

Bijzondere kwaliteiten van water (10) – water en de aarde

Hans van Sluis (gepensioneerd watertechnoloog DHV)

Klimaat en water kunnen niet los van elkaar worden gezien. De dominante aandacht voor kooldioxide in de huidige discussie over de opwarming van de aarde is evenwel het resultaat van een blikvernauwing. Dat de aarde zelf als te verzorgen woonplaats voor de mensheid tegenwoordig wereldwijd op de agenda staat, is zeker winst. De wetenschappelijke denkkaders en het maatschappelijk speelveld zijn door de fixatie op kooldioxide echter gevaarlijk smal geworden. Uitzoomen naar de planeet en haar natuur als geheel is – mede in verband met de in de voorgaande aflevering besproken sleutelrol van water – dringend noodzakelijk.



Afbeelding 1. De aarde wordt wel de 'blauwe planeet' genoemd. Deze kleur, te danken aan de aanwezigheid van water in de atmosfeer, maakte o.a. een diepe indruk op de astronauten die als eersten naar de maan zijn gereisd

Wanneer en hoe het water de aarde heeft bereikt is nog grotendeels onduidelijk. Zeer veel water is chemisch vastgelegd in gesteenten van de aardkorst. Recent is de mogelijkheid geopperd dat de

waterstofkernen van de zonnwind in vroege ontwikkelingsstadia van de aarde het water hebben vrijgemaakt uit olivijn [1].

Tabel 1. Watervoorraden op aarde [2]

	Watervolume (in miljoen km ³)	Percentage van het totaal
Oceanen en zeeën	1370	97,25
Ijsbergen en gletsjers	29	2,05
Grondwater	9,5	0,68
Meren	0,125	0,01
Bodemvocht	0,065	0,005
Atmosfeer	0,013	0,001
Rivieren	0,0017	0,0001
Biosfeer	0,0006	0,00004
Totale watervoorraad	14.000.000	100

Biodiversiteit en klimaat

Sinds de jaren 60 van de vorige eeuw staat de ernstige kwalitatieve en kwantitatieve achteruitgang van de biodiversiteit op de politieke agenda. Als oorzaken zijn aangemerkt milieuvervuiling, roofbouw en overbejaging, verstoring en verkleining van leefgebieden. Rond de millenniumwisseling werd vrij abrupt de aandacht verlegd naar klimaatverandering en de daaraan verbonden risico's. De toename van de hoeveelheid kooldioxide in de atmosfeer is daarbij als belangrijkste versturende factor benoemd. Er ontstond meer focus en een gevoel van maatschappelijke urgentie en het gaf een sterke impuls aan wetenschappelijke studies. Anderzijds trad er een ernstige blikvernauwing op door de sterke nadruk op broeikasgassen (met name kooldioxide) en daarmee samenhangende technische oplossingen. Het ontbreken van inzicht in de mogelijke ecologische effecten van maatregelen, zoals injectie van kooldioxide in de bodem en grootschalige geo-engineering, leidde niet tot terughoudendheid ten aanzien van dergelijke maatregelen. Ook alternatieve oplossingen voor de energievoorziening, waaronder meer gebruik van kernenergie, zijn nauwelijks beoordeeld op risico's en effecten voor de natuur. De recente klimaatconferentie van Glasgow werd afgesloten met ontoreikende en vrijblijvende afspraken. Het lijkt zaak om de door Al Gore uitgedragen halve waarheid [3] aan te vullen met kennis over de cruciale rol van water, en het klimaatvraagstuk in een ruimer – aarde en natuur omvattend – kader te bezien. Het is te verwachten dat dit evenwichtiger, effectiever en wellicht sneller te realiseren maatregelen in beeld zal brengen. In dit artikel wordt daartoe een aanzet gegeven.

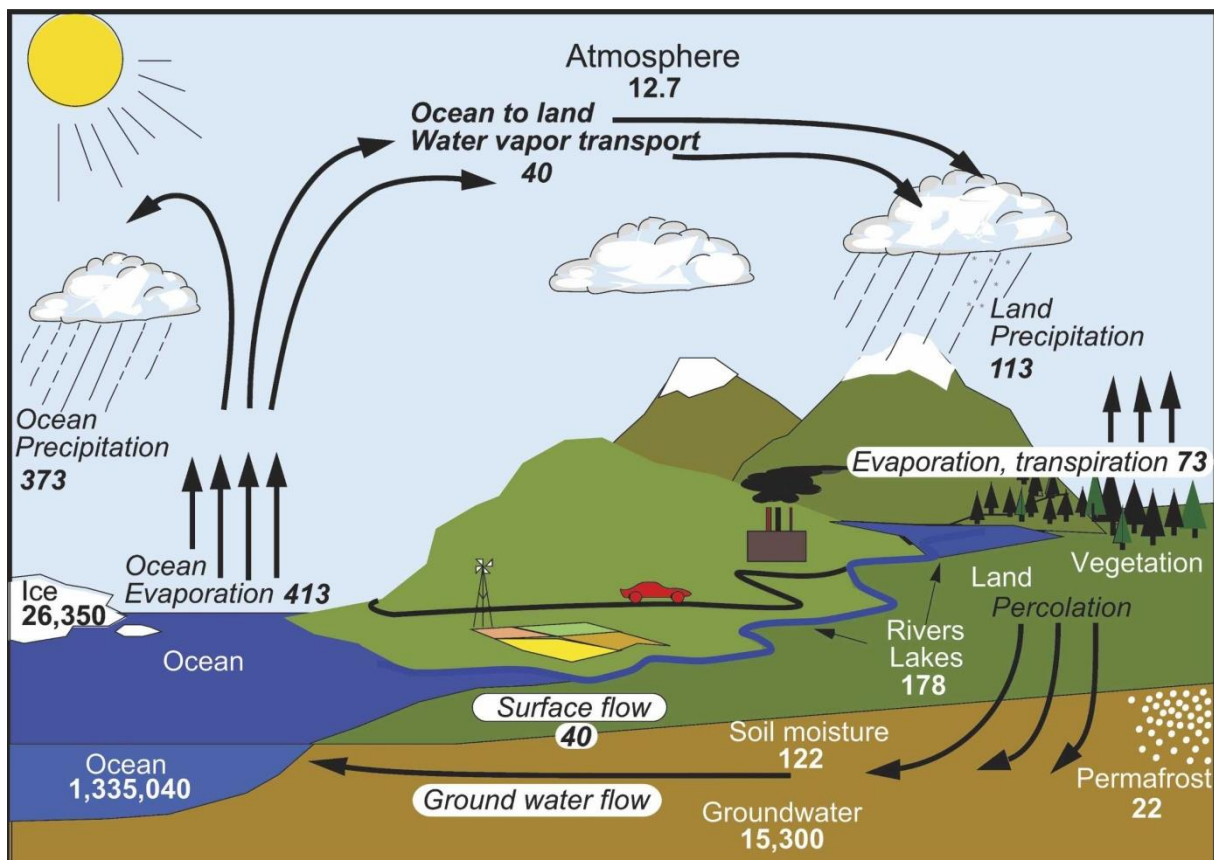
Gekoppelde kringlopen van water en koolstof

De kringlopen die de ruggengraat van natuurprocessen vormen zijn onderling nauw verweven. Naast water vormen onder meer koolstof, silicium, fosfor en stikstof belangrijke biologische kringlopen. Ook de warmtebalans van de aarde kan als een kringloopproces worden beschouwd. Verstoringen in de ene kringloop werken door in de andere, zoals voor water en warmte in deel 9 van deze reeks werd geïllustreerd [4]. Hierna wordt ingegaan op de kringlopen van water en koolstof en hun samenhang.

Watercyclus

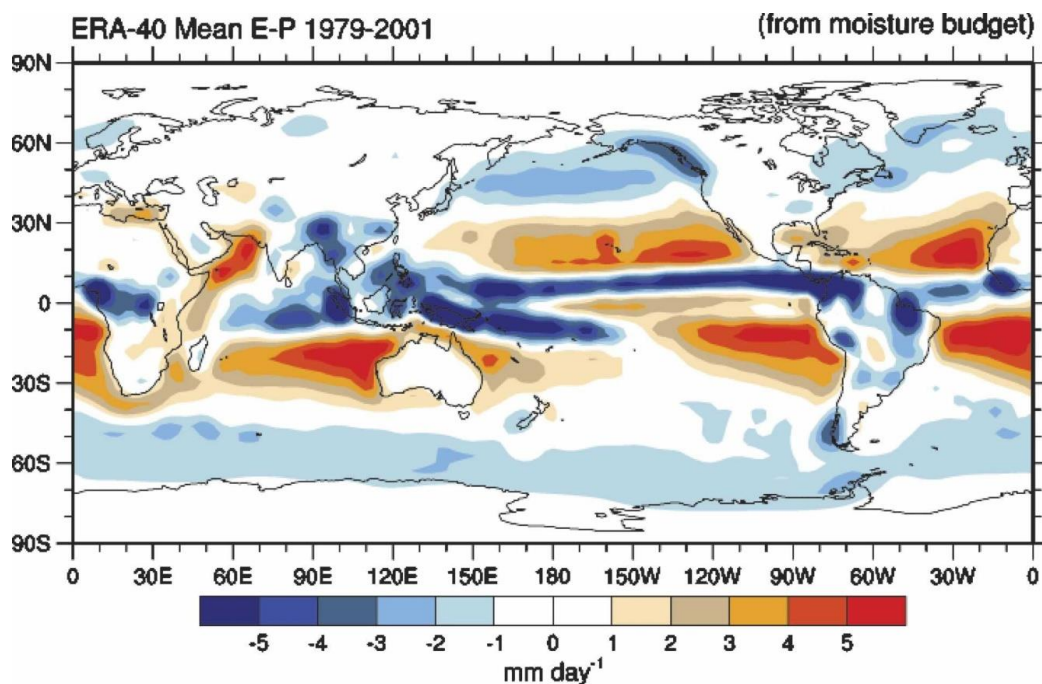
De Oostenrijkse houtvester Viktor Schaubeger (1886-1958) noemde water het 'bloed der aarde' en gaf daarmee treffend weer dat het een kringloop vormt [9]. Zie ook '(Wereld)organisme' hierna.

De zogenoemde hydrologische cyclus verbindt het water op het land, in de oceanen en in de atmosfeer (afbeelding 2). Water verplaatst zich als vloeistof of als gas, in nauwe samenhang met de in de vorige aflevering besproken warmteprocessen en aangedreven door de wind en de zwaartekracht. De grote, globale waterstromen zijn min of meer constant. Op kleinere schaal echter is er een enorme variëteit van weersverschijnselen en veranderlijkheid in tijd en ruimte. De warmte van de zon houdt de wereldwijde waterkringloop in stand.



Afbeelding 2. De hydrologische kringloop. In normaal font de schattingen van de belangrijkste watervoorraden (in 10^3 km^3) en cursief de vochtstromen door het systeem (in $10^3 \text{ km}^3/\text{jaar}$) [5]

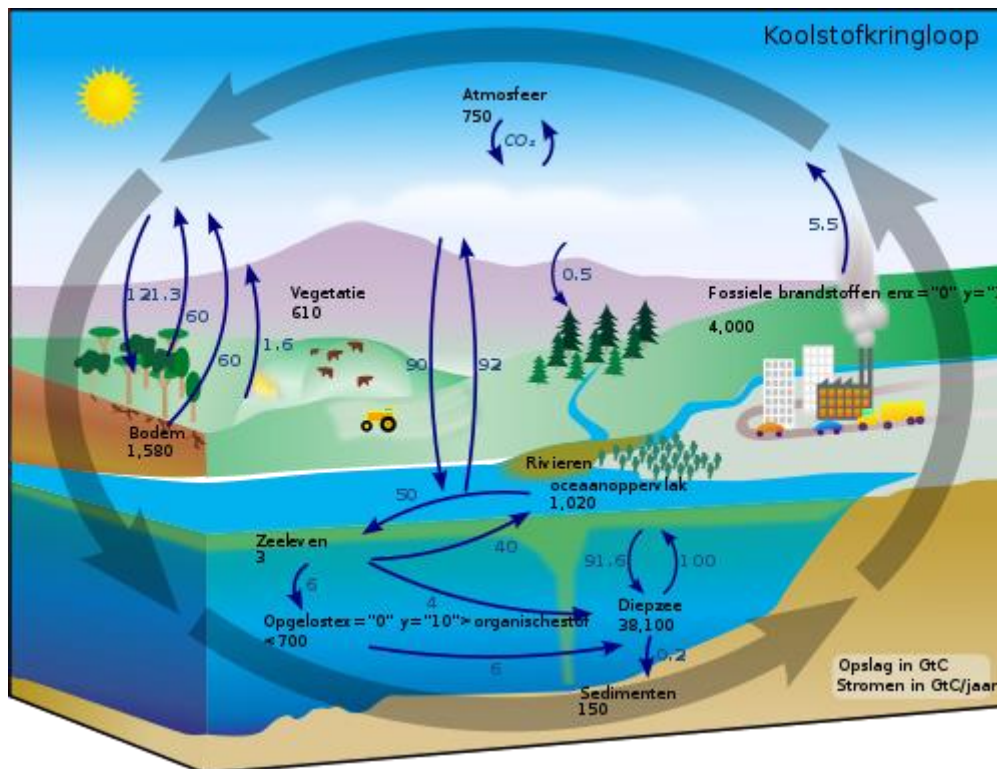
Bodemvocht en grondwater vormen enorme reservoirs, die schommelingen in de neerslag- en waterverdeling kunnen vereffenen. Landinwaartse luchtstromen en evapotranspiratie voeden de neerslag op het land. Slechts 0,001 procent van het water is aanwezig in de atmosfeer (tabel 1). Over de situatie in vroeger tijden zijn geen gegevens beschikbaar. Trenberth [5] maakte een analyse van wereldwijde neerslag- en verdampingsgegevens over de periode 1979-2000. Uit dit onderzoek bleek dat de verdamping boven land - met name in de tropen en subtropen - vaak groter is dan de neerslag (zie afbeelding 3).



Afbeelding 3. Wereldwijde verdeling van de jaargemiddelde netto verdamping (evapotranspiratie minus neerslag) in de periode 1979–2001 [5]

Koolstofcyclus

Koolstof komt als kooldioxide van nature voor in de atmosfeer. Dit broeikasgas draagt bij aan de opwarming van de aarde. Via fotosynthese wordt het in de vorm van organische koolstof opgenomen in biomassa. Een deel daarvan wordt na afsterven vastgelegd in humus, veenlagen en oceaansediment. Naast een natuurlijke flux, brengen de winning en het gebruik van brand- en bouwstoffen opgeslagen organische en fossiele koolstof terug in de kringloop (zie afbeelding 4).



Afbeelding 4. Wereldwijde koolstofkringloop [6]

De omvang van de natuurlijke uitwisselingsprocessen tussen de atmosfeer en de bodem en vegetatie op het land belooft ongeveer 120 gigaton koolstof per jaar (Gt C/a). De uitwisseling tussen de atmosfeer en de oceanen bedraagt circa 90 Gt C/a. Tegen deze achtergrond is de menselijke bijdrage aan atmosferisch kooldioxide betrekkelijk gering: verbranding van fossiele brandstof en cementproductie draagt zo'n 5,5 Gt C/a bij; ontginning, ontbossing en mineralisatie van de bodem ongeveer 1,6 Gt/a. Een procentuele verandering in de natuurlijke processen zou ten opzichte van het aandeel van de mens een relatief grote invloed hebben. Zulke kleine natuurlijke fluctuaties zijn zeer goed mogelijk [7]. Het is dan ook onwaarschijnlijk dat de directe uitstoot van kooldioxide exclusief verantwoordelijk zou zijn voor de toename ervan in de atmosfeer. Het gelegde verband tussen antropogeen kooldioxide en de opwarming van de aarde is dan ook minder absoluut dan waar meestal van wordt uitgegaan. Dat neemt echter niet weg dat de afbraak van opgeslagen organische koolstof in de bodem – via andere processen – een belangrijke oorzaak van de opwarming is. Dit wordt hierna toegelicht.

Biotische waterbuffering

Algen en planten vormen de motor van de natuurlijke koolstofkringloop. Dankzij de opgevangen energie van de zon worden er via fotosynthese grote hoeveelheden koolstof opgeslagen in de biomassa van levende algen en planten (1020 Gt C in de bovenste lagen van de oceaan en 610 Gt C op land, zie afbeelding 4). Een groot deel van de afgestorven biomassa op land belandt als humus op en in de bodem (1580 Gt C).

De aanwezigheid van bomen dempt temperatuurextremen. Onder bomen is het 's zomers 2 tot 10 graden koeler en 's winters 2 tot 10 graden warmer dan in het open veld [8]. Een humusrijke bodem kan veel vocht vasthouden. Mineralisatie breekt echter de humus af, vermindert het

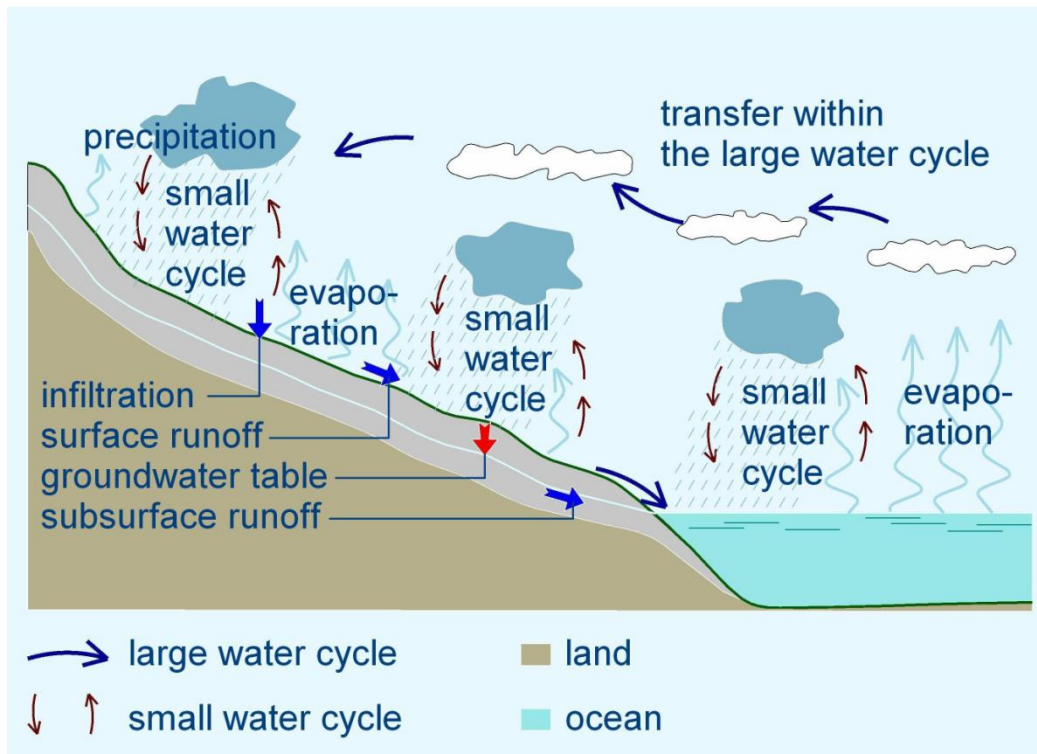
vochtabsorberend vermogen en brengt kooldioxide terug in de atmosfeer. Een sterk gemineraliseerde bodem erodeert gemakkelijk. Herstel door de opbouw van nieuwe humus verloopt heel traag. Door het veranderend grondgebruik en de toegenomen ontwatering is het mineralisatieproces in de afgelopen twee eeuwen wereldwijd sterk geïntensiveerd, met desastreuze gevolgen voor de regionale waterhuishouding en – zo wordt steeds duidelijker – voor het klimaat.

Voor de relatie tussen water en de opwarming van de aarde is organisch gebonden koolstof de sleutel. Ontbossing en industriële landbouw hebben geleid tot een wereldwijde uitputting van de voorraad organische koolstof. Het menselijk aandeel in dit proces is al duizenden jaren aan de gang. Sommige grote woestijnen, waaronder de Sahara, zijn mede ontstaan door houtkap en overbeweiding vanaf de laatste ijstijd, circa 12.000 jaar geleden. Tegenwoordig zijn ook in de gematigde klimaatzones de gevolgen merkbaar. Viktor Schauberger concludeerde op grond van zijn natuurwaarnemingen dat de hydrosfeer en de biosfeer een organisch samenhangend geheel vormen, dat door toedoen van de mens te gronde dreigt te gaan. Hij zei al rond 1930 catastrofale effecten te verwachten van het verstoren van de natuurlijke waterhuishouding en het vernietigen van humusrijke bodemlagen [9]. Inmiddels is de sterke achteruitgang van de vitaliteit van de Europese en Noord-Amerikaanse bossen een feit [10], [11].

De waterbuffer in de bodems van de continenten, die zorgt voor matiging van de meteorologische en klimaatprocessen, is op vele plaatsen aangetast en uitgeput. Dat heeft lokaal en regionaal al tot ernstige problemen geleid. Zowel wateroverlast als verdroging zullen volgens de Intergouvernementele Werkgroep Klimaatverandering (IPCC) in toenemende mate en op grotere schaal gaan voorkomen [12]. Door de opwarming van de aarde wordt het bodemafbraakproces geïntensiveerd. Vervolgens draagt de kale en droge bodem bij aan een versnelde opwarming van de atmosfeer.

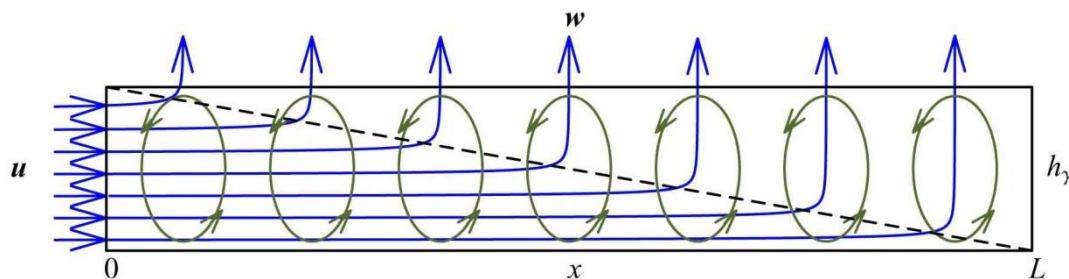
Biotische waterkoeling van de aarde

Een groep Midden-Europese water- en vegetatiedeskundigen heeft de nauwe relatie tussen bodemgebruik, waterhuishouding en opwarming van de aarde vertaald in regionale klimaatstrategieën, het 'nieuwe waterparadigma' [2]. Zij constateerden dat de grote waterkringloop in natuurlijke landschappen in kleinere compartimenten opgedeeld is, waardoor daar de uitwisseling van water tussen atmosfeer en bodem geleidelijker, directer en intensiever is dan in sterk verstedelijkte gebieden, waar de kringloop is verstoord (zie afbeelding 5). De cellen van kleine waterkringlopen representeren zones waar verdamping en neerslag zo nauw gekoppeld zijn dat water op weg naar de oceaan relatief lang wordt vastgehouden.



Afbeelding 5. Opdeling van de waterkringloop in regionale cellen (met name bosrijke landschappen) [2]

Vochtige lucht uit de kustgebieden kan volgens de theorie van de 'biotische pomp' via de groene rivierdalen landinwaarts worden getransporteerd doordat in de bovenlopen het verdampte water niet geheel door de lokale neerslag wordt aangevuld (afbeelding 6, [13]).



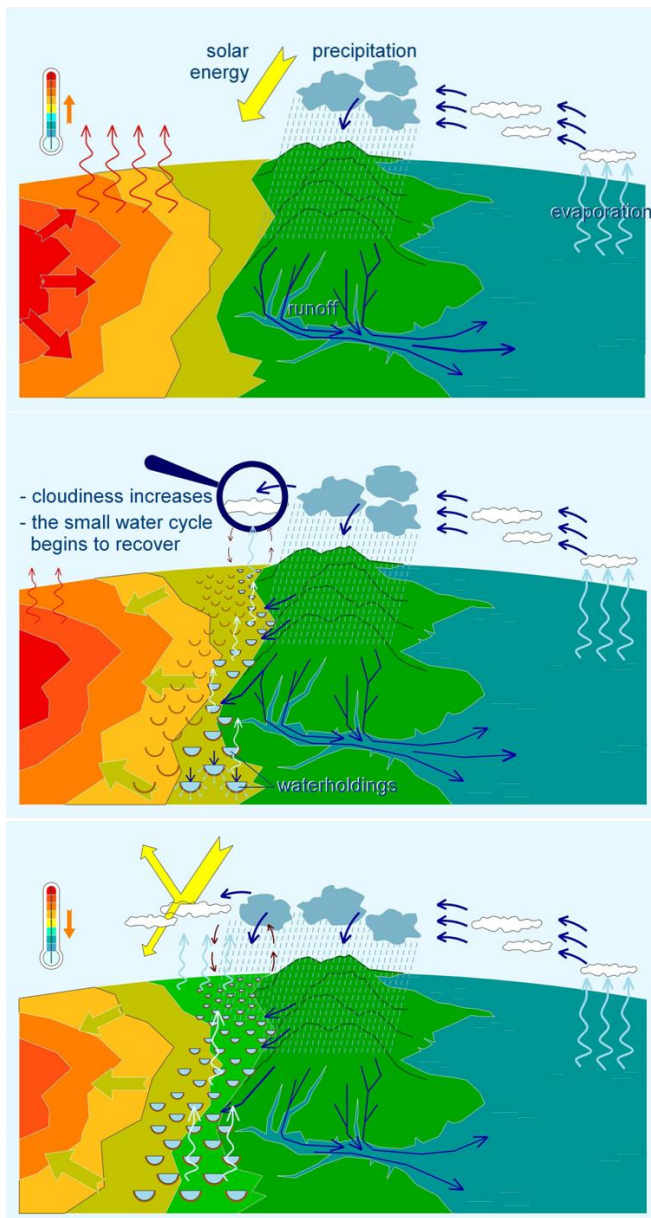
Afbeelding 6. Biotische pompwerking brengt in streken met een gematigd klimaat water van zee landinwaarts. u = wind landinwaarts; w = afgegeven warmte; x = afstand tot de kust; h_y = resterende neerslagvoorraad [13]

De kleine kringlopen kunnen alleen functioneren als er voldoende water in de bodem en de vegetatie beschikbaar is om te verdampen. Deze situatie bestaat van nature in regenwouden, die tegenwoordig echter vrijwel uitsluitend in tropische zones voorkomen. Op sommige plaatsen, bijvoorbeeld de westkust van Noord-Amerika, bestaan nog resten van een levend gematigd regenwoud, maar de meeste oerbossen buiten de equatoriale gebieden zijn – grotendeels door menselijk handelen – verdwenen.

In verdroogde gebieden is de kleine watercyclus onderbroken en is van een waterbuffer voor de biotische waterkoeling geen sprake meer. In onze gematigde streken is de situatie in het algemeen (nog) beter dan in de gebieden van de (sub)tropen waar het regenwoud is verdwenen [14]. In vele landen, waaronder de VS, is echter een verband tussen klimaateffecten en veranderd landgebruik en vegetatiedek duidelijk aangetoond [15].

Herstel en onderhoud van een verdroogde waterbuffer in de ondergrond vergen een waterhuishouding die gericht is op aanvoer en behoud van voldoende water, 'water cycle saturation'. Het combineren van de opbouw van buffervermogen, humusvorming, et cetera met andere menselijke activiteiten betekent een grote maatschappelijke uitdaging, in het bijzonder voor de landbouw. Zogeheten natuurinclusieve landbouw, waaronder bijvoorbeeld permacultuur en biologisch-dynamische landbouw, beoogt mede het gezond maken van de bodem en herstel van het waterbufferend vermogen door opbouw van organische koolstof. In een recente vergelijkende veldstudie is de praktische waarde van deze methodieken eenduidig vastgesteld [16].

Kravicik en Pokorný beschrijven met hun 'nieuwe waterparadigma' een strategie van landinrichting en beheer die erop is gericht om de wateraanvoer naar de centrale zones van de continenten te ondersteunen door met name de kleine waterkringlopen te herstellen (zie afbeelding 7, [2]). Dit sluit direct aan op de wereldwijd groeiende aandacht voor de kwaliteit van de bodem en biedt een methodisch kader en praktische instrumenten voor initiatieven voor waterconservering in landelijk en stedelijk gebied.



Afbeelding 7. Werking van het 'nieuwe waterparadigma' in verdroogde landschappen. Van boven naar onder is weergegeven hoe via herstel van het waterbufferend vermogen van de bodem het landinwaartse transport van water wordt gefaciliteerd, waardoor de netto warmte-instraling wordt getemperd en de oppervlaktetemperaturen dalen [2]

(Wereld)organisme

In het voorgaande is een complex samenspel van processen geschetst, waarvan de gekoppelde cycli van warmte, water en koolstof de belangrijkste abiotische elementen vormen. De levensprocessen (biotiek) vormen de verbinding tussen de kringlopen in de biosfeer en houden deze gaande. Zij worden naast diversiteit en complexiteit gekenmerkt door samenhang en harmonie.

De Griekse schrijver en filosoof Plutarchus (ca. 45-120 n. Chr.) spreekt van de ziel van de aarde die verantwoordelijk is voor alle leven. Door de eeuwen heen is dit inzicht – onder anderen door toonaangevende natuuronderzoekers als Da Vinci, Kepler en Goethe – gehuldigd. Ook moderne wetenschappers beschouwen de planeet aarde als een levend organisme, waarin niet de stoffen op zichzelf werkzaam zijn, maar de krachten waaraan deze onderhevig zijn [17], [18]. In 1971

formuleerde de Britse geochemicus James Lovelock (1919) de zogenoemde Gaia-hypothese [19]. Lovelock maakte aannemelijk dat de biosfeer functioneert als een zelfregulerend systeem, dat de omstandigheden voor het leven op aarde optimaal houdt. Hij en verwante natuuronderzoekers zien de watercyclus als de bloedsomloop van de aarde [9], [18], [20].

Bij de uitwerking van deze inzichten doet zich een conceptueel probleem voor. Zelfregulatie en -organisatie zijn – strikt genomen – attributen die aan materie worden toegekend. Leven is daarentegen een zelfstandig, bovengeordend principe, dat door en in het organisme – door de inwerking van vormkrachten – regie voert over de materie [21]. Omdat de tegenwoordige natuurwetenschap – in navolging van de achttiende-eeuwse filosoof en wiskundige Immanuel Kant [22] – haar kennisdomein heeft beperkt tot de stoffelijke materie, heeft deze geen goed ontwikkeld concept voor ‘het organische’. Derhalve is – om de in deze reeks besproken bijzondere kwaliteiten van water volledig te doorgronden – aanvulling van het vigerende natuurwetenschappelijk paradigma onontkoombaar.

Conclusies

- Om opwarming van de aarde te voorkomen en klimaatschade te verzachten is het absoluut niet voldoende om alleen minder kooldioxide uit te stoten en de watersystemen robuuster te maken.
- Als gevolg van het huidige gebruik van de bodem – grootschalige stedenbouw, industriële landbouw en winning van bouw- en grondstoffen – is de verkoelende natuurlijke biotische waterbuffer van de ondergrond vrijwel overal op aarde verdwenen. Herstel van deze biotische waterkoeling, bijvoorbeeld zoals uitgewerkt in het ‘nieuwe waterparadigma’, is de hoofdpoging van een effectieve klimaatstrategie.
- Klimaatadaptatie is weliswaar op korte termijn nodig om mensenlevens en eigendommen te beschermen, maar alleen met systemische, geïntegreerde maatregelen zullen menselijke activiteiten duurzaam kunnen worden ingebed in de geofysische en geobiologische processen van de aarde.
- De kringlopen van water, koolstof en biomassa vormen een samenhangend systeem. Dit geheel van biotische en abiotische factoren functioneert als een levend organisme, dat als het ware een warmteregulerende mantel om de aarde vormt. Om dit inzicht in de wetenschap te integreren en in de techniek praktisch te hanteren is een fundamentele verruiming van het natuurwetenschappelijk denken noodzakelijk. Daarop zal in een eventueel volgend artikel van deze reeks worden ingegaan.

Referenties

1. Daly, L., Lee, M.R. et al. (2021). 'Solar wind contributions to Earth's oceans'. *Nature Astronomy* **5**: p. 1275-1285.
2. Kravčík, M., Pokorný, J. (2008). *Water for the Recovery of the Climate*. Kosice: NGO People and Water. 122 pp.
3. Guggenheim, D., Gore, A. (2006). *An inconvenient Truth*. Paramount Classics: United States. Filmduur 97 minuten.
4. Sluis, J.W. van (2021). 'Bijzondere kwaliteiten van water (9) – Klimaat: de onstuimige wisselwerking tussen water en warmte'. *H2O-Online*, 15 november 2021.
5. Trenberth, K.E., Smith, L. et al. (2007). 'Estimates of the Global Water Budget and Its Annual Cycle Using Observational and Model Data'. *J. of Hydrometeorology*, **8**(Special section): p. 758-769.
6. Wikipedia. *Koolstofkringloop*. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Koolstofkringloop>, geraadpleegd op 2 november 2021
7. Friedlingstein, P., Jones, M. et al. (2020). 'Global Carbon Budget 2019'. *Earth System Science Data* **11**: p. 1783-1838.
8. Haesen, S., Lembrechts, J.J. et al. (2021). 'ForestTemp - Sub-canopy microclimate temperatures of European forests'. *Global Change Biology* **27**(23): p. 6307-6319.
9. Schauburger, V. (1933). *Unsere Sinnlose Arbeit*. 3. Aufl. Viktor Schauburger-Edition Vol. 1. 2003 J. Schauburger Verlag, Bad Ischl.
10. George, J. P., Sanders, T.G.M. et al. (2021). 'Long-term forest monitoring unravels constant mortality rise in European forests'. bioRxiv preprint: p. 2021.11.01.466723.
11. National Research Council; Earth System Sciences Committee; NASA Advisory Council (1986). *Earth System Science: Overview: A Program for Global Change.*, Washington, DC: The National Academies Press. 50 pp.
12. Masson-Delmotte, V., Zha, P. et al. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC: Cambridge University Press. 150 pp.
13. Makarieva, A., Gorshkov, V. (2010). 'The Biotic Pump: Condensation, atmospheric dynamics and climate'. *International Journal of Water* **5**: p. 365-385.
14. Schwaab, J., Meier, R. et al. (2021). 'The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities'. *Nature Communications* **12**(6763): p. 1-11.
15. Brown, D.G., Polsky, C. et al. (2014). 'Land Use and Land Cover Change. Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment', in *U.S. Global Change Research Program*, J.M. Melillo, T.T.C. Richmond, and G.W. Yohe (eds.) p. 318-332.
16. Birkhofer, K., Fliessbach, A. et al. (2021). 'Conventional agriculture and not drought alters relationships between soil biota and functions'. *Scientific Reports*, **11**(1): p. 23975.
17. Wachsmuth, G. (1945). *Erde und Mensch - ihre Bildekräfte, Rhythmen und Lebensprozesse. Grundlinien einer Meteorobiologie der Naturreiche. Band I*. Kreuzlingen & Zürich: Archimedes Verlag. 485 pp.
18. Schwenk, T. (1963). *Das sensible Chaos. Strömendes Formenschaftern in Wasser und Luft*. 2. Aufl. Stuttgart: Verlag Freies Geistesleben. 142+88 pp.

19. Lovelock, J. (1992). *Gaia. een nieuwe visie op de aarde*. Pockets voor de nieuwe tijd. Utrecht/Antwerpen: Uitgeverij Kosmos. 176 pp.
20. Ripl, W. (2003). 'Water: the bloodstream of the biosphere'. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, **358**: p. 1921-1934.
21. Sluis, J.W. van (2021). 'Bijzondere kwaliteiten van water (7) – Werveldynamiek: het aangrijpingspunt van vormkrachten?'. *H2O-Online*, 20 april 2021
22. Kant, I., (2004). *Kritiek van de zuivere rede*. Meppel: Boom. 689 pp.