



Geometrische patronen

Als je iets wilt weten van een van onze eerste voorouders kun je het best naar de grotten van Lascaux in de Dordogne in Frankrijk gaan. In die grotten, die in 1940 werden ontdekt, vind je ruim 600 rotswandschilderingen die zijn gemaakt rond 15.000 v.Chr. De schilderijen zijn van dieren, jachtafbeeldingen en, misschien nog wel het indrukwekkendst, de handsdrukken van de mannen en vrouwen van al die duizenden jaren geleden. Verstopt tussen die afbeeldingen zit een reeks geometrische tekens die vaak over het hoofd worden gezien.

De betekenis van die tekens is niet bekend, maar ze staan bij de schilderijen in Lascaux en soortgelijke vindplaatsen in landen zoals Spanje, Namibië en Australië. Sommige zijn geschilderd, andere zijn in de rots gegraveerd, maar er worden maar weinig symbolen gebruikt. Sommige tekens lijken in de loop van de tijd de voorkeur te hebben gekregen boven andere en zijn geografisch beperkt, wat meer lijkt op een taal dan op wat krabbels.

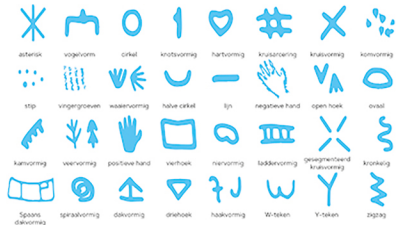
We zullen waarschijnlijk nooit weten wat elk symbool betekent, maar bij recente onderzoeken

hebben onderzoekers sterke argumenten naar voren gebracht: zij stellen dat de lijnen, stippen en V-tekens kunnen zijn gebruikt om informatie te geven over dieren en misschien de eerste maankalender vormen. Het aantal stippen komt vaak overeen met de maanden waarin een bepaald dier jongen krijgt (waarschijnlijk het aantal maanden na de winterwende) of de duur van hun drachtijd. Hierin zien we dus de eerste duidelijke aanwijzing dat mensen via rekenen met elkaar communiceren.

De beoogde geadresseerden kunnen familie of stamleden zijn geweest, maar de schilderijen kunnen ook zijn bedoeld om kennis op te slaan voor toekomstige generaties.

Links: grottschilderingen van wild dieren in Lascaux.

Rechts: een selectie van de verschillende soorten symbolen en patronen die zijn gevonden in grottschilderingen wereldwijd.



De Romeinse Republiek ontstond na het verdrijven van de koning van Rome rond 509 v.Chr. Daarna veroverde deze snel de buurlanden en bestuurdde tegen 240 v.Chr. het grootste deel van het huidige Italië. Vanaf daar begon een veroveringscampagne op het Griekse schiereiland en na de Slag bij Korinthe in 146 v.Chr. gaven alle stadstaten zich over aan de Romeinen. De Romeinen heersten op afstand en er kwam een toevloed van Romeinse gebruiken en cultuur.

Er was ook een belangrijke terugstroming van cultuur van het oude Griekenland naar de Romeinen, die veel van hun taal, geloof en levensstijl overnamen. Deze versmelting werd later de Griek-Romeinse wereld genoemd, die een groot deel van de wereld buiten de, zowel ruimtelijke als tijdelijke, grenzen van het Romeinse Rijk beïnvloedde.

De burgers van Rome zelf hadden bedist geen belangstelling voor wiskunde. Hoewel een goede Romeinse burger onderwijs had genomen, richtte dat zich veel meer op militaire tactiek, filosofie en debatteren.

De Romeinen waren misschien niet zo geïnteresseerd, maar in de rest van de wereld achter het *pomerium* (de grens tussen de stad Rome en de rest van de wereld) was er een levendige cultuur van wiskundige kennis en geleerdheid (niet in de laatste plaats in de nu Romeinse, Griekse koloniën). De grote gebieden en open handelsnetwerken van de Romeinen zorgden ervoor dat al deze kennis terugstroomde naar de eeuwige stad.

Romeinse cijfers

Romeinse cijfers zijn misschien het enige echte oude cijfersysteem dat nu nog steeds wordt gebruikt. Ze hebben zich ruim 2000 jaar geleden in een herkenbare vorm ontwikkeld uit het Etruskische cijfersysteem en je vindt ze nog steeds op klokken, achter namen en in boeken.

Romeinse cijfers geven getallen weer als groepen symbolen die bij elkaar kunnen worden opgeteld tot een waarde. 3256 is bijvoorbeeld MMMCCLVI.

Het Romeinse cijfersysteem gebruikt op unieke wijze een aftrekpositie voor getallen vlak onder een nieuw symbool (bijvoorbeeld 4, 9, 40 enz.). Dat betekent dat een symbool dat normaal gesproken alleen na een symbool staat, zoals I en V, er ook vóór kan worden gezet. Dus VI is 6 en IV is 4. MC is 1100, maar CM is 900 enzovoort.

Iets anders wat opmerkelijk is bij Romeinse cijfers is dat ze een tientallig stelsel gebruiken voor eenheden, maar een twaalfallig stelsel voor breuken. Bij munten was één Romeinse as opgesplitst in twaalf *uncia's*. Dit was waarschijnlijk om gemakkelijker met breuken van munten te kunnen werken.



Links: een Romeinse as met daarop het hoofd van de Romeinse keizer, ca. 107-108.

Rechts: een tekening met een geometrisch patroon uit de eerste eeuw, gevonden in een Romeinse villa in Griekse land.

Rechts: Romeinse cijfers

1	I
5	V
10	X
50	L
100	C
500	D
1000	M

Tijdslijn – achttiende-eeuwse wiskunde

1713

De Vrede van Utrecht beëindigt de Spaanse Successieoorlog.



1742

LENGTEGRAADBEREKENINGEN
Jane Squire

De Drie overheid looft een prijs uit voor wie lengtegraden berekeningen kan versnemen, om schepen op zee te helpen bepalen waar ze zijn. Dit levert ons de eerste gereedschap voor wiskundige output op een virtueel en ruim duizend jaar tijd.



1791

LANDMETING
Benjamin Banneker

Een zwarte boer weet enorme vooroordelen te overwinnen en wordt erkend om zijn goede verstand en wiskundige vaardigheden.



1795

ÉCOLE POLYTECHNIQUE
Gaspard Monge

De baanbrekende school opent met een op wiskunde gericht programma en staat open voor een grotere groep studenten dan ooit tevoren.



1765

Een verbeterde stoommachine zwengelt de industriële revolutie aan.

1776

De Verenigde Staten van Amerika verslaan zich onafhankelijk van Groot-Brittannië.



1786

GRAFISCHE WEERGAVEN
William Playfair, Florence Nightingale

Nightingale maakt deel uit van de groeiende groep mensen die de kracht van grafieken inzet om meningen te beïnvloeden en de wereld te veranderen.



1740

FORMULE VAN EULER
Leonhard Euler

Euler brengt enkele ogenschijnlijk ongelijksoortige delen van de wiskunde bij elkaar in één fraaie vergelijking.

1788

LAGRANGIAANSE MECHANICA
Joseph-Louis Lagrange

Lagrange vindt een filiaal nieuwe manier om naar de wereld te kijken en gebruikt hiervoor een zuiver wiskundige basis.



1798

DISQUISITIONES ARITHMETICAE
Carl Friedrich Gauss

Een van de belangrijkste en invloedrijke wiskundigen van de tijd schreef een meesterwerk nog voordat hij zijn doctoraat had behaald.

Experimentele wiskunde

Wiskunde was altijd meer leren door fouten te maken dan wiskundigen soms willen toegeven. Maar toen de natuurwetenschappen in de zeventiende eeuw experimenten begonnen te doen om nieuwe ontdekkingen te doen, bewogen wiskundigen flink in de tegengestelde richting.

Deductie of inductie?

Albert Einstein vond dat experimenten niet thuisboorden in de wiskunde. Voor hem werd die uitgevonden en niet ontdekt. Maar Kurt Gödel stelde dit aan de kaak en zei: 'Als wiskunde een objectieve wereld beschrijft net zoals natuurkunde, is er geen reden waarom inductieve [experimentele] methoden niet in de wiskunde kunnen worden toegepast, net als in de natuurkunde.'

Order: Albert Einstein (links) en Kurt Gödel (rechts) bespreken tot de beloning grote denken van de twaalfde eeuw, maar waren het niet eens over de rol van experimenten in de wiskunde.



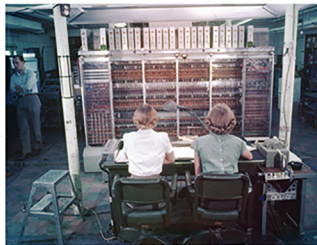
Maar de komst van de computer halverwege de vorige eeuw blies de experimentele wiskunde pas echt leven in.

Computers en rekenen

Experimentele wiskunde is een manier van wiskunde doen waarbij rekenen wordt gebruikt om wiskundige objecten te verkennen en om eigenschappen en patronen te ontdekken.

De komst van computers betekende voor wiskundigen dat ze gemakkelijker moeilijke vraagstukken konden doorwerken en leidde ook tot de ontdekking van heel nieuwe verschijnselen.

Een van de eerste doorbraken bij dit computer-rekenen was de ontdekking van 'solitons'. Dat zijn golven die zich bewegen als afzonderlijke deeltjes



LINKS: MANIAC van het Los Alamos-laboratorium kon 10.000 berekeningen per seconde uitvoeren en was 's werelds eerste geheel elektronische computer.

en die nu worden waargenomen in de vloeistof-mechanica, in de optica en in de atoomwolven die zich vormen bij zeer lage temperaturen en die Bose-Einsteincondensaat beten.

In 1955 gebruikten Enrico Fermi en zijn team in het Los Alamos National Laboratory in New Mexico de MANIAC I-computer om verstoringen van golfachtige oscillaties in veren te simuleren. Ze verwachtten dat de verstoringen geleidelijk zouden worden verdeeld, maar tot verbazing van het team liepen de simulaties zien dat golven bleven bestaan.

Tien jaar later herhaalden Norman Zabusky van het Bell-laboratorium in New Jersey en Martin Kruskal van de Princeton-universiteit dit. Ze maakten een computerprogramma om golfbeweging te berekenen en ontdekten dat hun resultaten overeen kwamen met een vergelijking om golfbeweging in grachten te verklaren van de Nederlandse natuurkundigen Diederik Korteweg en Gustav de Vries. Vanuit dat verband ontstond het idee van solitons.

Chaos en precisie

Computers speelden ook een rol bij de ontdekking van chaosverschijnselen door Edward Lorenz in de jaren zestig: het besef dat kleine verschillen in

beginwaarden zulke geheel andere resultaten kunnen veroorzaken dat ze chaotisch lijken. Computermethoden waren ook sterk betrokken bij het concept fractals, dat werd ontwikkeld door Benoît Mandelbrot in de jaren zeventig (zie blz. 308).

Een van de mijlpalen in de experimentele wiskunde was de ontdekking van de formule voor de zeer precieze berekening van π door David H. Bailey, Peter Borwein en Simon Plouffe in 1995. Met het BBP-algoritme kan elke n -de decimaal van π worden berekend zonder voorgaande decimalen te hoeven berekenen. π is nu berekend tot op meer dan zestig miljoen decimalen.

Computers kunnen ook worden gebruikt om heel snel door vermoedens heen te gaan en te kijken welke de moeite waard zijn om op te volgen met formeler bewijs. De hoge precisie daarbij beperkt de kans dat eenvoudig toeval wordt verward met een echte wiskundige relatie.

Software voor wiskunde

Het maken van wiskundige computersoftware in de jaren tachtig gaf wiskundigen krachtige instrumenten. Experimentele wiskunde ontwikkelde zich snel en de houding jegens deze aanpak veranderde drastisch.

De bijdragen van experimentele wiskunde met