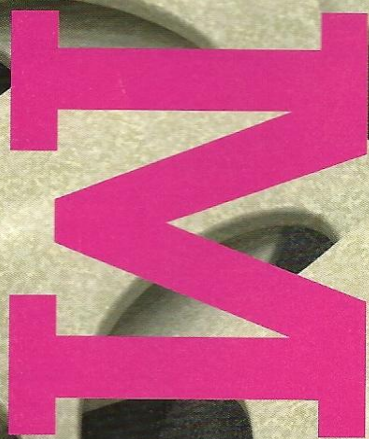




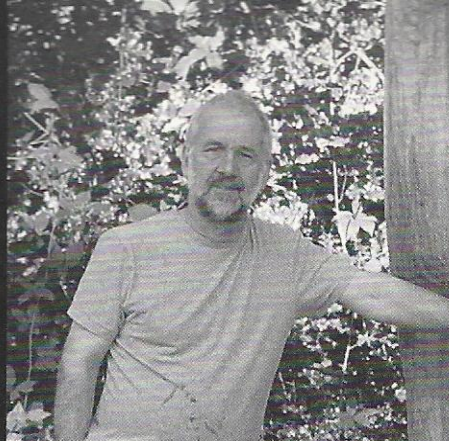
Bridges 2013 in Enschede

Computational method van Michael Hansmeyer

Onderhoud van penselen

Wiskundige en kunstenaar Rinus Roelofs

Weerzien met: Jan Voss



Rinus Roelofs combineert kunst en wiskunde

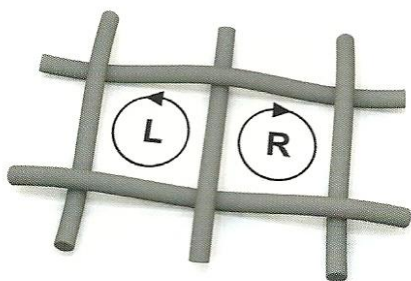
Bridges, een internationaal congres dat de samenwerking tussen wetenschap en kunst wil stimuleren, strijkt in 2013 in Enschede neer. Rinus Roelofs, wiskundige en beeldend kunstenaar, is een van de Nederlandse pijlers van Bridges. Zijn atelier is een fascinerende wereld van wiskundige objecten.

Harald Schole

Bruggen

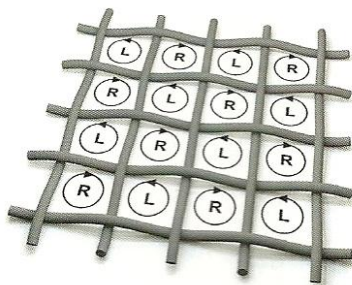
1





2

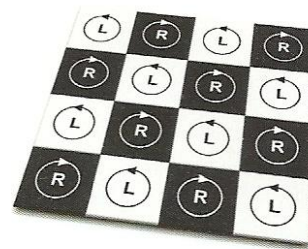
De internationale conferentie Bridges startte in 1998. Het congres verbindt wiskunde, kunst, muziek en wetenschap en heeft als doel deelnemers kennis te laten maken met de interdisciplinaire wereld van wiskunde en kunst; de grenzen van het vakgebied te overschrijden; ideeën uit te wisselen; kunst - gerelateerd aan wiskunde - te presenteren in theatervoorstellingen, muziek, dans en tentoonstellingen. Verder worden er publicaties en dvd's van werk van kunstenaars en wetenschappers voor onder meer educatieve



3

ken.' Hij switchte van opleiding en vervolgde zijn weg aan de kunstacademie. In die tijd was het absoluut *not done* om de kunsten vanuit de wiskunde te benaderen.

De fascinatie voor structuren, zowel vanuit de wiskundige kant als de visuele kant, werden nu met elkaar verenigd. 'Die combinatie is een mooie ondergrond, techniek beheerst de samenleving en als kunstenaar wil je iets vertellen', zegt Roelofs. 'Het is goed dat je beide werelden kent.'



4

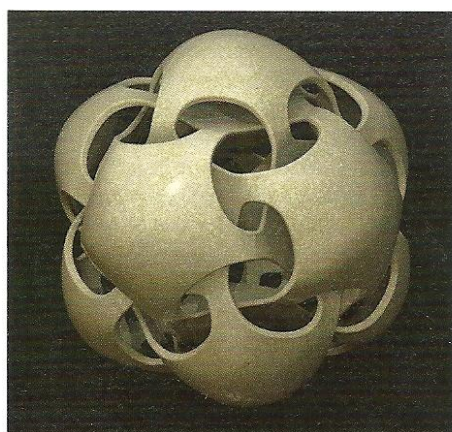
Roelofs is tien jaar geleden bij Bridges betrokken geraakt. Het is de omgeving waar hij zijn werk aan een groter publiek kan presenteren. Voor de conferentie in Enschede is een groot team, met medewerkers van onder andere QAQS (Qua Art - Qua Science) en van de opleidingen Saxion, Artez en de Universiteit Twente, aan het werk. In 2008 vond de conferentie in Leeuwarden plaats, de geboorteplaats van Maurits Cornelis Escher (1898-1972). Er was een extra dag aan hem gewijd en op een overzichtstentoonstelling was origineel grafiek van Escher te zien. Rinus Roelofs en Cor Wetting waren de organisatoren. In juli 2013, voor de tweede keer in Nederland, wordt in Enschede extra aandacht aan de Nederlandse architectuur besteed. En ter informatie: in 2014 vindt de conferentie in Zuid-Korea plaats.

bouwen

doelen uitgebracht. Een zwaar boekwerk, dat vooraf beschikbaar is, bundelt in tekst en beeld alle inzichten. In deze Gouden Gids van kunst en wiskunde is te zien wie je wilt ontmoeten. Reza Sarhangi, een in Amerika woonachtige Iraniër, verbonden aan de afdeling wiskunde van de Towson University in Maryland, is initiatiefnemer van Bridges.

Kunst en wiskunde

Rinus Roelofs (1954) stelt dat het in de renaissance heel gewoon was dat zowel wiskunde als kunst bij elkaar over de vloer kwamen. Wetenschap, wiskunde en kunst waren soms in één persoon vertegenwoordigd. De twee disciplines zijn sindsdien uit elkaar gegroeid en inspiratiebronnen uit beide werelden kwamen niet verder dan het eigen vakgebied. Met een dergelijk congres krijgt de synergie weer een kans. Roelofs heeft toegepaste wiskunde gestudeerd, een opleiding om wiskundige problemen die in de techniek voorkomen te kunnen oplossen. Roelofs: 'Je wordt dan toegevoegd aan een team en leert de taal van andere technici spre-



5

6



1 *Helical Holes*, kunststeen (3D-print), ca. 200 x 50 cm. Locatie: beeldenpark Arte Sella bij Borgo Valsugana, Italië.

2, 3 en 4 Schaakbord en draairichtingen, tegelpatroon van wit en zwart.

5 Dodecaëder: Virtueel knooppuntfiguur om hoekpunt, bolvorm vanuit tetraëder of kubus.

6 Virtueel voorbeeld van een continuüm, een weefsel uit één vlak met knooppuntvormige gaten (2011).

Structuren zichtbaar maken

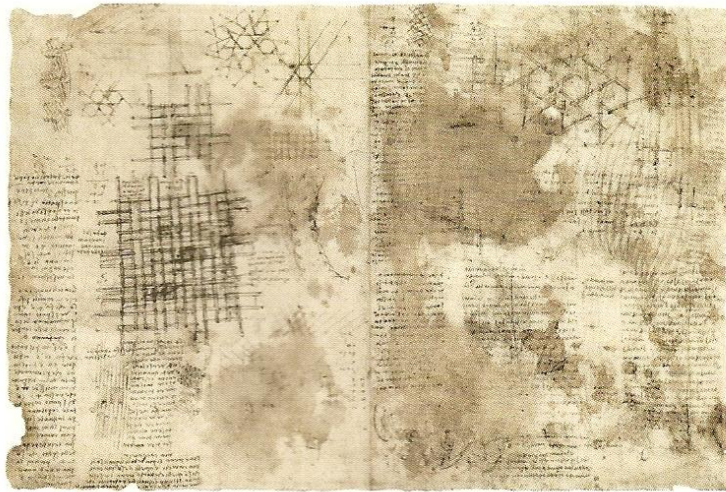
Met de gecombineerde kennis uit kunst en wetenschap is het mogelijk nieuwe structuren te maken. Roelofs maakt een vergelijking en eigenlijk een voorbehoud: 'De uitkomst van de stelling van Pythagoras bestond al voordat het bewijs werd geleverd. Pythagoras heeft de formule ontwikkeld en het voor het publiek inzichtelijk gemaakt.'

Roelofs tekent een schaakbord. De scheidslijnen tussen de witte en zwarte vlakken kunnen als banen van een weefpatroon worden gezien. De op en neer gaande beweging van de banen zijn in twee naast elkaar liggende vlakken verschillend. Twee aan elkaar grenzende vlakken



7

hebben een gemeenschappelijke baan, de twee andere parallelle banen zijn spiegelbeeld van elkaar. Dat heeft als gevolg dat het ene vlak als linksdraaiend en het andere als rechtsdraaiend beschouwd kan worden. Wit en zwart hebben verschillende draairichtingen. Omgekeerd kan een weefpatroon worden omgezet in een tegelpatroon van wit en zwart. Ook voor ingewikkeldere weefpatronen met drie draden gaat dit op. Computeranimaties van Roelofs van uiterst complexe tegelpatronen leveren het bewijs dat die aan weefsels gekoppeld kunnen worden. Zijn er daarmee een nieuw soort weefsels te bedenken? Vanuit het wit-zwarte tegelpatroonprincipe blijkt dat een knooppunt met een even aantal lijnen ook een weefpatroon moet opleveren. De lijnen kunnen in principe in elkaar doorlopen zoals bij een gedraaid elastiekje. Bij een oneven knooppunt¹ is er geen afwisselend patroon van wit en zwart mogelijk. Het weefsel moet dan uit meerdere gescheiden vlakken bestaan. Daarmee komen we echt op het onderzoeksterrein van de kunstenaar en wiskundige. Hoe zijn regelmatige tegelpatronen om te zetten in ruimtelijke objecten? Het was een vraag die Plato ook al bezig hield. Bijvoorbeeld naar een regelmatig veelvlak. Het schaakbord is een regelmatig vlak van vierkanten; zes vierkante vlakken leveren een kubusvorm op. De tetraëder is opgebouwd uit vier regelmatige driehoeken. En de vijfhoek levert de dodecaëder. Twaalf gelijke vijfhoeken zijn er nodig om dit ruimtelijk figuur te maken. De overeenkomst van deze drie Platonische lichamen is dat in elk van de hoekpunten drie vlakken samenkomen. Vijf is daarmee het maximum, bij gelijke zeshoeken is het niet mogelijk de vlakken omhoog te klappen. De hoek van een zeshoek is namelijk 120 graden. De drie hoekpunten die bij elkaar komen maken totaal 360 graden, een plat vlak. De twee andere Platonische lichamen zijn de icoosaëder, een veelvlak opgebouwd uit twintig gelijke driehoeken, in elk hoekpunt komen vijf vlakken samen en de octaëder met acht vlakken, waarbij in elk hoekpunt vier vlakken samenkomen. Roelofs gaat een stap verder, weeft en brengt knooppuntvormige gaten in dergelijke ruimtelijke figuren aan. Het object in afbeelding 6 heeft als bijzonderheid dat het vlak is opgebouwd uit meerdere ni-



8

veaus. Een laag is omgevouwen en door een gat van dezelfde laag gestoken. Door herhalingen van dit principe ontstaat er een weefpatroon. De basis van het weven is het over en onder elkaar doorgaan van draden. Een vlak heeft als kenmerk dat je van een willekeurig punt naar een ander willekeurig punt kunt wandelen zonder te hoeven springen. Het wordt ook wel een continuüm genoemd. De lagen zijn daarom ook niet onderling van elkaar beweegbaar. Voor de campus van Universiteit Twente heeft Roelofs vanuit bovengenoemd continuüm - een weefsel met knooppuntvormige gaten - in Italië met de D-Shape printer een aantal beelden uit kunststeen laten maken. Op afbeelding 1 staat het werk nog in Italië. De ontwerper van de enorme 3D printer is Enrico Dini. Op www.dinitech.it staat dat er formaten van zes bij zes bij drie meter geproduceerd kunnen worden. Op basis van 3D-printen² kunnen er dus bijna kastelen uit zand tevoorschijn worden getoverd. Deze printer in Pisa bouwt van onderaf, laag voor laag, een object op. Waar in de massa zand de vorm van het object moet uitharden, wordt tegelijk met zand een soort magnesiumlijm op het oppervlak gespoten. Het zand verandert op die plek in massief steen. Het niet verharde zand dient als een tijdelijke ondersteuning en kan na afloop worden hergebruikt. De printerkop wordt bij iedere nieuwe laag vijf tot tien millimeter verhoogd. De techniek van deze steenprinter lijkt op selectieve laser sintering (SLS) waarbij ook vanuit poeder modellen worden gemaakt. Naast zand kan er lokaal beschikbaar materiaal worden benut zoals vermalen steen en gravel. Ook gerecycled materiaal als versnipperde autobanden of plantenresten komen in aanmerking. Dini denkt dat het mogelijk is om de printer te gebruiken om maanbases te bouwen. Wel moet de printer dan worden aangepast om maanzand (regolith) te gebruiken als bouwmedium. Een machine met futuristische mogelijkheden! De vormenrijkdom is bij architectonische objecten door de functionaliteit beperkt. In de beeldende kunst is er alle ruimte. In het kunstwerk voor de campus is geen wapening aangebracht, de dikte van de massa, 60 centimeter, bezit voldoende draagkracht. De composietsteen bezit een grove resolutie, een

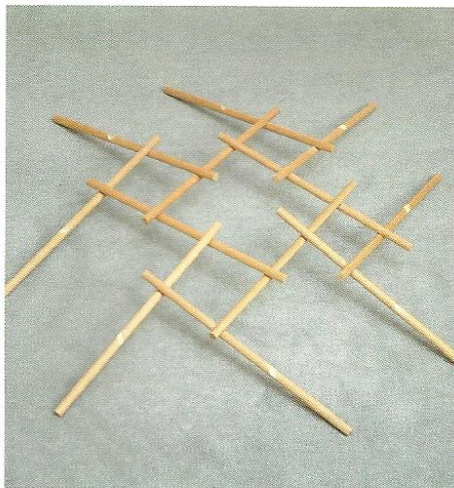
bruut oppervlak. Alleen in verband met de transportkosten moest Roelofs binnen het maximum van 2,5 meter van vervoer over de weg blijven.³ Anders wordt het wanneer een tegenvorm met gaten - gelijk aan de vorm van het vlak - door het vlak heen wordt geprojecteerd. Er ontstaat een weefsel dat in elkaar gestrengeld onlosmakelijk gekoppeld is. Dit is een uniek voordeel van 3D printtechniek. De lagen zijn onderling beweegbaar omdat tussen beide lagen nog ruimte aanwezig is. De spiraalvormige openingen zijn uitgerekend en dat maakt de mate van beweging mogelijk. Roelofs heeft ook voorbeelden van weefsels die uit drie gescheiden vlakken bestaan. Om deze complexiteit te kunnen tekenen staat Rhinoceros tot zijn beschikking.

Rhino 3D

Rhinoceros (www.rhino3d.com) is het programma waarbij Roelofs, in zowel Windows als op een Mac (de Mac-versie is in ontwikkeling), iedere denkbare vorm kan tekenen. In onderlinge discussie met anderen heeft hij mede dit programma ontwikkeld. Ideeën over complexe structuren zijn wel in een schetsje weer te geven, maar ondoenlijk om uit te tekenen, laat staan te maken. Roelofs: 'Het stopte waar het denkbare tegen het maakbare aanliep.' Met de komst van de diverse 3D printers zijn de mogelijkheden gigantisch vergroot, complexe, in een elkaar grijpende figuren, die met de hand onmogelijk te vervaardigen zouden zijn, kunnen wel worden geprint. De ontwerpen in de computer zijn nog materiaalloos. Roelofs: 'Je hoeft niet te denken in materiaal.' Bij een opdracht put de kunstenaar uit zijn virtuele magazijn. Het virtuele beeld kan van hout, rvs of steen zijn. Het computermodel wordt omgevormd tot een geschikt ontwerp voor de plek en dan volgt de keuze voor het materiaal. Het materiaal vraagt soms een bepaald volume en er zijn standaard materiaaldiktes.

7 Weefsel met twee vlakken van verschillende materialen, 3D print gemaakt met een Objet printer, twee soorten kunststof, 15 x 15 x 4 cm.

8 Tekeningen uit de Codex Atlanticus van Leonardo da Vinci.



9

De dikte van materiaal blijft een artistieke keuze. Rhinoceros kan STL-bestanden voor 3D printers en constructiebedrijven waar Roelofs mee samenwerkt, zoals Strobos, een AutoCAD-bestand leveren (www.strobosmetaal.nl). Strobos krijgt een schaalmodel en alle onderdelen worden uitgetekend, Roelofs begeleidt de hele uitvoering. Bijvoorbeeld voor de hoek waaronder platen aan elkaar moeten worden gelast, zijn door hem hulpmallen vervaardigd.

Inspiratiebronnen

Ook zonder computers en geavanceerde 3D printers zijn grote structuren mogelijk. Het constructieprincipe dat Roelofs gebruikt is onafhankelijk van het formaat. Of het nu een luciferhoutje, stok of boomstam is, er zijn vier contactpunten: een aan het begin, punten op een derde en twee derde en de vierde aan het eind. De vier contactpunten ontvangen of dragen de belasting af. Om zelf te zien hoe het werkt, valt het met lange lucifers op een keukentafel eenvoudig uit te proberen.

Bij de bouw van een koepelstructuur hanteert Roelofs een vaste regel: een eindpunt van een stok wordt op een van de twee vrije binnenste punten van een andere stok gelegd. En een andere regel is om geen vaste verbindingen, zoals lijmen of schroeven, te gebruiken. Er blijken ontelbare variaties mogelijk en het levert grootse bouwwerken op. Met deze constructie kunnen zowel negatieve als positieve krommingen worden gebouwd en hoeven er geen "spatkrachten"⁴ worden opgenomen (er zijn geen trekstangen of gesloten ringconstructies nodig). Het bouwproces kan eindeloos worden ver-

9 Dome constructie, 12 stokken, afmeting element 24 cm, totaal 1 x 1 m. Dit is een schaalmodel van een dome met elementen van 45 cm en een totale afmeting van 8 x 8 m.

10 Bouw van de Leonardo Dome (2010), kastanje, 20 x 15 x 2 m. Locatie: beeldenpark Arte Sella bij Borgo Valsugana, Italië.

11 Leonardo Dome (2010), kastanje, 20 x 15 x 2 m. Locatie: beeldenpark Arte Sella bij Borgo Valsugana, Italië.



10

volgd, elke nieuwe stok werkt als een hefboom die de koepel verder opkrikt. De handeling heeft wat weg van haken: een stok optillen, de nieuwe stok er (loodrecht) onderdoor steken en het uiteinde van die nieuwe stok op een derde of twee derde van de eerstvolgende stok neerleggen. Roelofs vroeg zich af of dit principe al eerder bekend was. Er is verwantschap met constructies van de veelzijdige architect Richard Buckminster Fuller (1895-1983). Die benutte echter stangen en touwen, spankracht en trekkracht (tensegrity). Uiteindelijk ontdekte Roelofs in de *Codex Atlanticus*, een notitieboek van Leonardo da Vinci (1452-1519), tekeningen met patronen die, indien ruimtelijk vertaald, de koepels zouden opleveren die hij sinds 1989 maakt. Heel bescheiden treedt Rinus Roelofs in de voetsporen van de door hem bewonderde voorgangers die kunst en wiskunde wisten te integreren: Maurits Cornelis Escher, Richard Buckminster Fuller, Frei Otto⁵, Leonardo da Vinci. Zijn doel is dat wij vol bewondering naar de schoonheid van wiskundige structuren en objecten kijken.

Voor meer informatie: www.rinusroelofs.nl,
www.sprezzatura.org

Harald Schole is beeldend kunstenaar, redactielid van km en onafhankelijk adviseur kunst en openbare ruimte.

— — — —

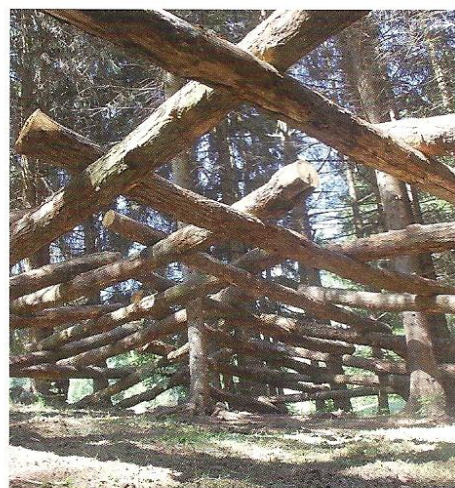
1 Een knoop in een lijn (touw) is de situatie waarbij die lijn (of dat touw) om zichzelf of om een andere lijn of ander touw is gedraaid. Dat komt het meeste voor aan het eind van een touw of als twee touwen met elkaar worden verbonden.

2 Zie voor 3D printtechnieken km 79.

3 De wettelijk maximale breedte voertuig in beladen toestand (ondeelbaar) bedraagt 3,00 meter en in onbeladen toestand 2,55 meter. De bepalende factor voor breedte is de rijvakbreedte van de weg. Zodra de lading op het naastgelegen rijvak komt, dienen extra voorzorgsmaatregelen te worden genomen. De kritieke grens voor breedte-transport ligt op circa 4,50 meter.

4 Een spatkracht is in een constructie een zijwaarts gerichte, horizontale kracht waardoor het dragende element naar buiten zou willen wijken.

5 Frei Otto (1925, Duitsland) is architect, pionier van lichtgewicht trek- en membraanconstructie, van onder meer het Olympisch Stadion in München uit 1972.



11

Literatuur:

- R. Roelofs, *De natuur weeft niet*, Nationaal Vlechtmuseum, Noordwolde, 2010.
- R. Roelofs, *Structurele Sensatie*, Qua Art - Qua Science, 2005.
- R. Roelofs, *Gekoppelde gaten*, Qua Art - Qua Science, 2004-2008.
- R. Roelofs, *Restruimte*, Qua Art - Qua Science, 2011.

Websites:

- www.arsetmathesis.nl
- www.bridgesmathart.org
- www.nexusjournal.com
- www.maydi.org.ar
- www.isama.org
- www.wisfaq.nl
- www.dinitech.it
- www.d-shape.com
- www.materialise.com
- www.shapeways.com

(advertentie)

