

RUIS wordt eigenlijk altijd als hinderlijk en storend beschouwd, en daarom doet een nuttige rol in eerste instantie vreemd aan. Maar minstens zo vreemd is de weg waarlangs onderzoekers die rol op het spoor zijn gekomen. Die weg loopt van klimaatonderzoek via laseropstellingen naar zenuwcellen van dieren als rivierkreeften, krekels en ratten.

Het idee is afkomstig uit een poging om de herhaalde terugkeer van ijstijden op aarde te verklaren. Klimatologische gegevens laten zien dat de temperatuur op aarde in het verleden grofweg zo om de honderdduizend jaar tot ijzige dieptepunten daalde. Vanwaar die regelmaat? Voor zover bekend is het enige wat over deze lange periode mee varieert de afstand tussen de zon en de aarde. De oorzaak is een kleine schommeling in de baan van de aarde om de zon. Maar het verschil in zonnearmte dat daaruit voortvloeit, is op zich te klein om een dergelijk grootschalige klimaatverandering te kunnen verklaren.

Drie Italiaanse natuurkundigen, Roberto Benzi, Alfonso Suteri en Angelo Vulpiani, kwamen in 1982 met aanvullend idee. Zij opperden de mogelijkheid dat het warmte effect van die afstandsschommeling een extra duwtje krijgt van andere veranderlijke factoren, zoals turbulentie in de atmosfeer of fluctuaties in vastgehouden warmte op aarde. Deze bijkomende schommelingen zouden gezamenlijk het subtiele effect van afstand tussen zon en aarde over een drempel helpen en een ijstijd op gang brengen. Het idee werd 'stochastische resonantie' genoemd. De term duidt op een soort samenspel (resonantie) tussen een zwak, periodiek signaal en een toevallig (stochastisch) mengsel van signalen, ofwel witte ruis. Het zwakke signaal trekt de ruis als het ware mee in zijn regelmaat. Dat versterkt het signaal en tilt het over een drempel, waardoor het waarneembaar wordt.

Of stochastische resonantie een juiste verklaring voor de ijstijden is, staat nog niet vast. Wel is zeker dat het verschijnsel van signaalversterking door ruis bestaat. Dat is om te beginnen in diverse natuurkundige experimenten aangetoond, bijvoorbeeld met elektrische circuits, laseropstellingen, en in supergeleidende systemen voor het ontdekken van minieme veranderingen in magnetische velden. Daarbij blijkt telkens dat er een optimale hoeveelheid ruis bestaat om het gewenste signaalversterkingseffect voor elkaar te krijgen. Bij te weinig ruis komt het signaal nog steeds niet door, en in te veel ruis gaat het signaal verloren. Een aardig voorbeeld van hoe daar zelf thuis met geluidsapparatuur mee geëxperimenteerd kan worden, is beschreven door Wayne Garver en Frank Moss in *Scientific American* van vorig jaar augustus. Daarin staat hoe muziek die net te zacht staat om gehoord te worden, door extra ruis openes wel te horen is.

Behalve hoorbaar, kan het effect van stochastische resonantie ook zichtbaar worden gemaakt. De Italiaan Enrico Simonotto, een natuurkundige die zich in



Werden de ijstijden veroorzaakt door stochastische resonantie?

FOTO PAROOL/ARCHIEF

stochastische resonantie heeft verdiept, geeft op het Internet een demonstratie van een van zijn visuele experimenten met ruis (<http://www.ge.infm.it/simon/srprova.html>). Eerst laat hij het effect van verschillende gradaties van visuele ruis op de herkenbaarheid van een onscherpe foto zien (Simonotto's eigen portret). Te veel en te weinig ruis maken de foto nog waziger, maar bij een bepaalde mate van ruis krijgt het gezicht meer gestalte. Dan volgt een soort filmpje met van beeld tot beeld verschillende ruisfluctuaties. Hiermee is prachtig te zien hoe een nauwelijks herkenbare foto door ruis aanmerkelijk aan duidelijkheid kan winnen: plotseling zie je dat Simonotto een bril draagt.

STOCHASTISCHE resonantie is een universeel verschijnsel, zo blijkt, en het is inmiddels hard op weg om populair te worden. Honderden zeer recente wetenschappelijke publicaties getuigen daarvan. De Amerikaanse natuurkundigen Frank Moss en Kurt Wiesenfeld, stochastische resonantie onderzoekers van het eerste uur, komt de eer toe het fenomeen onder de aandacht van een breder publiek te hebben gebracht. Zij zijn verschillende toepassingsgebieden in het verschieft. Zo vindt bijvoorbeeld onderzoek plaats naar de mogelijkheid van verbetering van signaaldetectie met magnetische detectoren die de Amerikaanse marine gebruikt om onderzeeërs, vliegtuigen en mijnen op te sporen.

Ronduit opwindend zijn de nieuwste neurowetenschappelijke ontdekkingen over een mogelijke biologische rol van stochastische resonantie. In natuurlijke omstandigheden zijn het behalve de 'ech-

Wat is de overeenkomst tussen ijstijden, rivierkreeften en doofheid? Ze hebben alle drie te maken met de ontdekking van een verbazingwekkend verschijnsel, het nut van achtergrondruis.

door EDITH DAS

te' signalen vaak ook een hoop ruissignalen die de zenuwcellen prikkelen. Hebben zenuwcellen zich misschien ooit aangepast om uit een zee van ruis iets van betekenis te kunnen ontdekken?

En van de eerste onderzoeken met levende cellen is gedaan bij rivierkreeften. Rivierkreeften kunnen de wervelingen in het water van een aanzwemmen de roofovus voelen met piepkleine haarcellen op hun staart. Maar ze moeten dat signaal wel onderscheiden van de achtergrondruis. Zouden ze die ruis soms nuttig gebruiken?

Frank Moss en zijn collega's maakten in hun laboratorium een preparaat van een stukje staart van een rivierkreeft. Ze verbonden individuele zenuwcellen

(drukreceptoren) op de staart met elektroden om de reacties te kunnen meten. Het geheel bevestigden ze zorgvuldig op een plankje en dat legden ze in een bak met water. Het plankje werd mechanisch langzaam, maar met vaste regelmaat heen en weer bewogen door het water, om de komst van een vijand na te bootsen. Deze beweging, het signaal van de vijand, werd vervolgens zo traag afgesteld dat de haarcellen daar net niet meer op reageerden. Daarna zorgden de onderzoekers voor langzamerhand toenemende onregelmatige bewegingen (ruis) in het water, ter imitatie van een stromende rivier. Het resultaat was frappant. Metingen via de elektroden lieten het karakteristieke beeld van stochastische resonantie zien: bij toenemende ruis gingen de haarcellen op het signaal reageren waar ze zonder ruis ongevoelig voor waren. Bij te veel ruis verdween die reactie weer.

HET verschijnsel van de stochastische resonantie is inmiddels ook bij zenuwcellen van krekels en van het klassieke laboratoriumdier, de rat, aangetoond. Natuurlijk zijn nog lang niet alle vragen beantwoord met deze laboratoriumexperimenten met aparte zenuwcellen. Bij het onderzoek ging het bijvoorbeeld alleen om ruis uit de omgeving. Maar zenuwcellen brengen ook van binnen uit ruis voort, door biochemische en elektrische activiteit in de cellen zelf. Die zou bij grote groepen van zenuwcellen de omgevingsruis wel eens kunnen overstemmen. Vorig jaar lieten de Amerikaanse neurowetenschapper James Collins en zijn medewerkers in *Nature* echter met een computermodel van netwerken

van zenuwcellen zien dat voor grote groepen cellen de ruis intensiteit er niet zo veel meer toe doet: ook relatief grote hoeveelheden ruis tillen het signaal nog over de drempel.

Collins zette zijn speurtocht naar mogelijk profijt van ruis voort bij de levende mens. Eind oktober van dit jaar verschenen daarover twee rapporten in *Nature*. Het eerste, van Paul Cordo, Collins, Moss en nog enkele collega's, gaat over het effect van ruis bij polsbewegingen. Bij polsbewegingen dragen signalen uit de spieren zelf er toe bij dat de bewegingen vloeiend verlopen. Deze signalen lopen via pees- en spierspoelreceptoren, en bevatten informatie over de spiercontractie. De onderzoekers introduceerden ruis via een pees, en een signaal via spierspoeltjes. Dat ging als volgt. Een apparaat bewoog de pols langzaam een klein beetje heen en weer. Daardoor begonnen spierspoelreceptoren van de strekspier, die gevoelig zijn voor uitrekking van de spier, regelmatig signalen af te geven. Een vibrator op de pees van deze spier zorgde vervolgens voor ruis bij de signalen. Metingen in dit onderzoek maakten duidelijk dat hierbij inderdaad stochastische resonantie optreedt. Er bestaat een optimale hoeveelheid ruis, waarbij een zwak signaal over beweging van de pols beter doorkomt dan zonder ruis. Bij meer ruis verdwijnt het signaal weer.

Het andere rapport in *Nature*, van Collins en twee medewerkers, laat stochastische resonantie zien bij het al dan niet voelen van een nauwelijks waarneembare aantaking van de vingertop.

Al met al lijkt het in principe mogelijk om zenuwcellen die bij de waarneming betrokken zijn, op kunstmatige wijze van ruis te voorzien zodat ze zwakke signalen beter gaan onderscheiden, aldus Collins. Dat zou van grote betekenis zijn voor therapie bij mensen bij wie bijvoorbeeld de tastzin of het gehoor minder goed functioneert.

Van een dergelijke praktische toepassing zijn we misschien nog maar een paar stappen verwijderd. De Britten Robert Morse en Edward Evans rapporteerden kort geleden in *Nature medicine* de resultaten van hun onderzoek naar stochastische resonantie als mogelijk hulpmiddel bij de behandeling van doofheid. Bij mensen die doof zijn, en die geen baat hebben bij conventionele hoorapparaten, kan directe elektrische stimulering van de gehoorzenuw via een operatief aangebracht implantaat in het slakkenhuis, het gehoor ten dele herstellen. Met een bekend diervorm van de menselijke gehoorzenuw toonden de onderzoekers aan dat verschillende soorten klinkers beter te onderscheiden zijn als daar wat ruis aan wordt toegevoegd. Op basis van deze resultaten doen zij een aanbeveling om slakkenhuisimplantaten van wat ruis te voorzien.

In een bespreking van dit onderzoek in dezelfde aflevering van het tijdschrift *wijzen Frank Moss en zijn medeauteurs op een eerste onderzoek bij mensen met een slakkenhuisimplantaat dat daarmee inderdaad positieve resultaten laat zien.*