

# Zelf chocoladeletters maken

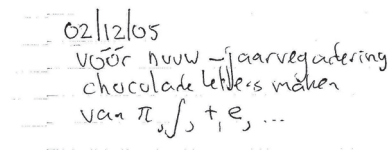
## HET FABLAB ALS RIJKE LEEROMGEVING VOOR DE INTEGRATIE VAN BÈTAVAKKEN EN TECHNIEK

[ Hans Wisbrun ]

De titel van dit artikel mag dan een hoog Creatief-met-kurk-gehalte hebben, de genoemde activiteit bracht mij onverwachts en op een volstrekt vanzelfsprekende manier in dat wat didactici graag een rijke leeromgeving noemen. Achteraf kan ik zeggen dat het hele proces, van idee naar product, de integratie van heel wat vakken betrof: techniek, ICT, wiskunde, natuurkunde, scheikunde, economie en een snuffje industrieel ontwerpen. Hieronder het verhaal hoe de productie van een chocoladeletter mij, behalve veel plezier, een mooi les- of projectidee gaf voor vmbo tot en met vwo-bovenbouw. Ik ben benieuwd of u dat er ook in ziet.

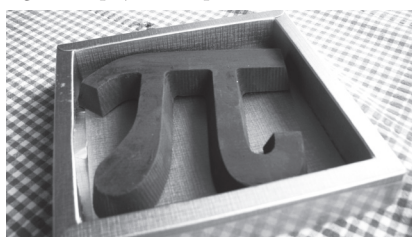
### Mijn idee

Het begon allemaal toen ik ruim twee jaar geleden de volgende notitie maakte in mijn ideeënboekje.



figuur 1 Mijn idee

Ideëen hebben vaak een lange sluimertijd in het onbewuste nodig om op een natuurlijk moment weer aan de oppervlakte te komen. Dat moment kwam bij mij deze zomer. Toen het idee zich eenmaal in mijn bewuste had genesteld ging het ineens heel hard. Binnen de kortste keren was ik bezig met de fabricage van mallen, zat ik rond de tafel met hoofdstedelijke chocolatiers, zette ik als test een webwinkeltje op en verdiepte ik me in de financiële aspecten van het experiment. En met een concreet resultaat: honderd chocoladeletters in de vorm van een  $\pi$ ,  $\Sigma$  en (misschien)  $\infty$  <sup>[1]</sup>. Deze zijn straks op de jaarvergadering van de Nederlandse Vereniging van Wiskundeleraren, net op tijd voor Sint, tegen kostprijs te koop.



figuur 2 De chocolade  $\pi$

### Het FabLab

Een cruciaal moment in het hele proces was het moment dat ik via een internet-speurtocht kennis maakte met het concept *FabLab* (afkorting voor Fabrication Laboratory). Dat bleek niet alleen een concept te zijn, maar ook een concrete plek, zowaar bij mij aan de overkant van het water.

De beste methode om als lezer iets over het concept FabLab aan de weet te komen is even met het woord te googelen. Op het web staan talloze teksten, foto's en video's die het beter kunnen verduidelijken dan ik dat hier kan doen. In het kader staat slechts een korte omschrijving.

*De digitale communicatierevolutie ligt achter ons. Het is tijd voor de volgende ... Personal Fabrication. De mogelijkheid 'to make almost anything', thuis met desktopmachines. Deze ligt nu (bijna) binnen handbereik door een concept uitgedacht door Neil Gershenfeld van MIT. Het heet een FabLab, en bestaat uit een set computergestuurde machines van bij elkaar zo'n 30.000 dollar, waarmee zo niet alles, dan toch veel kan.*

*Elk FabLab wordt aangesloten bij het zogenaamde FabLab netwerk, een wereldwijd netwerk, waar op gestandaardiseerde en laagdrempelige manier mensen worden uitgedaagd om zelf bedenker, ontwerper en maker te worden van hun eigen ideeën.*

Nog beter voor een eerste kennismaking is een afspraak maken om een keer een FabLab te bezoeken. Er zijn er momenteel een handvol in Nederland (o.a. in Amsterdam en Den Haag), maar wereld-

wijd zijn er al veel meer.

Dat bezoeken is ook wat ik deed, ik fietste gewoon de brug over. Ik had mijn idee vooraf aan de mensen van *Waag Society* <sup>[2]</sup>, waar het Amsterdamse FabLab is ondergebracht, voorgelegd en ze hadden enthousiast gereageerd. De laagdrempeligheid waarvan op hun site gerept wordt, werd waar gemaakt. Samen met Mike, een vrijwilliger uit Canada <sup>[3]</sup>, stond ik een paar dagen later al met een computergestuurde machine een mal te frezen die uiteindelijk een chocolade  $\pi$  zou gaan opleveren.

### Het productieproces

Ik zal hier niet in details treden, het hele proces staat uitgebreider beschreven op mijn weblog <sup>[4]</sup>, inclusief alle verkeerde wegen die ik insloeg en de beginnersfouten die ik maakte. Hieronder gaat het over het maken van een chocolade  $\pi$ , maar 'almost anything' kan zo geproduceerd worden. In grote lijnen kwam het proces op het volgende neer.

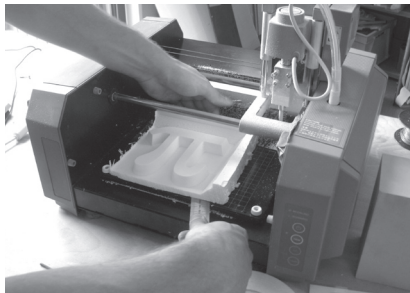
Eerst ontwierp ik met een CAD-tekenprogramma <sup>[5]</sup> een driedimensionale  $\pi$ , waarbij eigenlijk alleen maar de vorm van belang was. Een chocoladeletter moet niet te makkelijk breken, dus al gauw denk je aan wat dikkere benen van de  $\pi$ . Spitse uitstekels: maar niet doen. Een beetje afvlakken aan de zijkanen is natuurlijk ook mooi om straks de letter wat makkelijker uit de mal te kunnen halen. Bovendien staat een *smooth* oppervlak decoratiever.



figuur 3  $\pi$  in perspectief en in drie aanzichten

Toen het ontwerp eenmaal klaar was, importeerde ik het ontworpen model (de data worden vastgelegd in een bestand) in een CAM-programma<sup>[6]</sup> dat de freesmachine zou gaan aansturen. In dat programma bepaal je zaken als de uiteindelijke maten, de lege ruimte rond de letter, volgens welke lijnen er straks gefreesd moet gaan worden, hoe snel je de boorkop laat lopen, enzovoorts.

Ik maakte eerst een *positieve* mal door uit een blok (styrenefoam, MDF, ..., ik heb wat geëxperimenteerd) alles rond het driedimensionale object weg te frezen met een boorkop. De  $\pi$  verheft zich in die mal als het ware als een rotsformatie uit een rechthoekige kuil. Dat maken gebeurt door vanuit de computer een 'printopdracht' te sturen naar de freesmachine.



figuur 4 Positieve mal wordt uit de freesmachine gehaald

De zo gevormde *positieve* mal vulde ik met dikvloeibare siliconenrubber, die ik vervolgens liet uitharden. Zo krijg je een *negatieve* mal, waarin later de chocolade wordt gegoten.



figuur 5 De positieve mal van styrenefoam (links) en de negatieve mal van siliconenrubber (rechts)

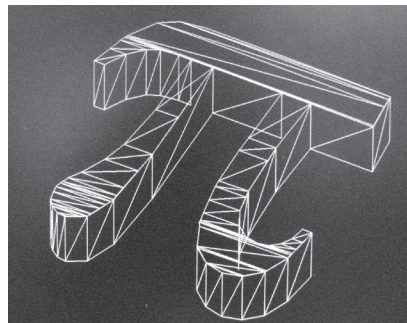
### Rijke leeromgeving

Nu het proces beschreven is, kan ik tot de kern van mijn artikel komen: dat een productieproces als dit voor leerlingen een rijke leeromgeving kan vormen bij de integratie van verschillende vakken. Ik maakte zelf een chocolade  $\pi$ , maar uw leerlingen zouden van alles kunnen maken. Sterker nog: hoe meer het hun eigen idee is, hoe gemotiveerder ze aan het werk zullen gaan. De vragen die onderweg opdoemen, zijn nu eens niet de vragen uit het leerboek of van de leraar, maar obstakels die ze vanzelf tegen komen op weg naar

het gewenste product. Ze dienen zich op een heel natuurlijke manier aan. Daarbij zijn uitstapjes naar aangrenzende leerstof natuurlijk niet verboden. Sterker nog: zo kunt u, als docent, het productieproces stevig koppelen aan het curriculum. Dat techniek en ICT in deze leeromgeving een belangrijke rol spelen, zal inmiddels wel duidelijk zijn. Wat de andere vakken betreft volsta ik hieronder met wat voorbeelden waar ik zelf tegenaan liep. Bij de opsomming van de vakken in de inleiding vergat ik nog een vak: Engels. Veel handleidingen zijn in die taal en op het internet zijn achtergrondteksten ook vaak in het Engels.

### Wiskunde, natuurkunde

Dat in CAD/CAM-software veel wiskunde verstopt zit, voel je direct aan. Ik had nog nooit met zo'n programma gewerkt, maar bepaalde onderdelen wekten direct associaties met programma's als Maple en Cabri op. Toen ik een platte  $\pi$  via een 3D-tekenprogramma opgehoogd had tot een driedimensionale vorm, moest die vorm opgeslagen worden in de taal van computers: bits en bytes. Dat gebeurt door die vorm eerst op te splitsen in eenvoudiger geometrische vormen, viervlakken. Het wiskundig proces dat hierachter zit heet *triangulatie*.



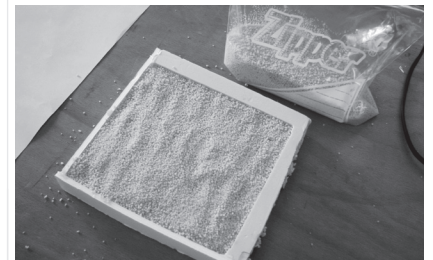
figuur 6 Triangulatie

Maar hoe vindt die opsplitsing nu precies plaats? Welk algoritme wordt gebruikt? Ik ga op deze vragen hier niet in, maar dit zijn nu voorbeelden van vragen waarvoor het antwoord niet per se nodig is voor het maken van de mal, maar die het productieproces in het grotere kader van het curriculum kunnen plaatsen. Ook een onderwerp als *Aanzichten* kan zo op een natuurlijke manier aan de orde komen (*zie figuur 3*).

Op een gegeven moment stuitte ik bij de productie van de mal op een probleem: een volumebepaling. Ik wilde weten hoeveel siliconenrubber ik ongeveer nodig had voor het maken van de negatieve mal. Siliconenrubber is duur en wordt ter plekke geprepareerd door twee componenten bij elkaar te voegen. Ik wilde om kosten te

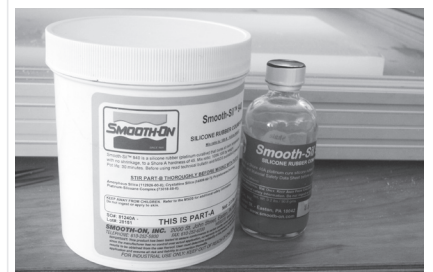
besparen een afgepaste hoeveelheid siliconenrubber aanmaken.

De wiskundige in mij wilde dat volume in eerste instantie ook wiskundig bepalen. Ook al was de vorm wat onregelmatig, met wat integraalrekening zou wel aan het volume te komen zijn, vermoedde ik. Maar gelukkig won de natuurkundige in mij het (ik heb theoretische natuurkunde gestudeerd). Of was het gewoon het gezond verstand? Ik pakte het veel simpeler aan: door de ruimte rond en boven de  $\pi$  te vullen met meegebrachte gierstkorrels.



figuur 7 Positieve mal gevuld met gierstkorrels

Die gierstkorrels stortte ik vervolgens voorzichtig in een plastic cilinder die voorhanden was. Daar stond geen maatverdeling op. Maar met de bekende formule voor de inhoud van een cilinder (waarin onze  $\pi$  zelf voorkomt!) en wat meten (straal, hoogte) zou gemakkelijk het benodigde volume bepaald kunnen worden. Ook dat bleek niet nodig. Met tape gaf ik aan tot welke hoogte ik de cilinder met siliconenrubber zou moeten vullen. Toen diende het wiskundige onderwerp *Verhoudingen* zich aan. De siliconenrubber zou ontstaan door menging van een dikvloeibare massa (component A) en een vloeistof (component B). Dat moest in de verhouding 100 : 10. Maar er was een kleine complicatie: die verhouding betrof geen volumes, maar gewichten. Nu is daar met behulp van soortelijke gewichten van beide componenten wel achter te komen (leerlingenvraag), maar die stonden niet op de bijsluiters. Wel stonden van beide componenten op de nog ongeopende verpakkingen de nettogewichten aangegeven, dus... (weer een leerlingenvraag).

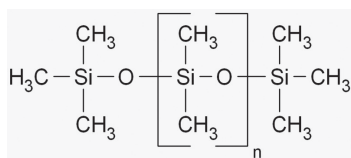


figuur 8 Componenten A en B voor het maken van siliconenrubber

Maar ook deze vraag omzeilde ik, met een eenvoudige keukenweegschaal. Kortom: er zijn verscheidene wegen die naar siliconenrubber leiden!

### Scheikunde, natuurkunde

Siliconenrubber is, in scheikundige termen, een polymeer waarvan de keten gevormd wordt door een vaak als anorganisch beschreven binding. De keten bestaat namelijk uit afwisselende silicium- en zuurstofatomen. Het zuurstofatoom heeft geen vrije bindingen meer, silicium echter wel. Aan het siliciumatoom zitten organische substituenten, bijvoorbeeld een methylgroep  $\text{CH}_3$ . De structuurformule van het polymeer kan dan geschreven worden als:  $[-\text{SiRR}'-\text{O}]_n$ .



figuur 9 Structuurformule

Siliconenrubber is vreemd spul, een *niet-Newtonse* vloeistof. Bij *Newtonse* vloeistoffen is de schuifspanning  $\tau$  in de stof recht evenredig met de gradiënt van de (stroom) snelheid loodrecht op het schuifvlak. In wiskundige termen:

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dx}$$

waarin  $\mu$  de viscositeit is.

Siliconenrubber voldoet, net als een maïzenapapje, niet aan deze wet. Op *YouTube* staan verrassende filmpjes over het gedrag van dit soort vloeistoffen.

Siliconenrubber prepareren uit twee componenten is een chemisch proces, met een daarbij behorende chemische reactievergelijking. Voor het productieproces is het niet nodig die op te stellen. Maar zou het voor een vwo-leerling met scheikunde of NLT (Domein: Materialen, proces- en productietechnologie) in het pakket niet interessant zijn om hier eens wat dieper in te duiken?

Een andere, natuurkundige, ingang voor verdieping: bij het gieten van de aange maakte siliconenrubber in de mal sluit je onbedoeld luchtbelletjes in het materiaal op. Die kunnen straks zorgen voor lelijke oneffenheden in de chocolade  $\pi$ . Hoe zorg je er nu voor dat je zo weinig mogelijk van die belletjes in de siliconenmal krijgt? Mike, mijn partner in crime, verzoon een creatieve oplossing: de met (toen nog) vloeibare siliconenrubber gevulde foammal werd op een in het FabLab aanwezige subwoofer geplaatst. En dan: music, Maestro, met zo veel mogelijk bastonen erin! Maar waarom werkt dit eigenlijk? En kun je alternatieve methoden bedenken?

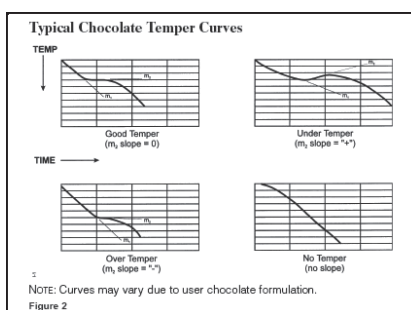
### Economie, wiskunde

Het ligt niet in mijn bedoeling om nu een fabriek op te gaan zetten voor dit soort chocoladeletters; het was vooral een leuk, leerzaam, experiment. En een uitdaging: krijg ik het ook voor elkaar, honderd chocoladeletters produceren voor de NVvW-jaarvergadering en die daar dan kostendekkend verkopen? Dit leverde direct al het nodige rekenwerk op voor die kosten: prijs die de chocolatier (dat is een vak apart, daar houd ik me verre van) vraagt voor zijn werk, kosten van de mallen, kosten van verpakking, kosten van vervoer. En hoeveel zult u straks bereid zijn te betalen voor dit product? Wel meer dan voor een supermarktletter, het zijn unica en de chocolade is van goede kwaliteit. Maar u zult toch ook wel een bovengrens hebben?

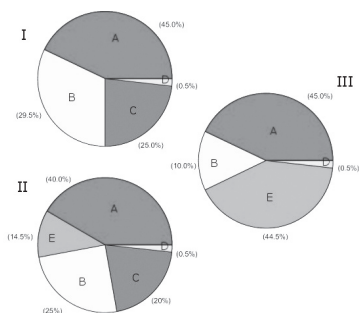
En als er nu ineens veel interesse blijkt te zijn, bijvoorbeeld van instellingen in de bètahoeke die de letter als relatiegeschenk willen gaan gebruiken, hoe ga ik dan verder? Mijn eigen arbeidsuren, hoeveel ga ik daar dan voor rekenen? Hoe ga ik distribueren? Het idee van een webwinkel was gauw geboren en, in een testversie, gerealiseerd<sup>[7]</sup>. Hoe ga ik in dat geval de verzendkosten berekenen? Doe ik dat bijvoorbeeld per gewichtsklasse? En hoe reken ik de kosten van het betalingsverkeer door? O ja, ik moet natuurlijk BTW gaan berekenen. Dat is toch iets met *percentages*? Afijn, voor ik het wist zat ik met mijn gedachten niet meer bij het productieproces, maar bij economie. Dat zal voor uw leerlingen ook gelden. Misschien bedenken en produceren ze wel iets zo unieks dat er echt geld in zit!

### Hier kan ik wel chocola van maken

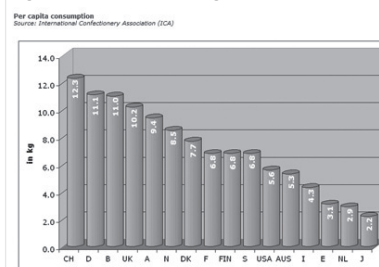
Toen ik aan de volgende stap toe was, het laten vullen van de mallen met chocolade, kwamen er weer de nodige prikkels voor bèta-onderwijs langs. Omdat uw leerlingen niet dit specifieke product zullen maken, maar hun eigen idee zullen gaan uitwerken, volsta ik hier met wat figuren. U kunt er zelf wel de vragen bij bedenken, inclusief uitstapjes naar de voedingsleer.



figuur 10 Tempereren is een sleutelbegrip bij de productie van chocolade



A = suiker; B = cacao boter; C = melkpoeder; D = andere ingrediënten; E = cacao massa  
I = wit; II = melk; III = puur  
figuur 11 Samenstelling chocolade



figuur 12 Chocoladeconsumptie per land

### Terugblik

Het was voor mij een spannende ontdekkings-tocht, in veel opzichten. Al doende begon ik mij ook te realiseren dat ik niet alleen iets concreets aan het maken was, maar dat ik, onbedoeld, in een rijke leeromgeving beland was, die veel schoolvakken met elkaar in verband bracht. En dat dat verband volstrekt natuurlijk aanvoelde. Dat bracht me tot het schrijven van dit artikel. Daarbij voelde ik de opwindende eigen idee te realiseren. Dat moet toch ook voor leerlingen motiverend werken? Of ze in het vmbo, mbo, havo of vwo zitten, maakt eigenlijk niet zo veel uit, op elk niveau valt wel wat te ontwerpen, te maken en dus te leren. Het proces kan individueel doorlopen worden, maar ook in groepen. De laatste wijze heeft als voordeel dat elk zijn of haar sterke zijde kan inzetten.

Tot slot nog dit: na het rondje langs professionele chocolatiërs kwam ik toch weer terug bij mijn wortels: het onderwijs. Het zijn namelijk leerlingen van de mbo-opleiding Brood & Banket van het ROC van Amsterdam die de honderd letters, op offertebasis, gaan maken. En ik heb beloofd hen kennis te laten maken met de mogelijkheden van het FabLab. Zo snijdt het mes aan twee kanten en leest u over een tijd misschien een vervolgartikel. Bent u ongeduldiger: het FabLab organiseert workshops voor docenten en leerlingen.

Met dank aan Teake Oppewal en Fred Pach voor hun commentaar.

## Noten

- [1] ChocoPI<sup>®</sup> : geregistreerd bij het Benelux-Bureau voor de Intellectuele Eigendom (BBIE; *www.boip.int*).
- [2] De Waag Society (*www.waag.org*) ontwikkelt creatieve technologie voor culturele innovatie.
- [3] Michael Pelletier; Thanks, Mike, for all your help!
- [4] *http://chocopi.blogspot.com/*
- [5] CAD: Computer Aided Design
- [6] CAM: Computer Aided Manufacturing
- [7] Webwinkel (testversie!): *http://testpi.biedmeer.nl/website/index.php*

## Over de auteur

Hans Wisbrun was vakdidacticus wiskunde en onderwijskundig medewerker aan de Universiteit Leiden. Hij is momenteel onderwijsadviseur met een eigen bedrijf. E-mailadres: *wisbrun@planet.nl*