

aan beschikbaarheid van het materiaal en de techniek. Het bouwen van kunstwerken zou zich als een (arbeidsintensieve) 'mode' via de kustvisserij hebben verspreid.

Het zijn interpretaties die elkaar niet hoeven bijten. De megalitische traditie zou, zeker in haar eenvoudigste vorm — het overeind zetten van grote stenen — tot na de Romeinse tijd blijven bestaan. Suggesties als zouden de constructies tot stand zijn gekomen door bemoeienissen van Egyptische bouwmeesters, Minoische avonturiers of Myceense metaalzoekers zijn van de hand gewezen. Het oudste megalitische bouwwerk werd aan het einde van het vijfde millennium v. Chr. in Bretagne opgetrokken en in het vierde millennium v. Chr. waren ze langs de kusten van West-Europa gemeengoed. Dat is ver vóór de bouw van bijvoorbeeld de piramide van Cheops (rond 2900 v. Chr.) of de perioden van Myceense en Minoische beschaving, respectievelijk 2000-1500 en 1500-1200 v. Chr. Stonehenge is een voortbrengsel van de megalitische traditie, maar tegelijkertijd — en om verscheidene redenen — uniek.

### Stonehenge

Stonehenge zoals wij dat kennen is de ruïne van de laatste bouwfasen die in de Vroege Bronstijd begon en in de Midden-Bronstijd omstreeks 1500 v. Chr. werd gestaakt. Het is meer precies de ruïne van Stonehenge IIIc. Stonehenge I werd in het Laat Neolithicum, ergens tussen 3100 en 2100 v. Chr. gebouwd door de zogenaamde Secondary Neolithic People. Het bestond uit een cirkelvormige greppel en wal, de Heelstone, de vier Stationstones, de A 1/m H stenen (nu gaten) en de Aubreyholes. De latere bouwfasen II en IIIa,b,c tastten dit basispatroon niet aan.

Stonehenge IIIc met Sarsen en Bluestone circle en horseshoe, de

51°15' NB staat bij Noordbrabant en België. 51°15' NB die zeer bijzondere heuvels".

Tijdens het Laat-Neolithicum (3100-2100 v. Chr.) verschenen in Nederland de eerste grafheuvels. De doden van de Standvoetbeker-cultuur werden op hun zij en met opge-

komsten in bell-barrows. Het tweede treft de bijzetting van de crematorien. Lang in het Laat-Neolithicum had men hiervoor de afmeting

reconstrueert. Maar het gaat nu juist om het type dat ik net noemde. Glasbergens type 4, de krans van wijdgestelde dubbel-posten. Het verrassende is dat dit type dat zoveel op Stonehenge lijkt, tot nu toe alleen op 51° 15' NB is aangetroffen!"

neigen typen paalkrans-structuren. Maar het gaat nu juist om het type dat ik net noemde. Glasbergens type 4, de krans van wijdgestelde dubbel-posten. Het verrassende is dat dit type dat zoveel op Stonehenge lijkt, tot nu toe alleen op 51° 15' NB is aangetroffen!"

een invasie of van een beïnvloeding via contacten. Voor een invasie moet er een motief zijn en dat zie ik hier niet zo. De as waarlangs ertshandel en welvaart zich concentreerden lag van Ierland via Engeland en noordwest Frankrijk naar het oosten. De Kempen bevonden zich helemaal

's zomers katten te doden of levend te verbranden. Dat is, zie Robert Darnton, tot in de achttiende eeuw gebeurd. Op de 21ste juni".

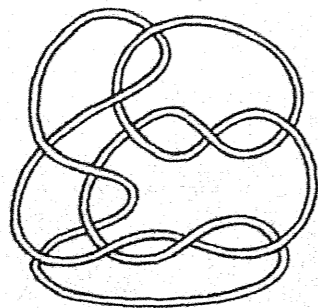
## Michiel Hazewinkel Henk Nieland

Prof. dr. M. Hazewinkel en dr. H.M. Nieland zijn verbonden aan het CWI te Amsterdam.

Zes jaar geleden deed hij de ontdekking van zijn leven. Het betrof wiskunde van de meest abstracte soort en zou dus wel nooit tot de buitenwereld doordringen. Maar het duurde niet lang of biologen en natuurkundigen kenden de naam van de Amerikaanse wiskundige Vaughan Jones heel goed. Zijn werk bleek nieuw licht te werpen op de knopenstructuur van DNA-moleculen en van belang te zijn voor de wiskundige onderbouwing van de nieuwste theorieën over elementaire deeltjes. Deze zomer ontving hij de hoogste internationale onderscheiding in de wiskunde, de Fields medaille.

Het werk van Jones had praktische toepassingen voor het ontwarren van knopen. Hoe kom je erachter of twee willekeurige, ingewikkelde knopen eigenlijk hetzelfde zijn of niet? Dat is een oud en tot nu toe

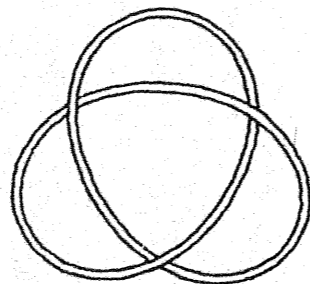
Deze warboel is geen knoop. Door uit elkaar draaien ontstaat een cirkelvormig touwtje.



onopgelost probleem. Een bekende goocheltruc is het publiek een koord met een aantal ingewikkelde knopen erin voor te houden, dat echter met enkele kunstgrepen blijkt over te gaan in één lus, zonder dat de magiër het breekt. Met een gestrikte schoenveter, waarvan de uiteinden aan elkaar zijn vastgemaakt, is dat niet mogelijk zonder de veter te breken. De gestrikte veter en het magiërkoord zijn topologisch verschillend.

Vroeger maakte men alleen onderscheid tussen knopen door er verschillende namen aan te geven, zoals de mastworp, het Turks Hoofd, de Binimi Twist, etc. De Amerikaan Ashley classificeerde in de jaren veertig 4000 verschillende knopen, schakels van knopen (bijvoorbeeld twee in elkaar grijpende ringen), vlechten, etc. De eerste pogingen om knopen wiskundig te classificeren dateren uit het eind van de negentiende eeuw. Het probleem was

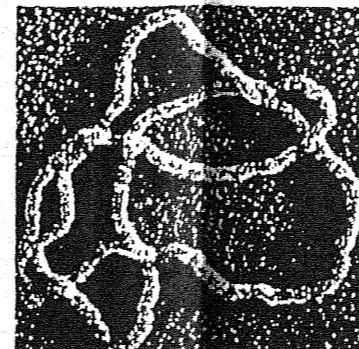
Linkshandig klaverblad. Het rechtshandige heeft een verschillend Jones-polynoom.



toen in de belangstelling komen te staan door de — foutieve — hypothese van de Engelse natuurkundige Lord Kelvin dat atomen geknoopte wervels in de aether waren. Hij hoopte via de classificatie van knopen het periodiek systeem der elementen te kunnen afleiden.

De wiskundige aanpak is systematischer dan de aan de praktijk ontleende indelingen zoals die van Ashley. De wiskundige definitie van een knoop is: een gesloten kromme die zichzelf niet snijdt. Men probeert dan aan elke knoop een label te hangen in de vorm van een formule, een 'polynoom' (bijvoorbeeld  $1-3x+3x^2-3x^3+x^4$ ). Tot voor kort was het beste label het uit de jaren twintig stammende Alexander-polynoom. Het probleem was echter dat die hetzelfde bleek te zijn voor diverse knopen, waarvan een kind kon zien dat ze verschillend waren. Het zoeken was dus naar een label die voor verschillende knopen ook

Stukje DNA met knopen. Foto gemaakt met elektronenmicroscop.



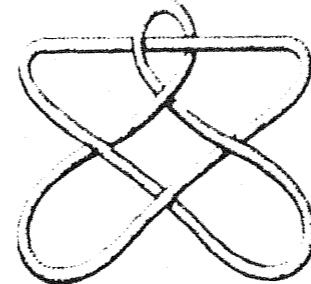
steeds anders was. De oplossing kwam — zoals in de wiskunde nogal eens voorkomt — uit een geheel onverwachte hoek.

### Algebra

Jones (39) is geboren in Nieuw-Zeeland, studeerde aanvankelijk natuurkunde en promoveerde in de wiskunde aan de Universiteit van Genève. In 1980 ging hij naar de Verenigde Staten. Jones bestudeerde constructies en eigenschappen van bepaalde soorten zogeheten Von Neumann algebra's (genoemd naar de beroemde wiskundige en computerpionier). Een van die constructies — in de vorm van een polynoom — deed enkele vroegere Zwitserse collega's denken aan de 'vlechtgroep', een concept uit de knopentheorie.

Na een toevallige ontmoeting in Berkeley met Joan Birman, een expert op dit gebied, werd duidelijk dat dit 'Jones-polynoom' geschikt was om knopen te onderscheiden die

De knoop van Stevedore lijkt sterk op het stukje DNA.



# Algebra, knopen en DNA

verschillend zijn, maar waarvoor het Alexander-polynoom hetzelfde is. Dat is bijvoorbeeld al het geval bij het 'klaverblad' ofwel de overhandse knoop, de eenvoudigste knoop die je met een touw kunt leggen en die vaak wordt gebruikt bij schoenveters, pakjes en dergelijke. Er zijn twee varianten, het linkshandige en het rechtshandige klaverblad. Het Jones-polynoom is voor deze twee knopen verschillend.

Jammer genoeg zijn er toch nog knopen met hetzelfde Jones-polynoom die van elkaar verschillen. Helemaal perfect is de formule dus niet. Na de ontdekking van Jones hebben verschillende wiskundigen een nog algemenere formule gevonden om knopen van elkaar te onderscheiden, maar ook die is nog steeds niet perfect. Het is overigens de vraag of er zo'n relatief eenvoudige classificatie kan bestaan. Toch kan men spreken van een grote vooruitgang, niet eens zozeer wegens de fijnere classificatie dan wel omdat deze direct verband houdt met biologische begrippen.

### Ontwiden

Een DNA-molecuul heeft een langgerekte vorm. De lengte varieert, afhankelijk van het organisme, van driehonderdste centimeter tot enkele centimeters, de doorsnee is ongeveer een miljoenste millimeter. De ruimte die DNA-moleculen beslaan heeft meestal veel kleinere afmetingen dan hun lengte. Bij de mens ligt het (centimeters lange) DNA-molecuul opgevouwen in een celkern met een doorsnede van slechts enkele duizendste millimeters. In de cel moet zo'n molecuul dus wel een zeer compacte vorm hebben.

Bij een celdeling moet het DNA-molecuul zich eerst ontwiden en de nieuwe moleculen moeten zich weer in een kleine ruimte samenpersen en

opwinden. Als dat niet goed gebeurt, als er bijvoorbeeld een 'kink in de kabel' komt, of als het DNA breekt, dan sterft de cel. Daarom willen biologen graag weten hoe dat op- en ontwiden in zijn werk gaat. Verder is het van belang om te kunnen zeggen of DNA-moleculen onderling bepaalde interacties kunnen aangaan (recombinatie). Bij recombinatie kunnen moleculen ontstaan die in de knoop zijn geraakt. Of een bepaald molecuul kan worden gevormd hangt dan onder meer af van zijn knopenstructuur (topologie). Soms blijkt zo'n overgang topologisch onmogelijk te zijn. Ingewikkelde knopen zoals die bij DNA-moleculen voorkomen, kunnen op miljarden verschillende manieren worden gemaakt. Het is dus van belang

vervolg op pagina 2

## INHOUD

- 2 Steen van Rosetta / Saris over geloof en fysica / Vlucht naar Pluto
- 3 Milieu-econoom Huetting: "Ik ben meer econoom dan zij allemaal bij elkaar".
- 4 Uitstervende talen / Voor de klas / Tijdschrift: History of Sexuality
- 5 Democratische universiteit / Lang met de trein / Knoppert over cohorten
- 6 Gekoeld aardgas per schip / Autobedraging / Deel 1 van HANGENDE WAGENS