

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 vervuuld 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 vrachtaart. 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 ongerichtte 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 honderduizenden. 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 waterefficiëntie

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 waterefficiëntie 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).



