gemaakte waterputten aan de orde. Maar er is meer. Tijdens een slecht verlopende veldslag van keizer Marcus Aurelius tegen de Germanen, baden de christelijke soldaten van het Romeinse leger om goddelijke steun. Deze kwam er in de vorm van een verschrikkelijke stortbui die de vijanden op de vlucht deed slaan. Waterwegen waren nogal eens belangrijke verdedigingslijnes. Rivieren fungeerden traditioneel als verdedigbare scheidslijn. Het Romeinse Rijk werd deels begrensd door de Rijn en de Donau. Achttiende-eeuwse geopolitieke theoretici benadrukten het belang van 'natuurlijke grenzen', zoals rivieren en waterscheidingen.

Waterlinies

Daarnaast zijn er door de mens gemaakte waterlinies. De grote koning Nebuchadnezar van Babylon gebruikte een systeem van kanalen om de stad te verdedigen en was de eerste bedenker van een waterlinie. Hij legde een dijk aan van de Eufraat tot de Tigris, waardoor de stad werd omgeven 'door een grote hoeveelheid water, met golven zoals de zee'. Deze aanpak maakte later ook in de Lage Landen school.

Vesting en forten in de Lage Landen werden al vroeg omgeven door gegraven wateren. Datzelfde gold voor latere vestingsteden. In plaatsen als Boertange en Naarden kan men dat nog altijd goed zien. Daarnaast werden, desgewenst, dijken onklaar gemaakt om de opmars van de tegenpartij via overstromingen (inundaties) te stuiten. Zo werden in 1383 dijken doorgestoken in de buurt van Sint Winoksbergen, Duinkerken en Broekburg om het Franse leger de weg af te snijden. Tijdens de

Tachtigjarige Oorlog werd het doorsteken van dijken een veelgebruikt strijdmiddel, met nogal eens catastrofale gevolgen voor de bewoners van het geïnundeerde gebied. Zo verdwenen door het doorsteken van dijken in Zeeuws-Vlaanderen, de dorpen Oud Schoondijke en Hannekenswerpe van de kaart. Het nog altijd verdrinkend land van Saeftinge danken we aan een uit de hand gelopen (en mislukte) poging in 1585 om het Spaanse leger met een waterlinie weg te houden bij Antwerpen. Op de inundatie-aanpak werd voortgebouwd met de Nederlandse Waterlinies die binnenvallende legers de pas moesten afsnijden.

Nederlandse waterlinies

De wortels van de Nederlandse waterlinies liggen in het ontzet van Alkmaar (1573) en Leiden (1574), waarbij het Spaanse beleg van deze steden werd gebroken door het omliggende platteland onder water te zetten. In 1628 werd een vaste waterlinie ingericht rond het strategisch gelegen Tholen. Waterlinies waren niet onneembaar, zoals al tijdens het beleg van het door het Spaanse leger bezette den Bosch (1629) bleek. De Spanjaarden hadden de omgeving van den Bosch onder water laten lopen, maar het leger van stadhouder Frederik Hendrik slaagde erin dit water met driehonderd door paarden aangedreven molens weg te pompen.

Een geïmproviseerde versie van de Hollandse Waterlinie ontstond in het rampjaar 1672. Toen werd tussen Zeeland en de Zuiderzee land onder water gezet om de gemeenschappelijke aanval van het Franse leger en de bisschoppen van Munster en Keulen te stoppen. Dat was een moeizame operatie. De regionale bevelhebber, generaal Wirtz, klaagde steen en been over boeren die de waterlinie saboteerden. Grote demonstraties beletten op een aantal plaatsen het doorsteken van de dijken en bewoners lieten her en der het opgezette water weglopen, zodat de grond weer droogviel. De Staten van Holland en Utrecht zegden de oproerigen een vergoeding toe, wat kalmerend werkte. Maar toen de vergoeding moest worden uitgekeerd, was de schatkist leeg.

Het geïnundeerde land van de Hollandse Waterlinie kwam onder enige decimeters water te staan. Daardoor werd het zicht op sloten ontnomen en de diepte van het water was niet genoeg om de linie te kunnen overvaren. De Franse koning Lodewijk XIV werd dat teveel. Hij keerde terug naar Versailles waar de waterpartijen overzichtelijker waren.

Na de Vrede van Nijmegen (1678) kreeg de Hollandse Waterlinie een permanente status. Sluizen en forten werden daarop ingericht. Ook werd aan de oostgrens van het land een waterlinie aangelegd die onbegaanbare grensgebieden (zoals veenmoerassen, die extra waterig werden gehouden met behulp van leidijken) aan elkaar reeg met waterige verdedigingswerken.

Een zwakte van de Hollandse Waterlinie was dat deze niet bestand was tegen vorst. Toen de gewoonte verdween om legers tijdens de winter in de winterkwartieren te houden, ging het mis. Franse troepen maakten in de winter van 1794-1795 dankbaar gebruik van het ijs om Nederland te veroveren. Na de Franse verovering werden waterlinies gebruikt om Engelse en Russische troepen die bij den Helder waren binnengevallen tegen te houden. Vooral de waterlinie Knollendam-Purmerend-Monnikendam bleek zeer effectief.

Na de ineenstorting van het Napoleontische rijk werden de Hollandse en oostelijke waterlinies hersteld. Tijdens de afscheidingsoorlog Nederland-België kwam daar een zuidelijke waterlinie bij. Grote stukken van het huidige grensgebied werden onder water gezet, ten dele voor meerdere jaren.

In de twintigste eeuw gingen de waterlinies langs de zuid- en oostgrens verloren. In 1922 viel het formele besluit alleen de vesting Holland met een waterlinie te blijven beschermen. In de maanden november 1939 tot mei 1940 werd deze onder water gezet. In 1940 bleek dat deze waterlinie zijn praktische betekenis kwijt was. Niettemin herleefde een waterlinie in NATO-kader, met het doel de Sovjettroepen te stoppen, die geacht werden via de Noord-Duitse Laagvlakte naar de Noordzee te denderen. Daartoe dienden de sluizen in de Afsluitdijk dicht te gaan en moesten opblaasbare dammen worden aangebracht die het Rijnwater richting IJssel zouden stuwen. Dit zou langs de IJssel een gebied van 5 kilometer breedte onder water zetten. In 1962, tijdens de Cubacrisis, werd fase 1 van deze verdediging geactiveerd met het sluiten van de IJsselmeersluizen. De Cubacrisis werd snel bezworen, anders was de evacuatie van 200 000 mensen nodig geweest. Daarna kwam de NATO-verdedigingslinie meer naar het oosten te liggen en werd de Hollandse Waterlinie begraven.

Ook in België fungeerden waterwegen als verdedigingslinies. Het Albertkanaal is mede gegraven met het oog op verdediging tegen een Duitse aanval. In combinatie met de Maas was dit kanaal tijdens de Wereldoorlogen de belangrijkste verdedigingslinie tegen de Duitsers. Ook de Zuid-Willemsvaart, het kanaal Dessel-Turnhout-Schoten en het kanaal van Gent naar Terneuzen waren voor Belgische militairen strategisch belangrijk.

Voorts werden waterwegen gebruikt voor militaire offensieven. Nederlands' eerste kanaal diende primair de mobiliteit van het Romeinse leger in de strijd tegen de oproerige lieden in Holland. In 1267 stuurde de Mongoolse keizer Khubilai Khan een vloot van ongeveer 400 schepen rivierafwaarts om de Vietnamezen te onderwerpen. Deze zetten een scheepsvaal op in de Bach Dang-rivier en vernietigden de vastgelopen schepen door brandstichting.

In de negentiende en de eerste helft van de twintigste eeuw speelden kanonneerboten een belangrijke rol. Aan de Amerikaanse burgeroorlog leverde de strijd tussen op de Mississippi varende kanonneerboten en op het land gelegen forten een belangrijk aandeel. Tussen 1920 en 1941 patrouilleerden westerse kanonneerboten op de Yangtze-rivier om westerse bedrijven te beschermen en Japanners af te schrikken. In de Tweede Wereldoorlog veroverde Groot Brittannië met kanonneerboten op de Eufraat en de Tigris het huidige Irak.

6.4 Heisa over grondwater

Tot nu toe gaat het over oppervlaktewateren. Dat is een uitvloeisel van de eerder genoemde hydroschizofrenie, die ertoe leidt dat vaak onevenredig veel politieke aandacht gaat naar oppervlaktewater en onevenredig weinig naar grondwater. De rivieren in het zuidwesten van de Verenigde Staten vormen, zoals hierboven bleek, het

voorwerp van intensief en aandachttrekkend touwtrekken. Op het slaan van putten voor irrigatie wordt daar veel minder gelet. Een mooie illustratie is T. Boone Pickens, die eerder groot geld verdiende in de oliewinning en het opkopen en uitzuigen van bedrijven. Hij heeft zich, zwemmend in het geld, teruggetrokken op een ranch in Roberts County in Texas. Met al zijn geld kon hij geen deel van de Mississippi kopen, maar met grondwater ligt dat anders. T. Boone Pickens heeft zich voor honderdvijftig miljoen dollar ingekocht in de lokale tak van de Ogallala-aquifer, met de vergunning om deze jaarlijks voor 1,2% uit te putten. Daarmee is hij de grootste particuliere waterbezitter ter wereld. Hij werkt op het ogenblik aan de aanleg van pijpleidingen om dit water naar dorstige Texaanse steden als Dallas te vervoeren.

In Spanje trok een plan om grote hoeveelheden water van de rivier de Ebro af te tappen voor gebruik in het drogere midden en zuiden van Spanje veel politieke aandacht. Maar grondwateronttrekkingen worden door de politiek vrijwel ongemoeid gelaten. In grote delen van het agrarisch gebied in Zuid-Spanje valt de grondwaterspiegel dan ook als een baksteen. In Italië zijn er 1,5 miljoen illegale waterputten. Ondanks de snel dalende grondwaterspiegels, vooral in het zuiden van Italië, wordt daar praktisch niets aan gedaan.

Indiase deelstaten besteden veel politieke aandacht aan (deelstaat)grensoverschrijdende rivieren en komen met het nodige misbaar tot arrangementen, maar het grondwaterbeheer is een chaos. In India zijn meer dan 21 miljoen particuliere putten geslagen. Op veel plaatsen leiden deze tot snel dalende grondwaterspiegels. De tegenstellingen tussen arme boeren (met droge putten) en rijke boeren (die diepstekende elektrische pompen kunnen betalen) nemen daardoor toe. In de deelstaat Rajashtan zijn er regelmatig protestmarsen van, vooral arme, boeren die grondwater te kort komen, waarbij regelmatig (door de politie neergeschoten) doden vallen. In Mehdigan en Plachimada hebben boeren het aan de stok met de plaatselijke Coca-Cola fabrieken die volgens hen te veel grondwater verbruiken. In 2005 heeft de Indiase regering vastgesteld dat het 'zo niet verder kan', en is er regelgeving uitgevaardigd, gericht op het beschermen van de grondwatervoorraden. Voor de praktijk heeft dat echter tot nu toe niet veel uitgemaakt. De meeste deelstaten hebben de wetgeving niet overgenomen, en voor zover deze wel is overgenomen is de regelgeving gedeels een dode letter. Wanneer er wel iets is geprobeerd, is er veel weerstand tegen, ook al omdat veel arme boeren, niet ten onrechte, menen dat de regelgeving in de praktijk vooral zal neerkomen op het betalen van meer smeergeld aan ambtenaren en het bevoordelen van rijke boeren.

Op sommige plaatsen wordt thans wel met succes paal en perk gesteld aan de hydroschizofrenie. Zo is in de kuststreek van Orange County (Californië) een einde gemaakt aan het door overmatige grondwateronttrekking oprukkende zoute grondwater.

Meer dan 300 grote grondwatervoorraden overschrijden de landsgrenzen, dus ook internationale spanningen behoren tot de mogelijkheden. Tijdens de ernstige droogte tussen 1993 en 1996 daalden aan beide kanten van de grens tussen de Verenigde

Staten en Mexico de grondwaterstanden zo sterk dat de landbouwopbrengsten fors terugliepen, met als gevolg conflicten tussen de Verenigde Staten, Mexico, en de deelstaten Texas, Nieuw Mexico, Nuevo León en Tamapaulipas. De grote Nubische aquifer (grondwatervoorraad) heeft invloed op de watervoorziening van Egypte, Libië, Tsjad en Soedan. Met het in toenemende mate droogvallen van de traditionele bronnen in het desbetreffende gebied groeit de ergernis over het overmatige gebruik van water aan de andere kant van de grens.

6.5 Vreedzame oplossingen

Voor heisa rond water zijn vaak vreedzame oplossingen gevonden. Een zeer oude ingenieuze oplossing voor waterverdelingsproblemen is te vinden in de Bijbel, op de plaats waar de ontmoeting tussen (aartsvader) Jacob en Rachel wordt beschreven. De ontmoeting vond plaats bij een put die afgedekt was met een zware steen. Deze kon, zo meldt de Bijbel, alleen worden verwijderd wanneer *alle* op de put aangewezen herders deze optilden, wat een goede controle op het verbruik garandeerde. Een ander oud systeem voor de verdeling van water is het rotatiesysteem. In het Midden-Oosten zijn rotatiesystemen nog steeds te vinden in dorpen die over een bron beschikken. Het water uit deze bron wordt in een basin geleid. Elke dag krijgt één in het dorp wonende familie de gelegenheid dit basin te legen. Verder zijn er bijvoorbeeld in delen van Afrika goed functionerende informele dorpsarrangementen rond publieke bronnen die een flexibele aanpassing beogen aan de beschikbaarheid van water. Is er ruim voldoende, dan kan het worden gebruikt voor het bewateren van voedselgewassen. Is dat niet het geval, dan wordt de toepassing beperkt tot de huishouding.

Belangrijke varianten van vreedzame oplossingen ontstonden rond irrigatie met rivierwater. Zulke vreedzame oplossingen rust(t)en deels op techniek. Er zijn bijvoorbeeld overlaatsystemen ontwikkeld die geschikt zijn voor het afleveren van afgestapte hoeveelheden irrigatiewater. Daarnaast zijn sociaal-polieke arrangementen belangrijk. Hoog ontwikkelde klassieke culturen in de dalen van de Nijl en de Indus hadden hun politieke organisatie toegesneden op het verdelen van irrigatiewater.

Er is een stevige intellectuele traditie die een verband legt tussen ingewikkelde vreedzame arrangementen rond de waterhuishouding en politieke structuren. Dat er zo'n relatie is, valt moeilijk te ontkennen. De Duitse schrijver Friedrich Schiller karakteriseerde Nederland als een waterstaat. In Nederland vormden de zijlvesten, molenpolders en waterschappen (met hun 'dijkgraven') inderdaad eeuwenlang een belangrijk element in de politieke structuur. Amsterdam mocht in de zeventiende eeuw tot in het verre buitenland als wereldmacht worden gezien, maar tegen het hoogheemraadschap Rijnland, dat over het Haarlemmermeer ging, kon de stad niet op. En tussen 1950 en 1970 vormde Rijkswaterstaat praktisch een 'staat in de staat'.

Elites beheersen de toegang tot water

Er is ook een verder strekkende theorie, die het erop houdt dat ingewikkelde arrangementen rond waterbeheer het ontstaan van gemeenschappen met een sterk hiërar-

chisch karakter in de hand zouden werken. Het meest uitgesproken vindt men deze gedachte terug bij de sociale wetenschapper Wittfogel. Hij zag een verband tussen de geïrrigeerde teelt, 'oriëntaals despotisme' en het ontstaan van een onderdrukkende 'hydraulische bureaucratie'. De gedachte hierachter was dat de geïrrigeerde teelt voor een groot surplus zorgt dat door elites wordt toegeëigend. Deze elites weten zich daarbij zo'n positie te verwerven dat ze de boeren praktisch als slaven kunnen gebruiken.

Inderdaad kan men vroeger en nu op irrigatie gebaseerde culturen vinden, waar despoten de dienst uitma(a)k(t)en. En niet alleen in Azië, waar Wittfogel zijn voorbeelden vandaan haalde. De rijstteelt in het achttiende-eeuwse South Carolina (USA) werd bediend door een 'reusachtige hydraulische machine' en bedreven op plantages waar slaven werden gehouden. Met de afschaffing van de slavernij zakte deze vorm van landbouw bedrijven ineen.

Een despotisch regime in de sterk op irrigatielandbouw gebaseerde cultuur was ook te vinden bij de klassieke Maya's en Inca's, in Zuid-Amerika. De Maya's hadden in relatief droge gebieden 'waterbergen', hooggelegen waterbergingen. De elite van de Maya's had 'de hand aan de kraan' bij de verdeling van het water daaruit over de boeren. Dat laatste was ook het geval in meer waterrijke gebieden. Om de band van macht en rijkdom met water te onderstrepen, was de waterlelie het symbool van de Maya-elite.

De klassieke Egyptische irrigatiestaat was een sociale piramide met aan de basis heel veel arme boeren en aan de top een zeer vermogende en machtige despoot: de farao. De organisatie rond de irrigatie in het hedendaagse Egyptische Gezira is nog altijd zeer hiërarchisch. Maar het voorbeeld van het klassieke Egypte geeft meteen ook een zwakte aan van Wittfogel's idee. Egypte was, zo blijkt uit opgravingen, sterk hiërarchisch *voordat* de irrigatielandbouw tot stand kwam. Hooguit hebben de farao's en de hen omringende elites hun positie later versterkt dankzij hun greep op het irrigatiesysteem.

Er zijn ook, in omstandigheden waarin intensief werd geïrrigeerd, sociale structuren ontstaan die een stuk minder despotisch waren en zijn dan wat Wittfogel beschreef. In het Gilgamesh-epos, het product van een vroege, op irrigatie gebaseerde, Mesopotamische beschaving, moet de koning toestemming vragen van de vergaderde burgerij om de held uit te kunnen hangen. Balinese vorstenhuizen leverden vele eeuwen meer theater dan despotisme, en tot een onderdrukkende waterbureaucratie kwam het daar niet, terwijl de irrigatielandbouw goed functioneerde. De verdeling van het water lag op Bali in handen van watertempels en werd vergemakkelijkt door gedeeld geloof. Vergelijkbare arrangementen hebben bestaan in Cambodja, China, Iran en India. In Taiwan worden complexe irrigatievoorzieningen bestuurd door vertegenwoordigers van de gebruikers. In China winnen coöperaties van irrigatiewatergebruikers snel terrein.

In de het 'Wilde Westen' van de Verenigde Staten leidden ruzies over water tot ingrepen 'van hogerhand' met de bedoeling orde op zaken te stellen. Maar tot despotisme leidde dat niet. Her en der werden juist coöperatieve oplossingen bevorderd. In Californië fungeren bijvoorbeeld associaties van irrigerende boeren die



gemeenschappelijk waterrechten inkopen. Ook in een land als Nederland dat complexe arrangementen rond de waterhuishouding heeft, kon despotisme geen wortel schieten. Dat zat hem voor een belangrijk deel in de financiering. Zoals Graaf Floris V van Holland in 1280 vastlegde: 'iedereen' moest meebetalen aan het onderhoud van de dijken: het klooster, de ridder, de priester en de 'gewone man'. En net als aan de overkant van de Noordzee, waar in 1215 de Magna Charta tot stand kwam, hoorde daar ook macht voor de betalenden bij. Bemiddelden maakten de dienst uit in de waterschappen. Dat stond ver af van despotische besluitvorming, maar wil niet zeggen dat de besluitvorming door bemiddelden 'van onderop' altijd tot iets goeds leidde. Bij de ruzie over de versterking van de dijk van Maasland moest in 1512 de landvoogdes (Margaretha van Oostenrijk) er aan te pas komen om orde op zaken te stellen. Iets dergelijks gebeurde later in de zestiende eeuw rond de versterking van de Noord-Hollandse zeewering tegen de Zuiderzee boven het IJ. In de eerste helft van de zestiende eeuw was de dreiging reëel dat de bestaande zeewering het zou begeven, waardoor de Waddenzee zich zou kunnen uitbreiden tot Amsterdam. Er kwam een plan om dat te voorkomen, maar dat stuitte op furieuze tegenstand van Edam dat daardoor zijn open verbinding met de Zuiderzee zou verliezen. Het Edamse verzet tegen de verbetering van de waterkering langs de Zuiderzee zorgde geruime tijd voor een patstelling, totdat koning Philips II de uitvoering van het plan onder rechtstreekse koninklijke bescherming plaatste. Amsterdam en Utrecht hebben eeuwenlang getwist over de plaats waar de sluis in de Vecht moest zitten. Uiteindelijk drukte tijdens de Tachtigjarige Oorlog een telg uit het huis van Oranje door dat de sluis bij Muiden kwam. Dat was beter voor de Hollandse Waterlinie.

Deze ingrepen van bovenaf hadden een positieve uitwerking, maar er waren, gelukkig voor het bestuur van onderop, ook beslissingen van bovenaf die watermanagement van hogerhand in kwaad daglicht stelden. Een treffende illustratie daarvan vormen paus Leo X en de Habsburgse keizer Karel V, die in 1518 een 'dijkaflaat' organiseerden. Men kon daarmee de zonden wegpoetsen en het dijkherstel in de Lage Landen helpen. Hoewel deze dijkaflaat veel geld opbracht, wijst niets erop dat daarmee de dijken daadwerkelijk geholpen waren. Wel kwam het geld de bouw van de Sint Pieter in Rome ten goede. Dat was niet populair in de Lage Landen.

Bemiddelende overheden, rechters en verdragen

Ongewapende oplossingen voor problemen rond water hebben op veel plaatsen wortel geschoten. De Europese landen kennen eeuwenlange tradities van vreedzame arrangementen rond waterbeheer. Vooral dankzij bemiddelende overheden en rechtbanken lukte het in Europa om de binnenlandse twisten in vrede te beslechten. En er zijn in toenemende mate verdragen over oppervlaktewateren. Het eerste verdrag over het gebruik van een Europese rivier, de Weser, dateert van 1212. Sindsdien zijn er in Europa vele verdragen gevolgd. Deze lijden niet te zeer onder ongelijke machtsverhoudingen. Ook buiten Europa zijn er veel voorbeelden van ongewapende oplossingen van problemen rond water. Dat geldt zelfs in gebieden waar de politieke spanningen om te snijden zijn. Lange tijd was het verdrag over de Indus dat in 1960 tussen India en Pakistan werd gesloten, een van de weinige succesvolle overeenkomsten tussen deze twee landen. Tijdens het gewapende conflict over Kargil (1999),

toen de dialoog tussen de Pakistaanse en Indiase regeringen stilviel, bleef het overleg van Pakistaanse en Indiase experts in de Induscommissie gewoon doorgaan. Meer recent is de samenwerking een stuk brozer. De Wereldbank bepaalde bijvoorbeeld in 2005, na een reeds lang lopende twist, dat India een waterkrachtcentrale aan de Chenab-rivier (een zijrivier van de Indus) alleen met toestemming van Pakistan in gebruik mag nemen. Maar India heeft dat genegeerd. En in 2008 droogde de Chenab bijna op toen het reservoir van de Chanab-dam werd gevuld, met als gevolg grote oogstschade voor de benedenstroomse Pakistaanse boeren. India voelt zich in een sterkere positie, getuige een uitspraak van de Indische Minister van Water uit 2002: 'Als wij besluiten het Indusverdrag op te zeggen, is er droogte in Pakistan en moeten de mensen van dat land bedelen voor elke druppel water'. In lijn daarmee wordt thans stevig doorgewerkt aan 33 waterkrachtcentrales in de westelijke zijrivieren van de Indus, die samen 3300 megawatt elektriciteit moeten gaan opwekken. In reactie op de opstelling van India heeft de groepering Jumaat-ut-Dawa opgeroepen tot een heilige oorlog tegen India om het gerechtigde deel van het Induswater ook daadwerkelijk in handen te krijgen.

Vreedzame oplossingen zijn niet alles. Diverse internationale waterverdragen weerspiegelen zozeer de ongelijke machtsverhoudingen dat ze bij tenminste één van de verdragspartijen veel kwaad bloed zetten. Tot deze verdragen behoren het verdrag van 1959 tussen Soedan en Egypte betreffende de Nijl, dat aan Egypte 75% van het Nijlwater toemeet, aan Soedan 25% en aan Ethiopië niets, en het verdrag tussen Bangladesh en India over de gemeenschappelijke rivieren, waarin Bangladesh veel slechter wordt behandeld dan India.

Voorzieningen gericht op wateronttrekking en waterkracht krijgen bij internationale verdragen over oppervlaktewater in het algemeen prioriteit. In een studie aan het eind van de vorige eeuw over 145 internationale waterverdragen bleek 39% betrekking te hebben op waterkracht, 43% op wateronttrekkingen en 4% op scheepvaart. Aan de belangen van de visserij wordt in de regel minder waarde gehecht. Deze spelen in minder dan 1% van de onderzochte verdragen een rol. Vervuiling was in 4% van de verdragen een punt. Soms worden er in waterverdragen curieuze zaken geregeld. Zo regelt een verdrag uit 1957 de samenwerking tussen de toenmalige Sovjet Unie en Iran bij het vinden van menselijke lijken in de rivieren die door de twee staten gedeeld worden. Andere natuursoorten vormen in de regel de sluitpost van regelingen die worden getroffen. De kans op uitsterven van soorten die zijn aangewezen op de rivieren is dan ook relatief groot, zoals in hoofdstuk 7 wordt uiteengezet.

Voorts zijn er de eerste verdragen over grensoverschrijdende grondwatervoorraden. Sinds 2006 is er zowel in de Verenigde Staten als Mexico een wet voor samenwerking betreffende de grensoverschrijdende watervoorraad. Er wordt gewerkt aan iets soortgelijks voor de Guaran-grondwatervoorraad die door Brazilië, Argentinië, Uruguay en Paraguay wordt gedeeld.

Ook in Afrika zijn er verdragen. Er is door Egypte, Libië, Tsjad en Soedan een instantie opgezet, die het grondwater van de Nubische aquifer moet 'managen', maar er is geen overeenstemming over de principes die aan dat management ten grondslag moeten liggen. Verder is er een verdrag tussen Libië, Algerije en Tunesië dat noopt tot consultatie over de meer westelijk gelegen Sahara-aquifer. Ook hier ontbreken echter gedeelde principes over gebruik en verdeling van het grondwater.

7 Leven in het water

De vraag hoe het leven is ontstaan, is voorwerp van uiteenlopende theorieën. Darwin dacht dat dit in het water van een warm meer was gebeurd. Sommige hedendaagse wetenschappers denken dat het leven ontstond in een 'oersoep', die deel uitmaakte van het zeewater. Anderen dat een waterbevattende gel ('hydrogel') daarvoor de geëigende plaats was. Weer anderen zien een cruciale rol voor bepaalde door water omgeven kristallen of voor de nabijheid van vulkanische warme bronnen ('zwarte rokers') op de zeebodem. Al deze theorieën hebben gemeen dat zonder water het leven niet had kunnen ontstaan. Als op een andere planeet wordt gekeken naar de aanwezigheid van leven, dan wordt in de eerste plaats naar water gezocht.

Het leven zoals zich dat in de wateren en met name in de zeeën heeft ontwikkeld, kent een enorme verscheidenheid die maar zeer gedeeltelijk in kaart is gebracht. De soorten in zoet oppervlaktewater zijn ongeveer even goed onderzocht als die op land, maar van de soorten in de zeeën is naar verhouding veel minder bekend. Vooral van de diepzee (90% van het watervolume van de zeeën) is weinig bekend. Slechts een zeer klein deel van de diepzee is onderzocht.

Dat is niet het enige verschil tussen water en land. Een wel zeer opvallend verschil is dat water in doorsnee veel minder groen oogt dan land. En dat in weerwil van het gegeven dat in het oppervlaktewater met zonlicht (fotosynthese) ongeveer evenveel kooldioxide wordt omgezet in plantaardig materiaal als op de continenten. De diatomeeën die behoren tot het fytoplankton (plantaardig plankton) zijn verantwoordelijk voor een even grote fotosynthese als alle continentale regenwouden. De regenwouden zijn echter opvallend groen en de diatomeeën niet. De voornaamste reden voor het weinig groene water is dat in het water zeer veel meer van de planten wordt geconsumeerd door andere organismen dan op het land. Dat maakt het overigens ook bijzonder lastig om in het oppervlaktewater grote hoeveelheden algen te produceren voor biobrandstof. Om de planteneters onder de duim te houden, zijn extreme omstandigheden nodig (zoals hoge concentraties soda of zout), en die zijn weer niet goed voor de algengroei.

De zeer grote consumptie van algen in de zeeën houdt enorme aantallen ongewervelde diertjes in leven. Deze hebben de verzamelnaam benthos, en worden gekenmerkt door een grote verscheidenheid. Er wordt wel geschat dat 98% van de diersoorten in de zee tot het benthos behoren.

7.1 Invloed van mensen op het waterleven

Vanouds wordt het waterleven door mensen geëxploiteerd. Opgravingen nabij het Turkana-meer in Kenya laten zien dat mensachtigen 1,95 miljoen jaar geleden onder meer vissen, schilpadden, nijlpaardachtigen en krokodillen vingen en de eetbare delen daarvan verorberden. Veel vroege nederzettingen van Homo sapiens ontstonden aan kusten en langs rivieren, deels met het oog op het vangen van waterdieren. In een grot te Pinnacle Point (Zuid-Afrika) zijn bewijzen gevonden dat (onze soort) mensen



daar 164 000 jaar geleden vooral in hun eiwitbehoefte voorzagen door op grote schaal schelpdieren (alijkruiken en mossels) te verorberen, en af en toe een zeehond en walvis. Van Neanderthalers is bekend dat ze tussen 125 000 en 30 000 jaar geleden in het Middellandse Zeegebied schelpdieren consumeerden. Bij opgravingen van nederzettingen in Delfland die dateren van 6300 tot 5300 jaar terug, is gevonden dat op ruime schaal vis en watervogels werden gegeten.

Overbevissing

Overbevissing was al vroeg een probleem. Langs de Afrikaanse kust zijn er plaatsen waar in de Steentijd, in samenhang met menselijke bewoning, schelpdiersoorten teloor gingen. En er zijn aanwijzingen dat vroege bewoners van de Europese kustgebieden regelmatig verder moesten trekken omdat de vangsten van zeedieren tezeer terugliepen. Op eilanden voor de kust van Californië waren de zee-otters 7500 jaar geleden al sterk gedecimeerd.

Niettemin bleef de rijkdom van het waterleven tot duizend jaar geleden groot. In de vierde eeuw schreef de dichter Ausonius bijvoorbeeld een lang lofdicht op de Moezel. Hij beschreef daarin 15 vissoorten, waaronder de inmiddels daar uitgestorven vlagzalm, alver en elft. Ook zag hij daar meervallen 'zo groot als een dolfin'.

Kijken we terug op de ontwikkeling van de visstand in en rond Nederland gedurende de afgelopen duizend jaar, dan valt te zien dat deze het eerst in de binnenwateren begint te dalen. In de twaalfde en dertiende eeuw begon in de Nederlandse binnenwateren het aantal graag gegeten vissen, zoals steur en snoek, al sterk terug te lopen. De Europese steur was in de Lage Landen al tijdens de middeleeuwen zo zeldzaam geworden dat deze niet meer door de gewone man werd gegeten, maar alleen nog door edelen. Na 1400 was er een wederopstanding van de steur in de Rijndelta, mogelijk samenhangend met de omvangrijke overstromingen in dat gebied. Maar deze duurde niet lang. Niettemin hield tot in de negentiende eeuw op de Noordzee en in de Waal nog altijd een aanmerkelijk aantal Europese steuren stand. In de twintigste eeuw kwam daaraan een eind. Dat was ook het geval in bijna alle andere Europese rivieren. De laatste overgebleven populatie van de Europese steur verblijft in het Gironde-estuarium.

Als reactie op de neergang van steur en snoek werd tijdens de late middeleeuwen de teelt van (uitheemse) karpers opgezet, bestemd voor de dis van bemiddelde lieden. Er werd ook in toenemende mate in de kustwateren van Zuiderzee, Waddenzee en Noordzee gevestigd, waar de steur nog wel in forse aantallen te vinden was en ook diverse andere populaire vissen in grote aantallen voorkwamen. Daarnaast werd in de binnenwateren in toenemende mate gebruik gemaakt van netten met zeer fijne mazen, die ook jonge vissen kunnen vangen. De graaf van Holland beveelt in 1341 de vissers van Dordrecht, Rotterdam en Schiedam daarmee te stoppen, omdat 'onze wateren visloos dreigen te worden'. Maar de in de praktijk gaat de overmatige bevissing door. De Staten van Holland en Westfriesland gaan ook in 1527 en 1610 krachtig tekeer tegen de fijne mazen.

Een van de slachtoffers van menselijk doen en laten werd de zalm. Deze vis was eeuwenlang een belangrijk bestanddeel van het Nederlandse voedsel, met name in het rivierengebied. De vis was zo gewild dat na het ontstaan van de Biesbosch in de vijftiende eeuw Geertruidenberg en Dordrecht een 'zalmoorlog' voerden over de visserij in dat gebied. De invloed van de omvangrijke consumptie op de stand van de zalm bleef lang beperkt. Gedurende de zeventiende eeuw werd de zalm in rivieren als de Rijn nog steeds in grote aantallen gevangen. De zalm was zo goedkoop dat volgens de zeventiende-eeuwse Engelse reiziger Nugent in de contracten voor dienstbodes te Dordrecht een maximum werd gesteld aan het aantal malen per week dat zalm op het menu mocht staan. In de fameuze achttiende-eeuwse Encyclopedie van de Franse Verlichters wordt de Maas uitdrukkelijk als visrijk omschreven. Een eeuw na de Verlichting was de Maas ver heen. Vissers nabij Woudrichem en Werkendam melden dan: 'De zalm lust het vuile Maaswater niet.' In de negentiende eeuw was de zalmstand in de Nederlandse rivieren sterk teruggelopen en probeerde men daar iets aan te doen door het uitzetten van gekweekte jonge zalmen. Dat was tevergeefs. In de twintigste eeuw ging de zalm in Nederland teloor.

Slechts een enkele vis deed het in Nederland mettertijd beter. De paling of aal profiteerde sterk van de aftakeling van het veenpakket en het ontstaan van grote aantallen poelen en meren. Veel populaire vissoorten krijgen in de negentiende en de eerste helft van de twintigste eeuw de genadeklap, maar de paling hield lang stand. Dat veranderde na 1975. Een belangrijke rol daarin speelde de liberalisering van de aalvangst in 1974 die overmatige vangsten in de hand werkte. Ook de toenemende infecties door virussen en nematoden, die hun oorsprong vinden in de import van kweekpalings uit andere werelddelen, dragen vermoedelijk bij aan de teloorgang van de aal. Sinds 1980 is de Nederlandse palingstand met naar schatting 95% afgenomen. En mede gezien de halfbakken beschermingsplannen voor redding van de paling in Europa wordt voorshands geen herstel van de aalstand verwacht.

Vervuiling

Vissen waren niet de enige soorten die het zwaar te verduren hadden. Ook diverse molusken (schelpdieren en slakken) en hogere planten zijn gedecimeerd. Vervuiling door agrarische activiteiten speelt daarbij een belangrijke rol. Een andere illustratie van teloorgang levert groot haft, een eendagsvlieg met een lengte van een decimeter. Rond 1900 kwamen grote haften langs de Rijn zo massaal voor dat de boeren deze vingen en als meststof over hun akkers uitstrooiden. Thans is groot haft uitgestorven.

Terugblikkend kan men stellen dat, bij de teruggang van soorten in de binnenwateren van de Lage Landen, overbevissing, verdwijning van leefgebied en vervuiling een rol hebben gespeeld en spelen. Het rijkelijke gebruik van onkruidbestrijdingsmiddelen schaadt waterplanten. Veel waterdieren hebben last van voortplantingsstoornissen. Snoeken kunnen in een flink deel van het Nederlandse oppervlaktewateren hun prooi niet meer zien omdat het water door overbemesting troebel is. Ook is onder waterdieren op ruime schaal sprake van minder goed functionerende zenuwstelsels door te

hoge concentraties bestrijdingmiddelen. De opkomst van 'exoten' (uitheemse soorten) die de oorspronkelijk aanwezige soorten verdringen, is eveneens een belangrijke oorzaak voor de sterke teloorgang van natuurlijke soorten in zoete wateren. Nederland heeft in het zoete water thans 30 uitheemse waterplanten, 26 exotische vissen (30% van het totale aantal soorten zoetwatervis), 7 uitheemse amfibieën en 57 exotische krabben en kreeftensoorten. Slachtoffer daarvan zijn onder meer rietvoorn, snoek, rivierdonderpad, grote modderkruiper en diverse libellensoorten,

Moeizaam herstel

'Herstel' van eenmaal gedecimeerd leven in zoete oppervlaktewateren blijkt in de praktijk moeilijk. Hoewel er na de jaren zestig van de twintigste eeuw veel gedaan is aan herstel van West-Europese beken en rivieren, is de terugkeer van soorten bescheiden gebleven. In de Rijn komt de zalm weer voor, maar het gaat om een paar exemplaren. Van de vissoorten die in de middeleeuwen en de vroegmoderne tijd in Nederland en Duitsland verloren gingen, zijn de meeste niet teruggekeerd.

Buiten de Lage Landen werd en wordt het zoetwaterleven eveneens gedecimeerd. Ingrijpende veranderingen in het leefgebied, door onder meer de bouw van dammen, kanalisatie, kap van oeverbossen, overbevissing, vervuiling en de opkomst van uitheemse soorten, zijn ook daar belangrijke oorzaken voor teloorgang van natuurlijke soorten.

In delen van Frankrijk en Midden-Europa was in de veertiende eeuw de visstand eveneens zozeer afgenomen dat men daar de teelt van karpers startte. In Engeland werd in de middeleeuwen overgegaan tot de kweek van paling in tanks. Daarmee werden onder meer vermogende kloosterordes bediend.

Elders is inmiddels de decimering van zoetwatervis op een flink aantal plaatsen erger dan in Nederland. Rivieren waarvan het water gedurende flinke delen van het jaar de zee niet meer bereikt, maken nu het leven voor trekkende vissen nog moeilijker dan de Rijn en de Maas. Van de 177 langste rivieren ter wereld stromen er nog maar 21 niet door stuwen gehinderd naar de zee. De vervuiling en overmatige exploitatie van veel Aziatische rivieren zijn nu erger dan die van 'onze' grote rivieren. Daarbij passen spectaculaire verminderingen in soortenrijkdom. Zo is in de Yangtze de zoetwaterdolfijn waarschijnlijk uitgestorven, en daalt de populatie vinloze bruinvissen in de Yangtze met meer dan 50% per tien jaar.

De afgelopen decennia wordt voorts wereldwijd een dramatische neergang gezien van het aantal soorten amfibieën (waaronder kikkers en padden). In het tropische gebied van Zuid-Amerika is de afgelopen 20 tot 30 jaar maar liefst 67% van de harlekijnkikkersoorten verdwenen. Het verdwijnen van kikkers en padden heeft vaak aanzienlijke effecten op het hele water-ecosysteem waartoe deze behoorden. Een gedeeltelijke verklaring voor de neergang van amfibieën is dat door de opwarming van het water schimmelziekten meer kans krijgen. Waterverontreiniging met te grote hoeveelheden meststoffen en bestrijdingsmiddelen, speelt waarschijnlijk eveneens een rol.

In het algemeen ligt in het zoete water het uitsterven van soorten naar schatting ongeveer een factor vijf hoger dan op land.

Enkele zoete wateren zijn tot nu toe redelijk gespaard gebleven. Daartoe behoort het Baikalmeer in Siberië dat door UNESCO tot Werelderfgoed is verheven. Daarbij heeft geholpen dat het Baikalmeer in Rusland traditioneel wordt gezien als een 'heilig water'. De vooruitzichten voor dit meer, dat onder meer ongeveer 1200 unieke diersoorten en 300 unieke plantensoorten telt, zijn echter ongunstig. Door klimaatverandering en toenemende menselijke exploitatie staat het leven in het Baikalmeer sterk onder druk. 'Als alles zo doorgaat' zullen de zoetwatersoorten in de komende decennia in een hoog tempo uitsterven. Een belangrijke factor daarbij is de invloed van klimaatverandering en wateronttrekking.

Zeedieren

De Noordzee was na het aflopen van de IJstijd zeer rijk met vis bedeed. Dat bleef ook langer zo dan in de binnenwateren. Rond 1200 schreef Saxo over de haringen in de Sont (tussen Denemarken en Zweden): 'er zijn er zoveel dat een lans overeind blijft staan als je hem er tussen steekt'. De bisschop Albertus Magnus, die in de dertiende eeuw door de lage Landen reisde, beschreef onder meer de fint die voor de kust van Stavoren in grote aantallen voorkwam. Volgens deze bisschop hoefde men maar een bel te luiden en de finten zwommen massaal het schepnet in. De fint stierf daarna in Nederland uit, maar maakt recent weer een zeer bescheiden comeback. En de fint is niet de enige soort onder de zeedieren die sterk in aantal terugging. De vleet, bekend van 'bij de vleet', is op de Noordzee bijna uitgestorven.

In Nederland zijn de laatste 2000 jaar in totaal 40 soorten uitgestorven die voor de kust (inclusief de Waddenzee) voorkwamen. Tien daarvan waren algen, 10 ongewervelde dieren (benthos), 12 vissen, 5 vogels en 4 zoogdieren. Bij zeker 17 van de uitgestorven soorten speelde bejaging of bevissing een belangrijke rol. Ongeveer 70% van de Noordzeebodem wordt bijvoorbeeld tenminste eenmaal per jaar van leven ontdaan door sleepnetten. Daardoor is de afgelopen eeuw een aantal fragiele en langzaam groeiende soorten bodembenthos uitgestorven. Bij 26 soorten was het verdwijnen van leefgebied een belangrijke factor bij het uitsterven in de Nederlandse zoute wateren, en bij drie soorten overmatige vervuiling. Ook zijn er voorbeelden van sterke teruggang zonder dat een soort uitsterft. In de zestiende eeuw was de oester in de Nederlandse wateren zo talrijk dat deze te Amsterdam als armelui's eten gold. In de negentiende eeuw leverde de omgeving van Texel jaarlijks nog altijd miljoenen oesters. Door overbevissing en het inpolderen van plaatsen waar oesterlarven goed konden opgroeien, werd aan deze rijkdom in de negentiende eeuw praktisch een einde gemaakt. De bruinvis heeft het in de Noordzee nog altijd zeer moeilijk, omdat vooral jonge dieren vol zitten met slecht afbreekbare giftige stoffen.

Hoog tempo van uitsterven

In de zeeën ligt het tempo waarin natuurlijke soorten uitsterven traditioneel lager dan in het zoete water, maar ook daar waren soms al vroeg grote veranderingen te zien. In de late dertiende eeuw verdween de haring bijvoorbeeld uit het zuiden van de Oostzee. Dit hing vermoedelijk samen met de sterk toegenomen belasting van de op de Oostzee uitmondende rivieren met slib en voedingsstoffen en met overbevissing. De haringstand in de zuidelijke Noordzee stortte na 1360 in. Meer recent treden in de zeeën in versterkte mate drastische veranderingen op. Voor een deel hangen deze



samen met het verdwijnen van gebieden waar soorten kunnen huizen, net als bij de Texelse oesters. De afgelopen vijftig jaar is bijvoorbeeld ongeveer een kwart van de zeegraslanden verdwenen, daardoor worden daarvan afhankelijke soorten op ruime schaal met lokaal uitsterven bedreigd. Ook de teloorgang van mangrovebossen hakt er stevig in. Daarnaast is het aannemelijk dat gedurende de afgelopen eeuw de fotosynthese in de zeeën achteruit is gegaan. Dit heeft waarschijnlijk over een breed front een neerwaarts affect op het dierenleven in de zeeën.

De zeeën worden verder intensief geëxploiteerd, eerst de kleinere zeeën zoals de Noordzee, daarna ook de oceanen. In de oceanen begon de exploitatie op betrekkelijk geringe diepte, later volgde ook grote diepte. De gevolgen daarvan zijn groot. De stand van de roofvissen in de zeeën is wereldwijd naar schatting nog maar een tiende van wat deze een eeuw geleden was. In de Noordzee is het aantal vissen met een gewicht tussen de 4 en 16 kilogram naar schatting 2,6% van wat deze zonder visvangst zou zijn geweest, voor vissen tussen de 16 en 66 kilo is dat nog maar 0,8%. Uit dagboeken van Caraïbische piraten weten we dat het aantal zeeschildpadden in dat gebied gedurende de zeventiende eeuw ongeveer een factor 100 hoger ligt dan nu. In 1796 schreef G. Gauld dat op de kust van de Florida Keys zoveel kreeften voorkwamen dat men in een paar uur een hele boot kon vullen. Het aantal kreeften is daar met ongeveer 99% gedaald. Voor de oester is de teloorgang dankzij de oesterteelt minder groot, maar nog altijd spectaculair. Decimering van oesters trad gedurende de afgelopen eeuwen niet alleen op in Nederland, maar ook in de Verenigde Staten, Frankrijk, Engeland en Duitsland. Nu is ook daar het eten van oesters chique. Dat heeft niet alleen gevolgen voor de portemonnee, maar ook voor het water. Oesters zijn namelijk fabelachtige waterzuiveraars. Voor een baai aan de oostkust van de Verenigde Staten (de Chesapeake-baai) is uitgerekend dat de oesters in de negentiende eeuw het baaiwater elke drie dagen volledig filterden. Nu is dat nog maar één keer per jaar.

De kabeljauw is, vanwege zijn rijkelijke voorkomen, in Nederland sinds de nieuwe Steentijd, een belangrijk volksvoedsel. Het is in dit licht niet verbazend dat de partijen in een Hollandse burgeroorlog gedurende de vijftiende eeuw Kabeljauwen en Hoeken (vishaken) werden genoemd. Een Engelse piraat die huishield voor de kust van Massachussets (USA) noemde een deel daarvan Cape Cod (Kaaп Kabeljauw), omdat de vele kabeljauwen daar het varen bemoeilijkten.

Nog in de negentiende eeuw hield de beroemde bioloog Huxley de kabeljauw voor praktisch onuitroeibaar. De hoeveelheid kabeljauw in de Noordzee en voor de kusten van Noord-Amerika ligt nu echter ongeveer een factor 100 lager dan een eeuw geleden. Overbevissing en de temperatuurstijging van het zeewater, welke nadelig is voor de soorten die kabeljauwen en kabeljauwlarven graag eten, hebben daaraan waarschijnlijk bijgedragen. Overmatige bevissing waarschijnlijk het meest. Zelfs nabij IJsland, waar de temperatuur voor de kabeljauw zeer gunstig is, komt de kabeljauw nog maar weinig voor.

Effect op ecosystemen

De teloorgang van sterk beviste soorten heeft vaak grote effecten op de rest van het ecosysteem. De neergang van algenetende vissen heeft bijvoorbeeld in zeegebieden

met koralen het effect dat algen de koralen overwoekeren. De teloorgang van kreeften heeft in delen van de Stille Oceaan geleid tot een opmars van de zee-egels en dit heeft op zijn beurt geleid tot een neergang van kelpbossen. In het oceaangebied rond Antarctica is de krill- (een garnaalachtige) en visstand door overbevissing zo sterk achteruit gegaan dat ook sommige populaties zeehonden en pinguïns sterk zijn teruggelopen. Kwallen domineren dezer dagen het dierenleven in de Zwarte Zee. Kwallen zijn ook dominant in wat vroeger een van de rijkste visgronden voor de sardine was: de Atlantische oceaan nabij Lüderitz in Namibië. De overbevissing van sardines heeft daar de weg vrijgemaakt voor kwallen. Die kwallen worden inmiddels enigszins onder de duim gehouden door een vis die bestand is tegen barre zuurstofloze omstandigheden (de gebaarde goby). Maar de sardines konden niet terug. En in Californische kustwateren vangen de vissers nu vooral 'exoten', die daar, via de handel in dieren of scheepvaart, 'per ongeluk' zijn beland.

'Duurzame' visserij

Pogingen om de visserij onder controle te brengen zijn vaak moeizaam. Thans wordt wereldwijd ongeveer een vijfde van de vis illegaal gevangen, en het optreden tegen illegale vangst haalt tot nu toe weinig uit. In 1995 werd er door de Wereldvoedselorganisatie (FAO), een deel van de Verenigde Naties, een code voor duurzame visserij opgesteld. Geen enkel land leeft de code geheel na. In Nederland ligt de mate waarin deze code wordt nageleefd onder de 50%.

Zelfs als de code zou worden nageleefd, dan geeft dat geen garantie dat de visstand niet spectaculair daalt. Ook los van de visserij, treden vaak grote fluctuaties op in het aantal vissen. De oorzaken van dergelijke fluctuaties worden maar zeer gedeeltelijk begrepen.

Niettemin zijn er verschillende stukken zee waar de teruggang van de visstand tot staan is gebracht door beperking van de visserij. Het al dan niet tijdelijk afsluiten van bepaalde stukken zee (mits daardoor de visserijdruk op aanpalende gebieden niet toeneemt), beperkingen aan het vistuig en beperking van het aantal vissersschepen en visdagen, spelen daarbij een rol. Een deel van de visserij heeft nu een keurmerk van de Marine Stewardship Council, en het predikaat 'duurzame visserij'. Voor de grootste 'duurzame' opbrengst zorgt de visserij op koolvis (pollock) in de Beringzee: ongeveer 1 miljard dollar. Ook de populatie van deze vis gaat echter sinds 2007 sterk naar beneden. Vermoedelijk hangt dat samen met het warmer wordende zeewater. Voorbeelden van 'visgronden' waar de visstand niet daalt, zijn de wateren rond Nieuw-Zeeland en de Californische Golfstroom.

Visteelt

In reactie op de dalende stand van vis en ander 'waterbanket' wordt in toenemende mate overgestapt op de teelt daarvan. Naar schatting 50% van het aanbod van vis en het merendeel van het garnalenaanbod komt thans uit de 'aquacultuur'. Nederland is bijvoorbeeld een Europese grootmacht in de teelt van zeewolf en paling. Het aanbod van gekweekt 'waterbanket' stijgt snel. In de jaren zeventig kwam nog maar 7% van het visaanbod uit aquacultuur. Nu beloopt de productie van gekweekte vis ongeveer 52 miljoen ton en daar zou, 'als alles zo doorgaat', in de periode tot 2030 nog 29 miljoen ton vis bij moeten komen. De aquacultuur laat de zeedieren echter niet



ongemoeid. Krill, vismeel en visolie worden op grote schaal gebruikt voor het voeden van kweekvis, vooral van roofvissen zoals zalm en kabeljauw. Naar schatting 90% van de visolieproductie en 60% van de vismeelproductie dient om kweekvis te voeren. Ruwweg is voor de teelt van 52 miljoen ton waterbanket ongeveer 24 miljoen ton zeevis en 3,5 miljoen ton krill nodig. Het gaat, wat de vis betreft, om kleine vissen, zoals ansjovis, haring en sardine. Dit is niet alleen een flinke aanslag op de visstand, maar schaadt ook een groot aantal arme mensen die voor hun inkomen, dan wel hun eiwitvoorziening, traditioneel in belangrijke mate zijn aangewezen op vis. Zo daalde in Afrika beneden de Sahara de visconsumptie per hoofd tussen 1973 en 1997 van 9 tot 6,6 kilo, terwijl deze wereldwijd van 12 tot 16 kilo steeg.

Daarnaast legt de visteelt in toenemende mate beslag op producten van de intensieve veehouderij te land. Zo gaan dezer dagen bijna alle kippenpoten uit de Verenigde Staten en Brazilië naar China, om daar te worden gegeten door teeltvis. De in de aquacultuur gebezigde praktijken hebben veel weg van die in de intensieve veehouderij. Net als voor de intensieve veehouderij wordt op grote schaal natuur 'geruimd'. Op de Filippijnen is bijvoorbeeld twee derde van de mangrovebossen gekapt om plaats te bieden aan de garnalenteelt. De hoge infectiedruk in viskwekerijen leidt vaak tot een intensief gebruik van antibiotica. Dit werkt resistentie tegen antibiotica sterk in de hand. In 1992 bleek tijdens een epidemie in Zuid-Amerika dat de verwekker van cholera immuun was geworden tegen gangbare antibiotica, vanwege de toepassing van deze antibiotica in de garnalenteelt. *Aeromonas*-bacteriën die aanwezig zijn in het afvalwater van de Nederlandse paling- en zeewolf-kwekerijen, zijn resistent tegen de voor de mens belangrijke antibiotica ampicilline en tetracyclines. Diverse leden van de *Aeromonas*-familie kunnen bij mensen infectieziekten veroorzaken. Bovendien kunnen de *Aeromonas*-bacteriën de resistentie overdragen aan andere soorten voor de mens gevaarlijke bacteriën, zoals *Salmonellabacteriën*. En net als in de intensive veehouderij kan het intensieve gebruik van antibiotica catastrofale epidemieën niet verhinderen. Door een dergelijke epidemie daalde bijvoorbeeld de zalmproductie in Chili van 670 000 ton in 2008 tot ongeveer 100 000 ton in 2010. Ook komen door de visteelt, net als in de intensieve veehouderij, veel meststoffen vrij. De variëteiten in de aquacultuur wijken voorts vaak fors af van de wilde soorten en dat kan problemen geven bij ontsnapping. Zo worden wilde zalmopopulaties bedreigd door ontsnapte zalmen uit de aquacultuur.

Niet alleen het leven in oppervlaktewateren heeft sterk te lijden onder de mens, de op veel plaatsen dalende grondwaterspiegels hebben eveneens grote gevolgen voor de natuur. In een land als Nederland hebben de traditioneel talrijke soorten die hielden van natte voeten in voedselarm water, het zeer zwaar te verduren gehad. Een aanmerkelijk deel ervan is uitgestorven en de rest kan zich met moeite handhaven in natuurgebieden.

Elders is de verdroging nog erger, zoals rond de eerder besproken gokstad Las Vegas. Daar zijn de gevolgen dramatisch voor de vaak bijzondere soorten die daar leven.

7.2 Toekomst van zeewater en het leven daarin

De zeeën hebben een enorm volume, en daarom gaan veranderingen in de samenstelling traag. Niettemin zijn er diverse veranderingen gaande die op termijn grote gevolgen kunnen hebben voor de natuurlijke soorten die in de zee leven. Sommige daarvan (zoals de plastic soep en de oplopende concentraties slecht- en niet-afbreekbare stoffen) kwamen aan de orde in hoofdstuk 2. Maar er zijn ook andere zorgelijke ontwikkelingen. Een daarvan betreft de beschikbaarheid van bouwstoffen. Diatomeeën gebruiken bijvoorbeeld silicaat voor de aanmaak voor hun buitenkant. Door de aanleg van dammen en de toegenomen hoeveelheid plantenvoedingsstoffen in de rivieren daalt de hoeveelheid silicaat die de zeeën bereikt. In de Oostzee wordt er daarom bijvoorbeeld mee gerekend dat de diatomeeën het in de komende decennia moeilijk zullen krijgen. Dat geldt waarschijnlijk ook voor de Westerschelde. Een tweede zorgelijke ontwikkeling betreft kooldioxide. De stijging van het kooldioxidegehalte in de lucht beïnvloedt het leven in het water langs verschillende lijnen die samenhangen met de drie voornaamste effecten: stijgende toevoer van CO₂, opwarming en verzuring. De verzuring belooft sinds het begin van de industriële revolutie ongeveer 0,1 pH-eenheid (overeenkomend met een 30% stijging van de hoeveelheid zuur) en reikt thans tot op een diepte van ongeveer duizend meter.

Het netto-effect van de oplopende hoeveelheid kooldioxide in de atmosfeer en de bijbehorende opwarming en verzuring van het zeewater op de 'primaire productie' of fotosynthese in de zeeën is waarschijnlijk negatief. Sinds het begin van de jaren 80 is deze productie wereldwijd met tenminste 6% gedaald. En deze dalende trend is waarschijnlijk al langer aan de gang. Ook worden de algen gemiddeld kleiner. Poolwaarts en in de grote cirkelstromen van de Stille Oceaan is de daling van de primaire productie relatief groot.

Verhuizen naar het noorden

Door de opwarming van het klimaat verschuiven in de zeeën de gebieden waar soorten kunnen leven. Wereldwijd is de verandering in de temperatuur van het zeewater over de afgelopen eeuw ongeveer 0,6 °C. Poolwaarts kan de opwarming hoger uitvallen.

Zo is de Noordzee nu 1,5 °C warmer dan 40 jaar terug. Daarom duiken in de Noordzee in toenemende mate aan relatief warm water gewende soorten als ansjovis en sardine op. Ook onder de planktonsoorten treden grote verschuivingen op. Soorten die aangewezen zijn op relatief koud zeewater verhuizen richting de pool. Er is onderzoek gedaan aan dierlijke planktonsoorten in het noordelijk deel van de Atlantische Oceaan. Deze schuiven sinds 1999 ten gevolge van klimaatverandering jaarlijks naar schatting 10 kilometer noordwaarts. Kennelijk gaat de noordwaartse verschuiving van soorten in de zeeën sneller dan op land. Ook grotere dieren schuiven op. In en vanuit de Noordzee verschuiven soorten als haring, makreel en kabeljauw en diverse schaaldieren noordwaarts. De aantallen vissen ontwikkelen zich daarbij verschillend.



Het gaat goed met een haringvariëteit die in de Noordelijke Atlantische Oceaan en de Barentssee huist, maar slechter met de kabeljauw.

Heel wat visetende vogels moeten door de verschuivingen hun dieet veranderen. En dat bekommt niet altijd goed. Het veranderde dieet wordt bijvoorbeeld deels verantwoordelijk gesteld voor de 30% daling van het aantal broedende zeevogels aan de Schotse kust. Ook is er een tendens dat in de zee infectieziekten toenemen.

Minder leefruimte

Relatief vaak raken sterk koudeminnende soorten aangewezen op kleinere gebieden. In het Noordpoolgebied is de opwarming de laatste decennia tweemaal zo snel als het wereldgemiddelde. In samenhang daarmee neemt de dikte van het ijs en de oppervlakte in de zomer fors af. Sinds de jaren zeventig houden satellieten de hoeveelheid ijs in het Noordpoolgebied bij. De jaarlijkse minimale hoeveelheid daarvan is over die periode met ongeveer twee miljoen vierkante kilometer afgenomen. Dat is ten nadele van dieren die op het Noordpoolijs bivakkeren. Zo krijgen de ijsbeer en de narwal te steeds moeilijker. De toename van extreem weer helpt ook al niet. Zo hebben de rendieren sterk te lijden onder de toename van regen die na het neerkomen bevrïest. Daardoor wordt de bovenkant van de sneeuwlaag zo hard dat ze er niet meer doorheen kunnen komen om hun voedsel onder de sneeuw te bereiken. In het Zuidpoolgebied raken van sommige pinguïnpopulaties de jongen in toenemende mate te vroeg te water, hetgeen voor hen een vroegtijdig einde betekent.

Vissoorten die een deel van hun leven in het zeewater doorbrengen en een ander deel in rivieren zullen door klimaatverandering naar alle waarschijnlijkheid flinke klappen oplopen. In Europa geldt dat bijvoorbeeld voor een 14 tal trekkende vissoorten die nu in de Kaspische Zee, de Zwarte Zee, de Middellandse Zee en de Oostzee verblijven. Ook veranderingen in neerslagpatroon, die samenhangen met klimaatverandering, kunnen de overlevingskansen voor sommige vissen sterk beïnvloeden. Zo gaat de grote Indiase karpers in de Ganges sterk achteruit omdat door het veranderende neerslagpatroon veel minder paaiplaatsen beschikbaar zijn.

Koraalriffen

Daarnaast hebben de koraalriffen en de daarmee verbonden soorten het zwaar te verduren. Dat komt waarschijnlijk vooral door opwarming, daling van de pH, toevloed van voedselrijk water en toename van het aantal zeer zware orkanen die koraalriffen kapot maken. Op plaatsen waar het water ondiep is en weinig stroomt, kan het effect van opwarming op koraalriffen groot zijn. Hogere temperaturen vergroten de kans dat het koraal verbleekt, wat correspondeert met verhoogde sterfte van koraaldiertjes. In 1998 en 2010 was er door warmte een massale verbleking van koraalriffen in de Indische en Stille Oceaan.

Tijdens recente zeer warme jaren zijn zeer grote stukken koraalrif in ondiepe gedeelten van de Perzische Golf afgestorven. In het midden van de Rode Zee is de snelheid waarmee het koraal groeit sinds 1998 met 30% gedaald. Het Grote Barrièrerif van

Australië heeft nu een groeisnelheid die beduidend ligt onder het niveau van de afgelopen 400 jaar. En met de riffen in het westelijk deel van de Atlantische oceaan gaat het veelal slecht. Door de aftakeling van de koraalriffen neemt onder meer de bescherming van een aantal laaggelegen kustgebieden tegen de zee af.

Verzuring

Er zijn zorgen over de effecten van verdere verzuring der oceanen door de toevloed van kooldioxide. 'Als alles zo doorgaat' loopt de daling van de pH deze eeuw mogelijk op tot ongeveer 0,4 pH-eenheid, wat overeen zou komen met een toename van de hoeveelheid zuur in de bovenlaag van de zeeën met ongeveer 150%. Door deze ontwikkeling daalt de concentratie van het carbonaation, en stijgt de concentratie van koper. De stijging van de koperconcentratie kan nadelig zijn voor algen. De eventuele ontzuring van de zeeën door natuurlijke processen duurt lang: waarschijnlijk duizenden jaren. Van de verzuring die, 'als alles zo doorgaat', kan optreden, wordt een in belang toenemend negatief effect op de kalkhuishouding en de voortplanting verwacht. Dat kan, wanneer aanpassing uitblijft, ten nadele zijn van de verscheidenheid aan formamiferen (eencelligen met een kalkskelet), koralen en schelpdieren. Er zijn sterke aanwijzingen dat de kalkskeletvorming bij foramiferen in wateren nabij de Noord- en Zuidpool negatief wordt beïnvloed door de afname van de pH.

Dat aanpassing aan de pH-verandering voorlopig uitblijft, is niet onwaarschijnlijk. De snelheid waarmee de zuurgraad van de zeeën verandert, ligt nu waarschijnlijk een factor 10 hoger dan door in het verleden gangbare geologische processen. De effecten zullen waarschijnlijk verschillen voor de verschillende onderdelen van het zoute oppervlaktewater. De sterkste effecten worden vooralsnog verwacht in de koude zeeën, vooral die nabij Antarctica, waar de gehalten kalk (vooral aragoniet) relatief sterk omlaag zullen gaan. Ook in de diepe Noord-Atlantische oceaan en in een aantal kustwateren, zoals de Californische, wordt met een verhoudingsgewijs aanzienlijk effect van zuurgraadverandering gerekend.

Onderzoek suggereert voorts dat zowel de schelpvorming als de voortplanting van schelpdieren negatief kan worden beïnvloed door verzuring. 'Als alles zo doorgaat', en wanneer geen aanpassing optreedt, worden foramiferen, koralen en schelpdieren op een termijn van een tot twee eeuwen fors gedecimeerd. Dit heeft nadelige gevolgen voor traditionele vormen van bestaan zoals die rond de 'Zeeuwse' mosselen en oesters. Op andere zeedieren heeft verzuring meer subtiele effecten. Zo wordt bij sommige krabben de bestendigheid tegen warmte nadelig beïnvloed. Over de effecten van opwarming en verzuring op de grootste groep natuurlijke soorten in de zeeën, de ongewervelde dieren (benthos), bestaat aanzienlijke onzekerheid. Het is aannemelijk dat deze op een termijn van eeuwen ook aanzienlijke schade kunnen oplopen. Ongeveer 56 miljoen jaar geleden waren de zeeën blootgesteld aan een sterke opwarming en verzuring. Onderzoek laat zien dat het benthos toen werd gedecimeerd.

Zuurstof

De afname van kalkhoudende organismen heeft als neveneffect dat er minder organisch materiaal naar de bodem van de zeeën zakt. En dat leidt er weer toe dat, wanneer de schelpdierenstand inderdaad daalt, in grote delen van de bovenlaag der zeeën waarschijnlijk het zuurstofgehalte zal dalen. Een doorzettende opwarming van de oceanen zal eveneens tot een daling van het zuurstofgehalte leiden. De oplosbaarheid van zuurstof in het zeewater wordt minder en de laagvorming neemt toe, waardoor de menging met zuurstofrijk water afneemt. Dit laatste leidt tot een verminderd transport van zuurstof naar diepere lagen. Langdurige metingen laten zien dat de hoeveelheid zuurstof in de oceanen de afgelopen 50 jaar daadwerkelijk daalt in het noorden van de Stille Oceaan en in de tropische delen van de Atlantische en Stille Oceaan.

Een daling van het zuurstofgehalte betekent dat de energievoorziening van dieren die aangewezen zijn op een zuurstofrijke omgeving minder goed zal gaan functioneren. Daardoor zal dit type dieren in de toekomst waarschijnlijk aanzienlijk in aantal teruglopen. Ook wordt op een groeiend aantal plaatsen een uitbreiding gezien van zeer zuurstofarm zeewater aan de rand van het continentale plat. Dat leidt daar tot een toenemende sterfte onder zeedieren die zich minder goed kunnen verplaatsen, zoals krabben en zeesterren.

Warme Golfstroom

En tenslotte is er nog de mogelijkheid dat door het vrijkomen van zeer veel smeltwater in het noorden van de Atlantische Oceaan de warme Golfstroom tot staan wordt gebracht. De huidige klimaatmodellen zijn niet goed in staat om een dergelijke stop betrouwbaar te voorspellen. Maar als de warme Golfstroom stopt, dan gaat het ecosysteem van de noordelijke Atlantische Oceaan over de kop. Dat hangt samen met de zeer grote aanvoer van warmte door de warme Golfstroom. Aannemelijk is dat het klimaat in Europa dan flink afkoelt en dat het patroon van de moessons over Afrika drastisch zal verschuiven.

8 Water en menselijke gezondheid

De pasgeboren mens bestaat voor ongeveer 75% uit water. Allengs zakt het watergehalte van de mens. Een volwassen vrouw bevat ongeveer 50% water en een oude bes ongeveer 40%. Bij waterzucht of oedeem is het watergehalte ziekelijk verhoogd. Aanzienlijke plotselinge verminderingen van het watergehalte kunnen problemen veroorzaken. Een netto-waterverlies in de orde van 1 tot 2% van het lichaamsgewicht vermindert het prestatievermogen en vergroot de kans op nierstenen. Een verlies van 8% maakt het spreken moeilijk en kan tot hallucinaties leiden, en een verlies van 12% maakt het slikken onmogelijk.

Een belangrijk punt is verder dat de regeling van de lichaamstemperatuur voor een belangrijk deel op zweten berust. Is daarvoor onvoldoende water, dan loopt de lichaamstemperatuur op. Vooral als het warm is, kan dat snel dodelijk zijn. Een hongerstaking kan maanden duren, maar een 'dorststaking' is veel sneller fataal. Hoe snel hangt af van de temperatuur. Bij een graad of twintig kan het, als men niets doet en in de schaduw blijft, ongeveer twee weken duren voor een dorststaking voor een gezonde volwassene dodelijk is. Voor kleine kinderen is dat beduidend eerder. In een hete woestijn kan het ontbreken van drinkwater al binnen een tot twee dagen fataal zijn.

Omdat de menselijke soort waarschijnlijk is ontstaan in de relatief warme en waterarme savannen van Afrika, wordt wel gespeculeerd dat het evolutionaire voordeel van een geringere kans op watertekort aanzienlijk is. Dit heeft mogelijk een rol gespeeld bij het ontstaan van tweebezigheid. Daarbij is de instraling van zonlicht op het lichaam minder dan bij vierbezigheid en met de vrijgekomen handen kan men water dragen.

In de praktijk is sterfte door uitdroging thans vooral een probleem in ontwikkelingslanden. Vooral bij kinderen onder de vijf jaar kan ernstige diarree, of ernstig braken, een snelle fatale uitdroging ten gevolge hebben. Hoewel prima middelen voor 'orale rehydratie' zijn ontwikkeld, worden deze in grote delen van de wereld niet, of niet op de juiste wijze, toegepast. Het aantal kleine kinderen dat in ontwikkelingslanden aan uitdroging ten onder gaat, wordt geschat op een tot drie miljoen per jaar. In westerse industrielanden komen dodelijke watertekorten onder kleine kinderen nauwelijks voor, mede dankzij de opname van kinderen die dreigen uit te drogen in goed geoutilleerde ziekenhuizen. Een enkele maal kan fatale uitdroging voorkomen bij extreme sportprestaties onder extreme omstandigheden of bij slecht verzorgde bejaarden.

Vochtig huis

Afgezien van de drinkwatervoorziening, zijn er ook andere aspecten van de waterhuishouding die voor de menselijke gezondheid van belang zijn.

Er is het probleem van vocht in huis. De nadelen van vochtige huizen werden in de late negentiende eeuw onderkend. Toen legden diverse dokters een relatie tussen de kans op aandoeningen als luchtwegziekten en het wonen in een vochtig huis. De Nederlandse Woningwet, die in de vroege twintigste eeuw tot stand kwam, had dan ook als



belangrijk doel: de strijd tegen vochtige behuizingen. Ook in recent onderzoek in de Europese Unie en de Verenigde Staten wordt een positieve associatie gevonden tussen vocht in huis, schimmelgroei en de kans om als volwassene luchtwegklachten, waaronder astma, te krijgen. Opwarming van het klimaat leidt tot 'intensivering van de hydrologische cyclus'. Daardoor vertoont in veel nabij zee gelegen gebieden (waaronder Nederland) de neerslag een stijgende lijn. De kans op vochtige huizen wordt daardoor buiten het zomerseizoen vergroot. De strijd tegen vochtige behuizing is nog altijd niet volledig gestreden.

Er zijn meer invloeden van water op de gezondheid. De winterse griepiek in gematigde streken is bijvoorbeeld in verband gebracht met het in de winter relatief lage vochtgehalte van de lucht. Daardoor 'dragen' uitgenieste of gehoeste deeltjes met griepvirussen verder. De meningitisepidemieën in het Sahelgebied zijn gebonden aan de droge periode. Zodra het gaat regenen, verdwijnen ze. In Florida is bij ernstige droogte de kans op bepaalde virusziekten verhoogd, omdat de insecten die deze virussen overdragen dan naar de door mensen bewoonde wereld trekken. Daar is nog water. In de omgeving van het klassieke Rome was het droogvallen van moerassen het sein dat het gevaar van malaria sterk toenam. De malariamuggen kwamen dan in groten getale de stad in. Rijke Romeinen zochten in dat geval hun toevlucht in hun hooggelegen villa's buiten de stad, waar de kans op malaria een stuk lager lag. In Nederland was er in de natte augustusmaand van 2006 een sterke toename te zien in infecties met de Legionellabacterie.

Hygiënische voorzieningen

Belangrijker nog voor de wereldwijde gezondheid zijn de infectieziekten die worden veroorzaakt door micro-organismen in drinkwater, toiletten en latrines, en de infectieziekten die worden overgebracht door organismen in het water. Volgens een schatting van de Verenigde Naties wordt de helft van alle ziekenhuisbedden op de wereld gebruikt door mensen die aan deze typen infectieziekten lijden. In Afghanistan wordt ruim 16% van de sterfte aan deze infectieziekten toegeschreven, in Mali ongeveer 21%, in Marokko wat meer dan 5% en Suriname ruim 3%. Darminfecties met heftige diarree en malaria veroorzaken wereldwijd de grootste gezondheidsproblemen. Van deze twee hoofdoorzaken heeft malaria tot nu toe de meeste aandacht gekregen. Maar heftige diarree is in de praktijk belangrijker als oorzaak van ziekte en sterfte.

Heftige diarree is goeddeels te voorkomen met een combinatie van goede drinkwatervoorziening, goed wassen (met name van de handen) en goede sanitaire voorzieningen. Aan het succes van de combinatie dragen deze drie maatregelen in ongeveer gelijke mate bij. In gebieden waar wordt geïrrigeerd, draagt een goede afvalwaterzuivering aanzienlijk bij aan de beperking van de kans op diarree. De verspreiding van ziekteverwekkende bacteriën verloopt daar voor een aanmerkelijk deel via besmet voedsel. Ook water voor het drinken van vee kan het besmettingsrisico vergroten. In Nederland helpt drinkwater bij de verspreiding van de bacteriën *Escherichia coli* O157-H7 en *Campylobacter jejuni* naar etenswaren. De bacteriën in kwestie worden

nogal eens gevonden in drinkwatersystemen voor vee. Ze besmetten vervolgens de dieren in kwestie, en de mens pikt de bacterie op bij het consumeren van dierlijke producten of op de boerderij.

In het navolgende worden hygiënische voorzieningen, en het ontbreken daarvan, besproken. Vervolgens wordt aandacht besteed aan infectieziekten die wel in het water maar niet in het drinkwater huizen, en aan riskante stoffen in het drinkwater,

8.1 Infectieuze organismen en toxinen in drinkwater en uitwerpselen

Infectieuze organismen in drinkwater vormen al lang een probleem. Sinds mensheugenis zijn ziekten die het gevolg zijn van ziektekiemen in het drinkwater een belangrijke oorzaak voor ziekte en dood. Dat bleef niet onopgemerkt.

In de bijna 2500 jaar oude geschriften die worden toegeschreven aan Hippocrates wordt gewaarschuwd voor het drinken van water in moerasgebieden. Dit water zou leiden tot een 'harde milt' en een 'harde en hete maag', terwijl hoofd en de schouders zouden vermageren. Verder worden in de Hippocratische geschriften diarreeziekten in verband gebracht met het drinken van slecht water, en wordt de voorkeur gegeven aan regenwater, zoet en helder water dat uit de bergen en de heuvels komt of water uit diepe putten.

Klassieke oudheid

Wanneer voorzieningen voor uitwerpselen niet goed zijn gescheiden van de drinkwatervoorziening kan het infectieprobleem zeer aanzienlijk zijn. Dat was bijvoorbeeld zo in het oude Egypte, waar de Nijl diende voor de drinkwatervoorziening, voor de irrigatie van voedselgewassen en als dumpplaats voor uitwerpselen. Als gevolg daarvan waren er veelvuldige darminfecties met amoeben en Salmonella's. In de elfde eeuw was dat nog steeds zo. Ibn Ridwan beklaagde zich erover dat de inwoners van wat nu Caïro is hun uitwerpselen in de Nijl dumpten en Nijlwater gebruikten als drinkwater. Ook dicht bij oppervlaktewater liggende waterputten kunnen vanuit dat oppervlaktewater worden besmet.

Dumping van uitwerpselen in de bodem kon eveneens tot problemen leiden. In zandbodems moet bijvoorbeeld een (niet afgeschermd) latrine minstens 25 meter verwijderd zijn van een drinkwaterput, anders kan het drinkwater besmet raken met ziekteverwekkende bacteriën en amoeben. Bij grote, leegsijpelende beerputten, zoals die in Europese steden lang gangbaar waren, moest de veilige afstand vaak nog aanzienlijk groter zijn om drinkwaterbesmetting door ziekteverwekkers in uitwerpselen te voorkomen. Vooral in steden was en is de afstand tussen uitwerpselen en drinkwaterput vaak te klein. Daardoor konden en kunnen infectieziekten dramatisch uit de hand lopen.

Arrangementen waarbij een scheiding tussen drinkwatervoorziening en uitwerpselen werd doorgevoerd, zijn oud. Harappa, een stad in de Indusvallei, had 4500 jaar terug een uitgebreid rioleringssysteem dat afvalwater, inclusief de lozingen uit sanitaire



voorzieningen, de stad uitvoerde. In 4000 jaar oude gebouwen uit de Minoïsche tijd op Kreta zijn watertoiletten gevonden met afvoer naar riolen die op zee loosden. In het Bijbelboek Deutronomium worden stedelingen van Israel gemaand voor het doen van hun behoeften de stad uit te gaan, daar een kuil te graven en deze na gedane behoefte weer dicht te maken. Het drinkwater bestond in veel Bijbelse steden uit relatief veilig regenwater. Jeruzalem werd in de eeuw voor Christus door koning Herodes voorzien van een 24 kilometer lang aquaduct dat relatief schoon water de stad in bracht.

In het opgegraven Ostia Antiqua kan men nog steeds plaats nemen op een rij antieke watertoiletten. Anno 97 beschikte Rome over negen aquaducten die het water van ver buiten de stad haalden. Per hoofd van de bevolking voerden deze aquaducten dagelijks 1550 liter water aan. Ook had Rome vanaf de zesde eeuw voor het begin van onze jaartelling het achtste wereldwonder: de Cloaca Maxima. De Cloaca waren oorspronkelijk bedoeld als drainagesysteem voor de moerassen op de plaats waar nu het Forum Romanum ligt, maar de Cloaca Maxima ontwikkelden zich tot een rioolstelsel dat een deel van de in Rome geproduceerde uitwerpselen afvoerde naar de Tiber. Het Romeinse York (Engeland) beschikte over een aquaduct dat water aanvoerde uit het nabijgelegen hoogland en een rioleringsysteem dat afvalwater afvoerde naar de rivier de Ouse.

Er waren in de klassieke tijd gemengde gevoelens over rioleringen. Terugslag van het riool, waardoor vies water gebouwen instroomde, was waarschijnlijk een aanmerkelijk probleem. Dat gold ook voor de Cloaca Maxima. Als de Tiber overstroomde kwam het rioolwater de huizen in. Bovendien waren er verstoppingen met een vergelijkbaar effect. Ook gingen er horrorverhalen rond. Een voorbeeld daarvan is een door Aelianus (tweede eeuw) opgetekend verhaal over een roofzuchtige inktvis in het riool. En kennelijk fungeerde het riool als dumpplaats voor wat niet deugt. Zo werd de geëxecuteerde Sint Sebastiaan in de Cloaca Maxima gedumpt, en is bij een opgraving van een Romeins badhuis in Ashkelon gevonden dat meer dan honderd babylijkjes in het riool waren gestopt.

Met de val van het West-Romeinse rijk verviel in de regel ook het onderhoud van de riolering en aquaducten. En ook in het Oost-Romeinse rijk werd daar wel eens een potje van gemaakt. Het ergste verwijt dat de geschiedschrijver Procopius de Oost-Romeinse keizer Justinianus (zesde eeuw) maakte, is dat deze weigerde het aquaduct van Byzantium te repareren met het doel de inwoners van de stad te doden.

Middeleeuwen

In het vroegmiddeleeuwse Europa was de wijsheid van scheiding tussen uitwerpselen en watervoorziening goeddeels vergeten. Dat is mooi te zien aan het eerder genoemde York. De vroegmiddeleeuwse stad (van de Vikingen) leek nog het meest op een grote hoop compost inclusief uitwerpselen. Water werd uit de rivier de Ouse geput en uitwerpselen werden daar voor een deel weer op geloosd.

Minder extreem was de situatie in dorpen. Daar werden uitwerpselen veelal in een greppel gedeponeerd, die zich 'op een boogschot' afstand van de boerderijen bevond.

Wat later in de middeleeuwen worden in burchten 'garderobes' of 'sekreten' gebouwd, van waaruit uitwerpselen via een gat in de muur op de slotgracht kunnen worden geloosd. West-Europese studenten gaan hun uitwerpselen vanuit het raam op straat gooien en er komen latrines boven het water. Deze laatste houden in de Lage Landen een lang leven. In de vesting Boertange kan men voorbeelden daarvan zien en tot ongeveer vijftig jaar terug werden zulke latrines nog gebruikt in het Haaldersbroek (onderdeel van Zaanstad).

Tijdens de latere middeleeuwen werden in veel groeiende West-Europese steden pogingen gedaan om de situatie te verbeteren. Er kwamen meer beerputten. En er werden ophaalsystemen georganiseerd voor de in sekreten en beerputten verzamelde menselijke uitwerpselen. Deze werden buiten de stad gedumpt – of, zoals in de Lage Landen vaak het geval was, toegepast als mest in de landbouw. Deze aanpak leidde tot een aanmerkelijk infectierisico voor de betrokken werkers, en bij toepassing in de landbouw niet alleen tot hogere opbrengsten, maar ook tot recycling van ziektekiemen. Het ophaalsysteem voor uitwerpselen gaf waarschijnlijk wel minder infectieproblemen dan de vervuiling van het drinkwater door dumping van uitwerpselen in bodem en oppervlaktewater. Er kwamen voorts in veel steden verboden om uitwerpselen en ander rottend materiaal op straat te dumpen, en geboden om de straten regelmatig schoon te maken. Straten werden op ruime schaal voorzien van goten die als riolering dienden. Deze aanpak leidde, hygiënisch gezien, waarschijnlijk tot een bescheiden stap vooruit.

In de Lage Landen organiseerden veel steden vanaf de middeleeuwen inzamel-systemen voor uitwerpselen. Burgers waren ook op eigen initiatief actief. In het negentiende-eeuwse Coevorden en Roermond sloegen arme mensen hun uitwerpselen bijvoorbeeld op om deze zelf aan boeren te verkopen. Net als elders in Europa betekende dat waarschijnlijk hygiënisch een bescheiden stap vooruit. De belasting van het water met ziekteverwekkers afkomstig uit uitwerpselen, bleef echter aanzienlijk. Erger werd geruime tijd voorkomen door de sterke waterverversing in het zeer waterrijke Zeeland, Holland en Friesland. Vooral in Holland werd in de zeventiende en achttiende eeuw echter sterk ingepolderd, en dat gaf, zoals in hoofdstuk 2 uiteengezet, aanleiding tot een forse verslechtering van de waterkwaliteit.

Negentiende en twintigste eeuw

Het inzamelen van uitwerpselen bestond voor een deel in het leegscheppen van beerputten. Voor de stedelijke inzamel-systemen werden verder vaak tonnen gebruikt, maar bijvoorbeeld in Zwolle deed men tot 1870 de uitwerpselen in teilen of emmers die men buiten zette voor de ophaaldienst. Het systeem met tonnen en dergelijke voor de verzameling van uitwerpselen heeft in Nederland lang stand gehouden. In Amsterdam functioneerde het tot in de twintigste eeuw voor een deel van de hoofdstedelijke poep. Utrechtse uitwerpselen werden tot in het eerste decennium van de twintigste eeuw geëxporteerd naar Noord-Brabant, de Veluwe en de veenkoloniën. Met de menselijke mest uit de stad Groningen werden de Groningse veenkoloniën

vruchtbaar gemaakt en gehouden. Ook daar bleef het tonnensysteem tot in de twintigste eeuw in bedrijf. Zutphen had in 1963 nog 122 tonnen voor de verzameling van poep uitstaan. In Rotterdam haalde men in 1968 uitwerpselen van de 's Gravenweg in tonnen op. In Goes verdween de laatste gemeentelijke ton in 1978 en te Alkmaar in 1985.

De neergang van de ton was nauw verbonden met de opkomst van het watercloset. Waterclosetten loosden deels op beer- of zinkputten, die in toenemende mate de watertoevoer niet aankonden. Door de bijbehorende overstromingen raakte het grondwater sterk vervuild. Of de waterclosetten loosden op het oppervlaktewater. Dat was onder meer het geval in de binnenstad van Amsterdam, waar het vangen van 'drolbaarsen' in de grachten de kinderen bezig hield.

In hoofdstuk 2 is aandacht besteed aan de opkomst van rioleringen in het negentiende- en twintigste-eeuwse West-Europa. De eerste rioleringen werden ruim voor die tijd gelegd. Te Parijs werd wat nu de Boulevard Saint Michel is in de vijftiende eeuw voorzien van een ondergrondse riolering. Daarna kwam het in Parijs tot uitbreidingen van de rioleringen. De vraag waar het spul uit de Parijse rioleringen naar toe moest, werd daarbij een heet hangijzer. In 1550 wilde koning Hendrik II een aantal Parijse rioleringen laten uitmonden in de Seine. Dat ging na hevig verzet van de stedelingen niet door: de helft van de Parijzenaars was aangewezen op water uit de Seine om te koken en te drinken.

De bestaande ondergrondse rioleringsvoorzieningen waren niettemin in de achttiende eeuw de trots van de filosofen die bijdroegen aan de Verlichting. Napoleon breidde ze fors uit. En halverwege de negentiende eeuw maakte baron Haussmann een groot project van de ondergrondse riolering in het snel expanderende Parijs.

In Nederland kwam, zoals beschreven is in hoofdstuk 2, het rioleren moeizaam van de grond. In Amsterdam werd pas in 1906 serieus met de aanleg van ondergrondse rioleringen begonnen. In 1977 loosden veel Amsterdamse grachtenpanden nog altijd direct op het grachtwater. En nu is dat nog altijd het geval bij een aantal woonboten. Amsterdam was geen uitzondering. Zo schreef het jaarverslag 1948-1949 van het Rijks Instituut voor de Zuivering van Afvalwater over Elburg: 'In deze gemeente heersen nog middeleeuwse toestanden op het gebied van de afvoer van afvalwater. Gedeeltelijk wordt het gemeentelijk rioolwater op open straatgoten afgevoerd, gedeeltelijk op sterk verontreinigde grachten'. En in het jaarverslag over 1952/1953 schreef hetzelfde Instituut over de gemeente Beesd (16 000 inwoners), dat er in het geheel geen riolering was. 'fecaalstoffen komen er terecht in zinkputten, waarvan practisch geen meer werkt'.

Reinheid van bier

De drinkwatervoorziening was in West-Europa, de Lage Landen inclusief, lang beklagenswaardig. Op bescheiden schaal kwam het tot pogingen om verontreiniging van het te drinken water te beperken. Studenten in Oxford protesteerden er bijvoorbeeld tegen dat de plaatselijke bierbrouwers waterputten gebruikten die direct naast open rioleringen lagen. De Engelse koning Edward I (1272-1307) bepaalde dat het daarmee

afgelopen moest zijn, wat volgens de studenten 'de reinheid van het bier' ten goede kwam. De honderden Amsterdamse brouwers konden in de veertiende eeuw hun water nog met droge ogen uit de Amstel en de grachten halen. Maar in de vijftiende eeuw werd de kwaliteit al zo slecht gevonden dat naar ander water moest worden omgezien. Dat water werd in de eeuwen daarna vaak uit de Vecht gehaald. Brouwers en bemiddelde burgers werden belangrijke afnemers van Vechtwater. Benutting van Vechtwater duurde tot ver in de negentiende eeuw. Ook werd veel gebruik gemaakt van opgevangen regenwater. In de achttiende eeuw werden door de gemeente Amsterdam reservoirs gebouwd om daarmee droge perioden door te komen.

Aan het eind van de achttiende eeuw werd in de 'Verzameling van stukken betrekkelijk de instelling eener Commissie van Geneeskundig Toezicht te Amsterdam' vastgesteld dat de hygiëne belabberd was. Inderdaad waren er in Amsterdam veelvuldig dysenterie- en tyfusepidemieën, waarbij slechte hygiëne en slecht water een belangrijke rol speelden. Maar de constatering dat de situatie belabberd was, leidde tot niets. Elders in Nederland was dat niet anders. De beperkt beschikbare cijfers wijzen erop dat gedurende de achttiende eeuw tyfus- en dysenterie-epidemieën in Nederlandse steden en dorpen schering en inslag waren, waarbij vooral de armen zwaar werden getroffen. Maar het bleef zoals het was.

Cholera

Gedurende de negentiende eeuw waren er in West-Europa, waaronder Nederland, cholera-epidemieën. Deze vormden een onderdeel van wereldwijde epidemieën die hun oorsprong in Azië hadden. Cholera ('Aziatische braakloop' of 'klere' in de volksmond) leidde vaak tot een 'blauwe dood', vernoemd naar blauw verkleurde ledematen van de overledene.

Het is aannemelijk dat de oorsprong van deze cholera-epidemieën grotendeels terugging op de besmetting van plankton en vervolgens 'zeebanket', zoals oesters, garnalen, krabben en vissen. Ook trad overbrenging van cholera door bootslieden op. Eenmaal 'aangeland', verliep de verspreiding voor een belangrijk deel via het drinkwater, vooral putwater en oppervlaktewater. Het duurde lang voordat men dat goed doorkeeg. Een belangrijke factor was dat de medische stand in Nederland sterk werd beïnvloed door de theorieën van de Duitse professor Pettenkofer, die meende dat cholera niet door drinkwater wordt verspreid.

In de jaren 1830 kregen 'de armen' de schuld van de cholera en werden tijdens epidemieën kermissen verboden. De Commissaris van de Koningin in Overijssel kwam in 1849 met de volgende raad: 'Bij den Aziatischen braakloop oefent de zielsgesteldheid eenen grooten invloed uit. Men vermijde al te sterke inspanningen van den geest en trachte steeds alle hevige gemoedsaandoeningen als angst, vrees, kommer, toorn enz. zorgvuldig voor te komen'. In 1866 waarschuwde de Amsterdamse Cholera-commissie (ten onrechte) tegen het eten van pruimen. De Zwolse pastoor Roelofs had in datzelfde jaar een andere verklaring 'Er is (...) geconstateerd, dat de aangetasten door de cholera voor het merendeel dronkaards of lieden van een slechten levenswandel waren'. In 1867 stelde de Delftse hoogleraar Vogelsang vast: 'Men heeft volgens den tegenwoordigen stand van den wetenschap volkomen het recht, om de uitbrei-



ding van vele epidemieën, en waarschijnlijk ook van de cholera, op eene zuiver stoffelijke infectie door lage organismen terug te voeren. Dat het drinkwater voor zulke organismen een zeer geschikt verspreidingsmiddel is, kan men niet loochenen'. Maar een goed deel van de burgerij loochende dat volgens professor Vogelsang wel. Zij stonden op het standpunt: 'Onze vaders en grootvaders zijn met dezelfde grachten, dezelfde putten en dezelfde huizen gezond gebleven en oud geworden'.

In 1884 toonde Robert Koch spijkerhard het causale verband aan tussen cholera en infectie met de cholera-bacterie (*Vibrio cholerae*) die voorkwam in drinkwater. In Nederland was er de onvermijdelijke Staatscommissie voor nodig om dat te bevestigen. In 1897 werd door deze Staatscommissie gewag gemaakt van een onderzoek waarbij tien jaar lang mensen werden vergeleken die met fecaliën vervuild oppervlaktewater dronken dan wel regenwater consumeerden. In de eerste groep werden 81 gevallen van cholera geconstateerd en in de tweede één. Ook van andere infectieziekten, zoals tyfus en dysenterie, kwam vast te staan dat ze in belangrijke, tot overweldigende, mate te wijten waren aan slecht drinkwater.

In drinkwater voorkomende ziektekiemen eisten gedurende de negentiende eeuw grote aantallen slachtoffers. In een betrekkelijk kleine stad als Leiden overleden in de negentiende eeuw bijvoorbeeld meer dan 3000 mensen aan cholera. Tijdens de cholera-epidemie van 1866-1867 stierf in Amsterdam 9,6% van de inwoners van de Jordaan. Het totale aantal dodelijke choleraslachtoffers beliep in het negentiende-eeuwse Nederland meer dan 65 000. Ook andere, door slecht drinkwater veroorzaakte, darminfecties kwamen veel voor. Tyfusepidemieën troffen in 1841 Assen, in 1856 Groningen, in 1863 Leeuwarden, in 1865 Maassluis en in 1883 Leiden. Tijdens de droogte van 1868 werd in Zeeland Maaswater uit de buurt van Rotterdam aangevoerd. De veelvuldige diarree die daardoor ontstond, werd als 'de Rotterdammer' aangeduid. In 1880 werd 6,4% van de sterfte in Nederland toegeschreven aan 'diarreeziekten'.

De bewoners van Nederlandse steden liepen vanwege het relatieve slechte drinkwater in de negentiende eeuw een verhoudingsgewijs grote kans op cholera en andere darminfecties. Elders in Europa was men vaak verder met de beveiliging van de drinkwatervoorziening. Parijs had sinds 1806 een grote installatie voor het filtreren van Seinewater. Vanaf 1823 werd geheel Toulouse van gefiltreerd water voorzien. In 1830 beschikte in Londen ongeveer een derde van de woningen over relatief veilig gefiltreerd drinkwater.

De cholera-epidemieën maakten indruk. De daden van de overheden liepen echter sterk uiteen. Het meest alert was de regering van het Verenigd Koninkrijk. Deze alertheid had mede zijn oorzaak in de hoge uitgaven die van overheidswege moesten worden gedaan voor de arme choleralijders.

De Publieke Gezondheidswet van 1848 regelde voor Engeland dat wanneer de jaarlijkse sterfte boven de 23 per duizend kwam, maatregelen moesten worden genomen om de sterfte onder dat niveau te krijgen. De te nemen maatregelen waren gefocust op de aanleg van waterleidingen, die steeds water konden leveren, de aanleg

van riolen en de recycling van afval. Aanvankelijk was de Publieke Gezondheidswet nog vaag wat betreft de daadwerkelijke verplichtingen van overheden, maar na een aanscherping in 1878 verdween elke vrijblijvendheid.

Een studie liet zien dat in alle grotere Nederlandse steden gedurende de periode 1865-1872 de sterfte veel hoger lag dan 23 per duizend, maar de reactie van de regering daarop was lauw. Het hoogst lag de jaarlijkse sterfte in Dordrecht (gemiddeld meer dan 35 per duizend), waar de uitwerpselen in, en het drinkwater uit, de rivier kwamen.

In de periode na 1851 kwam het tot een serie internationale sanitaire conferenties in Europese hoofdsteden. Deze werden gedomineerd door Europese landen en de nadruk lag sterk op het creëren van een 'fort Europa' dat de 'Aziatische braakkloop' buiten de deur moest houden. Veel aandacht werd besteed aan scherpe controles bij het Suez-kanaal, dat snel transport tussen Azië en Europa mogelijk maakte. En er werd veel gesproken over de jaarlijkse hadj van moslims naar Mekka, die als belangrijke aanjager voor de verspreiding van cholera werd gezien. De Engelse arts W.J. Simpson vatte dat zo samen: 'Mekka is naar mijn mening voor Europa een gevaarlijke plaats en een permanente bedreiging voor het Westen'.

Waterleiding

In Nederland veranderde cholera zeer geleidelijk de opstelling van de lokale overheden tegenover een publieke drinkwater- en rioleringsvoorziening. Deze verandering werd versterkt door een groeiende interesse van de meer gegoede burgerij voor wassen en baden, waarover verderop meer. De drinkwatervoorziening profiteerde daarvan het meest. De eerste stap bij cholera-epidemieën van overheidswege was het gratis verstrekken van drinkwater. Dat hielp echter onvoldoende. De gemeente Breda zocht de oplossing daarvoor in petroleum. Dit werd in de grachten gegooid, om de burgerij af te houden van het drinken van grachtwater. Anderen zochten het in een betere distributie van betrouwbaar water. Daardoor kwam de ontwikkeling op gang die het overgrote deel van de drinkwaterverzorging in handen bracht van drinkwaterbedrijven die het water intensief zuiveren. Gedurende de periode 1850 tot 1910 ziet men in alle grotere Nederlandse steden initiatieven om tot een centrale drinkwatervoorziening via waterleidingen te komen. Den Helder kreeg in 1856 een dergelijke voorziening, den Haag in 1874, Leiden in 1878, Nijmegen in 1879 en Utrecht in 1883. Het daarvoor benodigde water moest vaak over flinke afstanden worden aangevoerd. Utrecht haalde water uit de Utrechtse heuvelrug. Amsterdam, dat in 1853 zijn eigen waterleiding kreeg, moest een pijpleiding leggen naar de 'Waterleidingduinen'. In 1866 had de Amsterdamse duinwaterleiding 8505 abonnees en 56 tappunten, waar men emmers duinwater kon halen. Rond 1900 kreeg ongeveer 59% van de Nederlanders water uit het waterleidingnet.

Bij de zesde choleraepidemie die Nederland in 1909 bereikte, vielen nog steeds mensen ten prooi aan de 'blauwe dood', onder meer in Amsterdam, Rotterdam, Zevenbergen, Jaarsveld, Uithoorn, Breda, Gorkum, Utrecht, Tholen, Middelburg, Vlaardingen, Hattum, Dirksland, Hansweert en Lopik. Maar de aantallen getroffen waren wel veel lager dan in de negentiende eeuw. De sterfte door tyfus daalde in de periode 1880 tot 1917 met ongeveer een factor drie.



De uitbreiding van de Nederlandse openbare drinkwatervoorziening verliep langzaam. Tot ver in de twintigste eeuw bleven flinke gebieden ervan verstoken. Spijkenisse was bijvoorbeeld in 1945 niet aangesloten op het openbare drinkwaternet. Vooral ook daardoor brak in dat jaar een tyfusepidemie uit die zestien dodelijke slachtoffers eiste. Dat gaf de stoot tot aansluiting van Spijkenisse op de Rotterdamse drinkwaterleiding. Vooral op het platteland was het aantal aansluitingen op het drinkwaternet gering. In 1951 was het percentage niet-aangeslotenen in Drente 63,7, in Friesland 40,4 en in Gelderland 40,3. Op het eiland Texel werd pas in 1954 overgestapt op een openbare drinkwatervoorziening. In 1963 had nog altijd 1 op de 25 Nederlanders geen aansluiting op het leidingwaternet.

Waterreiniging

De beveiliging van het openbare drinkwater was in eerste aanleg een zaak van goede reiniging. Sedimentatie, ontijzering en filtratie werden veel toegepast. In de duinen ging het bijvoorbeeld om langzame zandfiltratie. Later kwamen daar aanvullende behandelingen bij. Een daarvan was desinfectie. Chloor voor desinfectie van openbaar drinkwater werd, voor zover bekend, het eerst ter wereld gebruikt in het Belgische Middelkerke, in 1902. In de Eerste Wereldoorlog werd de toepassing van chloor in West-Europa sterk vergroot. Het was goedkoper dan andere methoden om infectieuze micro-organismen te bestrijden en kapot gebombardeerde waterleidingen konden er goed mee worden ontsmet. Grootschalige chloortoepassing in Nederland kwam in de jaren dertig van de grond. Nice was in 1906 de eerste stad waar water werd gedesinfecteerd met ozon. Breda, Rotterdam en Weesp hoorden tot de vroege navolgers van ozonbehandeling.

Beide typen behandeling, met chloor en met ozon, worden nog altijd op grote schaal toegepast. Desinfectie kan aanleiding geven tot de vorming van bezwaarlijke stoffen in het water, maar de nadelen daarvan wegen niet op tegen de voordelen van desinfectie.

De minste bezwaren heeft in Nederland de desinfectie met de combinatie van ultraviolette straling en ozon. De bezwaarlijke stoffen die bij behandeling met desinfectiemiddelen worden gevormd, komen later in dit hoofdstuk aan de orde.

De baten van een goed werkende centrale drinkwatervoorziening waren en zijn enorm. Vanuit gezondheidsoogpunt heeft deze, samen met handen wassen en de aanleg van goede sanitaire voorzieningen, gezorgd voor de grootste stap voorwaarts in gezondheid van de bevolking uit de Nederlandse geschiedenis. Niet alleen werden in Nederland infectieziekten als dysenterie, cholera en tyfus er adequaat mee bestreden, ook de algemene gezondheidstoestand knapte ervan op. Dit hing waarschijnlijk samen met de verminderde nasleep van infectieziekten, bestaande in een verminderde afweer tegen andere infectieziekten en hart-, nier- en leveraandoeningen. Wel was het aanleggen van de drinkwaterleidingen niet noodzakelijk een onverdeeld genoeg. Doordat privéputten voor drinkwatervoorziening niet meer of minder benut werden, steeg her en der de grondwaterstand. Dit kon woningen vochtiger maken en dat was weer nadelig voor de gezondheid van de bewoners.

Bescherming waterwingebieden

De waterwingebieden moesten goed beschermd worden. Een belangrijk incident dat veel heeft bijgedragen aan de daadwerkelijke bescherming dateert van 1919 en vond plaats in het Duitse Pforzheim. Daar werd drinkwater verontreinigd met de bacterie die tyfus veroorzaakt (*Salmonella typhi*) doordat op bevroren akkers, die deel uitmaakten van een waterwingebied, menselijke uitwerpselen bij wijze van meststof werden uitgereden. Het resultaat: 4000 gevallen van tyfus en 400 doden. Deze ramp werd in West-Europa een belangrijke factor bij het ontstaan van drinkwaterbeschermingsgebieden en gaf ook een impuls aan de rioolwaterzuivering. In Nederland duurde het overigens lang voordat deze impuls doorwerkte in een adequate zuivering van het rioolwater, zoals in hoofdstuk 2 is beschreven.

Nederland en andere industrielanden beschikken nu over een goed beveiligd openbaar drinkwaternet, dat het overgrote deel van de bewoners bedient. Darminfecties die traditioneel via drinkwater werden verspreid, zijn daardoor drastisch teruggedrongen. En tegen veel recent in de belangstelling gekomen soorten infecties die het drinkwater kunnen besmetten (zoals rotavirussen, calcivirussen, astrovirussen, norovirussen, *Campylobacter*, *Escherichia coli*, *Yersinia*, *Giardia*, *Cryptosporidium* en *microsporidia*) zijn de Nederlandse openbare drinkwaterbedrijven goed gewapend. Filtratie door zand en de toepassing van ontsmetting door ultraviolette straling en ontsmettingsmiddelen als ozon zorgen daarvoor.

Niet alleen organismen, ook door organismen geproduceerde toxinen kunnen overigens gezondheidsschade veroorzaken. Afdoende voorzieningen tegen deze toxinen zijn geen sinecure. Standaardmethoden voor drinkwaterbereiding zoals de combinatie van uitvlokken, filtreren (door zand) en chloreren zijn bijvoorbeeld niet toereikend. Behandeling met ozon en actieve kool kunnen dat wel zijn. Deze worden in Nederland vaak ingezet.

Geen 100% veiligheid

Ondanks de veiligheidsvoorzieningen die in industrielanden als Nederland gebruikelijk zijn, is de openbare drinkwatervoorziening niet 100% veilig. Een illustratie daarvan vormt de *Legionella*-bacterie die vooral goed gedijt wanneer water langere tijd op temperaturen tussen de 30 en 40°C wordt gehouden. Bij langdurige stilstand van het water kan het aantal *Legionella*-bacteriën in het water uit de kraan of douche hoog oplopen. Deze bacteriën kunnen, wanneer ze in fijne waterdruppels rondvliegen, longontsteking of een soort griep ('Pontiac koorts') veroorzaken. Fijne waterdruppels kunnen ontstaan bij douchen, uit bubbelbaden, bij koeltorens, door airconditioning en door het 'misten' van kassen. De eerste spectaculaire besmetting door deze bacterie vond plaats in 1976, tijdens een bijeenkomst van Amerikaanse oorlogsveteranen in een hotel te Philadelphia. In Nederland geniet de *Legionella*-bacterie ruime bekendheid door een besmetting van een bubbelbad op de Westfriese Flora van 1999, die 28 dodelijke slachtoffers eiste. In het zelfde jaar werd de jaarmarkt te Kapellen (België) getroffen door een *Legionellabesmetting*, waarschijnlijk veroorzaakt door een whirlpool, met als gevolg vijf dodelijke slachtoffers. Het overgrote deel van de

Legionellabesmettingen heeft een meer individueel karakter. Wereldwijd bekeken zijn er opvallend veel besmettingen rond koeltorens en in kuuroorden. Wanneer men water vijf minuten op 60°C houdt, verdwijnt het risico van Legionellabesmetting. Naast Legionella zijn er ook andere bacteriesoorten die goed aarden in water van 30 tot 40 graden Celsius. Het gaat daarbij om Pseudomonas-soorten, waaronder de Pseudomonas aeruginosa, en Mycobacteriën. Tot de laatste behoort de Mycobacterium avium. Deze kan uitstekend tegen chloor. Wanneer veel chloor wordt gebruikt om het water bacterievrij te krijgen, is de kans groot dat juist deze bacterie veel voorkomt. Ook sommige amoeben, zoals de Naegleria fowleri, doen het prima in water van 30 tot 40°C. Deze micro-organismen vormen soms een probleem in de openbare watervoorziening van industrielanden. Vooral mensen die over een minder goed functionerend afweersysteem beschikken, kunnen er slecht tegen. Ook de Helicobacter bacterie, die maagzweren kan veroorzaken, wordt wel in openbare waterleidingssystemen aangetroffen.

Particuliere putten

In industrielanden is niet iedereen aangesloten op het openbare drinkwaternet. In de Verenigde Staten heeft bijvoorbeeld ongeveer 2% van de burgers geen aansluiting en in Canada 13%. De particuliere watervoorziening is in doorsnee veel minder goed beschermd tegen ziekteverwekkers dan de openbare. Onderzoek in Engeland en Wales heeft laten zien dat de kans op een darminfectie via water uit een particuliere put tot ongeveer 35 maal zo groot is als bij aansluiting op het publieke drinkwaternet. Een in 2005 gepubliceerd onderzoek liet zien dat het water op een aantal 'campings bij de boer' in Nederland besmet was met de bacterie Escherichia coli O157:H7. Deze bacterie kan in diverse soorten dieren huizen, zonder dat de dieren er ziek van raken. Op 'campings bij de boer' wordt de bacterie waarschijnlijk vooral verspreid door melkvee. Escherichia coli O157 H7 is er in verschillende varianten. De laatste tien jaar is het aandeel van de meer gevaarlijke varianten bij infecties door deze bacterie groter geworden. De infecties kunnen vooral bij bejaarden en kinderen onder de vijf jaar een zeer ernstige vorm van diarree veroorzaken, evenals ernstige nierschade en vernietiging van bloedlichaampjes.

Een wereldwijd sterk opkomende infectieziekte, die deels via drinkwater wordt verspreid, heeft als veroorzaker het protozoön Cryptosporidium. Het is waarschijnlijk dat opwarming van het klimaat de kans op een infectie met Cryptosporidium doet toenemen. Het protozoön slipt door rioolwaterzuiveringsinstallaties heen. Gevaarlijke varianten van dit protozoön deelt de mens met een aantal dieren, waaronder ganzen, herten, katten, schapen en runderen. In de Verenigde Staten veroorzaakt Cryptosporidium jaarlijks veel infecties via het drinken van water uit particuliere putten die besmet zijn met het protozoön. Cijfers over de kans op zo'n infectie in Nederland ontbreken.

Al zijn infectieproblemen niet geheel verdwenen, het drinkwater in industrielanden is op het punt van levende ziekteverwekkers nu zo sterk verbeterd, dat een aantal onderzoekers daarover bezorgd is. In de afgelopen decennia trad een sterke toename

op van ernstige allergieën, waaronder astma, bij kinderen. Een sinds 1989 populaire verklaring daarvoor is de hygiënehypothese. Deze schrijft de toegenomen kans op ernstige allergieën toe aan een afgenomen contact met ziekteverwekkers. Het is echter extreem onwaarschijnlijk dat de afgenomen besmetting van drinkwater daaraan een bijdrage heeft geleverd. Het totstandkomen van een sterk verbeterde drinkwatervoorziening ging in industrielanden lang vooraf aan de stijgende kans op ernstige allergieën.

Recht op goed drinkwater

Het grote belang van gezond drinkwater heeft ertoe geleid dat inmiddels een flink aantal conventies, verdragen en een resolutie van de Verenigde Naties, recht op goed drinkwater (verkrijgbaar tegen redelijke kosten) tot de mensenrechten rekent. Het tot gelding laten komen van dit mensenrecht gaat niet altijd over rozen. Op het ogenblik zitten nog ongeveer een miljard mensen zonder tenminste fatsoenlijk drinkwater. De voor de hand liggende oplossing voor het veilig stellen van dit recht is een als openbaar nutsbedrijf georganiseerd waterleidingsstelsel, zoals we dat ook in Nederland hebben gekregen. De grondlegger van het liberalisme John Stuart Mill onderstreepte dat in zijn uit de jaren 1840 daterende *Principles in Political Economy*. Hij achtte een publiek nutsbedrijf beter dan watervoorziening door private bedrijven. Veel lokale liberale bestuurders in landen als Engeland, Duitsland en Nederland waren het met hem eens. Hun opvatting wordt gesteund door onderzoeken die laten zien dat een goed werkend publiek nutsbedrijf inderdaad relatief lage kosten heeft. Het beste voorbeeld van een goed werkend publiek waterbedrijf is thans vermoedelijk dat van Singapore, dat ook voorziet in hoogwaardig hergebruik van verbruikt water en sterke stimulansen voor zuinigheid.

Het functioneren van systemen voor openbare watervoorziening in ontwikkelende landen is vaak problematisch. Goed functioneren is namelijk gebonden aan een aantal voorwaarden. Het gebruik moet kostendekkend zijn, corruptie moet afwezig zijn, en politici moeten de bedrijfsvoering vooral met rust laten. In de praktijk wordt vaak niet aan deze voorwaarden voldaan.

Corruptie en watercriminaliteit komen vaak voor. In grote delen van India wordt massaal geknoeid met de meterstanden. Aannemers die werken voor nutsbedrijven in de Indiase watersector moeten er veelal op rekenen dat ze 20 tot 30% van de met de opdracht gemoeide gelden als steekpenningen betalen. Dergelijke percentages zijn ook gebruikelijk in Afrika. In diverse Mexicaanse plaatsen komen alleen leden van de regerende partij in aanmerking voor aansluiting op de waterleiding. Ook het benoemen van incompetent politieke vrienden en politieke bemoeienissen die leiden tot financiële tekorten, zijn frequente problemen. In veel derdewereldsteden voldoet het publieke waterbedrijf dan ook niet. In grote Afrikaanse steden zit tot wel 85% van de bevolking zonder aansluiting op de openbare watervoorziening. In de Zuid-Soedanese stad Juba wordt daarom bijvoorbeeld het overgrote deel van de bevolking voorzien met ongezuiverd ondiep grondwater en Nijlwater. Met als gevolg: regelmatige cholera-epidemieën.

In Jakarta hebben alleen de huizen in de wijken van de rijken en goed betalende bedrijven kranen met aansluiting op het drinkwaternet - net als in de tijd van het Nederlandse koloniale bestuur. Rond de vier miljoen mensen in Jakarta zijn niet aangesloten op de publieke watervoorziening. Zij pompen voor een belangrijk deel zelf water op. De bodem daalt daardoor in rap tempo, en de kwaliteit van het opgepompte water is vaak slecht. Andere inwoners van Jakarta kopen drinkwater van particulieren. Deze groep kampt met een sterk verhoogde kans op darminfecties en de bijbehorende kindersterfte, en is ook nog eens duurder uit dan bij een goede openbare watervoorziening.

In veel derdewereldsteden is sprake van 'spaghettisering' van het openbare waterleidingsysteem: de aanleg van grote aantallen leidingen waarmee particulieren illegaal water aftappen. Vaak 'verdwijnt' daardoor tot 40% van het in het net gepompte water. Deze situatie kan in de regel voortbestaan dankzij steekpenningen. Particulieren die over een illegaal aftappunt voor water beschikken, verkopen het water daarvan vaak weer door. In een stad als New Delhi is een watermafia ontstaan, die georganiseerd water steelt uit de openbare waterleiding en dit duur verkoopt in de krottenwijken. Mensen in krottenwijken betalen voor het water veelal een veelvoud van wat stedelingen betalen die legaal aangesloten zijn op de drinkwaterleiding. In Port au Prince (Haïti) betaalden, voor de aardbeving van 2010, de armen gemiddeld ongeveer twaalf maal zo veel per liter water als de rijken die waren aangesloten op het leidingnet. Niet zelden gaat in krottenwijken tot 25% van het inkomen op aan de inkoop van water. In Abuja (Nigeria) is een groot gezin tot 40% van het inkomen kwijt aan drinkwater. Zelfs als er voor de armen een systeem is met hydranten (watertappunten) aangesloten op het openbare leidingnet moet het water vaak duur worden betaald. In Jakarta, waar zulke publieke hydranten staan, betalen arme gebruikers tot 20% van hun inkomen voor het tappen van water.

Slecht onderhoud leidt ook vaak tot lekkages. Daardoor stroomt een deel van het leidingwater weg uit het waterleidingsysteem, en op plaatsen waar de waterdruk laag is stroomt bij lekkage vaak vervuild grondwater in de waterleiding, wat de kwaliteit van het leidingwater verslechtert. Op basis van onderzoeken aan de watervoorziening van Harare, de hoofdstad van Zimbabwe, wordt geschat dat daar 40 tot 80% van het geproduceerde drinkwater 'weglekt' uit de openbare drinkwatervoorziening en dat wat in de leidingen zit van bedenkelijke kwaliteit is. Volgens onderzoek in Calcutta komen door lekkage in 63% van de watermonsters genomen uit gemeenschappelijke buurtkranen en 20% van de watermonsters genomen uit kranen in ziekenhuizen, bacteriën voor die wijzen op verontreiniging met menselijke uitwerpselen. Het komt voor dat de lekkages zo groot zijn dat er helemaal geen water meer uit de kraan komt. Dat is bijvoorbeeld het geval in Port Moresby (Nieuw Guinea) waar de openbare waterleiding wordt gesaboteerd door bendes die gelieerd zijn aan de private waterverkopers. Mensen aan het uiteinden van het waterleidingsysteem van Port Moresby zagen zich daardoor genoopt 's nachts water te tappen uit kapotte hoofdwaterleidingen, wat de fitheid overdag niet ten goede komt. Maar het kan nog erger. In Zimbabwe werd in 2008 vanwege geldtekort de openbare drinkwatervoorziening gestaakt. Vervolgens werden putten geslagen om aan water te komen. Deze waren

echter van boven niet of slecht afgeschermd zodat bij regen de putten volliepen met water dat besmet was met ziekteverwekkers. Het gevolg: een sterke uitbreiding van darminfecties, inclusief een cholera-epidemie.

Privatisering van drinkwaterbedrijven

Het voordeel van de drinkwatervoorziening als onderdeel van de openbare nutsvoorziening raakte gedurende de late twintigste eeuw in industrielanden principieel sterk betwist. In Engeland kwam het daarom onder premier Thatcher tot privatisering van de drinkwaterbedrijven. En de Wereldbank droeg de zegeningen daarvan gedurende de jaren 90 uit over de rest van de wereld. In 1990 beliep wereldwijd het aantal mensen aangesloten op het waterleidingsstelsel van een particulier bedrijf 51 miljoen, in 2000 was dat 460 miljoen. Voor de periode tot 2015 wordt door de Wereldbank voor de private watervoorziening een groei voorzien tot ruim 1,2 miljard aangesloten mensen.

Inmiddels heeft de privatisering van de watervoorziening geleid tot de eerste 'drinkwateroorlog'. Deze vond plaats in Cochabamba (Bolivia). Daar ontstond de 'oorlog' in 2000 toen de Boliviaanse regering de watervoorziening privatiseerde en daarvoor een contract sloot met de firma Bechtel. Deze verhoogde de tarieven met ruwweg een factor 2. Er kwamen blokkades, een algemenestaking (motto: het water is van ons, verdomme) en in veldslagen met de politie en het leger vielen honderd gewonden en één dode. Uiteindelijk moest de Boliviaanse regering bakzeil halen. Voor de waterdrinker in Cochabamba heeft de drinkwateroorlog niet al te veel opgeleverd. Het drinkwaterbedrijf is nauwelijks minder corrupt geworden en met het aansluiten van armen op het leidingwater net zijn maar weinig vorderingen gemaakt. Wel zijn er in het arme deel van Cochabamba coöperaties ontstaan die nu eigen waterleidingssystemen beheren. Deze zullen echter waarschijnlijk geen lang leven hebben. Het grondwater dat zij tappen raakt zeer snel uitgeput.

In 2002, toen de Nederlandse kroonprins tijdens het 'Watergala' van de Wereldtop in Johannesburg over duurzame ontwikkeling de publiek-private samenwerking bij de watervoorziening aanpreef, was het praktisch voor de deur van het bijbehorende chique congrescentrum niet in orde. Privatisering van de Zuid-Afrikaanse watervoorziening leidde namelijk tegelijkertijd tot het massaal afsluiten van klanten. De toevlucht tot water van slechte kwaliteit die daarvan het gevolg was, gaf onder meer de aanzet tot een cholera-epidemie, met 140 000 zieken.

Niettemin, in omstandigheden waarin het openbare waterbedrijf slecht functioneert, is het redelijk om aan het alternatief van een private drinkwatervoorziening te denken.

Corruptie

Corruptie is een gangbare reden voor een slecht functionerend overheidsbedrijf. Helaas houdt de corruptie niet op bij de overheid. De private watervoorziening blijft eveneens gevoelig voor corruptie. Zo werden private watervoorzieningssystemen in Jakarta en Ghana afgeblazen vanwege klachten over extreme vormen van corruptie en ontsloeg het wereldwijd belangrijkste bedrijf voor particuliere watervoorziening (nu Veolia Water) een van zijn managers vanwege 'diefstal en corruptie'. Een belangrijk



probleem in de praktijk is ook dat overheidsinstanties die toezicht moeten houden op de private bedrijven, door incompetentie de bedrijven in kwestie reuzewinsten bezorgen of belemmeren in een goede bedrijfsvoering, met veelal als gevolg: publieke commotie.

In 2004 was een derde van de contracten voor particuliere waterleidingen al weer opgezegd. In ontwikkelingslanden waait de wind dan ook deels weer een andere kant uit. Een spectaculair voorbeeld daarvan levert de hoofdstad van Cambodja, Phnom Phen, waar in een verrassend hoog tempo de elders gebruikelijke misstanden rond de watervoorziening, zoals corruptie, lekkages en uiterst beperkte voorziening, kras zijn verminderd. De hoeveelheid water die *niet* bij betalende klanten beland, is daar nu minder dan 10%, en dat is een lager percentage dan in Londen of Tokyo. Helaas is Phnom Phen eerder de uitzondering dan de regel.

Sanitaire voorzieningen

De verbetering van de sanitaire voorzieningen, die in hoofdstuk 2 aan de orde kwam, liep in de industrielanden in de regel achter op de verbetering van de drinkwatervoorziening. Dat was ook in de Lage Landen zo. Rond 1900, toen de Amsterdamse drinkwatervoorziening in aanzienlijke mate veilig was gesteld, was de voorziening met sanitair nog altijd slecht. De latere wethouder Wibaut meldde na een bezoek aan de Wittenburgergracht onthutst dat daar 12 gezinnen over één privaat beschikten. En hij had het nog redelijk getroffen. Heel wat Amsterdamse gezinnen hadden zelfs geen gezamenlijk privaat.

In veel ontwikkelende landen is het nu beduidend slechter gesteld met de behandeling van uitwerpselen dan met de drinkwatervoorziening. Naar schatting 2,6 miljard mensen beschikt niet over een fatsoenlijke toiletvoorziening. Een fatsoenlijke voorziening omvat niet alleen een toilet of latrine, maar ook een voorziening om de uitwerpselen redelijk adequaat te behandelen. (Het tonnensysteem dat Nederland had, hoort bijvoorbeeld in deze categorie).

Op het Afrikaanse platteland daalde volgens de officiële statistieken tussen 1990 en 2000 het percentage mensen dat beschikte over sanitaire voorzieningen. In Uganda heeft maar 40% van de ziekenhuizen een functionerende latrine. In de sloppenwijken van Nairobi en Mumbai is er één latrine op vele honderden bewoners. En dat werkt niet, ook al niet omdat bij stortbuien de uitwerpselen alsnog wegspoelen en omdat het ophalen van uitwerpselen te wensen overlaat. De Millenniumdoelstelling: het halveren van het aantal mensen zonder adequate sanitaire voorziening in 2015, wordt niet gehaald. De realisatie van nieuwe latrines is uitermate bescheiden en de ontwikkeling van min of meer adequate voorzieningen voor de behandeling van verzamelde uitwerpselen blijft daar nog sterk bij achter.

In derdewereldlanden steken cholera-epidemieën nog regelmatig de kop op. De laatste pandemie begon rond 1961 in Indonesië. Rond 1970 bereikte deze Afrika en in de vroege jaren 1990 Zuid-Amerika. In flinke delen van Afrika en Azië is cholera 'endemisch', een blijvend risico. Wereldwijd loopt het aantal gevallen van cholera jaarlijks nog altijd in de miljoenen.

Ook andere infectieziekten dan cholera, die samenhangen met slecht drinkwater en sanitair, zijn in derdewereldlanden belangrijk. Er zijn daar jaarlijks meer dan 3,5 miljard ziektegevallen die samenhangen met tekort schietende drinkwatervoorziening en sanitair. Het aantal daarmee gelieerde sterfgevallen ligt jaarlijks tussen de twee en tien miljoen. En naast acute aandoeningen veroorzaken het ontbreken van goede sanitaire voorzieningen en drinkwater ook veel chronische infecties, zoals bijvoorbeeld met hepatitisvirussen. Ook in een relatief ontwikkeld ontwikkelingsland land als India zijn de problemen nog altijd groot. Weliswaar heeft Mahatma Gandhi ooit gezegd dat goede sanitaire voorzieningen belangrijker zijn dan onafhankelijkheid, maar het laatste is wel en het eerste niet gerealiseerd. Zodoende wordt nog altijd ongeveer 9% van de ziektelast in India toegeschreven aan structurele problemen met drinkwater en sanitair.

De ongeveer 50 miljoen reizigers afkomstig uit industrielanden die ontwikkelingslanden bezoeken, ondervinden eveneens de gevolgen van te weinig scheiding tussen uitwerpselen en drinkwater. Naar schatting 30 tot 40% van deze reizigers wordt getroffen door reizigersdiarree, ook wel de wraak van Montezuma geheten. Meestal is de diarree kortdurend. Maar bij ongeveer 10% van de zieken kan er een lange nasleep zijn. Ongeveer 1% van degenen die de wraak van Montezuma ondervinden, heeft na vier maanden nog steeds diarree, en ongeveer 10% ontwikkelt gemakkelijk geïrriteerd rakende ingewanden (met vlagen van diarree als gevolg).

Calamiteiten

Calamiteiten kunnen de bestaande voorzieningen voor drinkwater en sanitair zo ontregelen, dat in drinkwater aanwezige infectieuze micro-organismen weer, of sterk verhevigd, hun kop opsteken. Gedurende de oorlog in Bosnië (jaren negentig) waren er verschillende tyfusepidemieën. Tijdens de Tweede Golfoorlog (2003) werden diverse Iraakse steden getroffen door een epidemie van darminfecties. Ook de Amerikaanse soldaten ontkwamen niet aan dit gevolg van de oorlog: 77% van de Amerikaanse soldaten die in Irak dienst deden, meldden dat ze in hun dienstperiode tenminste één keer werden getroffen door zware diarree.

Een ander voorbeeld van een sterk verhoogde infectiekans bij calamiteiten leverde de overstroming van grote delen van Bangladesh in 1998. Door deze overstroming, die op sommige plaatsen tot 75 dagen aanhield, werden in totaal meer dan 30 miljoen mensen in 5 miljoen huizen getroffen. De tol in de vorm van door infecties veroorzaakte diarree was 400 000 zieken, waarvan er 500 overleden. Na de aardbeving in Kashmir (2005) werden de vluchtelingenkampen geteisterd door een via drinkwater verspreid rotavirus: 20% van de kinderen onder de vier werd ernstig ziek. Iets dergelijks zien we veelvuldig in andere vluchtelingenkampen buiten industrielanden. Bij gedocumenteerde massale vluchtelingenstromen in Somalië (1980), Malawi (1988), Turkije (1991), Ethiopië (1992) en Oost-Congo (1994) ging de sterftekans met een factor 16,5 tot 60 omhoog en had diarree een aandeel van 28 tot 85% in de sterfte.



8.2 Wassen en baden

Voorzieningen voor het wassen en baden zijn oud. De ongeveer 4500 jaar oude stad Mohenjo-Daro in de Indusvallei had huizen voorzien van badkamers. 4000 jaar geleden badde men welgestelde Babyloniërs veelvuldig, onder gebruikmaking van zeep. Helden en welgestelden konden in de klassieke Griekse tijd moeilijk zonder bad. In de boeken van de schrijver Homerus hadden de helden draagbare baden, die ze na veldslagen benutten. Thuis hadden ze vaste badkuipen. Een belangrijk element in de Homerische gastvrijheid was het aanbieden van een bad aan gasten na hun reis. De Spartanen beroemden zich op hun sauna's. De Griekse arts Hippocrates achtte baden gunstig tegen een veelheid van ziekten. Tegen sommige ziekten moest men volgens hem elke dag in bad. Dat moest dan wel op de juiste wijze gebeuren. Hippocrates' geschriften waren positief over een zitbad maar achtten een ligbad ongezond.

Confucius gaf in China voor het begin van onze jaartelling de volgende voorschriften:

- een zoon die bij zijn ouders leeft, moet bij het kraaien van de haan zijn handen en mond wassen,
- een vrouw die bij de familie van haar man woont, moet dat ook doen,
- zonen en schoondochters moeten hun ouders elke ochtend bijstaan met spullen voor het wassen van de handen,
- alle kinderen wassen hun handen en mond bij zonsopgang,
- bedienden doen dat ook,
- elke vijfde dag maken kinderen voor hun ouders een bad met heet water en elke derde dag zorgen ze er voor dat hun ouders hun haren kunnen wassen,
- kinderen zorgen voor het maken van heet water voor het gezicht en de voeten van hun ouders, wanneer deze vies zijn.

Baden als statussymbool

'Waterbeschaafde' Chinezen, die zich regelmatig wassen en baadden, hadden niet veel op met degenen die dat niet deden. Op de Shu (in Szechuan) werd tweeduizend jaar geleden zeer neergekeken, omdat die 'slechts bij de geboorte en de dood zou baden'. Huizen van rijke joden, opgegraven in het huidige Israël, waren in de zevende eeuw voor het begin van de jaartelling voorzien van badgelegenheden. En armere joden baadden volgens de Bijbel in de zee of de rivier. De Hebreeuwse koning Johannes Hyrcanus voorzag, om zijn macht en rijkdom te laten blijken, in de tweede eeuw voor Christus zijn bij Jericho opgetrokken paleis van een groot bad. Koning Herodes overklaste in de eerste eeuw voor het begin van onze jaartelling zijn voorganger door bij zijn paleis bij Jericho een nog veel groter bad aan te leggen. Ongeveer 2000 jaar geleden meldden Romeinse schrijvers dat Germanen veelvuldig baadden in de rivier, zelfs hartje winter. In de keizertijd was Rome rijkelijk voorzien van badhuizen, waarin tegen de klippen op werd gebaad. Wel moest je er volgens de schrijver Plautus goed op je kleren letten om te voorkomen dat ze werden gejat.

In het Romeinse rijk raakten badhuizen wijd verbreid. Ook in Heerlen zijn de resten van een Romeins badhuis opgegraven. En baden was niet het enige dat daar werd beoefend. Er werd ook genetwerkt en de schrijver Ovidius achtte de badgelegenheden een uitgelezen plaats voor de door hem geprezen kunst van de liefde.

Niet iedereen in de Romeinse tijd had een hoge pet op van het vele baden. De Romeinse wijsgeer Seneca scheef in het jaar 64 weemoedig dat er in de goede oude tijd maar weinig baden in Rome waren. Romeinen wasten toen dagelijks alleen hun armen en benen en gingen maar één keer per week in bad. De Essenen, een belangrijke joodse sekte in de Romeinse tijd, wasten welwaar altijd hun handen na de ontlasting maar gingen uit principe niet in bad.

Deugd en ondeugd van baden

Het gemengd baden in Romeinse badhuizen bracht diverse Christelijke leiders tot geheel andere gedachten dan Ovidius. Clemens van Alexandrië (ongeveer 190) vond baden voor het plezier ontoelaatbaar. De synode van Laodicea (eveneens vierde eeuw) achtte het voor christenen in het algemeen, maar in het bijzonder voor priesters en asceten, onacceptabel samen met vrouwen te baden. De heilige Hieronimus schreef in 403 dat maagden noch met eunuchs noch met andere vrouwen samen mochten baden, en al helemaal niet naakt in bad mochten. In het late Byzantijnse rijk werden geestelijken gemaand zich van baden te onthouden. Niet wassen werd door Sint Petrus van Damascus als een deugd gezien. Kerkvorsten beperkten het aantal baden van geestelijken tot twee of drie maal per jaar. Wassen voor de viering van de Eucharistie werd verboden. De later heilig verklaarde Thomas Becket zat bij zijn dood in 1170 zo onder de luizen, 'dat deze overkookten als kokend water in een ketel'.

In de late middeleeuwen herleefden in West-Europa de publieke bad- en wascultuur. In 1240 beveelt Bartholomeus Anglicus het veelvuldig wassen van het haar aan tegen luizen. Veel rijken hadden eigen badkamers. Frankfort aan de Main had in 1387 tenminste 15 publieke baden, en Wenen 21. In de Bijbel van de laat-veertiende-eeuwse Oostenrijkse keizer Wenzel staan in de kantlijn allerlei badtaferelen getekend. Het bestaan van badhuizen riep in het laatmiddeleeuwse Europa weer christelijke kritiek op. De badhuizen zouden een broeinest zijn voor zedeloosheid. De kritiek op de zedeloosheid van badhuizen was zo krachtig, dat het bezoek aan badhuizen in een val raakte. En over zwemmen was de laatmiddeleeuwse katholieke Kerk ook al niet positief. Een Bijbelse tekst uit het boek Isaias werd geacht het zwemmen in verband te brengen met verdoemenis.

De navolgers van de profeet Mohammed deelden de weerzin tegen water niet. Veel paleizen van islamitische machthebbers beschikten over uitgebreide badvoorzieningen, ook als ze in zeer droge streken lagen. Het gezegde luidt dat het eerste gemeenschappelijke project van moslims een minaret is, het tweede een moskee en het derde een badhuis (hammam). Anders dan in de klassieke badhuizen werden mannen en vrouwen daarin gescheiden gehouden. In lijn daarmee had, volgens de berichten, het islamitische Cordoba (Spanje) in de tiende eeuw driehonderd en in de twaalfde eeuw zeshonderd badhuizen, waarvan de helft voor vrouwen. De Joodse geneesheer Maimonides (1135-1204) die aan het islamitische hof van Fustad (nu Cairo) verbonden was, hechtte groot belang aan regelmatig baden en gaf uitvoerig raad over het afwisselende gebruik van koud lauw en warm water bij het wassen.



Wassen is goed

Vanaf de zestiende eeuw werden in West-Europa de bakens voor het wassen, baden en zwemmen verzet. In Utopia van Thomas More werden door de staat verzorgde badhuizen positief besproken. De tekst van Isaias die in de late middeleeuwen tot afkeuring leidde, werd door protestanten zo geherinterpreteerd dat het zwemmen verwees naar de kracht van God. En kwamen boeken die de ‘kunst van het zwemmen’ zeer prezen. In het op het Duitse rijk gerichte Hortus Sanitatis, daterend van 1500, werd aanbevolen ‘vaak te wassen’ tegen luizen. De zeventiende-eeuwse Nederlandse dichter Jacob Cats zag het zo:

Wast uw handen
 Wast uw tanden
 Dikwijls want het is goed.
 Doch wast zelden uwen voet
 Doch wat immer u geschiet
 Wast uw hoofd zijn leven niet.

Het nettoresultaat van deze verandering in de kijk op baden en wassen bleef bescheiden. De Japanners die in de zeventiende eeuw handel dreven met ‘Hollanders’ vonden dat deze ‘ongewassen waren’ en stonken.

Tijdens de achttiende eeuw gingen dokters aanbevelen kinderen veelvuldig te wassen, In de negentiende eeuw kreeg wassen, baden en zwemmen in Europa een nieuwe impuls. ‘Turkse badhuizen’ verschijnen dan op in Europa vervaardigde schilderijen. Halverwege de negentiende eeuw werd de combinatie van bad en verwarmings-apparatuur voor badwater uitgevonden. Dat legt de basis voor badhuizen. Te Maastricht werd bijvoorbeeld het eerste publieke badhuis in 1858 geopend. Dit badhuis richtte zich op de welgestelden. Toonaangevende lieden in West-Europa benadrukten de betekenis van het wassen en baden voor een gezonde geest en een ordelijke samenleving. De duivel zou water en zeep evenzeer haten als het evangelie. Ook het belang van hygiëne werd in toenemende mate benadrukt.

Democratisering van baden

Bij de burgerij thuis komen de wasbak en de zinken tobbe in gebruik. Hotels aan de Nederlandse kust verschaften hun klanten faciliteiten voor individueel baden in zout water, ruim voordat het baden in de zee populair werd.

Aan de Nederlandse kust kwam het meer en meer in zwang ook in zee te baden. Deze mogelijkheid trok niet in de laatste plaats bemiddelde lieden, waaronder Russische, Duitse en Oostenrijkse vorstelijke personen, naar plaatsen als Scheveningen en Zandvoort. Daar konden deze lieden kiezen uit twee mogelijkheden van zeegang. De eerste was de badkoets. De achterkant daarvan bevatte een deur en een luifel. Vanuit de deur kon de man te water gaan; de vrouwelijke badgast werd aan de hand van een badvrouw de zee ingeleid. De tweede mogelijkheid was de babbelwagen. Deze bood ruimte aan meerdere personen. De wagen werd de branding ingereden en dwars gezet. Vanuit de open zijkant kon men dan desgewenst over de zee turen. De echte badgast nam daar geen genoegen mee en ging te water.

In 1881 werd te Amsterdam in de Amstel een drijvende badinrichting geopend waar men voor een kwartje kon zwemmen (inclusief zwembroek en twee badhanddoeken). In het boek Kees de Jongen, geschreven in het laatste decennium van de negentiende eeuw, holt de hoofdfiguur tussen de middag naar het zwembad, daarbij gebruikmakend van de zelfbedachte zwembadpas.

Dat wil niet zeggen dat baden in de late negentiende en vroege twintigste eeuw gemeengoed waren. In de negentiende eeuw kampte men met de volkswijsheid dat een laag vuil tegen ziekte beschermde. Veel bewoners van de Lage Landen beperkten zich aan het begin van de twintigste eeuw tot het wassen van gezicht en handen.

In de eerste helft van de twintigste eeuw werd driftig gebouwd aan 'wasch- en badinrichtingen' vooral 'voor de arbeiders'. Ook werd het aantal zwembaden uitgebreid. In de steden kwamen er veel zwembaden bij en daarnaast werden ook veel 'bosbaden' en 'natuurbaden' gesticht. Er werd aan zwembaden een democratiserend effect toegeschreven: 'In een zwembad zijn we allemaal gelijk'. Baden en wassen werd zelfs een verkiezingsthema. De Amsterdamse wethouder de Miranda werd door zijn partij aanbevolen met de leus: 'Wil je baaie, wil je zwemmen, dan moet je de Miranda stemmen'. Van overheidswege werd 'Elke week een goed bad' gepropageerd. Men kon daarbij kiezen uit een 'stortbad' (meestal voor een dubbeltje, inclusief gratis handdoek), of een (duurder) ligbad. Op diverse scholen werd een wekelijks bezoek aan de stortbaden van een badhuis verplicht gesteld. De kinderen in kwestie werden bekend als 'commandobad kinderen'. Progressieve volkshuisvesters mikten op meer wasbakken en gingen badkamers opnemen in de afgeleverde woningen. De opkomst van de badkamer begon in Amsterdam en straalde uit naar de rest van het land: eerst naar andere steden, daarna naar het platteland.

Waterbeschaving

Op het platteland was er in de eerste helft van de twintigste eeuw in de Lage Landen een hygiëne offensief. Het blad van de Belgische boerinnenbond legde in 1924 het juiste wassen stap voor stap uit. Elke avond handen, armen, borst, hals en gezicht wassen, wekelijks een bad en tweewekelijks haar wassen. Aanvankelijk werd in dit blad een gemeenschappelijke wasbak 'in een hoekje van het achterhuis of de moeshof' aanbevolen, maar vanwege de bijbehorende onzedigheid werd later een wastafel in de slaapkamer onmisbaar geacht.

De naleving van de aanbevelingen over wassen en baden door het volk viel echter niet mee. Hoofdschuddend moest in de jaren dertig van de twintigste eeuw worden vastgesteld dat menige arbeider het bad gebruikte als opslagruimte, bijvoorbeeld voor aardappelen of (steen)kolen. Er kwamen speciale voorzieningen om 'asocialen' onder meer waterbeschaving bij te brengen. In Amsterdam werden voor dit doel twee 'dorpen' gesticht: Zeeburgerdorp met 55 en Asterdorp met 122 woningen. Deze dorpen waren voorzien van een badhuis en een wasserij en de huizen hadden stromend water. Na een jaar verblijf aldaar werd de waterbeschaving in de regel als toereikend beoordeeld.

De algemene verspreiding van de 'waterbeschaving' nam vele decennia, en was pas ruim na de tweede wereldoorlog min of meer voltooid. Uiteindelijk werd een bad of



douche door 'iedereen' gebruikt. In de tweede helft van de twintigste eeuw kwam daar op veel plaatsen verplicht schoolzwemmen bij. Het baden in zee werd 'voor iedereen' bereikbaar.

De 'wasch- en badinrichtingen' gingen door deze ontwikkelingen ten onder. In de jaren tachtig waren de meeste gesloten, al gingen nieuwe sauna's en hammams open. Menigeen gaat nu elke dag in het eigen bad of onder de eigen douche. Mede door de daarbij ingezette schoonmaakmiddelen heeft dat tot effect dat de natuurlijke afweer van de huid tegen infecties daarvan te lijden heeft.

8.3 Water met 'ongezonde' organismen

Diverse organismen, besmet met parasieten die schadelijk kunnen zijn voor de mens, huizen in het water, en veroorzaken ziekten zonder dat ze door de mens met drinkwater worden ingenomen. Menselijk ingrijpen in de waterhuishouding heeft de kans op dergelijke ziekten sterk doen toenemen. De opkomst van malaria in Afrika sinds de Steentijd gaat bijvoorbeeld gelijk op met de opkomst van de landbouw. Vooral de creatie van 'stilstaand water' in poelen, sloten, open riolen en stuwmeren heeft een aantal ziekteverwekkers veel meer kans gegeven.

Malaria in de Lage Landen

Stilstaande wateren en moerassen zijn vaak een broeinest van muggen (muskieten) die infectieziekten overbrengen. De bijbehorende problemen zijn oud. Het westen en noorden van de Lage Landen waren, mede dankzij veel stilstaand brak water, eeuwenlang een eldorado voor de verwekker van malaria, in die tijd 'anderdaagse'- of 'wisselkoorts' genoemd. De ziekte werd veroorzaakt door *Plasmodium vivax*, een protozoön, dat door Anofelesmuggen werd overgebracht. Het protozoön huisde vooral in het vee. De mug die in hoge mate verantwoordelijk was voor de overbrenging (*Anopheles claviger*) gedijde goed in stilstaand brak water en overwinterde in de stallen. De *Plasmodium vivax* veroorzaakte een verhoudingsgewijs minder acuut gevaarlijke vorm van malaria dan de in de tropen voorkomende malariaverwekkers *Plasmodium falciparum* en *knowlesi*. Wel zorgde de inheemse malariaverwekker voor een forse verzwakking van de geïnfecteerden. Daardoor was de sterftekans in gebieden met veel stilstaand brak water fors verhoogd.

Fors verzwakt door malaria werd ook een 15 000 man sterk Engels invasieleger dat in 1809 Walcheren bezette om van daaruit de Napoleontische vloot in Antwerpen te vernietigen. Van de 15 000 man werden er ruim tienduizend zo ziek door malaria, dat hun militaire nut verdween. Het invasieleger moest worden gerepatriëerd.

De sterfte door inheemse malaria was aanzienlijk. In 1826 waren er als gevolg van een malaria-epidemie zoveel slachtoffers dat de Nederlandse overheid, uit angst voor besmettingsgevaar door uitwasmelingen van de ziekte uit de bodem, per decreet vaststelde dat doden buiten de bebouwde kom ter aarde moesten worden besteld. In 1880 werd ongeveer een half procent van de sterfte in Nederland toegeschreven aan malaria. Daarna zakte de sterfte, maar de toenmalige 'pauze' van de malaria-bestrijding, N.H. Swellengrebel, bleef tussen de wereldoorlogen sceptisch over de mogelijkheid de autochtone malaria uit te roeien. Uiteindelijk gebeurde dat toch. De

laatste patiënt met inheemse malaria dateert uit 1961. De verzoeting van het water en de bouw van mugonvriendelijke stallen heeft inheemse malaria uiteindelijk de das omgedaan.

Ziekte van Weil

Een andere ziekteverwekker die al lang in de Nederlandse wateren huist, is een spirocheet die leptospirose of de ziekte van Weil veroorzaakt. Ratten behoren tot de dragers ervan. De spirocheet veroorzaakt bij mensen een leverontsteking en kent een afwisseling van perioden met hoge koorts plus griepachtige verschijnselen en koortsvrije perioden. Bij volwassenen is de ziekte van Weil af en toe dodelijk. Jaarlijks zijn er in Nederland tientallen patiënten met een infectie van leptospirose. Tot de meer recente sterfgevallen behoort een ambtenaar die tijdens een ruzie over een illegale schuur in het water werd gegooid. 'Openluchtbaden' in oppervlaktewater zoals die in de negentiende eeuw in Amsterdam werden opgericht en in de twintigste eeuw in Rotterdam, zijn uiteindelijk gesloten vanwege het risico dat men daar de ziekte van Weil opliep. Mensen die in Nederland te water raken of in binnenwateren zwemmen dan wel surfen, lopen nog altijd een kans op inname van de spirocheet die ziekte van Weil veroorzaakt.

Andere met water verbonden ziekten

Meer kans loopt men bij zwemmen en surfen overigens op een infectie met *Aeromonas*-bacteriën die, soms ernstige, ingewandsstoornissen veroorzaken. Daarnaast kan men bij het zwemmen in oppervlaktewater ook een aantal andere bacteriën, protozoën en virussen oppikken die tot gezondheidsklachten leiden. Voorbeelden daarvan zijn: *Cryptosporidium*, *Giardia lamblia*, *Escherichia coli* O 157-H7 en Adeno-, Rota- en Noro-virussen. Lozing van onvoldoende, of niet, gezuiverde menselijke en dierlijke uitwerpselen is daarvan de belangrijkste bron. Voorts wordt men in de komkommertijd (wanneer het warm is en de zon flink schijnt) regelmatig opgeschrikt door klachten na het zwemmen in water met 'blauwgroene algen' (cyanobacteriën) die toxische gifstoffen produceren. De kans op bloei van dit type algen is sterk vergroot door de toegenomen hoeveelheden meststoffen (nutriënten) in het oppervlaktewater en het warmer wordende klimaat. De toxinen kunnen via de huid en door onbedoeld waterhappen worden ingenomen. Dat kan op zijn beurt leiden tot maag-darmklachten, die soms zeer ernstig zijn, en op langere termijn tot leverschade, inclusief een verhoogde kans op levertumoren.

Door muggen verspreide ziekten in warme gebieden

De gezondheidsschade door uit het water afkomstige infecties is in Nederland bescheiden vergeleken met die in veel tropische en subtropische landen. Belangrijke infectieziekten die in warme landen veel gezondheidsschade veroorzaken zijn: schistosoomziekten en de door insecten overgebrachte infectieziekten malaria, lymfatische filariasis, knokkelkoorts en rivierblindheid. Onderzoek aan overblijfselen van mensen uit het Egypte van de farao's, en daarvoor, wijzen op het veelvuldig voorkomen van schistosoomziekten. Ook zijn er aanwijzingen gevonden voor malaria. Schriftelijke bronnen uit de periode van de farao's melden jaarlijkse golven van



rivierblindheid, samenhangend met het wegebben van de overstroming door de Nijl. Onderzoek naar de sterfte in moerassige delen van Gallilea en Egypte tijdens de Romeinse overheersing laat zien dat, gegeven de sterftepiek en de aanwijzingen voor bloedarmoede, malaria een zeer belangrijke doodsoorzaak moet zijn geweest.

Hierboven is al vermeld dat in de oorlog tegen Napoleon, het Engelse leger zich moest terugtrekken uit Walcheren omdat het werd geteisterd door malaria. De in de tropen huizende malariaparasieten hebben, ook militair, in de loop van de geschiedenis een stuk harder toegeslagen. Malaria beperkte in de zeventiende - en achttiende eeuw de koloniale avonturen van Europeanen in West-Afrika. Landen als Haïti en Venezuela profiteerden bij hun onafhankelijkheidsstrijd van de schade die malaria de koloniale legers toebracht.

Met de verandering van het klimaat zijn tropische ziekten op het noordelijk halfrond in opmars naar het noorden. Om deze reden komt bijvoorbeeld knokkelkoorts en malaria de laatste tijd vaker voor in Italië en schuift het Western Nile virus in Noord-Amerika snel op naar het noorden.

Malaria in warme gebieden

Het aantal wereldburgers dat kans loopt op een infectie met *Plasmodium vivax* wordt geschat op 2850 miljoen, vooral in Centraal- en Zuidoost-Azië. 2400 miljoen mensen leven in gebieden met een tenminste aanmerkelijk risico op een infectie met *Plasmodium falciparum* en knowlesi. De overbrengers van *Plasmodium falciparum* en knowlesi, de Anofelesmuskieten, gedijen goed in stilstaand zoet en warm water. Een relatief grote kans op malaria is verder gekoppeld aan een snelle vermenigvuldiging van malariaparasieten in de Anofelesmuskiet. Deze vermenigvuldiging wordt bevorderd door relatief hoge temperaturen en een hoge luchtvochtigheid.

Malaria is wereldwijd de ernstigste parasitaire ziekte. In tropische gebieden is malaria vaak een belangrijke oorzaak van kindersterfte. In 2005 hadden ongeveer 250 tot 375 miljoen mensen malaria, veroorzaakt door *Plasmodium falciparum* of knowlesi. Het totale aantal sterfgevallen door dit type malaria ligt wereldwijd in de orde van 900 000 per jaar. Het gebied waar malaria heerst, breidt zich uit. In Afrika zien we malaria gestaag 'de berg op klimmen' en 'het hoogland in gaan'. Een verdere opwarming van het klimaat kan het gebied waar malaria een risico voor de bevolking vormt aanzienlijk uitbreiden, vooral in Centraal-Azië, Noord-Amerika en Europa. De mate waarin dit een probleem gaat vormen voor de volksgezondheid, hangt vooral af van het succes bij de bestrijding van malaria.

Hoewel er bestrijdingmiddelen waren tegen de muskieten en geneesmiddelen tegen de parasiet, was de feitelijke beheersing van malaria tot voor kort beduidend slechter dan in de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw. Bij gebrek aan geld, werden in Azië en Latijns-Amerika veel succesvolle bestrijdingsprogramma's gestopt. Opgekomen resistentie van de Plasmodiumparasieten tegen (goedkope) geneesmiddelen en van muskieten tegen bestrijdingmiddelen, droegen eveneens bij tot de relatief

slechte beheersing van malaria. Recent is er een sterke herleving te zien van de strijd tegen malaria. Vooral muskietennetten om onder te slapen, zetten in de praktijk zoden aan de dijk.

Hoewel het waarschijnlijk een illusie is te denken dat malaria in warme gebieden geheel kan worden uitgebannen, kan de ziekte vergaand worden teruggedrongen wanneer er voldoende geld komt voor de ontwikkeling van nieuwe genees- en bestrijdingsmethoden, voor bestrijdingsprogramma's met duurdere medicijnen, en voor adequate manieren van muskietenbestrijding.

Knokkelkoorts en lymfatische filariasis

Een andere ziekte die wordt overgebracht door muskieten (tjgermuggen) is de knokkelkoorts (dengue). Deze infecteert tussen de 50 en 100 miljoen mensen per jaar. Voor ongeveer 20 000 van hen loopt de ziekte dodelijk af. Met de bestrijding ervan gaat het niet goed. In Noord- en Zuid-Amerika gold knokkelkoorts enige tijd als uitgeroeid, maar nu is een gevaarlijkere variant daarvan sterk in opmars. In 2007 zijn verschillende gevallen van knokkelkoorts gemeld in Italië.

De tjgermug komt inmiddels voor in de Nederlandse kassen. Daar is deze beland via de import van Lucky Bamboo, de naam zegt het al. Bij een opwarmend klimaat kan de knokkelkoorts vanuit Italië en wellicht ook vanuit de kassen oprukken naar meer noordelijk gelegen Europese landen.

Een laatste voorbeeld van een ziekte die wordt overgebracht door muskieten is lymfatische filariasis. Deze heerst vooral in de Amerika's en Azië, en gedijt goed wanneer er met organisch materiaal verontreinigd water aanwezig is. Het aantal mensen dat door deze ziekte invalide is geworden, wordt wereldwijd geraamd op 25 miljoen.

Schistosoomziekten

Schistosomen zijn trematoden (diertjes). Schistosoomziekten kunnen bloedarmoede en aandoeningen van de urinewegen, de darmen en de voortplantingsorganen veroorzaken. Ook vergroten schistosoominfecties waarschijnlijk de kans op overdracht van geslachtsziekten zoals HIV/AIDS. Naast de mens, hebben schistosomen slakken als gastheer. Deze slakken gedijen goed in warm stilstaand water. De schistosomen worden door de slakken verspreid, en belanden in het water via ongezuiverd rioolwater en uitwerpselen van mensen en runderen, die ook als gastheer kunnen dienen. Via de menselijke huid kunnen ze het lichaam binnendringen.

Schistosoomziekten vormen een probleem in 76 landen in Afrika, Latijns-Amerika, het Midden-Oosten, en Zuid- en Zuidoost-Azië. Het aantal geïnfecteerde mensen wordt geschat op ongeveer 210 miljoen, en het aantal daardoor veroorzaakte sterfgevallen in Afrika beneden de Sahara op circa 280 000 per jaar.

De ziekte floreert mede omdat het areaal warm stilstaand water door de aanleg van stuwweren sterk is toegenomen, en omdat de toevloed naar stilstaand water van schistosomen via menselijke uitwerpselen toeneemt. Het effect van meer warm stilstaand water wordt geïllustreerd door de situatie in Ghana. In het noordoosten van



Ghana steeg na de aanleg van 185 (kleine) dammen met de bijbehorende stuwmuren aan het eind van de jaren vijftig de kans op schistosoomziekten binnen een tot twee jaar van 17 naar 51%. Daarna is de kans op deze ziekten onveranderd hoog gebleven. Schistosoomziekten kunnen tot nu toe meestal goed worden behandeld met het geneesmiddel praziquantel en de slakken worden bestreden met niclosamide. Het succes van de bestrijdingsprogramma's varieert sterk. Vooral in China, Latijns-Amerika en het Midden-Oosten is bij de bestrijding van schistosoomziekten flinke vooruitgang geboekt, maar in Afrika beneden de Sahara veel minder. Bovendien vergt blijvend succes van de bestrijding vaak forse aanpassingen in de irrigatiepraktijken en minder zwemmen in, en wassen met, oppervlaktewater. Daarom ziet men na een periode van succesvolle bestrijding vaak forse terugslag. In een studie over bestrijdingsprogramma's in China werd gevonden dat aanvankelijk de kans op infecties met schistosomen daalde van 63 naar 8%. Daarna nam deze echter weer toe tot 43%. Zorgelijk is bovendien dat resistentie tegen het geneesmiddel praziquantel de kop op lijkt te steken.

Rivierblindheid

Onchocerciasis (rivierblindheid) is een ziekte die wordt veroorzaakt door *Onchocerca volvulus*, welke wordt overgebracht door zwarte Simuliumvliegjes die zich in stromend water voortplanten. Het aantal mensen dat rivierblindheid kan oplopen, is ongeveer 140 miljoen. Het getroffen gebied betreft thans vooral Afrika beneden de Sahara en daarnaast Jemen en delen van Latijns-Amerika. Het aantal geïnfecteerden wordt geschat op ongeveer 18 miljoen, waarvan ongeveer 270 000 mensen blind zijn geworden. In sommige gebieden gaat tot 40% van de bewoners door *Onchocerca*-infecties slechter zien. Diverse streken zijn door de dreiging van rivierblindheid ontvolkt geraakt.

Van 1974 tot 2003 liepen er programma's van de Wereldgezondheidsorganisatie en de Wereldbank om rivierblindheid de kop in te drukken. Deze hebben een redelijk succes gehad. Ze maakten gebruik van het geneesmiddel ivermectin (gratis ter beschikking gesteld door de fabrikant Merck) en van insectenbestrijdingsmiddelen waarvan de milieugevolgen binnen de perken blijven. Na 2003 is de bestrijding geheel overgedragen aan de betrokken landen. Het valt te hopen dat dit niet leidt tot een terugslag zoals eerder te zien was bij malaria.

8.4 Bezwaarlijke stoffen in het drinkwater

In diverse delen van de wereld zijn in grond- en/of oppervlaktewater van nature stoffen aanwezig die bij een omvangrijke inname de gezondheid aanzienlijk kunnen schaden. Deze stoffen vormen een probleem wanneer het grond- of oppervlaktewater niet grondig wordt gezuiverd voordat het als drinkwater wordt gebruikt.

Arseen

Een voorbeeld daarvan dat veel aandacht trekt, is arseen (arsenicum). Arseen veroorzaakt bij grotere inname huidandoeningen, waaronder huidkanker. Ook is er bij aanmerkelijk verhoogde inname een vergrote kans op suikerziekte en longinfecties.

Urinewegen, lever en hart kunnen door een fors verhoogde consumptie eveneens schade oplopen. Arsenicum wordt in diverse delen van de wereld in hoge concentraties aangetroffen in het grondwater. Meestal zijn de concentraties van nature hoog, maar het komt ook voor dat hoge concentraties voortvloeien uit door de mens veranderde grondwaterstanden of uit verontreiniging die samenhangt met de productie en het gebruik van arsenicum. Dat laatste komt in industrielanden op ruime schaal voor.

In landen als Nederland en België wordt arsenicum grondig verwijderd voordat het drinkwater in het leidingnet wordt gepompt. Aan deze voorwaarde wordt echter lang niet overal voldaan. In de Amerikaanse staat New Hampshire bijvoorbeeld drinkt de helft van de bevolking water uit privéputten, en een groot deel van het putwater bevat meer arsenicum dan goed is voor de waterdrinker. In Bangladesh vormt arsenicum voor naar schatting 35 miljoen mensen een probleem. Zij drinken ongezuiverd grondwater dat van nature sterk verontreinigd is met arseen. Op de consumptie van dit water is overgestapt omdat de het drinken van oppervlaktewater veel infecties veroorzaakte, zonder vooraf eerst de samenstelling van het grondwater goed te analyseren. Hetzelfde grondwater wordt thans op ruime schaal gebruikt als irrigatiewater, waardoor ook de gewassen met arseen zijn belast. Ook in West-Bengalen (India), Pakistan (vooral langs de Indus), China, Nepal, Mongolië, Cambodja, Thailand, Birma, Vietnam en delen van Argentinië en Chili kampt men met te veel arsenicum in het drinkwater.

Voor de verwijdering van arsenicum bestaan goede filters. Maar deze worden in ontwikkelingslanden weinig gebruikt. En voor zover de filters worden toegepast in ontwikkelingslanden, functioneren ze vaak slecht. Wat in de praktijk tot nu toe in landen als Bangladesh wel werkt, is het slaan van diepe putten die 'arsenicumvrij' grondwater aanboren. Het is echter een misverstand dat alle diepe putten 'gezond' water bevatten. Analyse van het water uit 46 putten in Bangladesh met een diepte van 180 tot 363 meter wees recent uit dat 17% daarvan (veel) te veel arsenicum bevatten en 26% te veel borium. Of de diepe putten die nu arseenvrij zijn, dat ook blijven, is bovendien de vraag. Bij intensief gebruik is er gereede kans dat deze diepe putten allengs ook arsenicumrijk water gaan produceren door de toestroming van nu nog 'ondiep' grondwater.

Andere van nature voorkomende probleemstoffen

Er zijn meer van nature voorkomende stoffen die problemen kunnen veroorzaken. Te hoge natuurlijke gehalten fluoriden kunnen leiden tot schade aan skelet en gebit (fluorose). Te veel fluoriden in het drinkwater vindt men in delen van India, China, Thailand, Cambodja en Sri Lanka. Alleen al in India hebben naar schatting 62 miljoen mensen last van fluorose.

Op de flanken van de vulkaan Etna (Sicilië) bevat het water in particuliere putten vanuit gezondheidsoogpunt te veel mangaan en vanadium. In de Argentijnse Andes komen te hoge concentraties lithium en borium voor in het putwater.



Een andere component die van nature aanwezig kan zijn in drinkwater en die de nodige discussie heeft opgeroepen, zijn radioactieve stoffen zoals radium en uranium. Mineraalwaters met aanzienlijke hoeveelheden radioactieve stoffen (zoals uranium en radium) golden gedurende een groot deel van de twintigste eeuw onder een deel van het drinkende publiek als gezond. Een studie uit 1941 over de mineraalwaters uit Oostenrijk en Tsjechoë leverde op dat het water uit Schallerbach het 'uraan-edelst' was. Thans wordt algemeen aangenomen dat de consumptie van water met uranium (of radium) de kans op kanker en aangeboren afwijkingen bij het nageslacht kan vergroten. Uranium is bovendien een zwaar metaal, dat al in betrekkelijk lage concentraties tot orgaanschade, zoals nierschade, kan leiden. Radioactieve stoffen in het grondwater worden vooral in aanzienlijke concentraties aangetroffen in omgevingen waar veel graniet aanwezig is, maar zijn bijvoorbeeld ook gevonden in het grondwater van een aantal delen van Brabant.

Probleemstoffen door menselijke activiteiten

Niet alleen van nature aanwezige stoffen zijn problematisch, ook stoffen die door menselijke activiteiten in het water zijn beland, kunnen dat zijn. In hoofdstuk 2 werd al melding gemaakt van de toenemende hoeveelheid vervuild grondwater als gevolg van emissies van stikstofverbindingen (nitraat), pesticiden, koolwaterstoffen, zware metalen en industriële chemicaliën naar het grondwater. Deze toename is vrijwel over de gehele wereld waarneembaar. Ook is er wereldwijd steeds meer door de mens fors vervuild oppervlaktewater.

Er bestaan technieken voor de zuivering van oppervlaktewater en grondwater. Deze zijn in de praktijk niet voor 100% effectief. Sommige van deze technieken zorgen bovendien op hun beurt weer voor nieuwe verontreinigingen. Ook is de toepassing van deze technieken duur, zodat bij zuivering vaak niet alles uit de kast wordt gehaald. De zuivering van het Nederlandse drinkwater is dusdanig dat veel van de resterende concentraties verontreinigende stoffen zo laag zijn dat ze volgens de huidige stand van kennis geen kwaad kunnen. Voor sommige stoffen is dat niet altijd zo. Voorbeelden daarvan de organische chemicaliën, zoals benzeen, dioxaan, MTBE, ETBE en nitrosodimethylamine. Ook is de huidige kennis van een aantal stoffen die in het gezuiverde drinkwater voorkomen nog te beperkt om te kunnen zeggen of de resterende hoeveelheden wel of niet veilig zijn. Dat geldt bijvoorbeeld voor perrfluorverbindingen (zoals PFOA en PFOS).

Daarnaast wordt er ook nog altijd water uit particuliere putten gedronken. Putwater is vaak verontreinigd met nitraat, een stof waarvan de rijkelijke aanwezigheid in het grondwater nauw samenhangt met overmatige bemesting. Naast nitraat wordt hierna ook dieper ingegaan op enkele andere probleemstoffen die in het water van de openbare drinkwatervoorziening aanwezig kunnen zijn. Het gaat daarbij in de eerste plaats om gehalogeneerde verbindingen, zoals trihalomethanen, en andere stoffen die door behandeling van ruw drinkwater met chloor kunnen ontstaan. Ook lood, dat uit nog altijd in sommige huizen aanwezige loden waterleidingen kan vrijkomen, komt aan de orde.

Nitraat

Nitraat is een stof die de menselijke gezondheid op een aantal manieren kan beïnvloeden.

Nitraat is van nature in zekere mate aanwezig in het voedsel en wordt in het menselijk lichaam aangemaakt. Nitraat legt de basis voor nuttige functies, waartoe een zekere mate van bescherming tegen maagzweren en de regeling van de bloeddruk behoren. Hoge inname van nitraat kunnen echter ook nadelen hebben. Deels hangen deze samen met de omzetting van nitraat in nitriet, welke plaats vindt onder invloed van speeksel. Nitriet is een conserverende stof, waaraan door sommigen positieve effecten worden toegeschreven op de weerbaarheid tegen micro-organismen. Maar in de zure condities van de maag kan nitriet ook aanleiding geven tot de vorming van N-nitrosamines, die kankerverwekkend zijn, en peroxynitriet, dat door zijn sterke oxiderende werking celbestanddelen kan schaden, waaronder DNA.

De beschermende werking van nitriet tegen infecties is een niet-geteste hypothese. Naar de mogelijke bijdrage van nitraat/nitriet aan de kans op bepaalde vormen van kanker is meer onderzoek gedaan. De resultaten daarvan zijn echter verre van eensluidend. Gegeven het beschikbare onderzoek is het aannemelijk dat de inname van nitraat de kans op maagkanker niet aanzienlijk verhoogt. Wel is aannemelijk dat door nitriet de kans op darmkanker groter is. Dit mogelijke effect speelt tot nu toe geen rol bij de normstelling voor de hoeveelheid nitraat in water. Deze is afgeleid van het effect van nitraat op de bloedkleurstof hemoglobine bij kleine kinderen (die relatief slecht tegen nitraat/ nitriet kunnen). Hemoglobine speelt een vitale rol in het zuurstoftransport door het lichaam. Wordt de functie daarvan sterk nadelig beïnvloed, dan worden baby's blauw, vandaar de naam 'blauwe babyziekte' voor de aandoening die optreedt bij veel te hoge nitraatinname. De aanvaardbaar geachte hoeveelheid nitraat in het drinkwater is in Nederland en de rest van de Europese Unie gesteld op 50 mg/l. Deze concentratie beschermt tegen blauwe babyziekte en een aantal andere nadelige effecten die in verband worden gebracht met hoge nitraatopnamen (boven de 50mg/l), zoals stomatitis (ontstekingen van de mond), schildklierandoeningen en stoornissen bij de voortplanting.

De concentratie van 50 mg nitraat per liter wordt in het Nederlandse ondiepe grondwater op grote schaal overschreden. Om deze reden zijn de traditionele ondiep stekende putten en pompen in Nederland meestal niet bruikbaar voor de drinkwatervoorziening. In het diepere grondwater lopen de nitraatconcentraties ook op. De afbraak van nitraat is in de diepere grondlagen van de Lage Landen vaak gering. De publieke watervoorziening in Nederland voldoet wel ruimschoots aan de norm van 50 mg/l nitraat. Voor een deel is dit bereikt door zuiveringsmethoden die de concentratie van nitraat reduceren. Kijken we verder over de wereld, dan vormen de oplopende nitraatgehalten in toenemende mate een probleem wanneer drinkwater (ongezuiverd) uit het ondiepe grondwater wordt gehaald.

Reactieproducten van ontsmettingsmiddelen

De ruime toepassing van chloor zorgt voor de vorming van vele honderden uiteenlopende verbindingen. Een groot aantal van deze verbindingen bedreigen de

gezondheid van de mens. Veel grond- en oppervlaktewater bevat het anti-epilepsiemiddel carbamazepine. Dit wordt door chlorering omgezet in aza-arenen, stoffen die kankerverwekkend zijn en erfelijk materiaal kunnen veranderen. Veel van de verbindingen die door chlorering ontstaan, behoren tot de organo-halogenenverbindingen. De voornaamste daarin aanwezige halogenen zijn: chloor, broom en jodium. Bij de toepassing van chloor in de drinkwaterbereiding ontstaan aanzienlijke hoeveelheden trihalomethanen. Het gaat daarbij om de stoffen chloroform, bromoform, dichloorbroommethaan en dibroomchloormethaan. Ook de stoffen chloor- en broomazijnzuur wordt vaak aangetroffen in gechloreerd drinkwater. Wanneer jodium in het ongezuiverde drinkwater aanwezig is, wat kan voorkomen bij drinkwaterwinningen die worden beïnvloed door zeewater, kunnen bij chlorering ook jodiummethaanverbindingen en jodiumazijnzuur aanwezig zijn. En tenslotte kunnen als nevenproduct van drinkwaterchlorering, broom- en chlooracetonitrillen ontstaan.

De trihalomethanen, de broom- of jodiumazijnzuurverbindingen en de chloor- en broomacetonitrillen kunnen met het drinkwater worden ingenomen. Bij het douchen en baden belanden trihalomethanen in aanmerkelijke mate in de lucht van de badkamer en kunnen dan worden ingeademd. In dierproeven is van trihalomethanen en broomazijnzuur gevonden dat ze de kans op kanker kunnen vergroten. Van de halogeenaazijnzuurverbindingen heeft joodazijnzuur het grootste schadelijke effect op erfelijk materiaal (DNA). En de acetonitrillen kunnen in dierproeven een negatief effect hebben op de voortplanting. Epidemiologische studies bij mensen suggereren dat de aanwezigheid van door chlorering ontstane stoffen in het drinkwater mogelijk is geassocieerd met een verhoogde kans op aangeboren afwijkingen bij het nageslacht, met name aangeboren hartaandoeningen.

In watervoorzieningsystemen kan de rol van chloor worden overgenomen door ozon (al dan niet in combinatie met ultraviolette straling). De afbraak van eventuele bezwaarlijke organische stoffen in het ruwe drinkwater door ozon is niet volledig, maar beter dan die door chloor. Met name stoffen als atrazine (een onkruidbestrijdingsmiddel), sucralose (een kunstmatige zoetstof), röntgencontrastmiddelen, en sommige geneesmiddelen, zijn behoorlijk bestendig tegen ozon. Voorts kan een ozonbehandeling aanleiding geven tot de vorming van de bezwaarlijke stof bromaat (wanneer broom aanwezig is in het ongezuiverde drinkwater). Voor zover bekend zijn de concentraties van deze laatste stof in Nederland niet zo hoog dat daardoor negatieve gezondheidseffecten kunnen optreden. Ozon heeft als nadeel dat de houdbaarheid fors korter is dan van chloor, zodat de desinfecterende werking korter aanhoudt. In het Nederlandse waternet is een bescherming met ozon in combinatie met ultraviolette straling in de praktijk even goed als met chloor. In landen waar het veel warmer is, kan dat anders liggen.

Lood

Lood speelt al eeuwenlang een rol in waterleidingen en bij het buiten houden van het water op de daken. Dat is vereeuwigd in de naam loodgieter. Dat lood ongezond kan zijn, was al bekend bij de oude Romeinen. De vader van de architectuur, Vitruvius,

besprak de toepassing van lood in waterleidingen en wees op de schadelijke gevolgen daarvan. Desondanks bleef lood in gebruik. De neveneffecten daarvan werden ook in de Lage Landen duidelijk. In de zeventiende en achttiende eeuw voorzag regenwater in een belangrijk deel van de Amsterdamse drinkwatervoorziening. Dat leidde tot veelvuldige klachten over 'kolieken', die voortvloeiden uit loodverontreiniging. Met het regenwater spoelde en spoelt ook een aanmerkelijk deel van het lood de bodem in. Daardoor bevatten de bodems van tuinen in oude stedelijke gebieden vaak veel lood. Ook het slib van rioolwaterzuiveringsinstallaties is vaak sterk met lood verontreinigd.

In de negentiende eeuw werd de toepassing van lood sterk verruimd. Nadat aanvankelijk puur ijzeren buizen werden gebruikt voor het drinkwaternet, kwam lood in zwang voor de inwendige bekleding van ijzeren buizen en voor de aanleg van de leidingen van het hoofdnet naar woningen, en in woningen. Een voornamelijk reden voor het gebruik van loden leidingen was, dat lood zich goed liet buigen en goedkoper was dan koper. De toepassing van lood bleef niet zonder gevolgen. Rond 1920 waren er zoveel rapporten over vergiftiging door lood, dat ondanks stevig tegenstribbelen van de loodindustrie, de klad kwam in het gebruik van loden waterleidingen. Binnenshuis aangelegde leidingen bleven echter meestal zitten. Pas in de late twintigste eeuw werden op dat punt serieuze saneringspogingen gedaan. Een recent onderzoek laat zien dat in ongeveer 2% van het in huizen getapte Nederlandse drinkwater nog altijd te veel lood zit. Dat is als regel het gevolg van loden waterleidingen. Verwijdering van deze loden pijpen is een goede zaak. Kinderen zijn zeer gevoelig voor lood. Vooral in oude binnensteden krijgen kinderen vaak meer lood binnen dan goed is voor de ontwikkeling van hun hersenen.

Waarschijnlijk heeft meer dan een kwart van de in Nederland wonende stadskinderen per liter tussen de 20 en 100 microgram lood in het bloed, een hoeveelheid die volgens onderzoek in de Verenigde Staten naar alle waarschijnlijkheid nadelig is voor het kind in kwestie.

Naast loden waterleidingen, kan ook bouwlood het beste de wereld uit. Er zijn thans voor bijna alle toepassingen van dit materiaal veiligere, loodvrije alternatieven. Deze vinden echter nog maar weinig toepassing. De macht van de gewoonte bij loodgieters en het ijveren van pro-lood lobbyisten, verenigd in de Stichting Duurzaam Bouwmetaal, zorgen daarvoor. Daardoor neemt de totale hoeveelheid bouwlood in de gebouwde omgeving nog altijd toe, ook in Nederland.

9 Besluit

Kijkt men wereldwijd, dan zijn de dreigende tekorten aan zoet water van goede kwaliteit waarschijnlijk het grootste urgente probleem. Vooral de productie van voedsel kan daardoor in toenemende mate in het gedrang komen. Daar komt bij dat watertekort niet het enige is waardoor de voedselproductie wordt bedreigd. Door de relatief lage winstgevendheid van landbouw vergeleken met sectoren als industrie, banken en ICT-bedrijvigheid, wordt er te weinig geïnvesteerd in de landbouw. Pieken in de beschikbaarheid van een belangrijke meststof (fosfaat) en van conventioneel olie en gas (de belangrijkste brandstoffen) zijn in aantocht, en klimaatverandering noopt tot grote aanpassingen alleen al om de agrarische productie op het huidige peil te houden. De bevolking neemt wereldwijd sterk toe, in het bijzonder in gebieden die water te kort komen. De combinatie van deze factoren levert, 'als alles zo doorgaat', een slecht vooruitzicht voor de voedselvoorziening van arme mensen. Om hongersnood zoveel mogelijk te voorkomen, is een zeer grote operatie nodig die op veel plaatsen de waterefficiëntie van de landbouw drastisch verbetert.

De Lage Landen horen tot de gebieden waar het aanbod van zoet water het minst een probleem hoeft te zijn. Wij zitten aan de monding van drie 'grote rivieren' en de neerslag in ons land en in het stroomgebied van deze rivieren vertoont een toenemende trend. De kunst is vooral om aan te passen aan perioden met extreme neerslag en droogte, en om de kwaliteit van het oppervlaktewater en meer nog het grondwater fors te verbeteren. De verbetering van de waterkwaliteit in Nederland stagneert. De budgettaire wijsheid zit tot nu toe niet mee. Als de vervuiler echt zou betalen, of wanneer het geld dat nu in de Lage Landen wordt besteed aan veel te duur mineraalwater beschikbaar zou komen, dan kan de waterkwaliteit met sprongen vooruit gaan. Maar op dit punt is een koerswending niet in zicht. Ook in veel andere landen is verbetering van de waterkwaliteit van groot belang. Al is het maar om de beschikbaarheid van goed zoet water te verruimen.

De vooruitzichten voor de strijd tegen het zoute water zijn niet gunstig. De zeespiegel stijgt. Wanneer het klimaat over enkele eeuwen in evenwicht zou komen met de *huidige* concentratie broeikasgassen in de atmosfeer, dan staat het zeewater vermoedelijk tenminste vijf meter hoger dan nu. De concentratie broeikasgassen in de atmosfeer stijgt echter in rap tempo verder. Tegen het stijgende zeewater zijn Noord- en West-Nederland en West-Vlaanderen in hun huidige vorm waarschijnlijk niet te verdedigen. Tenzij men bereid is de hoge zandgronden van België en Nederland naar het westen en noorden van de Lage Landen te verplaatsen, moet, 'als alles zo doorgaat', over enkele eeuwen een fors deel van Nederland en Vlaanderen aan de golven prijs worden gegeven. Zeer snel afkicken van fossiele brandstoffen en vastleggen van een deel van het kooldioxide dat de mens de atmosfeer in heeft geblazen, is waarschijnlijk de enige manier waarop de zeespiegelstijging binnen voor de huidige Lage Landen verdedigbare grenzen kan blijven.



Bronnen

- Abbink, K. e.a. (2010). Sources of mistrust: an experimental case study of central Asian water conflict. *Environmental and Resource Economics* 45, 283-328.
- Abrahamse, J. (2006). De problematiek van Amsterdam als waterstad. 'Een schone maagd met stinkende adem'. *Historisch Geografisch Tijdschrift* 24, 24-36.
- Abrederrahman, W.A. (2005). Groundwater management for sustainable development in urban and rural areas in extremely arid regions: a case study. *Water Resources Development* 21, 403-412.
- Abu-Zahra, N. (1988). The rain rituals as rites of spiritual passage. *International Journal of Middle East Studies* 20, 507-529.
- Acuna-Soto, R. e.a. (2005). Drought, epidemic disease and the fall of classic period cultures in Mesoamerica. *Hemorrhagic fevers as a cause of massive population loss. Medical Hypotheses* 63, 403-409.
- Adams, H.D. e.a. (2009). Temperature sensitivity of drought-induced tree mortality portends increased regional die-off under global-change type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 106, 7063-7066.
- Addyman, P.V. (1989). The archeology of public health at York, England. *World Archeology* 21, 244-264.
- Agoramoorthy, G. & Hsu, M.J. (2008). Small size, big potential. *Environment July/August*, 22-34.
- Ahmed, M.F. (2006). Ensuring safe drinking water in Bangladesh. *Science* 314, 1687-1688.
- Ainley, D.G. & Blight, L.K. (2009). Ecological repercussions of historical fish extraction from the Southern Ocean. *Fish and Fisheries* 10, 13-28.
- Albarede, F. (2009). Volatile accretion history of the terrestrial planets and dynamic implications. *Nature* 461, 1227-1233.
- Aldaya, M.M. & Hoekstra, A.Y. (2010). The water needed for Italians to eat pasta and pizza. *Agricultural Systems* 92, 351-360.
- Allen, J.A. (2002). Hydro-Peace in the Middle East: Why no water wars? A case study of the Jordan river basin. *SAIS Review* 22, 255-272.
- Allen, M. (2002). From cesspool to sewer: sanitary reform and the rhetoric of resistance, 1848-1880. *Victorian Literature and Culture* 30, 383-402.
- Alink, G.A. e.a. (2007). Genotoxic effects in the Eastern mudminnow after exposure to Rhine water, as assessed by the use of SCE and Comet assays: A comparison between 1978 and 2005. *Mutation Research* 631, 93-100.
- Allan, R.P. e.a. (2010). Current changes in tropical precipitation. *Environmental Research Letters* 5, 025205.
- Allan, R.P. & Riepert, B.G. (2010). Anticipated changes in the global atmospheric water cycle. *Environmental research Letters* 5, 025001.
- Al-Rashed, M. & Sherif M.M. (2000). Water resources in the GCC countries: an overview. *Water resources Management* 14, 59-75.
- Al-Wesha, K. (2000). Optimal use of irrigation water in the Jordan Valley: A case study. *Water resources Management* 14, 327- 338.
- Andersson, L. e.a. (2006). Impact of climate change and development scenarios on flow patterns in the Okavango river. *Journal of Hydrology* 331, 43-87.
- Andrade, T. (2005). The Company's Chinese pirates: How the Dutch East India Company tried to lead a coalition of pirates to war against China, 1621-1662. *Journal of World History* 15, 415-444.
- Angelakis, A.N. e.a. (2005). Urban wastewater and stormwater technologies in Ancient Greece. *Water Research* 39, 210-220.



- Annand, P.B. (2004). The political economy of water scarcity and issues of inequality, entitlements and identity. *International Journal of Technology Management and Sustainable Development* 3, 115-130.
- Annus, A. (2009). Folk tales of Iraq and the literary traditions of ancient Mesopotamia. *Journal of Ancient Near Eastern Religions* 9, 87-99.
- Anoniem. (1872). De rioolkwestie. *De Economist* 21, 1144-1149.
- Araus, J.L. (2004). The problems of sustainable water use in the Mediterranean and research requirements for agriculture. *Annals of Applied Biology* 144, 259-272.
- Archaeologica Medica, XLVI. (1898). How our forefathers fought the plague. *British Medical Journal* 2, 903-908.
- Arentz, B. (2000). Schadevergoeding bij militaire inundaties. *Tijdschrift voor Waterstaatgeschiedenis* 9, webversie 2006.
- Armbrust, E.V. (2009). The life of diatoms in the world's oceans. *Nature* 459, 185-192.
- Arnason, E. e.a. (2009). Intense habitat-specific fisheries induced selection at the molecular Pan 1 locus predicts imminent collapse of a major cod fishery. *PloS ONE* 4 e559.
- Aronson, N. e.a. (2008). Infections associated with war: the American forces experience in Iraq and Afghanistan. *Clinical Microbiology Newsletter* 30 (19), 135-140.
- Aten, D. (1999). Oorlog in het Noord-Hollandse polderland. *Tijdschrift voor Waterstaatgeschiedenis* 8, webversie 2006.
- Atkinson, K. & Magness, J. (2010). Jospheus' Essenes and the Qumran Community *Journal of Biblical Literature* 129, 317-342.
- Baartmans-van den Boogaart, J. (2001). *Uit en thuis in Brabant*. Amsterdam: Boom.
- Baas, J. & Kooijman B. (2010). Chemical contamination and the ecological quality of surface water. *Environmental Pollution* 158, 1603-1607.
- Babcock, R.C. e.a. (2010). Decadal trends in marine reserves reveal differential rates of change in direct and indirect effects. *Proceedings of the national Academy of Sciences, USA*, DOI 10.1073/pnas.0908012107.
- Babel, M.S. e.a. (2006). Land subsidence: a consequence of groundwater over-exploitation in Bangkok, Thailand. *International Review of Environmental Strategies* 6, 307-328.
- Bada, J.L. (2004). How life began on Earth: a status report. *Earth and Planetary Science Letters* 226, 1-13.
- Bagla, P. (2010). Along the Indus river, saber rattling over water security. *Science* 328, 1226-1227.
- Baker, A.C. e.a. (2008). Climate change and coral reef bleaching: an ecological assessment of long term impacts, recovery trends and future outlook. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 80, 435-471.
- Baker, R.H.A. e.a. (2000). The role of climatic mapping in predicting potential geographical distribution of non-indigenous pests under current and future climates. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 82, 57-71.
- Bakker, G. (2001). Het ontstaan van het Sneekermeer in relatie tot de ontginning van een laagveengebied, 950-1300. *Tijdschrift voor Waterstaatgeschiedenis* 10, webversie 2006.
- Bakker, G. (2005). De afsluiting van de Boorne naar de Middellzee. *Tijdschrift voor Waterstaatsgeschiedenis* 14, webversie 2006.
- Bakun, A. e.a. (2010). Greenhouse gas, upwelling-favorable winds and the future of coastal upwelling ecosystems. *Global Change Biology* 16, 1213-1228.
- Ballard, C. e.a. (2003). The ship as symbol in the prehistory of Scandinavia and Southeast Asia. *World Archeology* 35, 385-403.
- Ballot, A.M. (1873). Het wenschelijke van wettelijk toezicht op de zuiverheid van het drinkwater. *De Economist* 22, 944-960.
- Bamber, J.L. e.a. (2009). Reassessment of the potential sea-level rise from a collapse of the West Antarctic ice sheet. *Science* 324, 901-903.

- Bankoff, G. (2003). Constructing vulnerability: the historical natural and social generation of flooding in Metropolitan Manila. *Disasters* 27, 224-238.
- Barnett, T.P. & Pierce, D.W. (2009). Sustainable water deliveries from the Colorado River in a changing climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 106, 7334-7338.
- Barnish, S.J.B. (2001). Religio in stagno. *Journal of Early Christian Studies* 9, 387-402.
- Baro, M. en Deubel T.F. (2006). Persistent hunger: perspectives on vulnerability, famine and food security in sub Saharan Africa. *Annual Review of Anthropology* 35, 521-538.
- Barton, G.A. (1936). The origin of the thought pattern which survives in baptism. *Journal of the American Oriental Society* 56, 155-165.
- Batterman, S. e.a. (2009). Sustainable control of water-related infectious diseases: a review proposal for interdisciplinary health-based systems research. *Environmental Health Perspectives* 117, 1023-1031.
- Beal, T.K. (2002). *Religion and its monsters*. London/New York: Routledge.
- Beaugrand, G. e.a. (2009). Rapid biogeographical plankton shifts in the North Atlantic Ocean. *Global Change Biology* 15, 1790-1803.
- Beaugrand, G. e.a. (2010). Marine biodiversity, ecosystem functioning, and carbon cycles. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 107, 10120-10124.
- Beaugrand, G. & Kirby, R.K. (2010). Climate, plankton and cod. *Global Change Biology* 16, 1268-1280.
- Beaumont, P. (2002). Water policies for the Middle East in the 21st Century: the new economic realities. *Water Resources Development* 18, 315-335.
- Becker, R. e.a. (1992). Alternative crops for sustainable agricultural systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 40, 265-274.
- Bedal, L. (2000). A pool complex in Petra's city center. *Annual of the Department of Antiquities in Jordan* 43, 23-41.
- Beets, D.J. e.a. (2003). Holocene tidal back-barrier development at decelerating sea-level rise: a 5 millennia record, exposed in the Western Netherlands. *Sedimentary Geology* 158, 117-144.
- Belozerskaya, M. (2010). The first Tourist. *History Today* 60 (3), 26-32.
- Benders, M.A. e.a. (2010). Modeled impact of anthropogenic warming on the frequency of intense Atlantic hurricanes. *Science* 327, 454-458.
- Bengtsson, L. (2010). The global atmospheric water cycle. *Environmental research Letters* 5, 025002.
- Benvenisti, E. (2008). Asian traditions and contemporary international law on the management of natural resources. *Chinese Journal of International Law* 7, 273-283.
- Berendsen, H.J.A. (1997). *De vorming van het land*. Assen: Van Gorcum.
- Bergquist, N.R. (2002). Schistosomiasis: from risk assessment to control. *Trends in Parasitology* 18, 309-314.
- Berfeld, S. (2008). There will be water. *Business Week*, June 23
- Berriman M. e.a. (2009). The genome of the blood fluke *Schistosoma mansoni*. *Nature* 480, 352-358.
- Berkhout, F. (2008). Protecting climate refugees. *Environment* 50, 8-16.
- Berry, D. e.a. (2006). Microbial ecology of drinking water distribution systems. *Current Opinion in Biotechnology* 17, 297-302.
- Betts, K. (2008). Why small plastic particles may pose a big problem in the oceans. *Environmental Science & Technology* 42, 8995.
- Betts, R.A. e.a. (2007). Projected increase in continental runoff due to plant responses to increasing carbon dioxide. *Nature* 448, 1037-1041.
- Bhattacharya, S. e.a. (2009). The cholera crisis in Africa. *Science* 324, 885.
- Bindraban, P.S. e.a. (2006). Transforming inundated rice cultivation. *International Journal of water resources development* 22, 87-100.



- Birkenholz, T. (2009). Groundwater governmentality: hegemony and the technologies of resistance in Rajasthan's (India) groundwater governance. *Geographical Journal* 175, 208-220.
- Birrell, A. (1997). The four flood myths of Classical China. *T'oung Pao* 83, 213-259.
- Biswas, A.K. (2005). An assessment of future global water issues. *Water Resources Development* 21, 229-237.
- Blackford, J.C. (2010). Predicting the impacts of ocean acidification: challenges from an ecosystem perspective. *Journal of Marine Systems* 81, 12-18.
- Blanchard-Boehm, R.D. (2004). Natural Hazards in Latin America: Tectonic forces and storm fury. *The Social Studies May/June*, 93-105.
- Bloomfield, S.F. e.a. (2006). Too clean, or not too clean: the hygiene hypothesis and home hygiene. *Clinical and Experimental Allergy* 36, 402-425.
- Bocquet, D. e.a. (2008). From free good to commodity: universalizing the provision of water in Paris (1830-1930). *Geoforum* 39, 1821-1832.
- Boelens, R & Gelles, P.H. (2005). Cultural politics, communal resistance and identity in Andean irrigation development. *Bulletin of Latin American Research* 24, 311-327.
- Bohannon, J. (2010). The Nile delta's sinking future. *Science* 327, 1444-1457.
- Bogers, R. e.a. (2007). An in vitro screening assay as a sensitive tool to assess endocrine disruptive activity in surface water. *Environment International* 33, 292-301.
- Bono P. & Boni C. (1996). Water supply of Rome in antiquity and today. *Environmental Geology* 27, 126-134.
- Bonte, M. & Zwolsman G. (2009). Klimaatverandering en verzoeting van de Rijn. *H₂O* 20, 29-31.
- R.K. Booth, e.a. (2005). A severe centennial-scale drought in mid continental North America 4200 years ago and apparent global linkages. *The Holocene* 15, 321-328.
- Bos, G. (1994). Maimonides and the preservation of health. *Journal of the Royal Asiatic Society* 4, 213-235.
- Bosch, A. (1998). Naar eenheid en eenvoud. *Tijdschrift voor Waterstaatsgeschiedenis* 7, webversie 2006.
- Bosch, T. (2007). "t voornaamste onderwerp in Holland". *Tijdschrift voor Waterstaatgeschiedenis*, webversie 2008.
- Bottenmanne, C.W. (1872). Bevolking en ontvolking van het visch-water. *De Economist* 21, 597-620.
- Bouwman, B.A.M. e.a. (2007). Rice and water. *Advances in Agronomy* 92, 187-237.
- Bowman, M. (1998). Belief, legend and perceptions of the sacred in contemporary Bath. *Folklore* 109, 25-31.
- Boyce, D.G. e.a. (2010). Global phytoplankton decline over the past century. *Nature* 466, 591-596.
- Bragazza, L. (2008). A climatic threshold triggers the die-off of peat mosses during an extreme heat wave. *Global Change Biology* 14, 2688-2695.
- Braun, D.R. (2010). Early hominin diet included diverse terrestrial and aquatic animals 1.95 Ma in East Turkana, Kenya. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 107, 10002-10007.
- Brion, N. e.a. (2004). The North Sea: source or sink for nitrogen and phosphorus in the Atlantic Ocean? *Biogeochemistry* 68, 277-296.
- Brito, D. (2008). Amphibian conservation: are we on the right track? *Biological Conservation* 141, 2912-2917.
- Brookes, I.A. (1993). Geomorphology and quaternary geology of the Dakhla oasis region, Egypt. *Quaternary Science Reviews* 12, 529-552.
- Brown, L. (2008). Draining our future. *The Futurist May-June*, 18-22.
- Brown, O. e.a. (2007). Climate change as the 'new' security threat: implications for Africa. *International Affairs* 83, 1141-1154.
- Bruins, H.J. (2000). Proactive contingency planning vis a vis declining water security in the 21st century. *Journal of Contingencies and Crisis Management* 8, 63-71.
- Bruins, H.J. & Bu, F. (2006). Food security in China and contingency planning: the significance of grain reserves. *Journal of Contingencies and Crisis Management* 14, 114-124.

- Buishand, T.A. e.a. (2009). *Regionale verschillen in extreme neerslag*. De Bilt: KNMI.
- Burke, E.J. e.a. (2006). Modeling the recent evolution of global drought and the projection for the twenty-first century with the Hedley Centre Climate Model. *Journal of Hydrometeorology* 7, 1113-1125.
- Burke, M.B. e.a. (2009). Does warming increase the risk of civil war in Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106, 20670-20674.
- Burns, R.I. (1971). Baths and caravanserais in Crusader Valencia. *Speculum* 46, 443-448.
- Burton, L.R. (2003). The Mesey Basin: an historical assessment of water quality from an anecdotal perspective. *The Science of the Total Environment* 314-316, 53-86.
- Busvine, J.R. (1976). *Insects, hygiene and history*. Londen: Athlone Press.
- Cabello, F.C. (2006). Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: a growing problem for human and animal health and for the environment. *Environmental Microbiology* 8, 1137-1144.
- Cao, Z.H. e.a. (2006). Ancient paddy soils from the Neolithic age in China's Yangtze river delta. *Naturwissenschaften* 93, 232-236.
- Cai, W e.a. (2010). Decreasing CO₂ uptake capacity in and ice-free Arctic Ocean basin. *Science* 329, 556-559.
- Canargo, J.A. & Alonso, A. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment. *Environment International* 32, 831-849.
- Camusso, M. e.a. (2000). Ecotoxicological assessment in the rivers Rhine (the Netherlands) and Po (Italy). *Aquatic Ecosystem Health and Management* 3, 335-345.
- Cantin, N.E. e.a. (2010). Ocean warming slows coral growth on the central Red Sea. *Science* 32, 322-325.
- Cappers, W.P.R.A. (2008). Medicalisering van het lijkbezorgingsrecht. *Bijblijven* 24 (1), 8-19.
- Caprotti, F. (2006). Malaria and technological networks: medical geography in the Pontine marshes, Italy, in the 1930s. *The Geographical Journal* 172, 145-155.
- Carkoglu, A. & Eder, M. (2001). Domestic concerns and the water conflict over the Euphrates-Tigris river basin. *Middle Eastern Studies* 37, 41-71.
- Carling, D.C. & Zahnle, K.J. (2009). The planetary air leak. *Scientific American* May, 36-43.
- Carlson, A.E. e.a. (2007). Geochemical proxies of North American freshwater routing during the Younger Dryas cold event. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 6556-6561.
- Casarin, A. e.a. (2007). Failure in water reform: lessons from the Buenos Aires' concession. *Utilities Policy* 15, 234-247.
- Castaneda, I.S. (2009). Wet phases in the Sahara/Sahel region and human migration patterns in North Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106, 20159-20163.
- Cazenave, A. & Llovel, W. (2010). Contemporary sea level rise. *Annual review Marine Science* 2, 145-173.
- Cerergren, M.I., e.a.. (2002). Chlorination By-products and Nitrate in Drinking Water and Risk for Congenital Cardiac Defects. *Environmental Research A* 89, 124-130.
- Ceverny R. & Ceverny N. (2006). Egypt and water. *Weatherwise* December, 20-26.
- Chakraborti, D. e.a. (2002). Arsenic calamity in the Indian subcontinent. What lessons have been learned? *Talanta* 58, 3-22.
- Chancy, M.A. & Porter, A. (2001). The archaeology of Roman Palestine. *Near Eastern Archaeology* 64, 4.
- Changming, L. (1998). Environmental Issues and the South-North water transfer scheme. *The China Quarterly* 156, 899-919.
- Chapagain, A.K. e.a. (2006). The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics* 60, 186-203.
- Chapagain, A.K. & Hoekstra, A.Y. (2007). The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. *Ecological Economics* 64, 109-118.



- Charlier, R.H. (2003). Hold the sea back, is it sustainable? Retrospective and projection. *Journal of Coastal research* 18, 875-883.
- Charlier, R.H. & Chaineux, M.P. (2009). The healing sea: a sustainable ocean reserve: thalassotherapy. *Journal of Coastal Research* 25, 838-856.
- Charrois, J.W.A. (2010). Private drinking water supplies: challenges for public health. *Canadian Medical Association Journal* 182, 1061-1064.
- Charron, D.F. e.a. (2004). Vulnerability of waterborne diseases to climate change in Canada. A review. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A* 67, 1667-1677.
- Chatzis, K. & Coutard, O. (2005). Water and gas: early developments in the utility networks of Paris. *Journal of Urban Technology* 12, 1-17.
- Chen, C. e.a. (2009). Anthropogenic osmium in rain and snow reveals global-scale atmospheric contamination. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106, 7724-7728.
- Chen X & Zhong, Y. (1999). Major impacts of sea-level rise on agriculture in the Yangtze delta area around Shanghai. *Applied Geography* 19, 69-84.
- Childs, J. (1997). A short history of the military use of land in peacetime. *War in History* 4, 81-103.
- Chow, C.K. & Hong, C.B. (2002). Dietary vitamin E and selenium and the toxicity of nitrite and nitrate. *Toxicology* 180, 195-207.
- Chowdbury, M.R. (2003). The El Nino Southern Oscillation and seasonal flooding- Bangladesh. *Theoretical and Applied Climatology* 76, 105-124.
- Cifuentes, E. & Rodriguez, S. (2005). Urban sprawl, water insecurity, and enteric diseases in children from Mexico City. *EcoHealth* 2, 70-75.
- Cleland, J. e.a. (2006). Family planning: the unfinished agenda. *The Lancet* 368, 1810-1827.
- Clement, A.C. e.a. (2009). Observational and model evidence for positive low-level cloud feedback. *Science* 325, 460-464.
- Cleveringa, P. e.a. (2004). 'So groot overvloed der watere'. *Holland* 34, 160-180.
- Cockburn, T.A. (1971). Infectious diseases in ancient populations. *Current Anthropology* 12, 45-62.
- Cohen, A.P. (1978). Coercing rain deities in ancient China. *History of Religions* 17, 244-265.
- Cohen, S.A. e.a. (2007). Ecological consequences of early Late Pleistocene Megadroughts in tropical Africa. *Proceedings of the National Academy of Science* 104, 16422-16427.
- Colten, C.E. (1991). A historical perspective on industrial wastes and groundwater contamination. *Geographical Review* 81, 215-228.
- Colwell, R. (1996). Global climate and infectious disease; The Cholera Paradigm. *Science* 274, 2025-2031.
- Cominelli, E. e.a. (2009). Water: the invisible problem. *EMBO reports* 10, 671-676.
- Concha, G. e.a. (2010). High-level exposure to lithium, born, cesium and arsenic via drinking water in the Andes of Northern Argentina. *Environmental Science and Technology* 44, DOI: es1010384.
- Conley, D.J. e.a. (2008). Past, present and future state of the biogeochemical Si cycle in the Baltic Sea. *Journal of Marine Systems* 73, 338-346.
- Conley, D.J. e.a. (2009). Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus. *Science* 323, 101-1015.
- Conradi, P. (2008). Calcutta, water in overvloed maar beleid faalt. *H₂O* 20, 14-19.
- Cook, E.R. e.a. (2007). North American drought: reconstructions, causes and consequences. *Earth Science Reviews* 81, 93-134.
- Cook, E.R. e.a. (2010). Asian monsoon failure and megadrought during the last millennium. *Science* 328, 486-489.

- Cooke, C.A. e.a. (2009). Over three millennia of mercury pollution in the Peruvian Andes. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106, 8830-8834.
- Cooley, S.R. & Doney, S.C. (2009). Anticipating ocean acidification's economic consequences for commercial fisheries. *Environmental Research Letters* 4, 024007.
- Cooney, C.M. (2008). Drinking water analysis turns up even more toxic compounds. *Environmental Science & Technology* 42, 8175.
- Corbin, A. (1994). *The lure of the sea*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.
- Cornelisse, C. (2004). Het verveningsbeleid van de abdijen Leeuwenhorst en Rijnsburg in de late middeleeuwen. *Holland* 34, 181-204.
- Coulter J. (2002). Global importance of parasitic disease. *Current Pediatrics* 12, 523-533.
- Cressy D. (2009). Future fish. *Nature* 458, 398-400.
- Dai, A. e.a. (2004). A global data set of palmer drought severity index for 1870-2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal of Hydrometeorology* 5, 1117-1130.
- Dalton, R. (2010). Floods linked to San Andreas quakes. *Nature* 463, 16.
- Dam, M. (1999). Wens- en schrikbeelden van poep en poepverwijdering. *Medische Antropologie* 11, 1937.
- D'Arcy, P. (2006). *People of the sea: environment, identity and history in Oceania*. Honolulu: University of Hawaii Press.
- Davis, J. (2004). Corruption in public service delivery: experience from South Asia's water and sanitation sector. *World Development* 31, 53-71.
- Davis-Salazar, K.L. (2003). Late classic Maya water management and community organization at Copan, Honduras. *Latin American Antiquity* 14, 275-299.
- De'eath, G. e.a. (2009). Declining coral calcification on the Great Barrier Reef. *Science* 323, 116-119.
- De Bont, C. (2006). Onder de Biesbosch. *Tijdschrift voor waterstaatgeschiedenis*, webversie 2007.
- De Gaigny, S & Vanderstede W. (2005). Spiegel van het Hemelhuis. *Tijdschrift voor Sociale en Economische Geschiedenis* 2 (1), 3-29.
- Deforce, K. (2007). Peat re-excavated at the Abbey of Enname (Belgium): archaeobotanical evidence for peat extraction and long distance transport in Flanders around 1200 AD. *Environmental Archaeology* 12, 87-94.
- De Leeuw, J.J. e.a. (2008). Aiming at a moving target, a slow hand fails. 75 years of fisheries management in Lake IJsselmeer (the Netherlands). *Journal of Sea Research* 60, 21-31.
- Del Miral Ituarte, L. & Giansante, C. (2000). Constraints to drought contingency planning in Spain: the hydraulic paradigm and the case of Seville. *Journal of Contingencies and Crisis Management* 8 (2), 95-102.
- Dendle, P. (2006). Cryptozoology in the medieval and modern worlds. *Folklore* 117, 190-208.
- De Ridder, T. (1999). De oudste deltawerken van West-Europa. *Tijdschrift voor Waterstaatgeschiedenis* 8, webversie 2006.
- De Schrijver, K., e.a.. (2003). An outbreak of Legionaire's disease among visitors to a fair in Belgium in 1999. *Public Health* 117, 117-124.
- De Vos, H. e.a. (2006). Formal law and local water control in the Andean region; a fiercely contested field. *International Journal of Water Resources Development* 22, 37-48.
- De Wilt, C. (2005). Maaslandse kampen in Delfland. *Holland* 37, 76-101.
- Dobson, M. (1980). 'Marsh Fever' –the geography of malaria in England. *Journal of Historical Geography* 6, 357-389.
- Dodgen, R. (1999). Hydraulic religion. Great King Cults in the Ming and Quing. *Modern Asian Studies* 33, 815-833.

- Doney, S.C. e.a. (2010). The growing human footprint on coastal and open-ocean biogeochemistry. *Science* 328, 1512-1516.
- Donker, H. (1996). *Water tussen Regge en Dinkel*. Almelo: Waterschap Regge en Dinkel.
- Diralé, J.A. e.a. (2010). Sea-level highstand 81.00 years ago in Mallorca. *Science* 327, 860-863.
- Donner E. e.a. (2010). Presence and fate of priority substances in domestic greywater treatment and reuse systems. *Science of the Total Environment* 406, 2444-2451.
- Dore, J.E. e.a. (2009). Physical and biogeochemical modulation of ocean acidification in the central North Pacific. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106, 12235-12240.
- Doremus, H. & Tarlock, A.D. (2008). *Water war in the Klamath basin*. Washington DC: Island Press.
- Drewal, H.J. (2008). Mami Wata. *African Art Summer*, 60-83.
- Drinkwater, K.F. (2006). The regime shift of the 1920s and 1930s in the North Atlantic. *Progress in Oceanography* 68, 134-151.
- Dudgeon, D. (2000). The ecology of tropical Asian rivers and streams in relation to biodiversity conservation. *Annual Review of Ecological Systems* 31, 239-263.
- Dufo, E. & Pande R. (2007). Dams. *The Quarterly Journal of Economics* May, 601-646.
- Dulvy, N.K. & Reynolds, J.D. (2009). Skates on thin ice. *Nature* 462, 417.
- Dundes, A. (1988). *The Flood Myth*. University of California Press.
- Dzwairo B. e.a. (2006). Assessment of the impact of pit latrines on groundwater quality in rural areas: a case study from Marondera district, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth* 31, 779-788.
- Ebbesmeyer C & Scigliano E. (2009). *Flotsametrics and the floating world: how one man's obsession with runaway sneakers and rubber ducks revolutionized ocean science*. HarperCollins.
- Ebi, K.L. e.a. (2006). Climate change and human health impacts in the United States. *Environmental Health Perspectives* 114, 1318-1324.
- Edgerton-Tarpley K. (2008). *Tears from iron: cultural responses to famine in nineteenth-century China*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.
- Eggermont, H. e.a. (2008). Aquatic community response in a groundwater-fed desert lake to Holocene desiccation of the Sahara. *Quaternary Science Reviews* 27, 2411-2425.
- Eiichoro, I. (1950). The Kappa Legend. *Folklore Studies* 9, 1-171.
- El Asswad, R.M. (1995). Agricultural prospects and water resources in Libya. *Ambio* 24, 324-327.
- Endfield, G.H. e.a. (2004). Conflict and cooperation: water floods and social response in colonial Guanajuato, Mexico. *Environmental history* 9, 221-247.
- Engelbrecht, B.M.J. e.a. (2007). Drought sensitivity shapes species distribution patterns in tropical forests. *Nature* 447, 80-82.
- Engelman, H & Hallof, J. (1996). Der Sachmetpiester: ein frer Repräsentant der Hygiene und des Seuchenschutzes. *Studien zur Altägyptischen Kultur* 23, 103-146.
- Eriksson, C. & Burton, H. (2003). Origins and biological accumulation of small plastic particles in fur seals from Macquarie Island. *Ambio* 32, 380-384.
- Erlanson, J.M. & Rick, T.C. (2010). Archaeology meets marine ecology. *Annual Review of Marine Science* 2, 231-251.
- Estrada-García, T. & Mintz, E.D. (1996). Cholera: food borne transmission and prevention. *European Journal of Epidemiology* 12, 461-469.
- European Environment Agency. (2009). *Regional climate change and adaptation*. Copenhagen.
- Evans, H. (1989). European malaria policy in the 1920s and 1930s. *Isis* 80, 40-59.
- Evans, R.T. (1988). Epidemics and revolutions; cholera in nineteenth-century Europe. *Past & Present* 120, 123-146.

- Evrard, O. e.a. (2008). A grassed waterway and earthen dams to control muddy floods from a cultivated catchment in the Belian loess belt. *Geomorphology* 100, 419-428.
- Fabry, V.J. e.a. (2009). Ocean acidification at high latitudes: the bellwether. *Oceanography* 22, 160-171.
- Fairbairn, A. (2005). A history of agricultural production at Neolithic Catalhöyük East, Turkey. *World Archaeology* 37, 197-210.
- Falkenmark, M. (2003). Freshwater as shared between society and ecosystems: from divides approaches to integrated challenges. *Philosophical Transactions: Biological Sciences* 358, 2037-2049.
- Falkenmark, M. & Lannerstad M. (2005). Consumptive water use to feed humanity – curing a blind spot. *Hydrology and Earth System Sciences* 9, 15-28.
- Falkenmark, M. (2008). Water and sustainability. *Environment* 50 (2), 4-16.
- Fatmi, Z. e.a. (2009). Health burden of skin lesions at low arsenic exposure through groundwater in Pakistan: is the river the source? *Environmental Research* 109, 575-581.
- Faure, H. e.a. (2002). The coastal oasis: ice age springs on emerged continental shelves. *Global and Planetary Change* 33, 47-57.
- Faust, A. & Askenazy, Y. (2007). Excess in precipitation as a cause for settlement decline along the Israeli coastal plain during the third millennium B. *Quaternary Research* 68, 37-44.
- Feazel, L.M. e.a. (2009). Opportunistic pathogens enriched in showerhead biofilms. *Proceedings of the National Academy of Science USA* 106, 16393-16399.
- Fedorov, A.V. e.a. (2010). Tropical cyclones and permanent El Niño in the early Pliocene epoch. *Nature* 463, 1066-1070.
- Fitzpatrick, M. (2007). A fall from grace? National unity and the search for naval power and colonial possessions 1848-1884. *German History* 25, 136-161.
- Fleming, L.E. e.a. (2002). Blue green algal (cyanobacterial) toxins, surface water and liver cancer in Florida. *Harmful Algae* 1, 157-168.
- Flothman, S. e.a. (2010). Closing loopholes: getting illegal fishing under control. *Science* 328, 1235-1236.
- Folke, S. (1987). Conflicts over water and land in South Indian agriculture: a political economy perspective. *Economic and Political Weekly* 33, 341-349.
- Foltz, R. (2002). Iran's water crisis: cultural, political and ethical dimensions. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 15, 357-380.
- Forster, S.S.D. & Chilton, P.J. (2003). Groundwater; the processes and global significance of aquifer degradation. *Philosophical transactions: Biological Science* 358, 1957-1972.
- Fox, D. (2010). Could East Antarctica be headed for the Big Melt? *Nature* 328, 1630-1631.
- Franco, D.A. & Williams, C.A. (2000). Air, waters, places and other Hippocratic writings: inferences for control of foodborne and waterborne disease. *Environmental Health June*, 9-15.
- Franzmann, M. (1989). Living water mediating element in Mandeian myth and ritual. *Numen* 36, 156-172.
- Frederiksen, H.D. (2003). The world water crisis: ramifications of politics trumping basic responsibilities of the international community. *Water Resources Development* 19, 593-613.
- French, K.D. & Duffy, C.J. (2010). Prehispanic water pressure: a new world first. *Journal of Archaeological Science* 37 (5), 1027-1032.
- Friedman-Rudovsky, J. (2008). Return to Cochabamba. *Earth Island Journal autumn*, 41-44.
- Frost, G.J. (2004). The spa as model of an optimal healing environment. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine* 10, S85-S92.
- Gadit A.A. (1997). The concept of and traditional shamanic approaches to the treatment of mental illness. *European Psychiatry* 12, 1605.



- Ganguly, A.R. e.a. (2009). Higher trends but larger uncertainty and geographic variability in 21st century temperature and heat waves. *Proceedings of the national Academy of Sciences USA* 106, 15555-15559.
- Gat, M. (2005). The great powers and the water dispute in the Middle East; a prelude to the six day war. *Middle Eastern Studies* 41, 911-935.
- Gat, M. (2008). Retaliatory raids as an accelerating factor leading to the six-day war. *The Historian*, 463-484.
- Gazleh, S.A. e.a. (2009). Water input requirements of the rapidly shrinking Dead Sea. *Naturwissenschaften* 96, 637-643.
- Geels, F. (2005). Co-evolution of technology and society: the transition in water supply and personal hygiene in the Netherlands (1850-1930) – a case study in multi-level perspective. *Technology in Society* 27, 363-397.
- Geels, F. (2006). The hygienic transition from cesspools to sewer systems (1840-1930): the dynamics of regime transformation. *Research Policy* 35, 1069-1082.
- Geist, H.J. & Lambin, E.F. (2004). Dynamic causal patterns of desertification. *Bioscience* 54, 817-828.
- Genda, H. & Ikoma, M. (2008). Origin of the ocean on the Earth: early evolution of water D/H in a hydrogen rich atmosphere. *Icarus* 194, 42-52.
- Gerbens-Leenes, P.W. e.a. (2009). The water footprint of energy from biomass: a quantitative assessment and consequences of an increasing share of bioenergy in energy supply. *Ecological Economics* 68, 1052-1060.
- Gerhardt, W. (1966). The Hebrew/ Israelite Weather Deity. *Numen* 13, 128-143.
- Gething, P.W. e.a. (2010). Climate change and global malaria recession. *Nature* 465, 342-345.
- Gewin, V. (2010). Dead in water. *Nature* 466, 812-814.
- Gianni, A. e.a. (2008). A climate model-based review of drought in the Sahel: desertification, the re-greening and climate change. *Global and Planetary Change* 54, 119-128.
- Giger, W. (2009). The Rhine red, the fish dead – the 1986 Schw2izerhalle disaster, a retrospect and a long term assessment. *Environmental Science and Pollution Research* 16, S98-S111.
- Gilbert, A. (2007). Water for all: how to combine public management with commercial practice for the benefit of the poor. *Urban Studies* 44, 1559-1579.
- Ginkel, van R. (1996). The abundant sea and her fates: Texelian oystermen and the marine commons. *Comparative studies in society and history* 38, 218-242.
- Giordano, M. (2009). Global groundwater? Issues and solutions. *Annual Review of Environment and Resources* 14, 7.1-7.26.
- Gleditsch, N.P. e.a. (2006). Conflicts over shared rivers: resource scarcity or fuzzy borders? *Political Geography* 25, 361-382.
- Gleick, P.H. (1988). The effects of future climatic changes on international water resources: the Colorado rivers, the United States and Mexico. *Policy Science* 21, 23-49.
- Gleick, P. H. (1993). Water conflict: fresh water resources and international security. *International Security* 18, 79-112.
- Gleick, P.H. (2003). Water Use. *Annual Review of Environment and Resources* 28, 275-314.
- Goot, M. (2009). Searching for patterns among special animal deposits in the Dutch river area during the Roman period. *Journal of Archaeology in the Low Countries* 1 (2), 49-81.
- Gore, R. (2001). Ashkelon ancient city of the sea. *National Geographic* 199, 66-91.
- Gössling, S. e.a. (2010). Food management in tourism: reducing tourism's carbon 'footprint'. *Tourism Management*, DOI 10.1016/j.tourman.2010.04.006.
- Goldman, M. (2007). How 'Water for all' policy became hegemonic: the power of the World Bank and its transnational policy networks. *Geoforum* 28, 786-800.
- Gordon, L.J. e. a. (2005). Human modification of global vapor flows from the land surface. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 102, 7612-7617.

- Gorman, P.A. & Schneider, T. (2009). The physical basis for increase in precipitation extremes in simulations of 21st-century climate change. *Proceedings of the national Academy of Sciences of the USA* 106, 14773-14777.
- Government of India. Prime Minister's Council on Climate Change. (2009). *National Action Plan on Climate Change*. New Delhi.
- Gowers, E. (1995). The anatomy of Rome from Capitol to Cloaca. *The Journal of Roman Studies* 85, 23-32.
- Granier A. e.a. (2007). Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during an extremely dry year: 2003. *Agricultural and Forest meteorology* 143, 123-145.
- Greenwood, M. (1942). British loss of life in the wars of 1794-1815 and in 1914-1918. *Journal of the Royal Statistical Society* 105, 1-16.
- Gregory, C. (1997). Hunting for water in Port Moresby. *Anthropology Today* 13, 15-18.
- Gregory J.M. e.a. (2006). Simulated global-mean sea level changes over the last half-millennium. *Journal of Climate* 19, 4576-4591.
- Grettler, D.J. (2001). The nature of capitalism: environmental change en conflict over commercial fishing in nineteenth-century Delaware. *Environmental History* 6, 451-473.
- Grubb, F. (1987). Morbidity and mortality on the North Atlantic Passage: Eighteenth century German immigration. *Journal of Interdisciplinary History* 17, 565-585.
- Gruber, J.W. (1948). Irrigation and land use in ancient Mesopotamia. *Agricultural History* 22, 69-77.
- Gudasz, C., e.a. (2010). Temperature-controlled organic carbon mineralization in lake sediments. *Nature* 466, 478-481.
- Guest, J.S. e.a. (2009). A new planning and design paradigm to achieve sustainable resource recovery from wastewater. *Environmental Science & Technology* 43, 6126-6130.
- Gunatilake, H & C. Golopalajrishnan. (2002). Proposed water policy for Sri Lanka. *Water Resources Development* 18, 545-562.
- Gunkel, G. (2009). Hydropower- a green energy? Tropical reservoirs and greenhouse gas emissions. *Clean* 37, 726-734.
- Gupta, E. e.a. (2006). The changing epidemiology of dengue in Delhi, India. *Virology Journal* 3 (92), 1-5.
- Gupta, S. e.a. (2007). Catastrophic flooding origin of shelf valley systems in the English Channel. *Nature* 448, 342-345.
- Gutchen, R.M. (1961). Local improvements and centralization in nineteenth century England. *The Historical Journal* 4, 85-96.
- Gyawali, D. (1999). Institutional forces behind water conflict in the Ganga plains. *GeoJournal* 47, 443-452.
- Haase, D. (2009). Effects of urbanisation on the water balance – a long term trajectory. *Environmental Impact Assessment Review* 29, 211-219.
- Haftendorn, H. (2000). Water and international conflict. *Third World Quarterly* 21, 51-60.
- Hakansson, N.T. (1998). Rulers and rainmakers in precolonial; South Pare. *Ethnology* 37, 263-283.
- Halim, M.A. e.a. (2010). Evaluation of processes controlling the geochemical constituents in deep groundwater in Bangladesh: spatial variability on arsenic and boron enrichment. *Journal of Hazardous Materials* 180, 50-62.
- Hall, S.J. e.a. (2010). The end of the line: who is most at risk from the crisis in global fisheries? *Ambio* 39, 79-80
- Hamandawana, H. e.a. (2008). Reappraisal of contemporary perspectives on climate change in southern Africa's Okavango Delta sub-region. *Journal of Arid Environments* 72, 1708-1720.
- Hansen, P.R. e.a. (2009). Evaluation of endocrine disrupting effects of nitrate. *Toxicological Sciences* 108, 437-444.
- Harding, J.M. e.a. (2010). Reconstructing early 17th century estuarine drought conditions from Jamestown oysters. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 107, 10549-10554.



- Harris, L.M. & Alatout, S. (2010). Negotiating hydro-scales, forging states: comparison of the upper Tigris/ Euphrates and Jordan River basins. *Political Geography* 29, 148-156.
- Hart, C.R. e.a. (2005). Salt cedar control and water salvage on the Pecos river Texas, 1999-2003. *Journal of Environmental Management* 75, 399-409.
- Hasler, N. e.a. (2009). Effect of tropical deforestation on global hydroclimate: a multimodel ensemble analysis. *Journal of Climate* 22, 1124-1141.
- Hassan F.A. (2007). Extreme Nile floods and famines in medieval Egypt (AD 930-1500) and their climatic implications. *Quaternary International* 173-174, 101-112.
- Hauser-Schäublin, B. (2003). The pre-colonial Balinese state reconsidered. *Current Anthropology* 4, 153-181.
- Havrelock, R. (2007). My home is over Jordan: river as border in Israeli and Palestinian national mythology. *National Identities* 9, 105-126.
- Hayden, B. (2010). The hand of God: capitalism, inequality, and moral geographies in Mississippi after hurricane Katrina. *Anthropological Quarterly* 83, 177-204.
- Hefting, M. e.a. (2006). Water quality dynamics and hydrology in nitrate loaded riparian zones in the Netherlands. *Environmental Pollution* 139, 143-156.
- Hendriks, I.E. e.a. (2010). Vulnerability of marine biodiversity to ocean acidification: a meta-analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 86, 157-164.
- Herbert, A.E. (2009). Gender and the spa: space, sociability and self in British health spas, 1640-1714. *Journal of Social History* winter, 361-383.
- Herrenschmidt, C. & Lincoln B. (2004). Healing and salt waters: the bifurcated cosmos of Mazdean religion. *History of Religions*, 269-283.
- Herweijer, C. e.a. (2006). North American droughts of the mid to late nineteenth century: a history, simulation and implication for mediaeval drought. *The Holocene* 16, 159-171.
- Hewlett, B.S. & Amola, R.P. (2003). Cultural contexts of Ebola in Northern Uganda. *Emerging Infectious Diseases* 9, 1242-1247.
- Heylen, J. (1998). De hoogwaters op de Grensmaas in December 1993 en 13 maanden later in januari-februari 1995. *Water maart/april*, 67-76
- Hill, M.J. (1999). Nitrate toxicity: myth or reality? *British Journal of Nutrition* 81, 343-344.
- Hill, J. e.a. (2008). Mediterranean desertification and land degradation. Mapping land related land use change syndromes based on satellite observations. *Global and Planetary Change* 64, 146-157.
- Hoegh-Guldberg, O. e.a. (2010). The impact of climate change on the worlds marine ecosystems. *Science* 328, 1523-1528.
- Hoekstra, A.Y & Chapagain, A.K. (2007). The water footprints of Morocco and the Netherlands: global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities. *Ecological Economics* 64, 143-151.
- Hoeksta, A.Y. en Hung, P.Q. (2005). Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environmental Change* 15, 45-56.
- Hoff, H. (2009). Global water resources and their management. *Current Opinon in Environmental Sustainability* 1, 141-147.
- Hoffmann, J. (1941). *Urabstimmungen in Quellen südöstlich des Erzgebirges bis zum Wiener Thermalgebiet*. Technische Hochschule Wien: Institut für chemische Technologie anorganischer Stoffe.
- Hofmann, G.E. e.a. (2010). The effect of ocean acidification on calcifying organisms in marine ecosystems: an organism to ecosystem perspective. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 41, 127-147.
- Hofman, M. & Rahmstorf S. (2009). On the stability of the Atlantic meridional overturning circulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106, 20584-20589.

- Hofman, M. & Schellhuber, H.J. (2009). Oceanic acidification affects marine carbon pump and triggers extended marine oxygen holes. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106, 3017-3022.
- Hofstedt, T. (2010). China's water scarcity and its implications for domestic and international stability. *Asian Affairs: An American Review* 37, 71-83.
- Homer-Dixon, T.F. (1994). Environmental scarcities and violent conflict: evidence from cases. *International Security* 19, 5-40.
- Howard, R.W. (2008). Coastal nitrogen pollution: a review of sources and trends globally and regionally. *Harmful Algae* 8, 14-20.
- Huber, V. (2006). Unification of the globe by disease? The international sanitary conferences on cholera 1851-1894. *The History Journal* 49, 453-476.
- Hudson, P.F. (2008). Flood management along the lower Mississippi and Rhine rivers and the continuum of geomorphic adjustment. *Geomorphology* 101, 209-236.
- Hoffmann, R.C. (2005). A brief history of aquatic resource use in medieval Europe. *Helgoland Marine Research* 59, 22-30.
- Hoffman, T.N. (2009). A cultural proxy for drought: ritual burning on the iron age of Southern Africa. *Journal of Archaeological Science* 36, 991-1005.
- Hughes, L. (2003). Climate change in Australia: trends, projections and impacts. *Austral Ecology* 28, 423-443.
- Highes, M.K & Diaz, H.F. (2008). Climate variability and change in the drylands of western North America. *Global and Planetary Change* 64, 111-118.
- Hulme, M & Neufeldt, H. (2010). *Making climate change work for us*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Humphries, I. (2006). Breaching borders: the role of water in the Middle East conflict. Washington. *Report on Middle East Affairs* 25, 20-22.
- Hunter, J.M. (2003). Inherited burden of disease: agricultural dams and the persistence of bloody urine (Schistosmiasis hematobium) in the Upper East Region of Ghana, 1959-1997. *Social Science and Medicine* 56, 219-234.
- Hurowitz, V.A. (2003). The Mesopotamian God image: from womb to tomb. *Journal of the American Oriental Society* 123, 147-158.
- Immerzeel, W.W. e.a. (2010). Climate change will affect the Asian water towers. *Science* 328, 1382-1385.
- Ingemark, C.A. (2008). The octopus in the sewers: an ancient legend analogue. *Journal of Folklore Research* 45, 145-170.
- Irwin, L. (1992). Cherokee healing: myth, dreams and medicine. *American Indian Quarterly* 16, 237-256.
- Isaak, M. (2002). *Flood stories from around the world*. www.talkorigins.com
- Islam, S. e.a. (2005). Development and application of an integrated water balance model to study the sensitivity of the Tokyo metropolitan area water availability scenario to climate changes. *Water Resources Management* 19, 423-445.
- Jackson, R.B., e.a. (2001). Water in a changing world. *Ecological Applications* 11, 1027-1054.
- Jansen, M. (1989). Water supply and sewage disposal at Mohenjo-Daro. *World Archeology* 21, 177-192.
- Jennings, E.T. (2006). *Curing the Colonizers: Hydrotherapy, Climatology and French Colonial Spas*. Durham, N.C.: Duke University Press.
- Jiang, T. e.a. (2005). Yangtze Delta floods and droughts of the last millennium: abrupt changes and long term memory. *Theoretical and Applied Climatology* 82, 131-141.
- Jin L. & Joung, W. (2001). Water use in agriculture in China: importance, challenges and implications for policy. *Water Policy* 3, 215-228.



- Johanson P.T.J. e.a. (2007). Aquatic eutrophication promotes pathogenic infection in amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 104, 15781-15786.
- Jonkman, S.N. e.a. (2008). Integrated hydrodynamic and economic modeling of flood damage in the Netherlands. *Ecological Economics* 66, 77-90.
- Jorgensen, D. (2008). Cooperative sanitation. *Technology and Culture* 48, 547-566.
- Kallis, G. (2008). Droughts. *Annual Review of the Environment and Resources* 33, 85-118.
- Kallis, G. (2010). Coevolution in water resource development. *Ecological Economics* 69, 796-809.
- Kamynowski, D. & Zentara, S. (2005). Changes in the world ocean nitrate availability through the 20th century. *Deep Sea Research* 152, 1719-1744.
- Karmatkar, S. e.a. (2008). Post-earthquake outbreak of rotavirus gastroenteritis in Kashmir (India); an epidemiological analysis. *Public Health* 122, 981-989.
- Kasting, J.F. (2003). The origins of water on Earth. *Scientific American* 13 (3), 28-34.
- Kaufman, A. (2009). Let sleeping dogs lie. On Ghajar and other anomalies in the Syria-Lebanon-Israel tri-border region. *Middle East Journal* 63, 539-560.
- Kaijser, A. 2002. System building from below. *Technology and Culture* 43, 521-548.
- Keeling, R.F. e.a. (2010). Ocean deoxygenation in a warming world. *Annual Review Marine Science* 2, 199-229.
- Kenoyer, J.M. (2005). Uncovering the keys to the lost Indus cities. *Scientific American* 15, 24-33.
- Kerr, M. e.a. (1992). Cold water and hot iron. Trial by ordeal in England. *Journal of Interdisciplinary History* 22, 573-595.
- Kerr, R.A. (2010). Arctic Armageddon needs more science, less hype. *Science* 329, 620-621.
- Kevane, M. & Gray, L. (2008). Darfur: rainfall and conflict. *Environmental Research Letters* 3, 034006.
- Khan, S. e.a. (2006). Can irrigation be sustainable? *Agricultural Water Management* 80, 87-99.
- Khan, S. e.a. (2009). Water management and crop production for food security in China: a review. *Agricultural Water Management* 96, 349-360.
- Kim, B.R., e.a. (2002). Efficacy of various disinfectants against Legionella in water systems. *Water Research* 36, 4433-4444.
- Kingsley, S. (2008). From Carmel to Genesis: a Neolithic flood in the Holy Land? *Bulletin of the Anglo-Israel Archaeological Society* 26, 75-93.
- Kjellen, M. (2006). *From public pipes to private hands: water access and distribution in Dar Es Salaam*. Ph D Thesis: Stockholm University.
- Kocar, B.D. e.a. (2008). Integrated biogeochemical and hydrologic processes driving arsenic release from shallow sediments to groundwaters in the Mekong delta. *Applied Geochemistry* 23, 3059-3071.
- Koch, H & Vögele, S. (2009). Dynamic modelling of water demand, water availability and adaptation strategies for power plants to global change. *Ecological Economics* 68, 2031-2039.
- Komakech, H. e.a. (2010). Pangani river basin over time and space: on the interface of local and basium responses. *Agricultural water Management*. DOI 10.1016/j.agwat.2010.06.011.
- Kooymans, L.P.L. (2009). The agency factor in the process of Neolithisation – a Dutch case study. *Journal of Archaeology in the Low Countries* 1.1, 27-53.
- Kopp, R.E. e.a. (2009). Probabilistic assessment of sea level during the last interglacial stage. *Nature* 462, 863-867.
- Kosjek, T. e.a. (2009). Fate of carbamazepine during water treatment. *Environmental Science & Technology* 43, 6256-6261.
- Kovda, V.A. (1983). Loss of productive land due to salinization. *Ambio* 12, 91-93.
- Kozul, C.D. e.a. (2009). Chronic exposure to arsenic in the drinking water alters the expression of immune response genes in mouse lung. *Environmental Health Perspectives* 117, 1108-1115.

- Krinitsky, E.L. (2005). Earthquakes and soil liquefaction in flood stories of the ancient Near East. *Engineering Geology* 76, 295-311.
- Kump, L.R., e.a. (2009). Ocean acidification in deep time. *Oceanography* 22, 94106.
- Kunii, O. S, e.a. (2002). The impact on health and risk factors of the diarrhoea epidemics in the 1998 Bangladesh floods. *Public Health* 116, 68-74.
- Kuys, J. (2001). Aflaat en Waterstaat. *Tijdschrift voor Waterstaatgeschiedenis* 10, webversie 2006.
- Labat, D. (2006). Oscillations in the land surface hydrological cycle. *Earth and Planetary Science Letters* 242, 143-154.
- Lacey, S.W. (1995). Cholera: calamitous past, ominous future. *Clinical Infectious Diseases* 20, 1409-1419.
- Lambert, B. R. (2001). Radiation: early warnings, late effects. In *Late lessons from early warnings*. European Environment Agency Copenhagen.
- Lambert, W.G. (1983). Trees, snakes and gods in ancient Syria and Anatolia. *Bulletin of the School of Oriental and African Studies. University of London*. 48, 435-451.
- Langereis, S. (2006). Hollandse vis. *Holland* 38, 143-149.
- Larsen, T.A. (2009). Source separation: will we see a paradigm shift in wastewater handling? *Environmental Science & Technology* 43, 6121-6125.
- Lansing, J.S. & Miller, J.H. (2005). Cooperation, games and ecological feedback. *Current Anthropology* 46, 328-334.
- Latorre, J.G. e.a. (2001). The man made desert: effects of economic and demographic growth on the ecosystems of arid southeastern Spain. *Environmental History* 6, 75-94.
- Laudon, H. e.a. (2009). Response of dissolved organic carbon following forest harvesting in a boreal forest. *Ambio* 38, 381-386.
- Laurance, W.F. (2007). Forests and floods. *Nature* 449, 409-410.
- Lavery, S. & Donovan, B. (2005). Flood risk management in the Thames Estuary looking ahead 100 years. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 363, 1455-1474.
- Leduc, T.B. (2007). Fuelling America's climatic apocalypse. *Worldviews* 11, 255-283.
- Leenders, K.A.H.W. (2004). De interactie tussen mens en natuur in de strijd om land en water in het zuiden van Holland, 1200-1650. *Holland* 34, 142-161.
- Lempa, H. (2002). The spa: emotional economy and social classes in nineteenth-century Pymont. *Central European History* 35, 37-73.
- Le Quéré, C. (2010). Trends in the land and ocean carbon uptake. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2, 1-6.
- Le Roy Ladurie, E. & Daux, V. (2008). The climate in Burgundy and elsewhere from the fourteenth to the twentieth century. *Interdisciplinary Science Reviews* 33, 1024.
- Levin, R. e.a. (2002). US drinking water challenges in the 21st century. *Environmental Health Perspectives* 110, supplement 1, 43-52.
- Li, J & Kusky, K.M. (2007). World's largest known Precambrian fossil black smoker chimneys and associated microbial vent communities, North China: implications for early life. *Gondana Research* 12, 84-100.
- Li, L.M. (2007). *Fighting famine in north China: State, Market and Environmental Decline*. Stanford: Stanford University Press.
- Liang, S. e.a. (2007). Environmental effects on parasitic disease transmission exemplified by schistosomiasis in Western China. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA* 104, 7110-7115.
- Lienert, J & Larsen, T.A. (2010). High acceptance of urine source separation in seven European countries. *Environmental Science & Technology* 44, 556-566.



- Lightfoot, D. (1996). Moroccan Khetara: traditional irrigation and progressive desiccation. *Geoforum* 27, 261-273.
- Lindegaard, H. (2001). The debate on the sewerage system in Copenhagen from the 1840s to the 1930s. *Ambio* 30, 323-326.
- Lindenlauf, A. (2003). The sea as place of no return in ancient Greece. *World Archeology* 35, 416-433.
- Linscott, A.L. (2007). Natural disasters-a microbes paradise. *Clinical Microbiology Newsletter*, april, 57-62.
- Lintsen, H. e.a. (2004). Hoe innovatief is Rijkswaterstaat? *Tijdschrift voor Waterstaatsgeschiedenis* 13, webversie 2006.
- Liu, J. e.a. (2008). A spatially explicit assessment of current and future hotspots of hunger in sub-Saharan Africa in the context of global change. *Global and Planetary Change* 64, 222-235.
- Livingston, M. (2003). Temples for water. *Natural History* 112, 4.
- Llamas, M.R & Martinez-Santos, F. (2005). Intensive groundwater use: silent revolution and potential source of social conflicts. *Journal of Water Resources Planning and Management*, september/oktober, 337-341.
- Lobel, J.A. & Patel, S.S. (2010). Bog bodies rediscovered. *Archaeology* 63, 22-29.
- Loeb, R. e.a. (2009). Sturen op fosfor of stikstof voor verbetering ecologische kwaliteit van zoete wateren. *H2O* 22, 32-34.
- Logan, M.F. (1999). Head cuts and check-dams: changing patterns of environmental manipulation by the Hohokam and Spanish in the Santa Cruz river valley. 200-1820. *Environmental History* 3, 403-430.
- Lopez-Gunn, E. (2009). Governing shared groundwater: the controversy over private regulation. *The Geographical Journal* 175, 29-51.
- Lotze, H.K. (2007). Rise and fall of fishing and marine resource use in the Waddenzee, Southern North Sea. *Fisheries Research* 87, 208-218.
- Lourandos, H. (1980). Change or stability? Hydraulics, hunter-gatherers and population in temperate Australia. *World Archaeology* 11, 245-264.
- Lowi, M.R. (1995). *Water and Power: The politics of a scarce resource in the Jordan River Basin* (pp 115-132), Cambridge: Cambridge University Press.
- Lundberg J.G. e.a. (2000). So many fishes, so little time. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 87, 26-62.
- Lundqvist, J. e.a. (2003). Dimensions and approaches for third world city water security. *Philosophical Transactions. Biological Sciences* 358, 1985-1996.
- Lydeard, C. e.a. (2004). The global decline of nonmarine mollusks. *BioScience* 54, 321-330.
- Lyman, J.M. e.a. (2010). Robust warming of the global upper ocean. *Nature* 465, 3335-3337.
- Mabee, B. (2009). Pirates, privateers and the political economy of violence. *Global Change. Peace and Security* 21 (2), 139-152.
- Mache, S. & Meyer, S. (1905). Über die Radioaktivität der Quellen der böhmischen Bädertgruppe: Karlsbad, Marienbad, Teplitz-Schönau-Dux, Franzenbad, sowie St Joachimstal. *Chemieheft der kaiserliche Academie der Wissenschaften* 6, 595-626.
- Madaleno, I.M. (2007). The privatization of water and its impacts on settlements and traditional cultural practices in Northern Chile. *Scottish Geographical Journal* 123, 193-208.
- Magee, P. (2007). Beyond the desert and the sown: settlement intensification in late prehistoric Southern Arabia. *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* 347, 83-105.
- Magnus, P. e.a. (1999). Water chlorination and birth effects. *Environmental Health Perspectives* 10, 513-517.
- Makarieva, A.M. e.a. (2006). Conservation of water cycle on land via restoration of natural closed-canopy forests: implications for regional landscape planning. *Ecological Research* 24, 897-906.
- Malakov, D. (2010). A push for quieter ships. *Science* 328, 1502-1503.

- Malley, Z.J.U. (2008). Linking perceived land and water resources degradation, scarcity and livelihood conflicts in southwestern Tanzania: implications for sustainable rural livelihood. *Environment, Development and Sustainability* 10, 349-372.
- Mann, M.E. e.a. (2009). Atlantic hurricanes and climate over the past 1.500 years. *Nature* 460, 880-885.
- Manning, S.D. e.a. (2008). Variation in virulence among clades of *Escherichia coli* O 157: H 7 associated with disease outbreaks. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 105, 4868-4873.
- Mansson, N. e.a. (2009). Phasing out cadmium, lead and mercury. *Journal of Industrial Ecology* 13, 94-111.
- Manz, F., e.a. (2002). The most essential nutrient: defining the adequate intake of water. *The Journal of Paediatrics* 141, 587-592.
- Mariotti, A. e.a. (2008). Mediterranean water cycle changes: transition to drier 21st century conditions in observations and CMIP3 simulations. *Environmental Research Letters* 2, 044001.
- Marks, R. Pearl River Delta. *Environmental History* 9, 296-299.
- Martens, P., e.a. (1999). Climate change and future populations at risk of malaria. *Global Climate Change* 9, S 89-S 107.
- Mashuda, A. e.a. (2010). Simulated rapid warming of abyssal North Pacific waters. *Science* 329, 319-322.
- Mays, L.W. (2008). A very brief history of hydraulic technology during antiquity. *Environmental Fluid Mechanics* 8, 471-484.
- Mbonile, M.J. (2005). Migration and intensification of water conflicts in the Pangani Basin, Tanzania. *Habitat International* 29, 41-67.
- McBwarh, J. & Huang-McBeath, J. (2009). Environmental stressors and food security in China. *Journal of Chinese Political Science* 14, 49-80.
- McBearty, S. & Stinger, S.C. (2007). The coast in colour. *Nature* 449, 793-794.
- McDonald, G.M. (2007). Severe and sustained drought in southern California and the West: present conditions and insights from the past on causes and impacts. *Quaternary International*, DOI:10.1016/j.quaint.2007.03.012.
- McGough, L.J. (2006). Demons, nature or God. Witchcraft accusations and the Drench disease in early modern Venice. *Bulletin for the History of Medicine* 80, 219-246.
- McIntosh, D. e.a. (2008). Transferable multi antibiotic and mercury resistance in Atlantic Canadian isolates of *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* is associated with carriage of an IncA/C plasmid similar to the *Salmonella enterica* plasmid pSN254. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 61, 1221-1228.
- McNeil, C.L. (2010). Evidence disputing deforestation as the cause for the collapse of the ancient Maya polity of Copan, Honduras. *Proceedings of the National Academy of Science USA* 107, 1017-1022.
- Meier, D. (2004). Man and environment in the marsh area of Schleswig-Holstein from Roman until late medieval times. *Quaternary International* 112, 55-69.
- Merli, C. (2010). Context-bound Islamic theodicies: the tsunami as supernatural retribution vs natural catastrophe in Southern Thailand. *Religion* 40, 104-111.
- Mervart, D. (2009). A closed country in the open seas. Engelbert Kaemfer's Japanese solution for European modernity's predicament. *History of European Ideas* 35, 321-329.
- Meybeck, M. (2003). Global analysis of river systems: from Earth system controls to Anthropocene syndromes. *Philosophical Transactions. Biological Sciences* 358, 1935-1955.
- Meyer, W.B. (2002). The perfectionists and the weather. *Environmental History* 7, 589-610
- Micklin, P. & Aladin, N.V. (2008). Reclaiming of the Aral Sea. *Scientific American* 298, 64-71.
- Migliorati, G. e.a. (2008). Gastroenteritis outbreak at holiday resort, Central Italy. *Emerging Infectious Diseases* 14, 474-477.



- Miles, E.L. (2009). On the increasing vulnerability of the world ocean to multiple stresses. *Annual Review of the Environment and Resources* 34, 18.1-18.25.
- Millan, M.M., e.a. (2005). Climate feedbacks and desertification. *The Mediterranean Model. Journal of Climate* 18, 684-701.
- Miller, R. (1980). Water use in Syria and Palestine from the Neolithic to the Bronze Age. *World Archeology* 11, 331-341
- Millero, F.J. (2009). Effect of ocean acidification on the speciation of metals in seawater. *Oceanography* 22, 72-85.
- Mitha, F. (2010). The Jordanian-Israeli relationship: the reality of cooperation. *Middle East Policy* 17 (2), 105-126.
- Molden, D. e.a. (2010). Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. *Agricultural Water Management* 97, 528-535.
- Möller, P. e.a. (2007). Hydrochemical processes in the lower Jordan valley and the Dead Sea area. *Chemical Geology* 239, 27-49.
- Molle, F. e.a. (2010). River basin closure: processes, implications and responses. *Agricultural Water Management* 97, 569-577.
- Monecke, K. e.a. (2008). A 1000 year sediment record of tsunami recurrence in Northern Sumatra. *Nature* 445, 1232-1234.
- Moolenaar, J.W. & van Santen, J.M. (2006). Maami Waata's underwater kingdom. *The Geographical Journal* 122, 331-347.
- Moore, M.V. e.a. (2009). Climate change and the World's 'sacred sea'- lake Baikal, Siberia. *BioScience* 59, 405-417.
- Moelker, H.P. (1997). De Diemerdijk. *Tijdschrift voor Waterstaatgeschiedenis* 6, webversie 2006.
- Moore, W.S. (2010). The effect of submarine groundwater discharge on the ocean. *Annual Review of Marine Science* 2, 59-88.
- Moral-Ituarte L. de & Giansante, C. (2000). Constraints to drought contingency planning in Spain; the hydraulic paradigm and the case of Seville. *Journal of Contingencies and Crisis Management* 8, 93-102.
- Morell, V. (2009). Can science keep Alaska's Bering Sea pollock fishery health? *Science* 326, 1340-1341.
- Morewood, S. (2006). Suez, the canal before the crisis. *History Today* 56, November.
- Morrisette, J.J. & Borer, D.A. (2004/2005). Where oil and water do mix: environmental scarcity and future conflict in the Middle East and North Africa. *Parameters*, winter, 86-101.
- Morton, J.B. e.a. (2010). Identification of Younger Dryas outburst flood path from Lake Agassiz to the Arctic Ocean. *Nature* 464, 740-743.
- Motti M.J. e.a. (2007). Water and astrobiology. *Chemie der Erde* 67, 253-282.
- Mueter, F.J. e.a. (2009). Ecosystem responses to recent oceanographic variability in High latitude Northern Hemisphere ecosystems. *Progress in Oceanography* 81, 93-110.
- Mulder, K. e.a. (2010). Burning water: a comparative analysis of the energy return on water invested. *Ambio* 39, 30-39.
- Mundal, B.K. & Suzuki, K.T. (2002). Arsenic round the world: a review. *Talanta* 58, 201-235.
- Murphy, E.F. (1957). Water law doctrines before 1400. *The American Journal of Legal History* 1, 103-118.
- Murray, C.J. & A.D.Lopez. (1997). Global mortality, disability and the contribution of risk factors: Global Burden of Disease Study. *The Lancet* 349, 1436-1442.
- Mustafa, D. (2007). Social construction of hydropolitics: the geographical scales of water and security in the Indus basin. *Geographical Review* 97, 484-501.

- Mvangi A. e.a. (2005). Management of water for irrigation agriculture in semi-arid areas; problems and prospects. *Physics and Chemistry of the Earth* 30, 809-817.
- Nakata H e.a. (2009). Occurrence and concentrations of benzotriazole UV stabilizers in marine organisms and sediments from the Anaka Sea. Japan. *Environmental Science & Technology* 43, 6920-6826.
- Narbonne, G.M. (2010). Ocean chemistry and early animals. *Science* 328, 53-54.
- Narisma, G.T. e.a. (2007). Abrupt changes in rainfall during the twentieth century. *Geophysical Research Letters* 34, L06710.
- Naylor, R.L. e.a. (2007). Assessing risks of climate variability and climate change for Indonesian rice agriculture. *Proceedings of the national Academy of Sciences USA* 104, 7752-7757.
- Nazemosadat, M.J. & Ghasemi, A.R. (2004). Quantifying the ENSO-related shifts in the intensity and probability of drought and wet periods in Iran. *Journal of Climate* 17, 4005-4018.
- Nelson, E.J. e.a. (2009). Cholera transmission: the host pathogen and bacteriophage dynamic. *Nature Reviews Microbiology* 7, 693-702.
- Nelson, K.L & Murray, A. (2008). Sanitation for unserved populations: technologies. Implementation challenges and opportunities. *Annual Review of Environment and Energy* 33, 119-151.
- Nemarundwe, N & Kozanayi, W. (2003). Institutional arrangements for water resource use: a case study from Southern Zimbabwe. *Journal of Southern African Studies* 29, 193-206.
- Neumann, N.F. e.a. (2005). Waterborne disease: an old foe re-emerging. *Journal of Environmental Engineering Science* 4, 155-171.
- Nicault, A. e.a. (2008). Mediterranean drought fluctuation during the last 500 years based on tree-ring data. *Climate Dynamics* 31, 227-245.
- Nicholls, R.J. e.a. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science* 328, 1517-1520.
- Nieuwenhuijsen, M.J. e.a. (2009). Chlorination disinfection by-products in drinking water and congenital anomalies: review and meta-analyses. *Environmental Health Perspectives* 117, 1486-1493.
- Nissenbaum, A. (1992). The Dead Sea monster. *International Journal of Salt Lake Research* 1, 1-8.
- Notz, D. (2009). The future of ice sheets and sea ice: between reversible retreat and unstoppable loss. *Proceedings of the National Academy of Science USA* 106, 20590-20595.
- Nijs, T. de (2008). Toxiciteit van oppervlaktewater blijft een probleem. *H₂O* 21, 29-31.
- O'Grady, F.P. (2002). *Thales of Miletus: The beginning of Western science and philosophy*. Burlington: Ashgate.
- Ohe, T. e.a. (2004). Mutagens in surface waters: a review. *Mutation Research* 567, 109-149.
- Okazaki, U. e.a. (2010). Deepwater formation in the North Pacific during the Last Glacial Termination. *Science* 329, 200-203.
- Olsson, L. (2005). A recent greening of the Sahel – trends, patterns and potential causes. *Journal of Arid Environments* 63, 556-566.
- Orloff, C.R. e.a. (1993). Climate and collapse: agro-ecological perspectives on the decline of the Tiwanaku state. *Journal of Archeological Science* 20, 195-221.
- Orlove, B. (2009). Glacier retreat. *Environment* 51 (3), 22-34.
- Ortiz, R. e.a. (2008). Climate change: can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 126, 46-58.
- Oschlik, L. (1942). Ponce de Leon's Fountain of youth. History of a geographical myth. *The Hispanic American Historical Review* 21, 361-385.
- Osté, P. e.a. (2008). Vergeten metalen in rijkswateren: meten we de goede stoffen? *H₂O* 20, 53-55.
- Oster, J.D. & Wichelns, D. (2003). Economic and agronomic strategies to achieve sustainable irrigation. *Irrigation Science* 22, 107-120.



- O' Sullivan, L. e.a. (2008). Deforestation, mosquitoes and ancient Rome: lessons for today. *BioScience* 58, 756-760.
- Overman, S.J. (1973). Medieval students, too, had battles against pollution. *The American Biology Teacher* 35, 81-83.
- Overpeck, J. & Udall, B. (2010). Dry times ahead. *Mature* 328, 1642-1643.
- Owens, E.J. (1983). The koprologoi at Athens in the fifth and fourth centuries BC. *The Classical Quarterly* 33, 44-50.
- Paaijmans, K.P. e.a. (2009). Understanding the link between malaria risk and climate. *Proceedings of the National Academy of Science USA* 106, 13844-13848.
- Pal, I. & Al-Tabbaa, A. (2009). Trends in seasonal precipitation extremes: an indicator of climate change in Kerala, India. *Journal of Hydrology* 367, 62-69.
- Palmowski, J. (2002). Liberalism and local government in late nineteenth-century Germany and England. *The Historical Journal* 45, 381-409.
- Paquet, C. & Hanquet G. (1998). Control of infectious diseases in refugee and displaced populations in developing countries. *Bulletin Institut Pasteur* 96, 3-14.
- Parasiliti, A.T. (2003). The causes and timing of Iraq's war. *International Political Science Review* 24, 151-165.
- Park, J. e.a. (2008). Hydrophilic fungi and ergosterol associates with respiratory illness in a water damaged building. *Environmental Health Perspectives* 116, 45-50.
- Parker, C.H. (2006). Paying for the privilege. *Journal of World History* 17, 267-296.
- Parks, N. (2009). UV stabilizing chemicals contaminating Japan's marine environment. *Environmental Science & Technology* 43, 6896-6897.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 37, 637-669.
- Patel, S.S. (2010). Oceans of dharma. *Archaeology* 62, 26-31.
- Paytan, A. e.a. (2009). Toxicity of atmospheric aerosols on marine phytoplankton. *Proceedings of the national Academy of Sciences USA* 106, 4601-4605.
- Perdreo, F. e.a. (2010). Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture –review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Management* 37, 1233-1241.
- Penders, J & Stobberingh, E.E. (2008). Antibiotic resistance of motile areomonads in indoor catfish and eel farms in the southern part of the Netherlands. *International Journal of Antimicrobial Agents* 31, 261-265.
- Perham, P.E. & Michael, E. (2010). Modelling the effects of weather and climate change on malaria transmission. *Environmental Health Perspectives* 118, 620-626.
- Perovich, D.K. & Richter-Menge, J.A. (2009). Loss of sea ice in the Arctic. *Annual Review of Marine Science* 1, 417-441.
- Peterson, L.C. & Haug, G.H. (2005). Climate and the collapse of Maya civilization. *American Scientist*. 93, 322-329.
- Pimentel, D. & Houser, J. (1997). Water resources, agriculture, the environment and society. *Bioscience* 47, 97-107.
- Pimentel, D. (1986). Water resources for food, fiber and forest production. *Ambio* 6: 33-340.
- Pimentel, D. e. a. (2004). Water resources: Agricultural and environmental issues. *Bioscience* 54, 909-918.
- Pisani, D.J. (1984). Fish culture and the dawn of concern over water pollution in the United States. *Environmental Review* 8, 117-131.
- Pisani, D.J. (2000). Beyond the hundredth meridian: nationalizing the history of water in the United States. *Environmental History* 5, 466-482.

- Pitcher, T. e.a. (2009). Not honouring the code. *Nature* 457, 658-659.
- Pitttock, J & Lankford, B.A. (2010). Environmental water requirements demand management in an era of water scarcity. *Journal of Integrative Environmental Sciences* 7, 75-93.
- Pleij, H. (2008). Vijfentwintig peilingen naar Nederland en het water. *Tijdschrift voor Waterstaatsgeschiedenis* 2008, webversie 2010, 37-48.
- Pottiger D. (2007). No peace in the valley. *American History*, august, 32-37.
- Powell, J.L. (2008). *Lake Powell, global warming and the future of water in the West*. Berkeley: University of California Press.
- Premchander, S. e.a. (2003). In search of water in Karnataka, India. *Mountain Research and Development* 23, 19-23.
- Prevost. M. e.a. (1999). Effects of drainage of a forested peatland on water quality and quantity. *Journal of Hydrology* 214, 130-143.
- Pringle, H. (2009). Arsenic and old mummies: poison may have spurred first mummies. *Nature* 324, 1130.
- Pringle, H. (2009). The Khans lost fleet. *Archaeology* 62, 24.
- Qiao, G. e.a. (2009). Water user associations in Inner Mongolia: factors that influence farmers to join. *Agricultural water Management* 96, 822-830.
- Quadir, M. e.a. (2007). Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce resources. *Agricultural Water Management* 87, 2-22.
- Quadri, F. (2005). Enterotoxigenic *Escherichia coli* in developing countries, epidemiology, microbiology, clinical features, treatment and prevention. *Clinical Microbiology Reviews* 18, 465-483.
- Qiu, J. (2010). China drought highlights future climate threats. *Nature* 465, 142-143.
- Rabin, R. (2008). The lead industry and lead water pipes. A modest campaign. *American Journal of Public Health* 38, 1584-1592.
- Radwan, L. (1998). Water management in the Egyptian Delta: problems of wastage and inefficiency. *The Geographical Journal* 164, 129-138.
- Rahmstorf, S. e.a. (2007). Recent climate observations compared to projections. *Science* 316, 709.
- Ram. S. e.a. (2008). Contamination of potable water distribution systems by multimicrobial resistant enterohemorrhagic *Escherichia coli*. *Environmental Health Perspectives* 116, 448-452.
- Ramachandran, B. (2008). Reversing the Race to the Bottom. *Environment* 50 (4), 50-56.
- Ravesteijn, W. (2006). Een spiraal van waterbouw en natuurgeweld: de beteugeling van de Sampeanrivier, Oost-Java, vanuit ecologisch perspectief, 1832-1995. *Waterstaatsgeschiedenis* 15, webversie 2007.
- Raymo, M.E. (2009). PLIOMAX: Pliocene maximum sea level project. *PAGES News* 17, 58-59.
- Razzaque, J. (2004). Trading water: the human factor. *Reciel* 13, 1526.
- Reed, J.L. (2010). Instability in Jesus' Galilee: a demographic perspective. *Journal of Biblical Literature* 129, 343-365.
- Reeze, A.J.G. e.a. (2005). *Weet wat er leeft langs Rijn en Maas*. Den Haag: Rijkswaterstaat.
- Reijnders, L. & Huijbregts, M.A.J. (2009). *Biofuels for road transport*. New York: Springer.
- Renner, M. (2010). Troubled waters. *World Watch*, may/june, 14-20.
- Rhodes, G. e.a. (2000). Distribution of oxytetracycline resistance plasmids between aeromonads in hospital and aquaculture environments. *Applied and Environmental Microbiology* 66, 3883-3890.
- Rich, S.M. (2009). The origin of malignant malaria. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106, 14902-14907.
- Richards, F.O. e.a. (2001). Control of onchocerciasis today: status and challenges *Trends in Parasitology* 17, 558-563.

- Riebesell, U. e.a. (2009). Sensitivities of marine carbon fluxes to ocean change. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106, 20602-20609.
- Riehl, S. (2009). Archaeobotanical evidence for the interrelationship of agricultural decision-making and climate change in the ancient Near East. *Quaternary International* 197, 92-114.
- Riley, J.C. (1986). Insects and the European mortality decline. *The American Historical Review* 91, 833-858.
- Rinaudo, J. (2002). Corruption and allocation of water: the case of public irrigation in Pakistan. *Water Policy* 4, 405-422.
- Ripl, W. (2003). Water: the bloodstream of the biosphere. *Philosophical Transaction: Biological sciences* 358, 1921-1934.
- Rivett, M.O. e.a. (2008). Nitrate attenuation in groundwater: a review of biogeochemical controlling processes. *Water research* 42, 4215-4232.
- Roberts, M.G. e.a. (2009). El Nino-Southern Oscillation impacts on rice production in Luzon, the Philippines. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 48, 1718-1724.
- Robinson, B.H. (2009). Conservation of deep pelagic biodiversity. *Conservation Biology* 23, 847-858.
- Robinson, L.A. & Frid C.L.J. (2008). Historical marine ecology: examining the role of fisheries in changes in North Sea benthos. *Ambio* 37, 362-371.
- Rockström, J. e.a. (1999). Linkages among water vapor flow, food production and terrestrial ecosystem services. *Conservation Ecology* 3 (2), 5, www.ecologyandsociety.org.
- Rockström, J. e.a. (2007). Assessing the water challenge of a new green revolution in developing countries. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 104, 6253-6260.
- Rockström, J. e.a. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature* 461: 472-475
- Rodell, M. e.a. (2009). Satellite-based estimates of groundwater depletion in India. *Nature* 460, 999-1003.
- Rona, P.A. (2008). The changing vision of marine minerals. *Ore Geology Reviews* 33, 618-666.
- Ronen, Y. (2003). Sudan and Egypt: The Swing of the Pendulum (1989-2001). *Middle Eastern Studies* 39, 81-98.
- Rosa, R. & Seibel B. (2008). Synergistic effects of climate related variables suggest future physiological impairment in a top oceanic predator. *Proceedings of the national Academy of Science USA* 105, 20776-20780.
- Rosengant, M.W. e.a. (2009). Water for agriculture: maintaining food security under growing scarcity. *Annual Review of Environment and Resources* 34, 17.1-17.18.
- Rotter, H. & Arnoldus H. (1984). *De Vlaamse Kustvlakte*. Telt: Lannoo.
- Rowland, H.A.L. (2008). Geochemistry of aquifer sediments an arsenic-rich groundwaters from Kandal Province, Cammbodja. *Applied Geochemistry* 23, 3029-3046.
- Rozemeijer, J.C. & Broers, H.P. (2007). The groundwater contribution to surface water contamination in a region with intensive agricultural land use (Noord-Brabant, the Netherlands). *Environmental Pollution* 148, 695-706.
- Rubin, R. (1988). Water conservation in Israel's Negev desert in late antiquity. *Journal of Historical Geography* 14, 229-244.
- Ruet J. e.a. (2007). Private appropriation of resources: impact of peri-urban farmers selling water to Chennai metropolitan water board. *Cities* 24, 110-121.
- Saal, D.S. & Parker D. (2000). The impact of privatization and regulation on the water and sewerage industry in England and Wales: a translog cost function model. *Managerial and Decision Economics* 21, 253-268.
- Sabbioni, G. (2008). Efficiency in the Brazilian sanitation sector. *Utilities Policy* 16, 11-20.
- Sabine, E.L. (1934). Latrines and cesspools of mediaeval London. *Speculum* 9, 303-321.
- Sacks, W.J. (2009). Effects of global irrigation on the near-surface climate. *Climate Dynamics* 33, 159-175.

- Sage, M.M. (1987). Eusebius and the rain miracle: some observations. *Historia* 36, 96-113.
- Saiko, T.A. (1995). Implications of the disintegration of the former Soviet Union for desertification control. *Environmental Monitoring and Assessment* 37, 289-302.
- Sallmann, K. (1987). Reserved for eternal punishment: The Elder Pliny's view of Free Germania. *The American Journal of Philology* 108, 108-128.
- Sani, H. (2006). The politics of water in South Asia: the case of the Indus water treaty. *SAIS Review* 26, 153-165.
- Santer, B.D. e.a. (2007). Identification of human-induced changes in atmospheric moisture content. *Proceedings of the national Academy of Sciences USA* 104, 15248-15253.
- Savage, S.H. (2001). Some recent trend in the archaeology of predynastic Egypt. *Journal of Archaeological Research* 9, 101-155.
- Sayer, D. (2009). Medieval waterways and hydraulic economics: monasteries, towns and East Anglian fen. *World Archaeology* 41, 134-150.
- Scaife, A.A. e.a. (2008). European climate extremes and the north Atlantic oscillation. *Journal of Climate* 21, 71-82.
- Scarborough, V.L. (1999). Ecology and ritual: water management and the Maya. *Latin American Antiquity* 9, 135-159.
- Scarborough, V.L. (2003). *The flow of power: ancient water systems and landscapes*. Santa Fe: SAR Press.
- Schade, C. & Pimentel, D. (2010). Population crash: prospects for famine in the twenty-first century. *Environment, Development and Sustainability* 12, 245-262.
- Schafer, E.H. (1956). The development of bathing customs in ancient and medieval China and the history of the Floriate Clear Palace. *Journal of the American Oriental Society* 76, 57-82.
- Scheffran, J. (2008). Climate change and security. *Bulletin of Atomic Scientists*, may/june, 19-25.
- Schellekens, J. (1989). Mortality and socio-economic status of two eighteenth-century Dutch villages. *Population Studies* 43, 391-404.
- Schets, F.M. e.a. (2005). Escherichia coli O157: H7 in drinking water from private water supplies in the Netherlands. *Water Research* 39, 4485-4493.
- Schipper, J. e.a. (2008). The status of the world's land and marine mammals: diversity, threat and knowledge. *Science* 322, 225-230.
- Schipper, P.N.M. e.a. (2008). Measure to diminish leaching of heavy metals to surface waters from Agricultural soils. *Desalination* 226, 89-96.
- Scholz, C.A. e.a. (2007). West African megadroughts between 135 and 75 thousand years ago and bearing on early-modern human origins. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 104, 1646-16421.
- Schoonfelder, J.W. (2004). New dramas in the theatre state: the shifting roles of ideological power sources in Balinese Politics. *World Archeology* 36, 399-415.
- Schoot-Uiterkamp, A. (2006). Volkshuisvesting en volksgezondheid in Zwolle in de tweede helft van de 19de eeuw. *Overijsselse Historische Bijdragen*, 131-166.
- Schoumans, O.F. (2004). *Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland*. Wageningen: Alterra.
- Schriks, M. e.a. (2010). Toxicological relevance of emerging contaminants for drinking water quality. *Water Research* 44, 461-476.
- Schrope, M. (2006). The real sea change. *Nature* 443, 622-624.
- Swarzenbach, R.P. e.a. (2010). Global water pollution and human health. *Annual review of Environment and Resources* 35, 6.1-6.28.



- Scott, A.P. e.a. (2007). Evidence for estrogenic endocrine disruption in offshore flatfish, the dab. *Marine Environmental Research* 64, 128-148.
- Screen, J.A. & Simmons I. (2010). The central role of diminishing sea ice in recent Arctic temperature amplification. *Nature* 464, 1334-1337.
- Selden, A.I. e.a. (2009). Nephrotoxicity of uranium in drinking water from private drilled wells. *Environmental Research* 109, 486-494.
- Semba, R.D. e.a. (2009). Purchase of drinking water is associated with increased child morbidity and mortality among urban slum-dwelling families in Indonesia. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 212, 387-397.
- Shaman, J. & Kohn, M. (2009). Absolute humidity modulates influenza survival, transmission and seasonality. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106, 3243-3248.
- Shanahan, T.M. e.a. (2009). Atlantic forcing of persistent drought in West Africa. *Science* 324, 377-380.
- Shannon, S.A. e.a. (2008). Science and technology for water purification in the coming decades. *Nature* 452, 301-310.
- Sheffield, J. e.a. (2009). Global and continental drought in the second half of the twentieth century: severity-area-duration analysis and temporal variability of large-scale events. *Journal of Climate* 22, 1962-1981.
- Sheppard, C. e.a. (2010). The Gulf: a young sea in decline. *Marine Pollution Bulletin* 60, 13-38.
- Sherratt, A. (1980). Water, soil and seasonality in early cereal production. *World Archaeology* 11, 313-330.
- Shi, D. e.a. (2010). Effect of ocean acidification on iron availability to marine plankton. *Science* 327, 676-679.
- Shiue, C.H. (2005). The political economy of famine relief in China. *Journal of Interdisciplinary History* 36, 33-55.
- Siddal, M. e.a. (2009). Past ice sheet dynamics and sea level – placing the future in context. *PAGES News* 17, 51-52.
- Sieh, K. e.a. (2008). Earthquake supercycles inferred from sea-level changes recorded in the corals of West Sumatra. *Science* 322, 1674-1677.
- Sinclair, B.T. (2001). Merging streams: the importance of the river in the slaves' religious world. *The Journal of Religious Thought*, 1-19.
- Slegers, M.F.W. (2008). 'If only it would rain': farmers' perceptions of rainfall and drought in semi-arid central Tanzania. *Journal of Arid Environments* 72, 2106-2123.
- Smal, H. (1992). De Haagse grachten en het Verversingskanaal. *Tijdschrift voor Waterstaatsgeschiedenis*, web versie 2006.
- Smit, K.R. (2000). National Burden of Disease in India from Indoor Air Pollution. *Proceeding of the National Academy of sciences of the USA* 97, 13286-13293.
- Smith, F.M. (2004). Vedic and devotional waters. *International Journal of Hindu Studies* 8, 107-136.
- Smith, J.R. e.a. (2004). Constraints on the Pleistocene pluvial climates through stable-isotope analysis of fossil spring tufas and associated gastropods, Kharga Oasis, Egypt. *Paleography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 206, 157-175.
- Smith, M.D. (2010). Sustainability and global seafood. *Science* 327, 784-785.
- Smith, R.P. (2009). The blue baby syndromes. *American Scientist* 97, 94-96.
- Smolders, A.J.P. e.a. (2006). Internal eutrophication: how it works and what to do about it- a review. *Chemistry and Ecology* 22, 93-111.
- Soens, T. (2006). 1414 in Vlaanderen. *Tijdschrift voor Waterstaatgeschiedenis*, 79-85.
- Soens, T. (2006). Polders zonder poldermodel? *Tijdschrift voor Sociale en Economische Geschiedenis* 3 (4), 3-36.
- Somlyódy, L. & Varis, O. (2006). Freshwater under pressure. *International Review for Environmental Strategies* 6, 181-204.

- Sovacool, B.K. (2008). The costs of failure: a preliminary assessment of major energy accidents, 1997-2007. *Energy Policy* 36, 1802-1820.
- Sovacool, B.K. & Sovacool, K.E. (2009). Identifying future electricity-water tradeoffs in the United States. *Energy Policy* 37, 2763-2773.
- Souza, R.D. (2008). Framing India's hydraulic crises. *Monthly Review*, July-August, 112-124.
- Souza, V. e.a. (2009). An endangered oasis of aquatic microbial biodiversity in the Chichuahuan desert. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 103, 6565-6570.
- Specter, M. (2006). The Last drop. *New Yorker* 82 (34).
- Speldewinde P.C. e.a. (2009). A relationship between environmental degradation and mental health in rural Western Australia. *Health & Place* 15, 880-887.
- Spiegel, A.D. e.a. (1997). Babylonian medicine, managed care and codex Hammurabi, circa 1700 B.C. *Journal of Community Health* 22, 69-89.
- Spoor, M. & Krutov, A. (2003). The power of water in a divided Central Asia. *Perspectives on Global Development and Technology* 2, 593-613.
- Spronserlee, G.M. & Buijsse, M. (1979). *Het verdrinken land van Saeftinge*. Kloosterzande: Duerink-Krachten.
- Stanbridge, H.H. (1979). *History of sewage treatment in Britain*. Maidstone, Kent (UK): Institute of Water Pollution Control.
- Stanislawski, D. (1973). Dark age contributions to the Mediterranean way of life. *Annals of the Association of American Geographers* 83, 397-410.
- Starr, O.M. (1973). A search for the identity of Yamm. *Folklore* 84, 224-237.
- Steenhuis, A. (2001). *Stemmen van Groninger dijken*. Groningen: Pandora.
- Steffen, R. (2005). Epidemiology of traveler's diarrhea. *Clinical Infectious Diseases* 41, S 536-540.
- Stein, R. (1980). Mortality in the eighteenth-century slave trade. *Journal of African History* 21, 35-41.
- Stewart, M.A. (1991). Rice, water and power: landscapes of domination and resistance in the Low Country 1709-1880. *Environmental History Review* 15, 47-61.
- Stage, L.C. e.a. (2007). Thousand-year-long Chinese time series reveals climatic forcing of decadal locust dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 104, 16188-16193.
- Stimpff, M. (2006). An Angström-sized window on the origin of water in the inner solar system: atomistic simulation of adsorption of water on olivine. *Journal of Crystal Growth* 294, 83-95.
- Stoate, C. e.a. (2009). Ecological impacts of the early 21st century agricultural change in Europe - a review. *Journal of Environmental Management* 91, 22-46.
- Stone, R. (2006). The Day the land tipped over. *Science* 314, 406-409.
- Stothers, R.B. (2004). Ancient scientific basis of the great serpent from historical evidence. *Isis* 95, 220-238.
- Struyt, E. e.a. (2004). Possible effects of climate change on estuarine nutrient fluxes: a case study in the highly nitrified Schelde estuary (Belgium the Netherlands). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 60, 649-661.
- Sultan, B. (2005). Climate drives the meningitis epidemics onset in West Africa. *PLoS Medicine* 2, 43-49.
- Sultan, M. e.a. (2007). Natural discharge: a key to sustainable utilization of fossil groundwater. *Journal of Hydrology* 335, 25-36.
- Swain, A. (2008). Mission not yet accomplished: managing water resources in the Nile river basin. *Journal of International Affairs* 61, 201-214.
- Szwedzyk, U. e.a. (2000). Microbiological safety of drinking water. *Annual Review of Microbiology* 54, 81-127.
- Swain, A. (2002). The Nile river basin initiative: too many cooks, too little broth. *SAIS Review* 22, 293-308.
- Swyngedouw, E. (2007). Technonatural revolutions: the scalar politics of Franco's hydro-social dream for Spain, 1939-1975. *Transactions of the Institute of British Geographers* 32, 9-28.

- Tacon, A.G.J. & Metian M. (2009). Fishing for feed or fishing for food: increasing global competition for small pelagic forage fish. *Ambio* 38, 294-302.
- Talbot, C.J. (1999). Ice ages and nuclear waste isolation. *Engineering Geology* 52, 177-192.
- Taremi, K. (2005). The role of water exports in Iranian foreign policy toward the GCC. *Iranian Studies* 38, 311-328.
- Tarr, J.A. e.a. (1984). Water and wastes. *Technology and Culture* 25, 226-263.
- Tauxe, R.V. (2002). Emerging food borne pathogens. *International Journal of Food Microbiology* 78, 31-41.
- Tellegen, E. e.a. (2003). *Watercursus 2003/2004*. Amsterdam: HOVO Vrije Universiteit.
- Teller, J.T. e.a. (2000). Calcareous dunes in the United Arab Emirates and Noah's Flood: the postglacial reflooding of the Persian (Arabian) Gulf. *Quaternary International* 68-71, 297-308.
- Tennesen, M. (2008). When juniper and wooden plants invade, water may retreat. *Science* 322, 1630-1631.
- Thorndyke, L. (1928). Sanitation, baths, and street cleaning in Middle Ages and Renaissance. *Speculum* 3, 192-203.
- Timmer, J. e.a. (2009). Drinkwatervoorziening Harare lijdt onder politieke wanorde. *H2O* 22, 20-22.
- Tompson, L.G. e.a. (2009). Glacier loss on the Kilimanjaro continues unabated. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106, 19770-19775.
- Tortahada, C. (2008). Challenges and realities of water management of megacities: the case of Mexico City metropolitan area. *Journal of International Affairs* 61, 147-165.
- Trapp, R.J. e.a. (2007). Changes in severe thunderstorm environment frequency during the 21st century caused by anthropogenically enhanced global radiative forcing. *Proceedings of the national Academy of Sciences of the USA* 104, 19719-19723
- Travis, A.S. (1997). Poisoned groundwater and contaminated soil. *Environmental History* 2, 343-365.
- Trevors, J.T. & Pollack, G.H. (2005). Hypothesis: the origin of life in a hydrogel environment. *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 89, 1-8.
- Troebst, S. (2003). 'Intermarrium' and 'Wedding to the Sea': Politics of history and mental mapping in East Central Europe. *European Review of History* 10, 293-321.
- Tu, J. e.a. (2009). The abrupt shift of typhoon activity in the vicinity of Taiwan and its association with Western North Pacific- East Asian climate change. *Journal of Climate* 22, 3617-3628.
- Turney, C.S.M & H. Brown. (2007). Catastrophic early Holocene sea level rise, human migration and the Neolithic transition in Europe. *Quaternary Science Reviews* 26, 2036-2041.
- Tweed, S. e.a. (2009). Groundwater-surface water interaction and impact of a multi-year drought on lakes conditions in South-East Australia. *Journal of Hydrology* 279, 41-53.
- Tyagi, B.K. (2004). A review of the emergence of Plasmodium falciparum dominated malaria in irrigated areas of the Thar desert, India. *Acta Tropica* 89, 227-239.
- UNICEF/WHO (2004). *Meeting the MDG drinking water and sanitation target*. Geneva: A mid term assessment of progress.
- UNDP (2006). *Beyond scarcity: power, poverty and the global water crisis*. New York: Palgrave Macmillan.
- Utne-Poalm, A.C. e.a. (2010). Trophic structure and community stability in an overfished ecosystem. *Science* 329, 333-336.
- Van Dam, P.J.E.M. (1996). De tanden van de waterwolf. *Tijdschrift voor waterstaatgeschiedenis* 5. webversie 2006.
- Van Dam, P. (2001). Sinking peat bogs: environmental change in Holland. *Environmental History* 6, 32-45.
- Van Dam, P.J.E.M. (2004). Nieuwe waterstaatgeschiedenis. *Holland* 34, 130-141.
- Van Dam, P.J.E.M. (2007). New Orleans aan het IJ? *Tijdschrift voor Waterstaatgeschiedenis*, webversie 2008.

- Van den Brink, P. (2000) River landscapes: the origin and development of the printed river map in the Netherlands 1723-1795. *Imago Mundi* 52, 66-76.
- Van den Broeke, M. e.a. (2009). Partitioning recent Greenland mass loss. *Science* 326. 984-986.
- Van den Broeke, P.W. (1996). Turfwinning en zoutwinning langs de Noordzeekust. *Tijdschrift voor waterschapsgeschiedenis* 5, webversie 2006.
- Van den Noort, J. (1999). Een kwestie van geloof: gemeentereiniging en riolering. *Rotterdams Jaarboekje 1999*. Rotterdam: Historisch Genootschap Rotterdam.
- Van den Noort J. (1993). Een quaestie van geloof. Vuil en stank in Rotterdam. *Spiegel Historiae* 6, 242-247.
- Van den Noort, J. (2003). Eerst het zout en dan het zoet. *Tijdschrift voor Waterstaatgeschiedenis*, webversie 2006.
- Van den Noort, J. (2009). *Langs de rand van het zand. Waterstaatgeschiedenis van de Brabantse Delta*. Breda: Waterschap Brabantse Delta.
- Van der Kaar, S. e.a. (2010). Observed relationships between El Nino-Southern Oscillation, rainfall variability and vegetation and fire history on Halmahera, Maluku, Indonesia. *Global Change Biology* 16, 1706-1714.
- Van der Meulen, M.J. e.a. (2007). Regional sediment deficits in the Dutch lowlands: implications for long term land use options. *Journal of Soils and Sediments* 7, 9-16.
- Van der Veur, W.T & van Wijk, E. (1999). De getijmolens van Middelburg. *Tijdschrift voor waterstaatgeschiedenis* 8, webversie 2006.
- Van Dierendonk, R.M. (2005). Van Boterzande tot Wevelswaele. *Tijdschrift voor Waterstaatgeschiedenis* 14, webversie 2006.
- Van Dijk, A.I.J.M. & R.J. Keenan. (2008). Planted forests and water in perspective. *Forest Ecology and Management* 251(1-2), 1-9.
- Van Dijk, P. (1981). *Volksgeneeskunst*. Deventer: Ank-Hermes.
- Van Heezik, A. (2007). *Strijd om de rivieren. 200 jaar rivierenbeleid of de opkomst en ondergang van het streven naar een normale rivier*. Haarlem HTN Historische Producties.
- Van Ittersum, M.J. (2009). Dating the manuscript of De Jure Predae. *History of European Ideas* 35, 125-193.
- Van Ittersum, M.J. (2010). The long goodbye: Hugo Grotius' justification of the expansion overseas, 1615-1645. *History of European Ideas*, DOI: 10.1016/j.histeuroideas.210.05.003
- Van Kranendonk M.J. e.a. (2008). Geological setting of the Earth's oldest fossils in the ca. 3.5 Ga Dresser Formation, Pilbara Craton, Western Australia. *Precambrian Research* 167, 93-124.
- Van Lohuizen, K. (2006). *Van beerput tot oxidatiesloot*. Lelystad: Rijkwaterstaat/NVA.
- Van Manteghem, P.J. (2008). Widespread increase in tree mortality rates in the Western United States. *Science* 323, 521-524.
- Van Poel, P.R. e.a. (2009). The external footprint of the Netherlands: geographically explicit quantification and impact assessment. *Ecological Economics* 69, 82-92.
- Van Steenberghe, F & Oliemans, W. (2002). A review of politics in groundwater management in Pakistan. *Water Policy* 4, 323-344.
- Van Vleuten, E. & Disco, C. (2004). Water wizards: reshaping wet nature and society. *History and Technology* 20, 291-309.
- Van Vliet, M.T.H & Zwolsman, J.J.G. (2008). The impacts of summer droughts on the water quality of the Meuse river. *Journal of Hydrology* 353, 1-17.
- Van Zelle, J. (2003). 'Nooyt gehoorde hooge wateren'. *Tijdschrift voor waterstaatgeschiedenis* 12, webversie 2006)

- Vass, K.K. e.a. (2009). Assessing the impact of climate change on inland fisheries in River Ganga and its plains in India. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 12, 138-151.
- Vaughn, C.C. (2010). Biodiversity losses and ecosystem function in freshwaters: emerging conclusions and research directions. *BioScience* 60, 25-35.
- Viscuso, P. (2001). Cleanliness not a condition for Godliness. *Greek Orthodox Theological Review* 46, 75-88.
- Visser, A. e.a. (2009). Verbetering grondwaterkwaliteit aangetoond door leeftijdsbepalingen. *H2O* 23, 29-31.
- Vogel, G. (2010). Europe tries to save its eels. *Science* 329, 505-507.
- Vogel, G. (2010). New map illustrates risk from the other malaria. *Science* 329, 618.
- Vogelsang, H. (1867). *Het drinkwater in Nederland*. Delft: Watman.
- Vors L.S. & Boyce M.S. (2009). Global declines of caribou and reindeer. *Global Change Biology* 15, 2626-2633.
- Vos, P.C. e.a. (2000). The long-term evolution of intertidal mudflats in the northern Netherlands during the Holocene: natural and anthropogenic processes. *Continental Shelf Research* 20, 1687-1710.
- Vreugdenhil, D. (1992). Van waterrad tot buisturbine. *Tijdschrift voor Waterstaatsgeschiedenis*. webversie 2006.
- Wanink, J. e.a. (2010). Oppervlaktewater in Drenthe wordt warmer. *H₂O* 18, 45-48.
- Ward, R.B. (1992). Women in Roman baths. *The Harvard Theological Review* 85, 125-147.
- Warner, J.P. e.a. (2006). Water for food and Ecosystems: How to cut which pie? *International Journal for Water Resources Development* 22, 3-13.
- Washburn Hopkins, E. (1905). The fountain of youth. *Journal of the American oriental Society* 26, 1-17.
- Watson, J.T. e.a. (2007). Epidemics after natural disasters. *Emerging Infectious Diseases* 13, 1-9.
- Weijjs, L. e.a. (2010). Persistent organic pollutants and methoxylated PDBEs in harbour porpoises from the North Sea from 1990 until 2008: young wildlife at risk? *Science for the Total Environment*. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.09.035
- Weisz, G. (2001). Spas, mineral waters, and hydrological science in twentieth-century France. *Isis* 92, 451-483.
- White, G.F. (1960). Industrial water use: a review. *Geographical Review* 50, 412-430.
- Whitfield, J. (2008). Does 'junk food' threaten marine predators in Northern seas? *Nature* 322, 1786-1787.
- White, D.A. e.a. (2001). Highlights of drought policy and related science in Australia and the USA. *Water International* 26, 349-357.
- White, F. (2002). Water: life force or instrument of war? *The Lancet* 360, s29-30.
- Wicki, M. e.a. (2009). Occurrence of *Giardia lamblia* in recreational streams in Basel-Landschaft, Switzerland. *Environmental Research* 109, 524-527.
- Widdicombe, S. & Spicer, J.I. (2008). Predicting the impact of ocean acidification on benthic biodiversity: what can animal physiology tell us? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 300, 187-197.
- Wildy D.T. e.a. (2004). Budgets of water use by *Eucalyptus kochii* tree belts in the semi-arid wheat belt of Western Australia. *Plant and Soil* 202, 129-149.
- Williams, W.D. (1987). Salinization of rivers and streams: an important environmental hazard. *Ambio* 16, 180-185.
- Winstanley P.A., e.a. (2002). Clinical status and implications of antimalarial drug resistance. *Microbes and Infection* 4, 157-164.
- Witze, A. (2009). The sleeping dragon. *Nature* 459, 15-157.
- Wolf A.T. (1998). Conflict and cooperation along international waterways. *Water Policy* 1, 251-265.
- Wolf, W.J. (2000). Causes of extirpations in the Wadden Sea an Estuarine Area in the Netherlands. *Conservation Biology* 14, 876-885.
- Wolfebaek, H.P. e.a. (2000). Shared rivers and interstate conflict. *Political Geography* 19, 971-996.

- Wolleswinkel-van den Bosch, J.H. e.a. (1998). Mortality decline in the Netherlands in the period 1850-1992: a turning point analysis. *Social Science and Medicine* 47, 429-443.
- Wong, C.M. e.a. (2007). *World's top 10 rivers at risk*. Gland, Zwitserland: WWF.
- Wood Cordulack, S. (2003). Victorian caricature and classicism: picturing the London water crisis. *International Journal of the Classical Tradition* 9, 545-583.
- World Health Organization (2008). *Safer water, better health*. Geneva.
- Worm, B. e.a. (2009). Rebuilding global fisheries. *Science* 325, 578-585.
- Wijmer, S. (1992). *Water om te drinken*. Rijswijk: VEWIN.
- Xenopoulos, M.A. e.a. (2005). Scenarios of freshwater fish extinctions from climate change and water withdrawal. *Global Change Biology* 11, 1557-1564.
- Xia, J. (2007). Towards better water security in North China 2007. *Water Resources Management* 21, 233-247.
- Xu, B. e.a. (2009). Black soot and the survival of Tibetan glaciers. *Proceedings of the national Academy of Sciences of the USA* 106, 22114-22118.
- Yamego L., e.a. (2001). Long term assessment of insecticides treatment in West Africa. *Chemosphere* 44, 1759-1773.
- Yancheva, G. e.a. (2007). Influence of the intertropical convergence zone on the East Asian Monsoon. *Nature* 445, 74-77.
- Yanko-Hombach, V. e.a. (2007). Controversy over the great flood hypotheses in the Black Sea in light of geological, palaeontological and archaeological evidence. *Quaternary International* 167-168, 91-113.
- Yashuda, Y. e.a. (2004). Environmental archaeology at the Changtoushan site, Hunan Province, China, and implications for environmental change and the rise and fall of the Yangtze civilization. *Quaternary International* 123-125, 149-158.
- Yeh, S. e.a. (2009). El Nino in a changing climate. *Nature* 461, 511-514.
- Yerminyahu, U. e.a. (2007). Rethinking desalinated water quality and agriculture. *Science* 380, 920.
- Yu, S. (1995). Primary prevention of hepatocellular carcinoma. *Journal of Gastroenterology and Hepatology* 10, 674-682.
- Yu, S. e.a. (2020). Freshwater outburst from Lake Superior as a trigger for the cold event 9300 years ago. *Science* 328, 1262-1265.
- Zhang, Q. (2007). Strategies for developing green super rice. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 16401-16409.
- Zahn, M. & von Storch, H. (2010). Decreases frequency of polar North Atlantic lows associated with future climate warming. *Nature* 467, 309-312
- Zamberian da Silva, M.E. (2008). Comparison of the bacteriological quality of tap water and bottled mineral water. *International Journal of Hygiene and Environmental health* 211, 504-509.
- Zeitoun, M. e.a. (2010). Virtual water 'flows' of the Nile basin, 1998-2004: first approximation and implications for water security. *Global Environmental Change* 20, 228-242.
- Zeller, F.D. (2007). 1825: de 'vergeten' watersnood. *Tijdschrift voor Waterstaatgeschiedenis*, webversie 2008.
- Zeman, C. e.a. (2006). World water resources: trends, challenges and solutions. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 5, 333-346.
- Zhang, W., e.a. (2003). Evaluation of the 1992-1999 World Bank Schistosomiasis Control Project in China. *Acta Tropica* 85, 303-313.
- Zhang, X. e.a. (2007). Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. *Nature* 448, 461-465.
- Zhang, Z. e.a. (2009). Periodic temperature-associated drought/flood drives locust plagues in China. *Proceedings of the Royal Society B* 276, 823-831.



- Zhao, Q. 1989. Chinese mythology in the context of hydraulic society. *Asian Folklore Studies* 48, 231-246.
- Zhao, M. e.a. (2010). Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009. *Science* 329, 940-943.
- Zietz, B.P. e.a. (2005). Isolation and characterization of Legionella spp. And Pseudomonas spp. From greenhouse misting systems. *Journal of Applied Microbiology* 110, 1239-1250.
- Zock, J.P., e.a. (2002). Housing characteristics, reported mold exposure and asthma in the European Community Respiratory Health Survey. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 110, 285-292.
- Zwart, S. & Bastiaansen, W.G.M. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management* 69, 115-133.

ISBN 978.90.358.1710.4