

## Bijzondere kwaliteiten van water (6) – Stroming en vorm

*Hans van Sluis (gepensioneerd watertechnoloog DHV)*

Water heeft geen eigen vorm, maar voegt zich naar zijn bassin of bedding. Het vult alle ruimte opzij en in de diepte en creëert aan de lucht een glad oppervlak. Zwaartekracht en wind kunnen een watermassa in beweging brengen. Stromend water creëert patronen en bepaalt de vormen in een natuurlijk landschap. Levende organismen beginnen hun ontwikkeling in het water. Hun vormen en structuren doen vaak denken aan gestolde stromingspatronen. Dit zesde deel van de reeks 'Bijzondere kwaliteiten van water' gaat over het gedrag van water als *vloeistof*.



Water is graag vloeibaar. Om het te verdampen of te bevriezen moet er veel warmte aan worden toegevoegd, c.q. onttrokken. Het is de enige vrij in de natuur voorkomende stof die bij normale temperatuur en druk overwegend vloeibaar is. Zeeën en oceanen beslaan 70 procent van het aardoppervlak. Verder komt water in grote hoeveelheden voor in de bodem (als grondwater en geologisch water) en (als wolken) in de atmosfeer. Via (zee)stromen en de atmosferische cycli van de waterkringloop staan deze voorkomens met elkaar in verbinding en vindt onderlinge uitwisseling plaats. Stroming is ook een metafoor voor verandering.

*“Alles stroomt - Je kunt niet tweemaal in dezelfde rivier stappen”*

*- Heraklites*

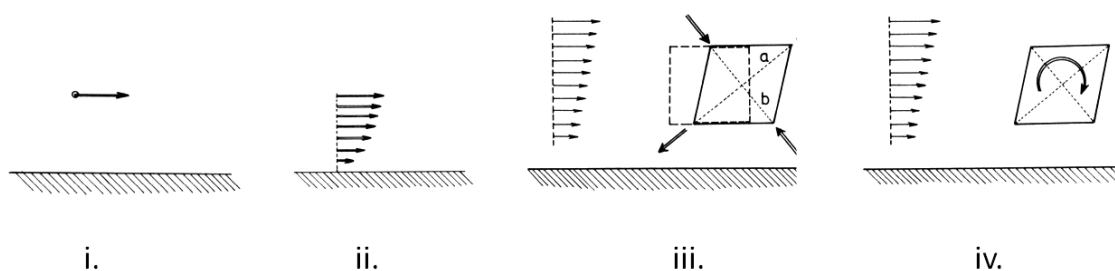
Water heeft geen eigen vorm; het past zich altijd aan de omgeving aan. Wie zijn hand in lauwarm water steekt voelt geen overgang. Wanneer we 'te water gaan' wordt onze hele gestalte nauwkeurig nagevormd. Aan zichzelf overgelaten vormt water een druppel, die in rust zwevend een zuivere bol is, maar onder invloed van de zwaartekracht door de luchtweerstand een beetje afplat. Een vallend dun waterstraaltje breekt op in druppels.

Druppels vloeien gemakkelijk samen en vormen een plas. Grotere hoeveelheden water komen door wind of zwaartekracht in beweging en zoeken een lager gelegen punt op. Het vloeibare water van zeeën en oceanen op aarde vormt een aaneengesloten boloppervlak, waar de oprijzende massa's van de continenten doorheen steken.

## Stroming

In grote waterlichamen (meren, zeeën) ontstaat circulatiestroming door de werking van de wind en door verschillen in temperatuur en zoutgehalte. De aantrekkingskracht van maan en zon veroorzaakt de getijstrooming. De zwaartekracht op aarde nivelleert waar mogelijk verschillen in waterpeil en genereert de stroming in rivieren. Op microschaal veroorzaakt de oppervlaktespanning van water capillaire stromingsprocessen.

In de techniek wordt stroming toegepast om vloeistoffen door leidingen te transporteren. Stromend water ondervindt weerstand van de omringende watermassa, de bedding waarover of de buis waardoor het beweegt. Daardoor ontstaan naast de voortgaande vloeiende verplaatsing interne bewegingen in andere richtingen dan de stroomrichting. Stroming is opgebouwd uit vier basisbewegingen [1] (zie afbeelding 1a). Het resultaat is dat stromend water afbuigt door de weerstand die het ondervindt, gaat slingeren en wervelen. Het stroomt nooit lang rechtuit.

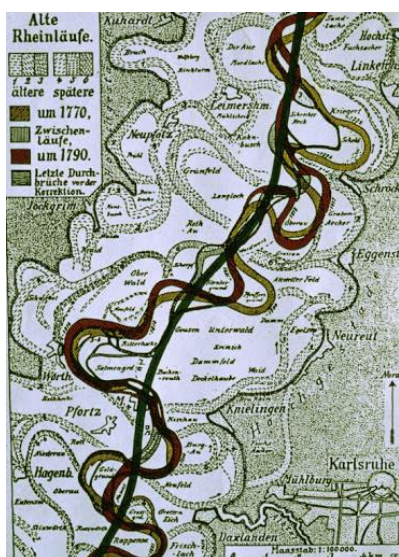


Afbeelding 1a. – Vier elementaire stromingsgebaren: i. verplaatsen, ii. schuiven, iii. scharen en iv. roteren. Naar [1]



Afbeelding 1b. Algemeen beeld van een rivierloop met verschillende stromingsdynamische zones. A. Vlechtend, B. Meanderend. Naar [2]

Aan een natuurlijke rivierloop kunnen - in omgekeerde volgorde - de verschillende stromingspatronen worden afgelezen (zie afbeelding 1b). In bergachtig terrein (rechts) is het verval groot en stroomt het water onstuimig door de steenachtige bedding van de bovenloop. Vast materiaal wordt losgewoeld en meegesleurd. In de middenloop komt dit grotendeels tot bezinking. Het wordt bij piekafvoeren door de stroming ten dele weer opgenomen en verder getransporteerd. Pas in de benedenloop en na uitstroming in de zee (links) worden ook de fijnste vaste delen afgezet. In de middenloop is de interactie tussen de rivier en het stroombed is het meest dynamisch. Dit uit zich in een vlechtwerk van geulen en zandbanken, dat voortdurend verandert, en in een meanderende hoofdstroom, die vooral bij hoge afvoeren – en soms sprongsgewijs - een andere bedding kiest.



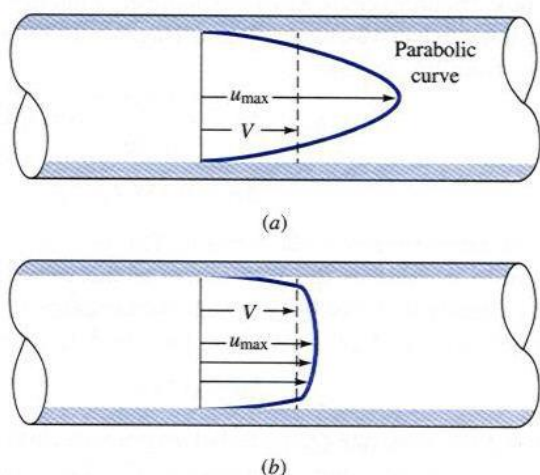
Afbeelding 2. Oude rivierlopen van de Rijn en de rond 1820 uitgevoerde kanalisatie bij Karlsruhe (links), zand- en grindbanken in het Rijnkanaal - Alpenrhein tussen Chur/Vaduz en de uitmonding in de Bodensee (rechts)

Afbeelding 2 schetst (links) oude en actieve geulen van de Rijn ter hoogte van Karlsruhe en de grootschalige kanalisatie aan het begin van de negentiende eeuw. De neiging tot meanderen is uiterst sterk. Op sommige gekanaliseerde riviertrajecten is in de zandbanken een alternerend patroon goed herkenbaar (rechts).

### Stromingsregimes

In de technische stromingstoepassingen spelen bovengenoemde verschijnselen geen rol van betekenis. Het optreden ervan wordt in ontwerp en bedrijf vanwege de potentieel zeer schadelijke gevolgen zo veel mogelijk verhinderd.

Stroming in leidingen wordt in de stromingsleer onderscheiden in laminair en turbulent. Laminaire stroming betreft laagsgewijze verplaatsing van de vloeistof, zonder dat er menging optreedt in de dwarsrichting. Dit wordt onder meer toegepast in verfijnde laboratoriuminstrumenten. In de leidingen van grote technische installaties is de stroming meestal turbulent, waarbij de vloeistof over de hele dwarsdoorsnede wordt opgemengd (zie afbeelding 3b).



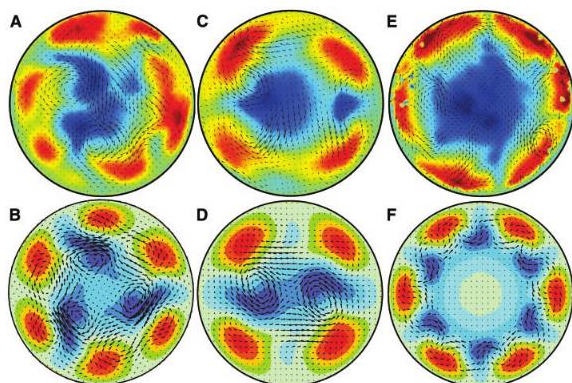
Afbeelding 3. Snelheidsprofielen van laminaire (a) en turbulente (b) stroming door een buis ( $u_{max}$ =maximale stroomsnelheid;  $V$ =gemiddelde stroomsnelheid)

Tussen de beide regimes bestaat een overgangsgebied, waar men in de praktijk niet goed raad mee weet. Met het getal van Reynolds ( $Re$ , dimensieloos), dat de verhouding tussen de heersende traagheidskrachten en de viskeuze krachten aangeeft, kan het stromingsregime getalsmatig worden benaderd (zie afbeelding 4). Dit principe geldt ook voor gassen.



Afbeelding 4. Drie karakteristieke stromingsregimes

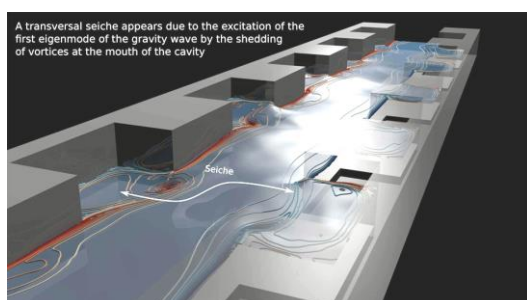
In het overgangsgebied treden turbulente verstoringen op, die ook weer uitdoven. De stroming is instabiel en onvoorspelbaar. Omdat de traagheidskrachten en de viskeuze krachten elkaar in een – wankel – evenwicht houden en eventuele andere krachten zich kunnen doen gelden, is dit gebied voor de bijzondere eigenschappen van water bijzonder interessant. Er doen zich ook - onder goedgekozen omstandigheden – reproduceerbare bijzondere stromingsverschijnselen voor. De besproken meanderende rivier is daarvan het bekendste voorbeeld. De Delftse hoogleraar Björn Hof vond aanwijzingen dat er in hetzelfde Reynoldsgebied zelfs bij buisstroming periodieke axiaal-symmetrische patronen ontstaan. Er bleken daarbij snelheidsvariaties in de stromingsrichting én dwars daarop op te treden. Hij slaagde er ook in om deze via numerieke modellering te simuleren [3] (zie afbeelding 5).



Afbeelding 5. Vergelijking van experimentele (boven) en gesimuleerde (onder) stromingspatronen in een buisdwarsdoorsnede. In de rode zones is de stroming sneller en in de blauwe zones langzamer dan de gemiddelde snelheid. Naar [3]

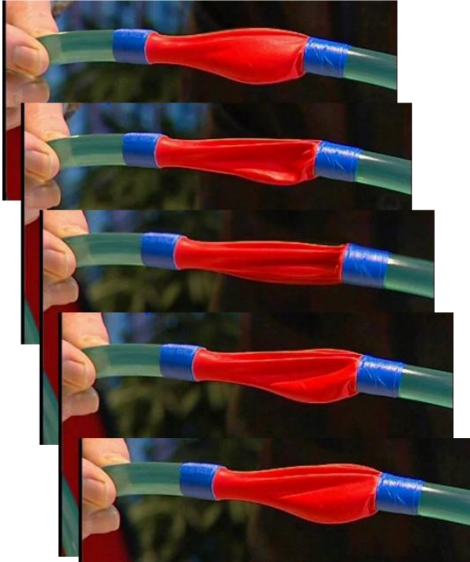
### Ritme

Zoals hiervoor vermeld zijn trillings- en golfverschijnselen in technische installaties en waterbouwkundige constructies ongewenst. Onderzoek zoals het aangehaalde is dan ook vooral gericht op de preventie van wat Sarpkaya en anderen ‘harmonische stroming’ noemen. In aan een rivier gelegen havenbekkens en in kribvakken ontstaan bij hoge afvoeren soms staande golven, die een bedreiging kunnen vormen voor de kaden en dijken. Er is veel onderzoek verricht naar de achterliggende wetmatigheden [4], [5], [6]. Meile slaagde er in met proeven in een meetgoot de hydrometrische voorwaarden voor havengolven te ontrafelen en de opzweping nauwkeurig te voorspellen [7]. Zeer recent is het eveneens gelukt om deze gecompliceerde processen met numerieke methoden te simuleren [8] (zie afbeelding 6).



Afbeelding 6. Numerieke simulatie van een oscillatie in een reeks havenbekkens of kribvakken [8]

Onder bepaalde omstandigheden wordt een doorgaande stroming periodiek nagenoeg geheel onderbroken. Dit kan worden gedemonstreerd met een tuinslang waarvan een kort deel is vervangen door een slangstuk van soepel materiaal (zoals een ballonnetje). Bij de juiste waterhoeveelheid en –druk loopt het tussenstuk oscillerend vol en leeg en verandert de uitvoer van een continue in een pulserende straal (zie afbeelding 7).



*Afbeelding 7. Beeldsequentie van een kloppende ballon*

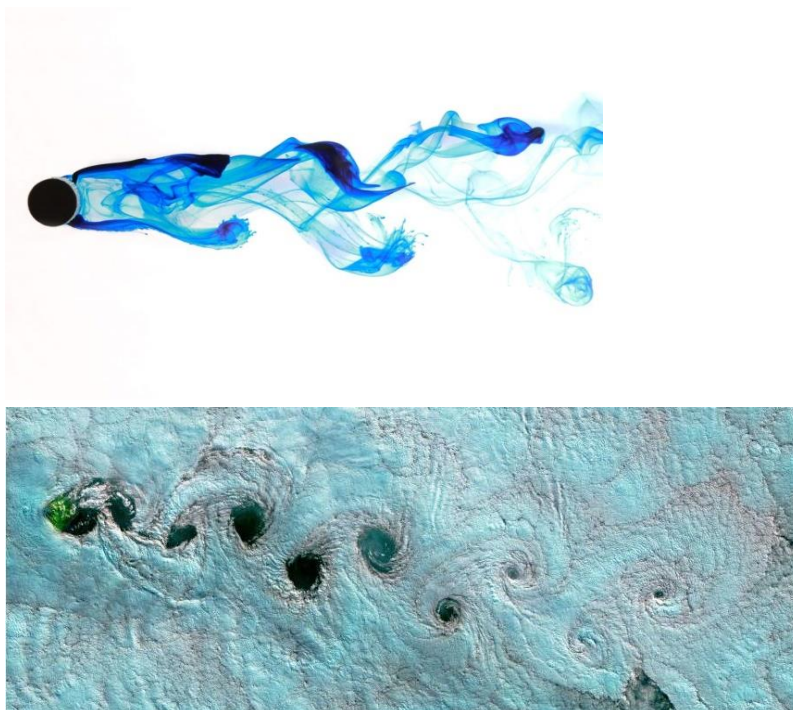
In stromende systemen van de vrije natuur treedt de harmonische stroming overal en op zeer verschillende schaal op, variërend van microscopische vaatsystemen van planten en dieren tot meanderende rivieren en zeestromen die zich met elkaar vermengen. Ook in de atmosfeer doen zich vergelijkbare verschijnselen voor (zie afbeelding 8). De golven die de langsstrijkende wind op het wateroppervlak veroorzaakt kent iedereen. Hierbij gaat het water niet meteen stromen, maar wordt het in een rollende beweging gebracht, die eveneens leidt tot het ritmische patroon van de golven. In ondiep water is dit ritme ook in de ribbels op de bodem zichtbaar.

De drie karakteristieke stromingsregimes in afbeelding 4 zijn in de vrije natuur kwalitatief te onderscheiden, maar een eenduidige typering via berekening van het getal van Reynolds is in grootschalige, samengestelde en open systemen niet goed mogelijk.



*Afbeelding 8. Mengingspatroon bij twee langs elkaar schuivende luchtlagen (Kelvin-Helmholtz-instabiliteit)*

In de stroming rond objecten ontstaat een spoor van in elkaar grijpende wervelingen, de zogenoemde Von Karmán-wervelstraten (afbeelding 9).



*Afbeelding 9. Wervelstraten in water (boven – schaal: meters) en lucht (onder – schaal: kilometers)*

Al deze voorbeelden laten zien dat stromende systemen onder bepaalde omstandigheden steeds op weerstand reageren met ritme: druppelsnoeren, zandribbels, meanderlussen, etc. Dit is een fundamentele vloeistofmechanische eigenschap, die zich in water en/of lucht overal in de natuur manifesteert.

### **Natuur en techniek**

Voorgaand overzicht – hoe beknopt ook - toont markante verschillen tussen de aard van stromingen in de natuur en die van de waterbeweging in leidingen en kunstwerken. Het regime van technische stroming moet, om oscillaties te vermijden, laminair òf turbulent zijn. In de natuurlijke omgeving echter, ontwikkelt stromend water steeds ritmen, zowel in de tijd als in de ruimte. Een toestand van grote turbulentie is daar beperkt tot de – voorbijgaande – momenten en situaties waarin het water zijn geweldige kracht ontplooit. Volledig stilstaand water komt in de natuur weinig voor; waterbouwkundige ingrepen en kunstwerken daarentegen bewerkstelligen vaak langdurige stilstand van grote watermassa's. Door de grote optredende afschuifkrachten heeft de gedwongen technische stroming in werkende machines, pompen, en dergelijke iets permanent gewelddadigs. Stilstand in leidingen en tanks heeft door de afsluiting van de omgeving een verstikkend effect. Deze beide situaties zijn levensvijandig in de zin dat geen enkel hoger organisme zijn hele levenscyclus in een dergelijke omgeving kan doormaken. Ze komen in de natuur, zoals gezegd, alleen bij catastrofale gebeurtenissen voor. Met het oog op de levendragende functie van water is het belangrijk om de invloed van het stromingsregime op de levensverschijnselen en -processen en op het vermogen van water om deze te dragen goed te kennen en daarmee in technische processen en installaties rekening te houden.

### **Stroming en levensprocessen**

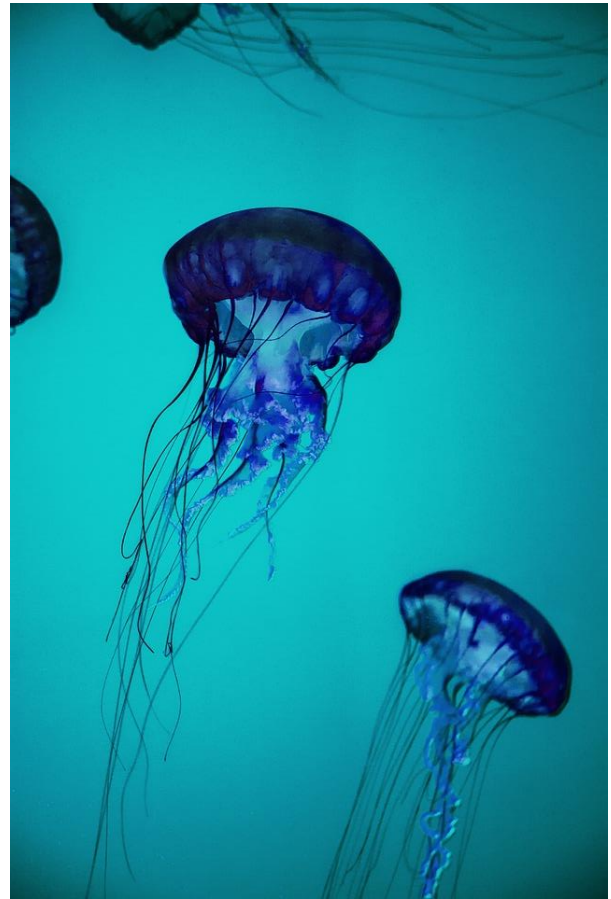
De in deze reeks besproken bijzondere kwaliteiten van water en de in de delen 3 en 4 gepresenteerde beeldvormende onderzoeksmethoden bieden een handvat om uitspraken te doen over stroming en leven [9], [10]. Liess onderzocht met verschillende van deze methoden de invloed van pompen op de waterkwaliteit [11]. De resultaten van zijn onderzoek van onder andere druppelbeelden en vormkrachtenbeelden wijzen op subtiele beïnvloeding door het verpompen van water, die in sommige situaties, zoals bij de bereiding van levensmiddelen en van medische preparaten, wellicht minder wenselijk is. Schwuchow vermeldt een negatieve invloed op koperkristallisatiebeelden van het water door de werking van grote turbines in de zogenoemde Pumpspeicherwerke voor de opslag van hydro-elektrische energie [12].

De ingrijpende negatieve ecologische effecten van kanalisatie van beken en rivieren zijn genoegzaam bekend. Overal ter wereld wordt tegenwoordig ruimte gemaakt om waterlopen (weer) hun bedding te laten vormen en worden stuwdammen verwijderd om de dynamiek en de continuïteit van de rivierprocessen te herstellen. Ten aanzien van drinkwater en voedings- en geneesmiddelen valt te denken aan mogelijke gevolgen van stilstand onder druk en van grote afschuifkrachten door turbulente stroming. In het vijfde deel van deze reeks is uitdrukkelijk gewezen op de invloed die ook zeer zwakke mechanische krachten kunnen hebben op het ontstaan van de zogeheten coherentiedomeinen en daarmee op de energetische kwaliteit van water [13].

### **Stroming en vorm**

Bestudering van de natuurlijke stromingsfenomenen in levende cellen en organismen en van karakteristieke organische vormen heeft een nauwe relatie tussen stroming en de vormen van de levende natuur aan het licht gebracht. Theodor Schwenk (1910-1986) verrichtte uitgebreid pionierswerk op dit gebied en publiceerde de resultaten van zijn onderzoek in '*Das sensible Chaos*' [14]. Het volgende voorbeeld uit dit standaardwerk getuigt van de talrijke op stromingsfenomenen gelijkende vormen van organen en organismen in de natuur (zie afbeelding 10).





*Afbeelding 10. Opvallende gelijkenis tussen een ringwervel (links) en een kwal (rechts)*

Hoewel het niet eenvoudig direct te bewijzen is, is het zeer aannemelijk dat deze vormanalogie niet op toeval berust. Indirecte bewijzen zijn er te over: i. Alle groeiprocessen zijn vloeistofgedragen. ii. Organische vormen ontstaan geleidelijk en vloeiend. iii. Afzonderlijke specimens van een planten- of diersoort zijn nooit voor honderd procent identiek, maar dragen de sporen van een individueel wordingsproces (de matrijs, zoals gebruikt voor massaproductie, is een technische uitvinding).

Een heel bijzonder voorbeeld is de vorming van het hart bij dier en mens. Zowel in het evolutionaire als in het embryonale ontwikkelingsproces gaan stroming en pulsatie van het bloed vooraf aan het ontstaan van het hart zelf. De stroming doet het orgaan ontstaan en niet omgekeerd [15]. Gerald Pollack stuitte bij zijn onderzoek naar de 'vierde fase van water' op een verwant verschijnsel in de anorganische natuur. Hij nam waar dat de vloeistof in een capillair buisje van hydrofiel materiaal spontaan gaat stromen wanneer er licht op valt [16]. Ook het beschreven fenomeen van de flexibele slang die door stroming aan het kloppen wordt gebracht is in dit verband van belang.

## Vormkrachten

Theodor Schwenk concludeerde dat er in en/of door de stroming van het water onder bepaalde omstandigheden vormende krachten werken [14]. Deze vormkrachten zijn traceerbaar via beeldvormende methoden, waarvan er enkele zijn besproken in de delen 3 en 4 [9], resp. [10]. Vormkrachtenonderzoek is door Dorian Schmidt methodisch-wetenschappelijk beschreven en geduid [17].

Zeer onlangs verscheen in *Nature* een overzichtsartikel over een kracht (*Life force*) die werkt in levende organismen - met name in het embryonale stadium, die de groeiende celmassa in de goede vorm "knijpt, buigt en trekt" [18]. Het lijkt niet vergezocht om in deze beschrijving vormkrachten te zien. Deze bewerkstelligen immers eenzelfde effect. Schmidt en collega's spreken weliswaar van een *zuigende* werking als mechanisme, maar dat geeft slechts aan dat zij als waarnemer het fenomeen vanuit een andere positie hebben beschreven [19].

De achtergrond van deze krachtverschijnselen is vooralsnog een groot raadsel. Een mechanische koppeling met het erfelijk materiaal van de cel (DNA) wordt door de onderzoekers van het *Nature*-artikel verondersteld, maar zij hebben een dergelijk verband niet gevonden.

Het in het onderhavige artikel besprokene maakt evenwel duidelijk dat in dit verband ook aan stromingsprocessen moet worden gedacht, in het bijzonder aan de omstandigheden van een wervelende waterbeweging.

## Conclusies

De in dit artikel gepresenteerde verkenning licht weer een volgend tipje van de sluier op over het bijzondere (stromings-) aspect van water. Het volgende kan worden geconstateerd:

1. Natuurlijke stroming en stroming in technische installaties en waterbouwkundige infrastructuur zijn fundamenteel verschillend van karakter. Bij - gedwongen - technische stroming heersen overwegend stilstaande óf sterk turbulente condities; bij - vrije - natuurlijke stroming komt daarnaast in het tussenliggende overgangsgebied op grote schaal 'harmonische stroming' voor, waarbij water op weerstand reageert met ritme.
2. Zowel langdurige stilstand als grote turbulentie beïnvloeden de energetische kwaliteit van water nadelig en zijn daardoor schadelijk voor de ontwikkeling en groei van de erin levende wezens.
3. De patronen van de harmonische stroming gelijken sterk op de vormen van vele levende organismen en structuren, die ontstaan in de interactie tussen water en weefselcellen.
4. Vormkrachten bewerkstelligen in water via stroming het ontstaan van grensvlakken en leggen daarmee de basis voor celdifferentiatie en morfogenese. Met name wervelstroming is in dit verband interessant.

## Referenties

1. Müller, E.A., Rapp, D. (1985). *Die Strömung - Bild des Ätherischen*, in *Erscheinungsformen des Ätherischen*, J. Bockemühl (Editor). Freies Geistesleben: Stuttgart.
2. Schleyer, M., Wohlleben, E., Naudascher, I. (eds.) (2018). *Lebenskräfte - Arbeiten und Forschen im Ätherischen*. Institut für Strömungswissenschaften im Verein für Bewegungsforschung e.V.: Herrischried.
3. Hof, B., Doorne, C.W.H. van, et al. (2004). 'Experimental Observation of Nonlinear Traveling Waves in Turbulent Pipe Flow. *Science* **305**: p. 1594-1598.
4. Sarpkaya, T. (1976). 'Vortex shedding and resistance in harmonic flow about smooth and rough circular cylinders' in *Conference on behaviour of offshore structures (BOSS '76)*. Norwegian Institute of Technology.
5. Rockwell, D., Naudascher, E. (1978). 'Self-Sustaining Oscillations of Flow Past Cavities'. *J. Fluids Eng.* **100**(2) (Jun): p. 152-165.
6. Thurgood, P. et al. (2020). 'Tunable Harmonic Flow Patterns in Microfluidic Systems through simple Tube Oscillation'. *Small science* **16**(43): p. 2003612.
7. Meile, T., Boillat, J.-L., Schleiss, A.J. (2011) 'Water-surface oscillations in channels with axisymmetric cavities'. *Journal of Hydraulic Research* **49**(1): p. 73-81.
8. Perrot-Minot, C., Mignot, E., et al. (2020) 'Vortex shedding frequency in open-channel lateral cavity'. *Journal of Fluid Mechanics* **892**(A25).
9. Sluis, J.W. van, Claassen, T. (2020). 'Bijzondere kwaliteiten van water (3) – Beeldvormend onderzoek van levenskwaliteit: fysische en chemische methoden'. *H2O-online*, 21 juli 2020.
10. Sluis, J.W. van, Claassen, T. (2020). 'Bijzondere kwaliteiten van water (4) – Beeldvormend onderzoek van levenskwaliteit: biologische en sensorische methoden'. *H2O-online*, 28 juli 2020.
11. Liess, C. (2020). 'Wirkung von Pumpen auf die Qualität der geförderten Flüssigkeit'. *Wasserzeichen* **54**: p. 8-23.
12. Schwuchow, J., Wilkes, J. and Trousdell, I. (2010). *Energizing Water - flowform technology and the power of nature*. Forest Row: Sophia Books.
13. Sluis, J.W. van (2020) 'Bijzondere kwaliteiten van water (5) – een solide basis van moderne natuurwetenschappelijke inzichten'. *H2O-online*, 30 oktober 2020.
14. Schwenk, T. (1963) *Das sensible Chaos. Strömendes Formenschaffen in Wasser und Luft*. 2. Aufl. Stuttgart: Verlag Freies Geistesleben.
15. Moorman, A.F. et al. (1998). 'Development of the Cardiac Conduction System'. *Circ Res.* **82**: p. 629-644.
16. Rohani, M., Pollack, G.H. (2013). 'Flow through Horizontal Tubes Submerged in Water in the Absence of a Pressure Gradient: Mechanistic Considerations'. *Langmuir* **29**: p. 6556-6561.
17. Schmidt, D. (2011). *Levenskrachten - vormkrachten. Methodische uitgangspunten voor het onderzoeken van dat wat leeft*. Amsterdam: Cichorei.
18. Dance, A. (2021). 'The secret forces that squeeze and pull life into shape - Scientists are getting to grips with the role of mechanical forces in the body, from embryo to adult'. *Nature* **589**: p. 186-188.
19. Schmidt, D. (1998). 'Beobachtungen im Bildekräfte-Bereich der Natur'. *Das Goetheanum* (18, 19 en 20): p. 12.