

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 mensen 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 mensenhand. 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 fascisten. 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 honderd-duizenden 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 Nanneveld 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 aarts-vader 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 waterleidingsstelsel 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 bevoorradt 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 'megadrogtes' 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 afgedegen 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 belooft 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 belooft 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 bloemeteelt 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 belofte '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 hongerperiodes 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 droogteperiodes.

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) overleefd 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.



