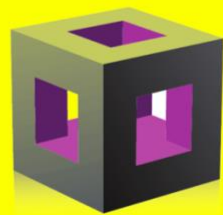
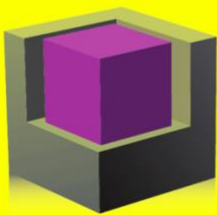
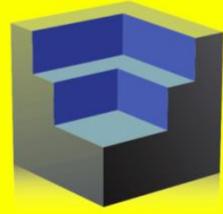
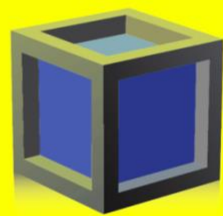
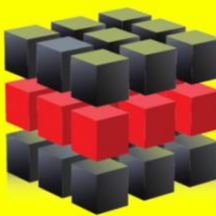


# Haptisch Ontwerpen

Hoe maak je 2,5D en 3D-modellen  
voor blinde leerlingen



Eric Velleman

# Haptisch Ontwerpen

Hoe maak je 2,5D en 3D-  
modellen voor blinde leerlingen

Eric Velleman

**Auteur**

Eric Velleman

**Titel**

Haptisch Ontwerpen. Hoe maak je 2,5D en 3D-modellen voor blinde leerlingen

**Redactie**

Chris Bernasco (De Tekstsmid)

**Copyrights 2020, Stichting Accessibility**

Dit boek is gebaseerd op de eindresultaten van het project haptisch handboek uitgevoerd door Stichting Accessibility.

Voorpagina ontwerp met resources van Freepik.com

**Alle rechten voorbehouden.**

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

**Disclaimer**

De auteur heeft zich redelijkerwijs ingespannen om accurate en up-to-date informatie te geven, echter dit boek is een momentopname van de status van de technologie en oplossingen. De auteur geeft geen garanties op de actuele correctheid van de informatie en is niet aansprakelijk voor enige schade die voortkomt uit het gebruik van de informatie in dit boek.

**ISBN:**

978-90-808371-9-5

# Inhoudsopgave

Voorwoord .....	5
HOOFDSTUK 1. START .....	9
Gaten dichtten .....	11
Leren op de tast.....	12
Tactiele tekeningen moet je leren lezen .....	13
Sneller, makkelijker en goedkoper.....	15
Welke organisaties kunnen je helpen .....	16
Snel aan de slag? lees dit eerst! .....	18
Leeswijzer hoofdstuk 2 - 8.....	21
HOOFDSTUK 2. VERZAMEL INFORMATIE VOOR JE MODEL .....	23
Ontwerproces met design thinking.....	23
Formulier informatiebehoefte .....	27
Uitleg Formulier informatiebehoefte.....	30
HOOFDSTUK 3. KIES HET TYPE MODEL.....	31
2,5D - 3D-modellen, voor en nadelen .....	31
Beslisboom .....	34
Volgende stappen.....	36
HOOFDSTUK 4. 2,5D-MODELLEN.....	37
Elementen om op te letten .....	39
Bestaand ontwerp kiezen.....	39
Handige websites met 2,5D modellen .....	42
Maak zelf tekeningen op zwelpapier .....	43
Apparaten om 2,5D-modellen mee te produceren .....	45
Richtlijnen voor 2,5D-modellen .....	49
HOOFDSTUK 5. 3D-MODELLEN: RICHTLIJNEN EN BESTAAND ONTWERP .....	59
Richtlijnen voor 3D-modellen .....	59
Databases met kant-en-klare 3D-ontwerpen .....	63

HOOFDSTUK 6. 3D-MODELLEN: MAAK ZE ZELF .....	67
Pas een bestaand ontwerp aan.....	68
Ontwerp een model vanaf de basis .....	68
Ontwerp uitbesteden .....	71
Braille printen.....	73
HOOFDSTUK 7. PRINTEN MAAR!.....	75
Zelf printen.....	75
Hulpprogramma voor 3D-printen .....	76
Printen uitbesteden .....	77
Apparaten om mee te printen .....	79
Materialen voor 3D-printers .....	84
HOOFDSTUK 8 Voeg audio en interactie aan je model toe .....	89
Bijlagen .....	95
1. Aanvullende richtlijnen voor tactiele kaarten en plattegronden .....	95
2. Problemen bij het printen .....	97
Bronnen.....	98
Dankwoord.....	101



## Voorwoord

Met onze ogen kunnen we in één blik oneindige vormen en patronen scannen, terwijl iemand die blind is met zijn vingers maar een klein stukje tegelijk kan waarnemen. Probeer het zelf maar eens: sluit je ogen en scan met je handen een voorwerp. Zou je op deze manier dingen om je heen kunnen herkennen en ook begrijpen? Denk bijvoorbeeld aan een doosje medicijnen, een tijdschrift of een illustratie uit een biologieboek.

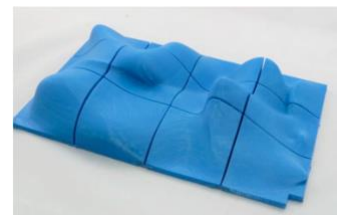
Amerikaans onderzoek van Arizona State University laat zien dat leerlingen met een visuele beperking uit het basis- en voortgezet onderwijs bij vakken zoals natuurkunde, techniek en wiskunde ondanks de beschikbaarheid van toegankelijke lesmaterialen toch heel vaak meerdere jaren achterlopen op hun klasgenoten zonder beperking. De onderzoekers wijten dat aan een gebrek aan toegankelijk grafisch materiaal voor blinde leerlingen. Daardoor kost het hen meer moeite om objecten en concepten te begrijpen.

Waar bij de meeste leerlingen die goed kunnen zien het waarnemen van objecten 'gelijktijdig' is, is het bij de leerlingen die blind zijn meestal opeenvolgend. Zij leren door middel van tastzin, en met je vingers kun je niet alles tegelijkertijd 'zien'. Deze haptische informatie wordt in stukjes verzameld en vervolgens samengevoegd tot een compleet mentaal beeld van het betreffende voorwerp of concept.

Dankzij nieuwe technieken is het tegenwoordig veel gemakkelijker om de vorming van dergelijke mentale beelden te ondersteunen met voelbare 'haptische' modellen zoals tactiele tekeningen en 3D-modellen. In combinatie met gesproken woord, geur en geluid kunnen die modellen het begrip van objecten en concepten gemakkelijker maken. Het gaat dan niet alleen over objecten en concepten van dichtbij (zoals een lamp of insect), maar ook over ver weg (zoals een



*Plattegrond met reliëf in London. De plattegrond moet mensen met een visuele beperking helpen om de weg te vinden naar musea en de vele winkels in de buurt. Deze plattegrond wordt ook door mensen zonder visuele beperking veel gebruikt.*



*Buzzels zijn 3D-geprinte puzzels. Ze lijken eenvoudig maar zonder visuele informatie is het heel lastig om ze in elkaar te zetten.*

vliegtuig in de lucht, wolken) en over abstracte zaken (zoals liefde, warm versus koud, groot versus klein).

Stichting Accessibility onderzocht of het gebruik van tactiele tekeningen en 3D-modellen leerlingen met een visuele beperking en hun klasgenoten helpt bij het begrip van objecten en concepten. Samen met onder andere stagestudenten en hun docenten zijn een aantal projecten uitgevoerd op zoek naar de beste 3D-modellen voor in het onderwijs. In die projecten is samengewerkt met de deskundigen van Bartiméus, Dedicon en Visio. Bij die instituten wordt van oudsher onderzoek gedaan naar tactiele waarneming. De onderzoeken zijn beschikbaar via de websites van de drie organisaties. Achterin dit boek bij de 'bronnen' staan de belangrijkste publicaties die we hebben gebruikt voor dit boek.



*Workshops waarin we samen met leerlingen 3D-modellen hebben gemaakt om te testen wat wel en niet werkt in het onderwijs.*

Het onderzoek startte in het speciaal basisonderwijs (bij Bartiméus), maar al snel breidde het zich uit naar het voortgezet onderwijs en daarna ook via de ambulante begeleiding naar het regulier onderwijs. In de projecten werd gewerkt met alle veelgebruikte technieken en materialen. Met studenten, collega's en onderzoekers in binnen- en buitenland zijn 3D-modellen en tactiele tekeningen getest.



*Bartiméus heeft nu een klaslokaal ingericht waar slechtziende en blinde leerlingen leren om zelf 2,5D en 3D-modellen te maken met 3D printer en lasersnijder.*

Bij Bartiméus veroorzaakte het onderwerp zoveel enthousiasme dat er nu in de school een compleet maker-lab is ingericht waar leerlingen met een visuele beperking zelf leren werken met 3D-printers en andere apparaten en waar op bestelling modellen kunnen worden gemaakt. Zowel bij Bartiméus, Dedicon als Visio worden 3D-producten ontwikkeld voor de doelgroep en wordt onderzoek gedaan naar haptische informatie in het onderwijs.

Uit het onderzoek van Stichting Accessibility en uit andere studies blijkt dat leerlingen met én zonder beperking enthousiast zijn over de inzet van de haptische modellen. Maar belangrijker, leerlingen met een visuele beperking blijken beter te scoren op begrip



dan de controlegroep van vergelijkbare leerlingen die de tactiele tekeningen en 3D-modellen *niet* gebruikt. Dit begrip wordt nog versterkt als er ook een gesproken toelichting is. Interessant is dat ook de ziende leerlingen profiteren van het gebruik van de 3D-modellen. Overall vergroten haptische modellen de prestaties van alle leerlingen, in het bijzonder van leerlingen met een visuele beperking. Maar dit werkt alleen wanneer de makers van die modellen rekening houden met bepaalde eisen en richtlijnen. Die worden in dit boek op een rij gezet en toegelicht.

Voor de collega's en voor iedere docent die haptische modellen wil inzetten in de les is dit handboek geschreven. Voor basis- en voortgezet, speciaal en regulier onderwijs. Natuurlijk wil de ene docent dieper in de materie duiken dan de andere. Daarom helpt dit handboek je op weg als je gewoon meer wilt weten maar ook als je zelf modellen wilt gaan maken. Welke keuze je ook maakt, met de stap-voor-stap aanpak, de richtlijnen en de praktische tips kun je zelf aan de slag om de beste oplossing te vinden voor jouw klas, jouw vak en jouw leerlingen.

Eric Velleman



*QR code naar de website van Stichting Accessibility met meer informatie bij dit boek.*

## **Bartiméus: fonds**

Dit boek is gebaseerd op de eindresultaten van het project haptisch handboek uitgevoerd door Stichting Accessibility. Meer informatie over die projecten en over dit boek kun je vinden via de QR code hiernaast. Dat project is mede mogelijk gemaakt door een bijdrage van het Bartiméus Fonds. Meer informatie: [www.bartimeusfonds.nl](http://www.bartimeusfonds.nl)

## Hoe gebruik je dit boek

Dit handboek is zo opgezet dat je als docent zo efficiënt mogelijk effectieve haptische leermiddelen tot je beschikking krijgt om mee te werken in je les. Hoofdstuk 1 geeft de benodigde achtergrondinformatie. Met hoofdstuk 2 tot en met 7 kun je zelf praktisch aan de slag. Met behulp van een beslisboom beweeg je stap-voor-stap door het proces, waarbij je soms een stap kunt overslaan.

### **Stap voor stap**

Allereerst stel je de leerbehoefte vast (hoofdstuk 2). Daarna gebruik je de beslisboom in hoofdstuk 3 om het meest geschikte soort model te kiezen voor jouw situatie: een 2,5D-model (één of meerlaags reliëf) of een 3D-model. Als je uitkomt op een 2,5D-model, dan ga je daarna naar hoofdstuk 4. Kom je uit op een 3D-model, dan ga je door naar hoofdstuk 5 en 6. Ten slotte lees je in hoofdstuk 7 hoe je het ontwerp daadwerkelijk produceert tot een fysiek model waarmee de leerlingen de lesstof kunnen gaan ontdekken.

### **Extra's**

Extra informatie kun je vinden op de website van Accessibility: kopieerversies van de formulieren, recente richtlijnen en een actueel overzicht van nuttige websites.

### **Bronverwijzingen**

De inhoud van dit handboek is gebaseerd op nationaal en internationaal onderzoek. Omwille van de leesbaarheid en de praktische bruikbaarheid van het boek zijn er geen aparte bronverwijzingen opgenomen. Een lijst van gebruikte bronnen vind je achterin.

### **Korte terminologie**

2,5D is als koepelbegrip gebruikt voor voelbare tekeningen, reliëftekeningen en tactiele tekening. Voor 2,5D kun je meerdere technieken gebruiken zoals zwelpapier, thermoform, enzovoorts. Soms is er 1 niveau reliëf, maar bijvoorbeeld thermoform tekeningen kunnen tot wel 25 cm reliëf hebben. Alle 2,5D-modellen hebben een basis-/bodemplaat. 3D-modellen hebben dat meestal niet. Meer over de terminologie kun je vinden op pagina 11.

## HOOFDSTUK 1. START

In dit handboek leer je hoe je kunt zorgen voor goede haptische ontwerpen voor blinde en slechtziende leerlingen voor gebruik in je les. Deze inleiding geeft achtergrondinformatie en toont het belang van haptische leermiddelen. Wat zijn de mogelijkheden, wat zijn de leereffecten en welke typen haptische modellen zijn er? Met deze achtergrondkennis kun je in de volgende hoofdstukken actief aan de slag met het maken van haptische modellen.

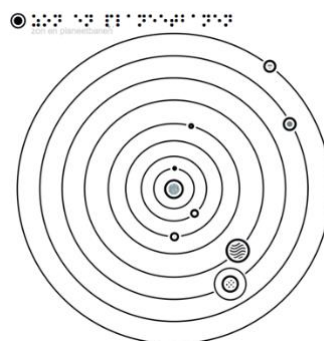
Ons onderwijs wordt steeds visueler. Moderne schoolboeken bevatten steeds meer beeld en ook nieuwe technologie in de klas is meestal visueel georiënteerd. Vooral blinde en zeer slechtziende leerlingen schieten daar echter weinig mee op. Zij begrijpen de wereld om hen heen immers voor een groot deel op basis van hun taalvermogen (lezen en luisteren) en hun tastzin. De inhoud van schoolboeken en digitale schoolmaterialen wordt voor hen vaak omgezet naar braille of digitale bestanden die door een 'screenreader' kunnen worden voorgelezen.

### Haptische modellen

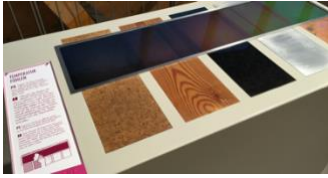
Maar er zijn dingen in de fysieke omgeving die je niet kunt begrijpen door alleen te lezen of te luisteren. Die moet je zien - of voelen. En dat is wat mensen met een visuele beperking gewoonlijk ook doen.

In sommige gevallen is het echter niet mogelijk om die objecten aan te raken - omdat ze daarvoor **te groot** zijn (gebouwen, plattegrond), **te ver weg** (planeten), **ontoegankelijk** (atomen, organen, oog van een dier) of zelfs **gevaarlijk/pijnlijk** (wilde dieren, cactussen). In zulke gevallen bieden haptische modellen zoals 2,5D- en 3D-modellen uitkomst.

Haptische modellen zijn bij uitstek geschikt om visuele informatie toegankelijk te maken voor blinde en



*Niet alles kun je aanraken., Denk bijvoorbeeld maar aan planeten. Er bestaan vaak al kant-en-klare tactiele tekening bij de uitleg van 'dingen die te ver weg zijn' zoals in dit voorbeeld planeten (Bron: tactieletekeningen.nl).*



*In het wetenschapsmuseum in Bremen staat een opstelling waar je kunt ervaren dat verschillende materialen verschillend voelen (koud, warm, hard, zacht, etc.).*

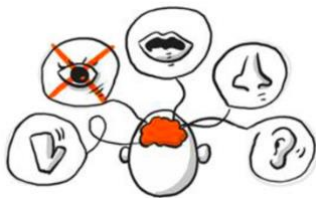
slechtziende leerlingen. Met de vingers tasten ze deze leermiddelen af en bouwen zo een mentaal beeld op van zaken die anders moeilijk te begrijpen zijn (vergeet niet altijd ook een gesproken uitleg toe te voegen). Onderzoek heeft laten zien dat leerlingen zich zo met minder inspanning een preciezer beeld kunnen vormen dan via alleen verbale informatie. Bovendien maakt het werken met tactiele tekeningen de lessen dynamischer en geeft het leerlingen de mogelijkheid om zelf dingen te ontdekken en stimuleert het hen om vragen te stellen.

Haptisch (bn.: vl. - isch) [♦1847 ♦◊< Gr. *haptikos*], het gevoel of de tastzin betreffend: *een haptische misleiding*.

Bron: *Van Dale Groot Woordenboek der Nederlandse Taal*, 13e herziene uitgave.

In dit boek spreken we meestal over haptische informatie en haptische modellen; soms worden tactiele en voelbare tekeningen en modellen als synoniemen gebruikt.

Bij haptische informatie gaat het trouwens om veel meer dan alleen het voelen van lijnen, vlakken of 3D-vormen met de vingers.



*Bij het vormen van een mentaal model is context belangrijk. Die bestaat behalve uit visuele, ook uit andere informatie.*

Je kunt ook voelen wat voor **materiaal** het is (metaal, stof, plastic, hout), of het **koud** of **warm** is, **licht** of **zwaar**. Daarnaast spelen ook aspecten als **smaak** en **geur** een rol bij het herkennen van een object. Haptische modellen kunnen niet al deze informatie over het origineel weergeven; ze zijn doorgaans gemaakt van papier of plastic (2,5D-modellen) of van een vorm van kunststof (3D-modellen).

Informatie over textuur, temperatuur, geur enzovoort moeten de leerlingen dus anders aangeboden krijgen, bijvoorbeeld via verbale uitleg en/of vergelijking met andere objecten.

## Soorten haptische modellen

Haptische modellen bestaan er in allerlei soorten en maten. Er worden in de praktijk verschillende termen door elkaar gebruikt. In dit boek hebben we de modellen ingedeeld in twee categorieën: 2,5D- en 3D-modellen.

**2,5D-modellen** zijn modellen met een platte basis- of bodemplaak met daarop één of meer reliëflagen die je met je vingers kunt voelen. Hieronder vallen onder meer tactiele tekeningen, sketchpad-tekeningen en reliëfkaarten.

In de praktijk wordt de term 2,5D-model ook wel gebruikt als specifieke aanduiding voor thermoform-modellen met meerdere reliëflagen zoals die door Dedicon of CBB worden gefabriceerd. In dit handboek vallen ook tactiele tekeningen en sketchpad-tekeningen in de categorie 2,5D-model. Soms is er 1 niveau reliëf, maar bijvoorbeeld thermoform tekeningen kunnen wel 25 cm reliëf hebben.

**3D-modellen** zijn schaalmodellen van objecten die lengte, diepte en breedte hebben en die je rondom kunt bevoelen. Deze modellen lijken op de originelen, maar zijn veel kleiner (vliegtuig) of juist groter (mug) gemaakt, zodat gebruikers ze kunnen betasten.

De voor- en nadelen van elk type model komen in hoofdstuk 3 aan bod. In hoofdstuk 4 komen de 2,5D-modellen uitgebreider aan de orde, in hoofdstuk 5 en 6 de 3D-modellen.

Tot slot: de begrippen 3D-model en 3D-printer moeten niet automatisch aan elkaar worden gekoppeld. Veel 3D-printers zijn multifunctionele apparaten die zowel 3D-modellen als platte objecten met hoog- en laagreliëf (2,5D-modellen)

## Gaten dicht

Als gevolg van organisatorische veranderingen is de inzet van tactiele tekeningen vanaf de jaren '90 sterk teruggelopen. Dit leidde volgens deskundigen tot zorgwekkende 'gaten' in het onderwijs aan blinde leerlingen. Er zijn diverse onderzoeken en projecten uitgevoerd en nog bezig om die gaten inzichtelijk te maken. Een voorbeeld is het project 'Gaten Dichten' van Bartiméus. Inmiddels weten we dat haptische leermiddelen belangrijk zijn om leerlingen met een



Wat is de meerwaarde van een tactiele tekening? Hoe kunnen we een tactiele tekening zo eenvoudig mogelijk maken? Om een basis te leggen voor ons lesmateriaal moesten er eerst wat vragen beantwoord worden.

*Op de website van het project '(Ver)ken je wereld' staan de uitkomsten van het onderzoek naar de meerwaarde van tactiele tekeningen.*



*Dankzij Louis Braille (1809-1852) kunnen mensen die blind zijn ook zelf boeken lezen (en schrijven). Braille bestaat uit zes puntjes in twee kolommen. Combinaties van puntjes staan in verschillende talen soms voor verschillende letters.*

visuele beperking volwaardig te laten deelnemen aan het onderwijs.

Toch blijkt uit onderzoek ook dat haptische leermiddelen nog te weinig worden gebruikt en dat ze, waar ze wel worden gebruikt, niet altijd het beoogde leereffect sorteren. De oorzaken: docenten zijn zich niet altijd bewust van de voordelen, of ze denken ten onrechte dat het ingewikkeld en duur is om de modellen te maken. Soms kiezen docenten ook voor een kant-en-klaar verkrijgbaar haptisch model dat uiteindelijk niet het beoogde leereffect oplevert omdat het niet voldoende aansluit op de leervraag of op de manier waarop blinde leerlingen omgaan met haptische informatie.

Dit handboek is bedoeld om die obstakels weg te nemen. Je krijgt beknopte achtergrondkennis, een stappenplan en tips die je helpen om op een efficiënte manier goede modellen te kiezen of te maken die waardevol zijn in de klas.

## Leren op de tast

Onze tastzin werkt heel anders dan ons gezichtsvermogen. Als we iets zien, komt bijna alle informatie in één keer binnen - we spreken niet voor niets van iets dat ons 'in één oogopslag' duidelijk wordt. Het gaat anders wanneer we een voorwerp betasten. Het kost meer tijd om helemaal te bevatten hoe een voorwerp in elkaar steekt, welke patronen het bevat, vanuit welke kant het is weergegeven, hoe het werkt en hoe de onderlinge verhoudingen zijn. Bij het voelen van een object gaat het niet alleen om vormen en textuur maar ook over geur, materiaal, temperatuur, etc.

Doe je ogen maar eens dicht en pak dan maar eens het dichtstbijzijnde voorwerp – kun je alle eigenschappen herkennen op basis van wat je voelt? Daarom is een exacte replica van een bepaald object ook niet altijd

het meest geschikt als haptisch model. Om een optimaal leereffect te hebben we daarom een aantal speciale richtlijnen gebundeld die op basis van praktijkonderzoek in binnen- en buitenland zijn vastgesteld.

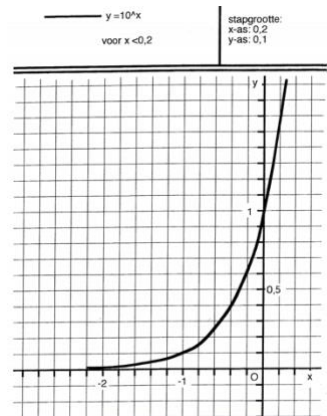
De richtlijnen benadrukken onder meer het belang van begeleidende tekst die de leerling helpt om het model en het concept te begrijpen. Dit handboek gebruikt daarvoor in het bijzonder de uitkomsten van het onderzoek '(Ver)ken je wereld' van Dedicon en Bartiméus. De verbale toelichting kun je als docent ter plekke verzorgen, maar het kan ook via een spraakmodule of een audiobestand op de computer of Ipad (zie hoofdstuk 8). Deze toelichting helpt de leerling om het model te verkennen en te begrijpen wat hij of zij voelt.

## Tactiele tekeningen moet je leren lezen

Om tactiele tekeningen goed te kunnen lezen moet de leerling verschillende punten, lijnen en texturen goed van elkaar kunnen onderscheiden. Het helpt als de tekenaar lijnen en texturen kiest, die op de tast goed te onderscheiden zijn. Daarnaast moet de lezer natuurlijk ook begrijpen wat die lijnen en texturen voorstellen.

Sommige soorten tekeningen, zoals bepaalde soorten grafieken, kun je na een beetje oefening meestal wel zonder verdere uitleg lezen. Dat komt omdat de gebruikte vormtaal dan bekend is. Denk dan bijvoorbeeld aan grafieken met een X- en Y-as, grafieken en roosterlijnen. Bij een kaart is dat al wat lastiger. Daar moeten in ieder geval een legenda en een korte uitleg bij om uit te leggen wat de kaart voorstelt, wat er wel en niet opstaat en waar hij voor is gemaakt (wat kun je ermee)?

Het lezen van een tactiele tekening van een 3D-onderwerp is nog complexer. Ten eerste: een tekening van een kubus met perspectief voelt als een paar tegen



Grafiek met X- en Y-as en roosterlijnen.



*Artikel uit 2005 over het project Gatens Dichten waarin al werd gekeken naar de omzetting van 3D naar 2D voor blinde leerlingen (Bartiméus Magazine 2 - 2005).*

elkaar geschoven parallellogrammen. Iemand die blind is kan prima leren begrijpen wat perspectief is en dat is zelfs belangrijk, maar om uit te leggen hoe iets ruimtelijk in elkaar zit, is perspectief niet geschikt; het vervormt hoeken en lengtes en verhoudingen. Als je een 3D onderwerp wilt tekenen, teken dan een projectie recht van boven, recht van voren en recht van opzij. Dit wordt helder uitgelegd op de website van Dedicon: <https://goedekennis.dedicon.nl/alle-artikelen/3d-tekeningen-leren-lezen>.

Blinde leerlingen moeten (ook hier) wel eerst leren hoe ze deze 2,5D modellen moeten 'lezen'. Het is bijvoorbeeld helemaal niet 'logisch' voor een blind kind dat een rechthoek het vooraanzicht van een cilinder kan zijn! Een silhouet van een paraplu zal het ook niet zomaar herkennen.

## Leerweg 3D-2D



*De leerweg 3D-2D vergroot het inzicht van een blinde leerling in de transformatie van 3D-object naar een 2D-weergave hiervan. Vanaf 2020 heeft Dedicon deze oefenboekjes opgenomen in de serie 'op de tast'*

Voor jonge kinderen hebben Bartiméus en Visio in 2019-2020 de Leerweg 3D-2D ontwikkeld. Jonge kinderen leren niet alleen wat een voor- of zijaanzicht is, maar ook dat het ene voorwerp al dan niet gedeeltelijk achter het andere 'verdwijnt' in een tekening en dat iets wat ver weg is kleiner getekend wordt dan iets wat dichtbij is. Er zijn heel wat inzichten nodig om tekeningen goed te kunnen begrijpen! Meer informatie over de leerweg kun je vinden op [www.eduvip.nl](http://www.eduvip.nl) of via de ambulante begeleider van Bartiméus of Visio.

## Op de tast...: van 3D naar 2D

Leerlingen in het voortgezet onderwijs kunnen zo nodig zelf aan de slag met de serie 'Op de tast...: van 3D naar 2D', te bestellen via [educatief.dedicon.nl](http://educatief.dedicon.nl). Bij het basisboek horen 3D-prints. Ook bij het lesmateriaal

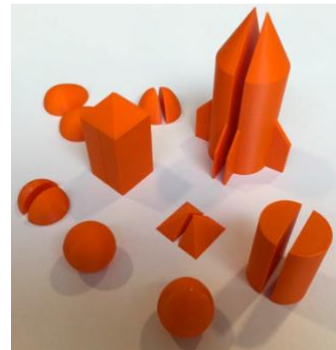


dat hoort bij de leerweg 3D-2D zijn vaak 3D-modellen die de link tussen tekening en 3D wereld helpen leggen. De serie op de tast is breder en omvat meer dan 40 thema's. Meer informatie over de andere thema's en delen van deze serie is te vinden op pagina 18.

## Cursus 'Tactiele tekeningen lezen'

Voor volwassenen heeft Dedicon de cursus 'Tactiele tekeningen lezen' ontwikkeld. Deze cursus is voor blinde en slechtziende lezers die ingeschreven zijn bij Bibliotheekservice Passend Lezen gratis te bestellen via [passendlezen.nl](http://passendlezen.nl) (collectie – reliëfwerk – naar de tekeningenbanden).

NB: het maken van goed leesbare en goed begrijpelijke voelbare tekeningen is een vak apart! Zie de genoemde websites en ook: [tactieletekeningen.nl](http://tactieletekeningen.nl).



*Modellen die blinde leerlingen kunnen helpen om te snappen hoe de 3D-wereld is omgezet naar 2D zijn in het project 3D-2D onderzocht (Bron: Dedicon).*

## Sneller, makkelijker en goedkoper

Het maken van haptische modellen is door de opkomst van de vele goedkope 3D-printers steeds gemakkelijk geworden. Moest je vroeger vaak met hout en beitel aan de slag, met de huidige generatie 3D-printers kun je - ook op school - binnen enkele uren je eigen 3D-modellen produceren. Dat geldt zeker als je modellen kunt gebruiken die al zijn getest met blinde leerlingen en die passen bij je methode.

Ook de programma's om de modellen te maken zijn steeds eenvoudiger in gebruik. Bovendien kun je vaak gebruikmaken van bestaande modellen en die aanpassen aan jouw wensen en lesstof. Online zijn er vele miljoenen modellen beschikbaar.

Verder kun je in veel steden zogeheten MakerSpaces en FabLabs vinden waar men je kan helpen met het

maken van modellen voor jouw les en waar je relatief goedkoop gebruik kunt maken van allerlei apparaten zoals lasersnijder en 3D-printer.

## Slechtziend en blind

In Nederland zijn er in het basis- en voortgezet onderwijs ongeveer 2.500 tot 3.000 leerlingen met een visuele beperking. Voor deze leerlingen zijn haptische leermiddelen belangrijke. Binnen deze groep zijn er wel flinke verschillen.

**Blind:** Iemand die blind is, ziet minder dan 5% of heeft een gezichtsveld van minder dan 10 graden (een 'normaal' gezichtsveld is 140 graden).

**Slechtziendheid:** Een slechtziende ziet minder dan 30 procent of heeft een gezichtsveld dat kleiner is dan 30 graden. Het is een breed begrip: sommige mensen zien een donkere vlek midden in hun zicht, anderen kijken als het ware door een koker. Sommigen zien slecht in het donker, anderen zien juist beter in de schemering dan bij fel licht.

Verder maakt het uit of de visuele beperking aangeboren of niet-aangeboren is. Iemand met een aangeboren visuele beperking heeft doorgaans meer ondersteuning met haptische modellen nodig dan iemand die later blind of slechtziend is geworden.

Een laatste factor die van belang is in de didactische situatie, is of de leerling al een voorstelling heeft van het concept waarop hij kan voortbouwen. Als dat niet zo is, dan is haptische informatie vaak onmisbaar.

## Welke organisaties kunnen je helpen



**Dedicon** ([www.dedicon.nl](http://www.dedicon.nl)) is in Nederland de belangrijkste organisatie op het gebied van het toegankelijk maken van lees- en leermaterialen (zoals braille, vergrotingen en tactiele tekeningen) voor het basis- en voortgezet onderwijs. Docenten en leerlingen kunnen bij Dedicon studiematerialen bestellen. Dedicon heeft ook speciale boeken gemaakt om leerlingen te helpen bij het ontdekken van tactiele tekeningen en 3D-modellen. De boekenserie 'Op de tast' legt veelvoorkomende concepten uit met behulp van tactiele

tekeningen. Bij Dedicon is ook veel kennis te vinden over (het werken met) tactiele tekeningen en 3D-modellen. Zie voor meer informatie over Dedicon ook pagina 40.

**Bartiméus** ([www.bartimeus.nl](http://www.bartimeus.nl)) heeft als missie: 'ervoor zorgen dat alle mensen die slechtziend of blind zijn in Nederland het leven kunnen leiden dat bij hen past.' De dienstverlening van Bartiméus strekt zich uit tot onderwijs, onderzoek, diagnostiek, behandeling, begeleiding en advisering. De organisatie heeft zestien locaties verspreid over het land, met eigen scholen, woonvoorzieningen en dagbesteding. De Ambulant Onderwijskundige Begeleiding (AOB) van Bartiméus geeft ondersteuning aan docenten en visueel beperkte leerlingen in het regulier onderwijs.

**Visio** ([www.visio.org](http://www.visio.org)) is een expertisecentrum voor onderwijs, zorg en dienstverlening voor mensen met een visuele beperking. Bij Visio kan iedereen terecht met vragen over slechtziend of blind zijn. Visio biedt informatie en advies, maar ook verschillende vormen van onderzoek, begeleiding, revalidatie, onderwijs en wonen. Ook persoonlijk en professioneel betrokkenen kunnen bij Visio terecht voor informatie en deskundigheidsbevordering.

**Passend Lezen** ([www.passendlezen.nl](http://www.passendlezen.nl)), voluit Bibliotheekservice Passend Lezen, heeft als doel mensen met een leesbeperking (blinden, slechtzienden en dyslectici) toegang te geven tot de wereld van kennis en cultuur. Passend Lezen is onderdeel van het stelsel van openbare bibliotheken en werkt samen met Dedicon en de Christelijke Bibliotheek voor Blinden en Slechtzienden (CBB), die de (gesproken) boeken en andere materialen produceren voor de uitleencollectie.



**EduVIP** ([www.eduvip.nl](http://www.eduvip.nl)) Geen organisatie maar een website met veel relevante informatie en tips. EduVIP staat voor educatie voor Visually Impaired People. De website geeft informatie over het onderwijs aan

leerlingen en studenten met een visuele beperking in het speciaal en regulier onderwijs. Op EduVIP staat ook informatie over het gebruik van 2,5D en 3D in het onderwijs. Je kunt er zelfs modellen bestellen. Die worden dan door leerlingen van Bartiméus gemaakt. EduVIP is een initiatief van Bartiméus en Visio.

## Snel aan de slag? lees dit eerst!

Voordat je met de 3D printer of de laserprinter aan de slag gaat is het handig om nog even de volgende mogelijkheden te overwegen.

### Bestaande materialen bij je lesmethode

Een eerste stap is nagaan of je 2,5D- of 3D-model niet kan worden geleverd door Dedicon. Dedicon is gespecialiseerd in het toegankelijk maken van schoolmethodes voor leerlingen met een visuele beperking. Als jouw les bij een bestaande methode hoort is er een grote kans dat Dedicon er al tactiele materialen bij heeft gemaakt. Die kunnen worden besteld via [educatief.dedicon.nl](http://educatief.dedicon.nl).



*In de serie op de tast van Dedicon zijn veel onderwerpen beschikbaar zoals kerst, pasen, puzzels. <https://educatief.dedicon.nl/op-de-tast-puzzels>.*

Dedicon heeft speciale tactiele materialen gemaakt die ook los van een lesmethode kunnen worden gebruikt. In de serie 'Op de tast' zijn tactiele tekeningen op thema gebundeld. Deze tekeningen horen niet bij een lesmethode, maar zijn zelfstandig te gebruiken in de klas of thuis. Thema's - er zijn er inmiddels meer dan veertig - zijn onder andere bomen, vulkanen, letters en cijfers en kaarten. In de themabundel over bomen zijn bijvoorbeeld verschillende bomen te voelen inclusief de vorm van de bladeren en meer informatie over de vruchten. Op pagina 14 hebben we al even de speciale reeks in deze serie besproken om leerlingen te helpen bij het begrijpen van 3D naar 2D in tekeningen.

Behalve een basisuitleg voor leerlingen bevat de serie ook boekjes met tactiele tekeningen die helpen bij het begrijpen van ingewikkelde zaken zoals schaduw, perspectief etc.

Bij elke band hoort een duidelijke omschrijving voor de leerlingen zodat ze weten wat er te voelen is. Zie voor meer informatie over Dedicon pagina 40.

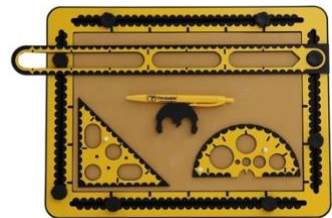
## Sketchpad en TactiPad

Bieden de twee Dedicon-opties in jouw geval nog geen oplossing, dan kun je zelf ook heel snel tactiele tekeningen maken met de Sketchpad of de TactiPad. Dit zijn misschien wel de meest eenvoudige tools op dit gebied. Je legt een vel technisch tekenpapier op een laagje rubber van 1 mm dikte. Als je daar vervolgens met een pen op schrijft, komt het papier door de druk van het rubber op die plek omhoog en is die lijn of punt dus voelbaar voor leerlingen met een visuele beperking. Het is een van de snelste manieren om ad hoc een simpele tekening, doorsnede of plattegrond te tekenen. Sketchpad is via [easytactilegraphics.com](http://easytactilegraphics.com) online te vinden. De TactiPad via [thinkable.nl](http://thinkable.nl). Een goedkoop alternatief is Sensational BlackBoard van [sensationalbooks.com](http://sensationalbooks.com).

Wil je geen geld besteden, dan kun je met gewoon papier en een pen ook achterop een oude muismat tekenen. Dat geeft hetzelfde effect als de sketchpad.

## Andere snelle alternatieven

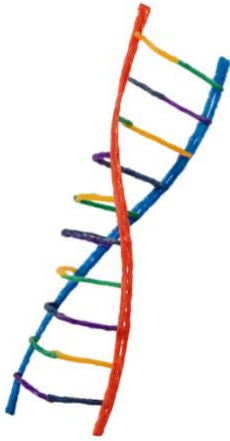
Als alternatief kun je ook werken met meer analoge oplossingen zoals LEGO, klei en Wikki Stix. Ook met karton met punaises en draad kun je relatief snel iets uitleggen. Maar deze middelen zijn lang niet altijd geschikt voor het object of concept dat je behandelt, of ze vereisen nogal wat handigheid. Je kunt de leerling



*Tactipad ondersteunt de leerling bij het maken en meten van meer technische tekeningen. Zie toelichting hiernaast.*



*Sketchpad voor het maken van een snelle schets of tekening.*



*Wikki Stix zijn ijzerdraadjes met stof eromheen die je in allerlei vormen kunt buigen.*

zelf natuurlijk ook eens vragen om met lego of met de Sketchpad aan te geven hoe hij of zij denkt dat een object eruitziet. Ook dit helpt bij het vormen van een mentale voorstelling. Bedenk hierbij wel dat veel blinde leerlingen nog nooit hebben getekend en heel vaak ook problemen hebben om later hun schetsen terug te 'lezen'.



*LEGO Master Takamichi Irie maakt modellen van lego.*

## 2,5D- of 3D-model



*LEGO braille bricks. Handig om snel een toelichting te maken bij een LEGO model.*

Voldoet geen van bovengenoemde opties in jouw situatie? In dat geval moet je bepalen wat voor soort model voor jouw les het beste is: een 2,5D-model, bijvoorbeeld een tactiele tekening, of een 3D-model? De eerste stap is dan: in beeld brengen welke informatie je met het model wilt geven.

Het volgende hoofdstuk behandelt hoe je al die informatie kunt inventariseren. Op basis daarvan kun je dan kiezen voor een 2,5D- of een 3D-model.

## Leeswijzer hoofdstuk 2 - 8

Om tot een haptisch leermiddel te komen, moet je globaal vier stappen zetten:

- De informatiebehoefte vaststellen (hoofdstuk 2)
- Kiezen voor 2,5D of 3D (hoofdstuk 3)
- Een bestaand model kiezen of nieuw (laten) ontwerpen
- Een model (laten) produceren

Hoofdstuk 2 helpt je om de informatiebehoefte en je lesdoelen vast te stellen voor de leerling en de les waarvoor je een haptisch model wilt gebruiken.

Hoofdstuk 3 helpt je om te besluiten of je voor jouw lesdoelen beter een 2,5D- dan wel een 3D-model kunt kiezen.

Hoofdstuk 4 helpt je bepalen welke type 2,5D-model je nodig hebt, waaraan het model moet voldoen en hoe je dat kunt maken.

Hoofdstuk 5 beschrijft waaraan een 3D-model moet voldoen en geeft een overzicht van de databases met bestaande ontwerpen die je kunt downloaden.

Hoofdstuk 6 beschrijft hoe je een nieuw 3D-model kunt (laten) ontwerpen.

Hoofdstuk 7 leert je met welke technieken en welke materialen je de modellen daadwerkelijk kunt maken.

Hoofdstuk 8 laat zien hoe je audio en interactiviteit aan je model kunt toevoegen.

Je hoeft dus niet altijd elke stap te doorlopen om tot het gewenste eindresultaat te komen. Als je op basis van hoofdstuk 2 en 3 in jouw situatie kiest voor 2,5D, kun je hoofdstuk 5 en 6 overslaan. En als je voor 3D kiest, kun je hoofdstuk 4 overslaan.





## HOOFDSTUK 2.

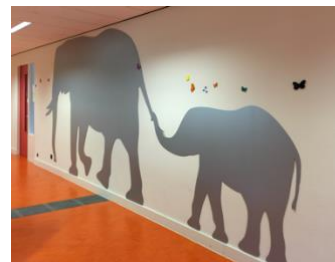
# VERZAMEL INFORMATIE VOOR JE MODEL

Het allereerste wat je moet doen als je een haptisch model wilt maken, is vaststellen welke informatie je met het model wilt overdragen. Omdat je niet alles kwijt kunt in een model moet je bewust kiezen voor wat belangrijk is. Een hulpmiddel is het 'formulier informatiebehoefte'. Daarin leg je vast wat de leerling uit het model moet halen. Die inventarisatie helpt jou bij het zoeken of het (laten) ontwerpen van een model.

### Ontwerpproces met design thinking

Om tot een goed haptisch ontwerp te komen zijn vaak meerdere tussenstappen belangrijk. Het haptisch ontwerp dat je wilt gaan maken dient een didactisch doel. Daarbij is het niet altijd functioneel is om visuele objecten één op één om te zetten in 3d-exemplaren. Bijvoorbeeld, de toegevoegde waarde van het aanbieden van een 3d-geprinte Domtoren is niet groot. Wel voegt het wat toe om inzicht te krijgen in de grootte van de Dom. Bijvoorbeeld in verhouding tot een mens? Ook voor inzicht in de specifieke bouwstijl van de Dom voegt een tactiel model iets toe. In dat geval kan het uitvergrooten van enkele stijlelementen een mooie alternatief zijn voor een replica op schaal.

Een heel bruikbare methodiek om het ontwerpproces efficiënt te laten verlopen is design thinking, waarbij juist ook het uitproberen en testen centraal staat. De volgorde van de stappen van design thinking



*In de gang van het basisonderwijs bij Bartiméus zijn heel veel dieren te voelen op de wanden. Doel is dat blinde leerlingen kunnen voelen hoe groot dieren in het echt zijn. Een 3D olifant is dan niet echt handig. Alle dieren zijn dus 2,5D en op ware 'platte grootte' gemaakt van plexiglas. In het plafond zitten sensoren. Als je dicht langs de muur loopt hoor je de dieren.*

helpt om niet te snel tot oplossingen te komen en geeft ruimte voor nieuwe inzichten die snel en eenvoudig kunnen worden getest, wat ook weer nieuwe inzichten oplevert.

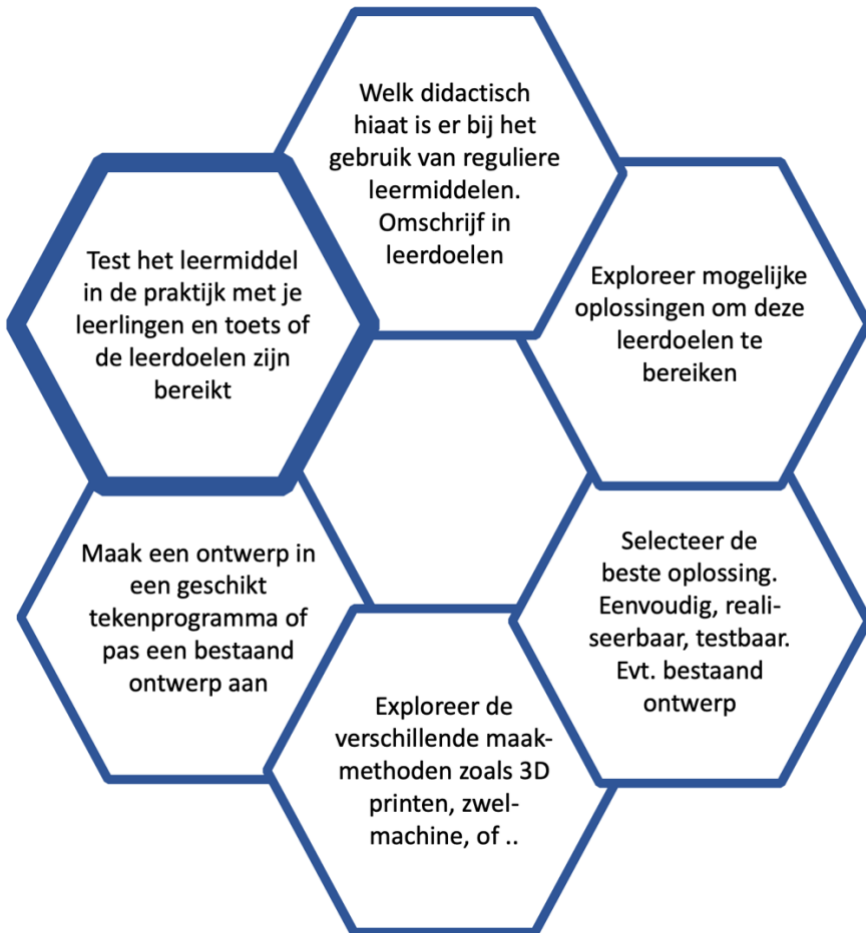
Twee vuistregels:

1. Een haptisch leermiddel kan maar een beperkte hoeveelheid informatie bevatten. Je moet dus keuzes maken. Die keuzes moeten zijn afgestemd op de lesstof en de leerdoelen die je met het model wilt behalen. Te veel details zorgen voor verwarring.
2. De combinatie van (gesproken) tekst en een tactiel 2,5D- of 3D-model geeft het meeste structuur in het leerproces.

Leg daarom het primaire doel van je model vast in het 'formulier informatiebehoefte' dat je kunt vinden aan het einde van dit hoofdstuk. Je kunt het invullen zelfstandig doen maar ook samen met je leerling(en).

Dit hoofdstuk vormt daarmee de basis voor alle volgende stappen: pas als je weet wat je model moet laten zien of doen, kun je kiezen voor een type model: 2,5D of 3D. En pas daarna kun je een bestaand model gaan selecteren of een nieuw model ontwerpen.

Ook als je besluit om het ontwerp uit te besteden aan een professionele ontwerper, is het vaststellen van de informatiebehoefte een cruciale stap. Want hoe meer je de ontwerper meegeeft, hoe beter hij of zij weet wat er in het model moet worden opgenomen. Design thinking kan je daarbij helpen. De figuur hiernaast laat zien hoe je design thinking kunt toepassen bij het gebruik van dit handboek.



*Figuur: Schematische weergave van het ontwerpproces bij het toepassen van design thinking. Het design thinking ontwerpproces en de beschrijvingen hieronder zijn voor dit boek aangepast door Claartje Aarts.*

De stappen in het ontwerpproces worden hieronder steeds kort toegelicht. Je kunt ze meerdere keren doorlopen om het beste model te krijgen voor jouw leerling in jouw les.

- **Stap 1.** (Hoofdstuk 2) Wat is het didactische hiaat dat je met een model wilt invullen? Is er iets wat ontbreekt als je erover vertelt in je les en in de klas zit een leerling die kan niet zien? Kijk in deze stap specifiek naar de leerdoelen die je wilt bereiken en wat er (visueel en begripsmatig) mist voor de blinde leerling. Dat hiaat wil je dan invullen met



*Stap 1.*



Stap 2.



Stap 3.



Stap 4.



Stap 5.

een model. Aan het einde van deze stap vul je het formulier informatiebehoefte in.

- **Stap 2.** Bedenk zoveel mogelijk oplossingen om de leerdoelen te bereiken. In deze stap gaat het erom zo breed mogelijk te zoeken naar oplossingen. Dit zijn nog concepten, geen direct realiseerbare oplossingen. Bij design thinking is het belangrijk om snel en veel concepten op papier te krijgen, bijvoorbeeld om binnen 3 minuten 8 post-its te vullen. Alles wat je te binnen schiet is goed. Probeer dit ook eens samen met je collega's of met de leerlingen zelf.
- **Stap 3.** (Hoofdstuk 3) Selecteer de beste oplossing uit stap 2. Kijk daarbij vooral ook of de gekozen oplossing eenvoudig, realiseerbaar en testbaar is. In hoofdstuk 3 helpt de beslisboom je dan bij het kiezen voor een 2,5D- of een 3D oplossing. Let op, er zijn altijd meerdere oplossingen om je leerdoel te bereiken. Houd dus ook rekening met de voor jou beschikbare maak-capaciteiten, je leerdoelen, de vaardigheden van je leerling en natuurlijk met budget en tijd.
- **Stap 4.** Bedenk de beste maak-methode. Daarbij is het ook belangrijk om je af te vragen of je het zelf wilt doen of dat je anderen kunt vragen om te helpen. Heb je bijvoorbeeld voldoende tijd en ervaring met het maken of aanpassen van modellen? Kies via de beslisboom in hoofdstuk 3 of je een 2,5D- of een 3D-model gaat maken. Houd daarbij weer rekening met de beschikbare maak-capaciteiten, budget en tijd.
- **Stap 5.** (Hoofdstuk 4-7) Zoek een bestaand ontwerp, maak zelf een ontwerp in een geschikt tekenprogramma of pas een bestaand ontwerp aan.

- **Stap 6.** Test je ontwerp met de leerling. Gebruik de uitkomsten van die test om je model verder te verbeteren. Als je model goed voldoet, vergeet dat dan niet te delen met anderen, bijvoorbeeld via de ambulante begeleiders van Bartiméus en Visio.

Op de website van Accessibility staat een voorbeeld waarin dit model verder wordt uitgewerkt voor een scheikunde-onderwerp.



*Stap 6.*

## Formulier informatiebehoefte

Maak een kopie van het formulier informatiebehoefte op pagina 28 en 29. Vul het formulier vervolgens in voor het model dat je wilt gaan ontwerpen en gebruiken in je les. Het invulformulier is in eerste instantie bedoeld als basis voor jezelf. Als je het maken van het model wilt uitbesteden aan een ontwerper, vergeet dan niet ook contactgegevens in het formulier te zetten zodat de ontwerper bij vragen contact op kan nemen. Op de hierna volgende bladzijden vind je meer informatie over de verschillende onderdelen van het formulier.

## Formulier informatiebehoefte

In deze stap bepaal je welke informatie je wilt overbrengen met je model en leg je de basis voor jezelf of een ontwerper om ermee aan de slag te gaan. Hoe duidelijker de informatie is die je geeft, hoe meer je er aan hebt in de volgende hoofdstukken.

### Leerdoelen

Welke leerdoelen heb je met het model in de context van de les of van het onderwerp.

1.

2.

3.



### Verbale beschrijving

Als je het model zou beschrijven in de context van de leerdoelen, welke informatie vertel je dan?



Bijlage afbeeldingen: **JA/NEE**

NB: Uitleg van dit formulier kun je vinden op de volgende pagina's.

Naam:

Vak:

Niveau:

Methode/les:

Type model:

Datum:

### Visuele informatie

Welke visuele of functionele informatie moet vertaald worden naar haptische informatie? Gebruik eventueel een apart blad voor afbeeldingen om de informatie met pijlen aan te geven, te benoemen en te nummeren.



### Beschrijving tactiele elementen

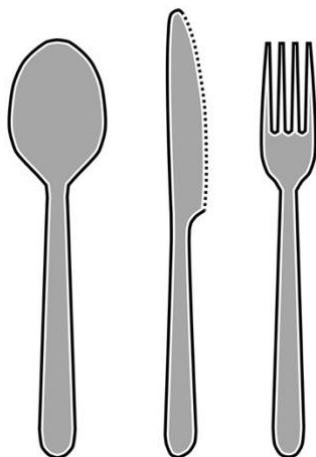
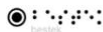
Hoe kan volgens jou de informatie die je hierboven hebt aangewezen en genummerd het beste voelbaar worden gemaakt?



### Kies een haptisch model

Gebruik de beslisboom in het volgende hoofdstuk om op grond van dit formulier een type haptisch model te kiezen. Vul dit dan bovenaan in.

## Uitleg Formulier informatiebehoefte



*Je kunt een lepel, mes en vork voelbaar maken via een tactiele tekening maar ook via een puzzel zoals hieronder. Afhankelijk van je leerdoelen kun je natuurlijk ook een echte lepel, mes en vork gebruiken. Dat is in de meeste gevallen sneller dan printen of tekenen*

*(Tekening: tactieletekeningen.nl).*



*Bartiméus puzzels voor mensen die blind zijn. Ze heten Buzzels en zijn te bestellen via [Eduvip.nl](http://Eduvip.nl).*

### Leerdoelen

Hier geef je aan wat voor jouw les de belangrijkste leerdoelen zijn voor dit model. Wat zijn de drie belangrijkste dingen die een leerling uit het model zou moeten halen? Soms kan het handig zijn om een hoofddoel en twee subdoelen te bepalen.

### Verbale beschrijving

Beschrijf hier wat er ontbreekt als je alleen verbaal en tekstueel uitleg geeft over het onderwerp. Dat hiaat is precies de informatie die in het model moet worden overgebracht. Bedenk wat je misschien nog meer met het model wilt vertellen zodat de leerlingen de leerdoelen bereiken. Houd het simpel.

### Visuele informatie

Zoek afbeeldingen die passen bij het model dat je wilt maken. Geef in die afbeeldingen maximaal tien elementen aan die in het model terug moeten komen als haptische informatie. Deze informatie kan jou, maar ook een ontwerper helpen om beter op een rij te krijgen wat er verwacht en bedoeld wordt. Kruis onderaan 'JA' aan als je afbeeldingen toevoegt.

### Beschrijving tactiele elementen

Beschrijf van ieder van de hierboven genoemde elementen in je model wat de leerling straks moet voelen (beschrijf maximaal 5 elementen).

### Kies een type haptisch model

Dit kun je invullen na het doorlopen van de beslisboom op pagina 35. Je kunt ook met de leerling(en) zelf overlagen of er een voorkeur is.

Het volgende hoofdstuk helpt je om het beste type haptische model voor jouw situatie te kiezen.



## HOOFDSTUK 3.

### KIES HET TYPE MODEL

Nu je in hoofdstuk 2 de informatiebehoefte hebt geïnventariseerd, is het tijd om te bepalen welk soort haptisch model het meest geschikt is voor jouw situatie, 2,5D of 3D. Met of zonder interactie, etc. Welke informatie wil je overbrengen, hoe snel moet het model klaar zijn en welke middelen (apparatuur/geld) heb je ter beschikking?

3D-printers zijn tegenwoordig geen zeldzaamheid meer. Het lijkt daarom aantrekkelijk om alles maar als 3D-model te printen. Maar dat is niet altijd de beste oplossing. Om uit te leggen hoe bijvoorbeeld een pangolin eruit ziet, kun je misschien het beste een 3D-model gebruiken. Als je de ontwikkeling van een kikkervisje wilt laten zien kun je misschien beter een 2,5D model gebruiken.

Elk type model, zowel 2,5D als 3D, heeft voor- en nadelen. De tabel op pagina 32 geeft een overzicht van de sterke en zwakte punten. Maar het is natuurlijk ook belangrijk of een leerling al ervaring heeft met een van beide typen haptische modellen.

Behalve met een gesproken toelichting kun je een model ook uitbreiden met interactieve elementen. Daarover lees je meer in hoofdstuk 8.



*Een pangolin kun je zowel in 2,5D als in 3D weergeven. Hier een 3D-geprint model. Als het model is geprint, dan kun je hem direct oprollen zoals op de foto (Bron: amaochan.work).*

### 2,5D - 3D-modellen, voor en nadelen

Op de volgende pagina's vind je een overzicht van de belangrijkste voor- en nadelen van 2,5D- en 3D-modellen. Goed om te lezen voordat je naar de beslisboom op pagina 35 gaat om te beslissen welk type haptisch model je gaat gebruiken.

## 2,5D-modellen

## 3D-modellen

<b>Korte beschrijving</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Model met platte basis- of bodem- plaat met daarop één of meer reliëflagen die je met je vingers kunt voelen.</li><li>• Alleen lijnen, stippen en vlakvullingen (bijv. stippeltjespatroon).</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Volledig schaalmodel van object.</li><li>• Kan zowel groter als kleiner worden geschaald.</li><li>• Afmeting en materiaal is afhankelijk van de gebruikte technieken.</li></ul>
<b>Toepassing</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Kaarten, grafieken, plattegronden, illustraties, stroomdiagrammen, organigrammen, technische, anatomische en andere tekeningen.</li><li>• Ook 3D onderwerpen kun je in 2,5D weergeven maar de leerling moet dan de principes van ‘technisch tekenen’ snappen: boven-, zij- en vooraanzicht om zich een mentale representatie te kunnen vormen. Dat vereist oefening. Zie pagina 14.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Objecten en concepten weergeven die dichtbij, veraf of abstract zijn en die je bij voorkeur als geheel wilt weergeven.</li><li>• Zowel 2,5D als 3D-objecten hebben gesproken uitleg nodig.</li></ul>
<b>Voordelen</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Snel te maken, vaak binnen een paar minuten als je bijvoorbeeld een sketchpad gebruikt</li><li>• Gemakkelijk op te bergen, te vervoeren en naderhand als naslagwerk te gebruiken.</li><li>• Relatief makkelijk zelf te maken, met de hand of een eenvoudig tekenprogramma op de computer.</li><li>• Als je zelf tekent kun je samen met een leerling een tekening stap voor stap opbouwen, bijv. een complex diagram. Dat werkt vaak sneller en beter dan dat je direct de hele complexe ‘eindsituatie’ aan de leerling voorlegt. Zwelpapier kun je meerdere keren onder de zwel-</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Het volledige object is beschikbaar in plaats van alleen een voor-, achter-, boven-, onder- of zijaanzicht.</li><li>• Object of concept is door leerling vaak gemakkelijker te herkennen en te begrijpen dan bij een 2,5D-model wanneer de leerling onge oefend is in het lezen daarvan.</li><li>• Je kunt een complex object soms in één model weergeven, waar je bij 2,5D-modellen verschillende modellen voor nodig hebt om het duidelijk te maken.</li></ul>

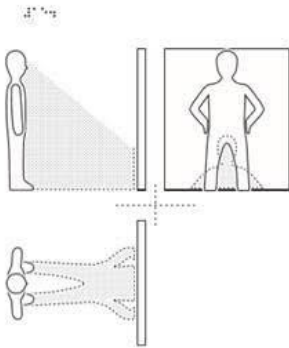
<p>machine leggen en steeds iets nieuws toevoegen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Goed te combineren met tekst in braille.</li> </ul>	
<p><b>Nadelen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geeft behalve een dunne laag reliëf geen 3D informatie tenzij de leerling de principes van ‘technisch tekenen’ (orthogonale projectie) kent.</li> <li>• Complexe objecten of concepten (bijv. automotor) vereisen vergaande schematisering of gebruik van meerdere tactiele tekeningen. De werking van de benzine-motor is bijvoorbeeld prima uit te leggen met een serie tactiele tekeningen. Het vraagt dan wel om vergaande versimpeling, schematische weergave en het weglaten van details zodat het tactiel voor de leerlingen begrijpelijk is.</li> <li>• Er is vaak 1-op-1 begeleiding nodig.</li> <li>• Leerling moet eerst training hebben gehad om tactiele tekening te begrijpen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voorbereiding kost relatief veel tijd.</li> <li>• Printen duurt tamelijk lang; denk aan enkele uren per model.</li> <li>• Soms is het lastig om de schaal ten opzichte van de werkelijkheid aan te geven.</li> <li>• Een complex 3D-model biedt soms minder ‘structuur’ dan een tekening: bijvoorbeeld de plattegrond van een (aantal) gebouw(en).</li> </ul>
<p><b>Hoe te maken</b></p> <p>Zwelpapier; 3Doodler; thermoform; lasersnijder; cricut-maker.</p>	<p>FDM-, SLS- of SLA-printer; thermoform.</p>

*Tabel: Overzicht van de voor- en nadelen van 2,5D- en 3D-modellen (Bron: Rieken, Doran, Sui, e.a.). De begrippen in de laatste rij ('Hoe maken') worden uitgebreider uitgelegd in hoofdstuk 7.*

**Opmerking bij tabel:** Zoals aangegeven op pagina 11 gebruikt Dedicon niet de term 2,5D-modellen maar spreken zij over modellen met één of meerdere lagen reliëf. Dat zijn dan modellen met een platte basislaag met daarop één of meer reliëflagen die je met je vingers kunt voelen. In dit boek worden modellen met één of meerdere reliëflagen toch 2,5D-modellen genoemd om het onderscheid te maken met 3D-modellen. Je kunt 2,5D-modellen (met één of meerdere reliëflagen) ook met de 3D-printer printen.



*Hoe leg je uit wat schaduw is? Dedicon heeft daaraan een boek gewijd in de serie 'op de tast'. Hieronder is te zien hoe dat er uitziet in 2,5D (éénlaags reliëf).*



Zoals de tabel op de vorige pagina's laat zien kun je voor eenvoudige objecten, kaarten en grafieken het beste een 2,5D-model/tekening gebruiken. Bij meer complexe objecten kom je eerder uit op een 3D-model.

Hou wel in gedachten hoeveel tijd, kennis, ervaring en capaciteit je hebt voor het maken van een 2,5D of 3D-model. Als je weinig tijd hebt, is een 2,5D-model in veel gevallen handiger. In het volgende hoofdstuk kun je daarvoor tips en trucs vinden.

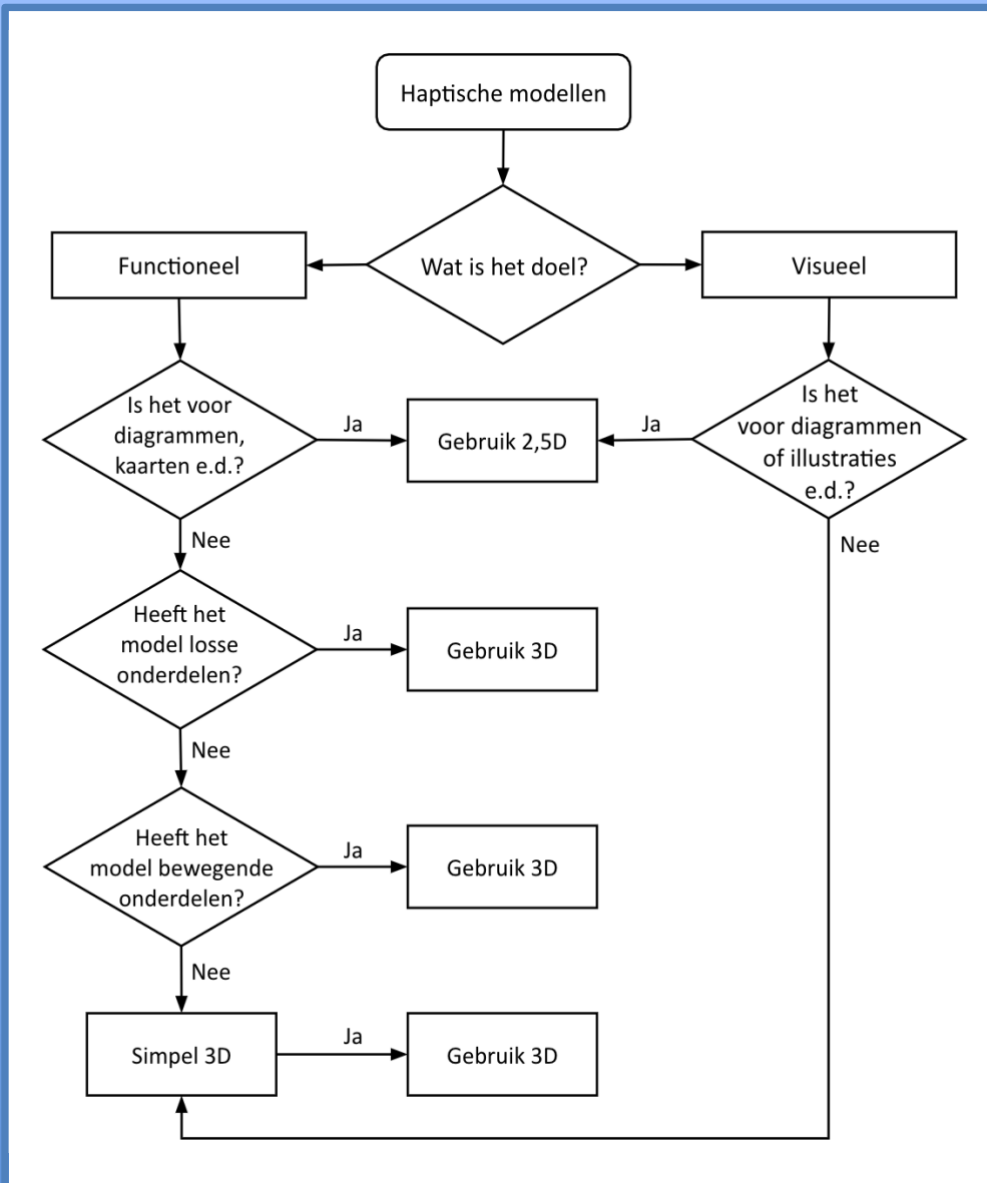
In sommige gevallen kan een combinatie van tekeningen en een of meer 3D-modellen uitkomst bieden. Zie bijvoorbeeld de tekeningenband 'Notre Dame' met 3D-model die verkrijgbaar is bij Bibliotheekservice Passend lezen (BPL), of de delen 'Schaduw' en 'Van 3D naar 2D' uit de serie 'Op de tast' van Dedicon. Deze laatste titel helpt leerlingen om het concept 'tekening' en begrippen als vooraanzicht, zijaanzicht en bovenaanzicht te begrijpen en te vertalen van 3D naar 2D (zie voor meer informatie pagina 14).

Kijk bijvoorbeeld ook eens naar het voorbeeld hiernaast waarbij een poging wordt gedaan om leerlingen die blind zijn uit te leggen wat schaduw is en hoe je dat op een 2,5D-tekening kunt herkennen.

## Beslisboom

De beslisboom leidt je via vragen en ja/nee-antwoorden snel naar het type model dat het beste aan jouw doelen beantwoordt. Wil je de leerling laten voelen hoe iets eruitziet? Dan kom je rechts in het diagram terecht bij een 2,5D-tactiele tekening of bij een eenvoudig 3D-model. Heeft de leerling een overzicht nodig van de omgeving of inzicht in de verbanden tussen verschillende gegevens? Dan kom je uit bij 2,5D-modellen. Wil je dat de leerling zelf kan ervaren hoe iets werkt? Dan heb je een interactief 3D-

model nodig. In sommige gevallen kun je ook een combinatie van 2,5D- en 3D proberen.



*Beslisboom voor de keuze van het type haptisch model.*

## Volgende stappen

Kies je op basis van de beslisboom voor een 2,5D-model tactiele tekening? Ga dan naar hoofdstuk 4. Kies je voor een 3D-model, ga dan door naar hoofdstuk 5.

## HOOFDSTUK 4.

### 2,5D-MODELLEN

**2,5D-modellen zijn uitermate geschikt om leerlingen eenvoudige objecten en concepten te laten begrijpen. Het voordeel van 2,5D-model is dat je ze vaak snel zelf kunt maken en dat de leerling ze makkelijk kan bewaren om later als naslagwerk te gebruiken.**

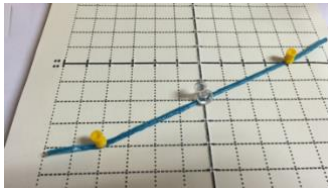
#### **Welke objecten en concepten?**

2,5D-modellen helpen leerlingen met een visuele beperking bij het ontdekken van relatief eenvoudige objecten en processen die voor ziende leerlingen vaak in de vorm van een platte tekening (2D) of een strip worden weergegeven. Het gaat bijvoorbeeld om reliëftekeningen waarbij de omtrek wordt weergegeven of de grootte ten opzichte van andere objecten, bijvoorbeeld:

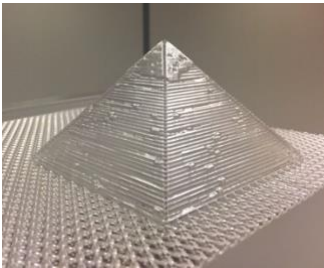
- dieren: vleermuis, mug, olifant, dolfijn
- geografische elementen: bergen, wolken en eilanden
- onderdelen van het menselijk lichaam: oor, zenuwstelsel, oog, skelet
- natuurkundige verschijnselen: watergolven, geluidsgolven, zonnestrallen
- bouwwerken: windmolen, elektriciteitscentrale, huis, flat.

NB: Er zijn veel tekeningen beschikbaar via de website [tactieletekeningen.nl](http://tactieletekeningen.nl)

Je hebt het formulier informatiebehoefte ingevuld en daarna via de beslisboom gekozen voor een 2,5D-model. Maar hoe ga je nu verder? Er zijn verschillende opties: zelf tekenen op Sketchpad of TactiPad, zelf een zwelpapiertekening maken, een bestaand ontwerp op internet zoeken en eventueel daarna aanpassen, of zelf helemaal digitaal ontwerpen op pc of tablet. Alle opties komen in dit hoofdstuk aan bod. Je vindt hier ook ondersteuning in de vorm van een aantal richtlijnen die je kunt gebruiken als je zelf aan de slag gaat, plus



*Wikki Stix of draad en punaises zijn snel te gebruiken in de les.*



*Thermoform piramide. Een vel plastic is over het 3D-geprinte model heen gesmolten en vacuüm gezogen. Dit model kan eventueel weer met gips of gel worden gevuld om een nieuw model te maken. In dit geval een 3D-model van een piramide.*

beknopte informatie over technieken en materialen voor 2,5D-modellen.

## **Tactiele tekeningen toen en nu**

Tactiele tekeningen werden ruim honderd jaar geleden al gebruikt op de eerste 'braillescholen'. Het zijn afbeeldingen met ondiep reliëf (bas-reliëfs), meestal gemaakt van hout en spijkertjes met ronde koppen. Een vergelijkbare techniek wordt tegenwoordig nog wel gebruikt, met punaises of spijkertjes in karton of zachtboard. En in wiskundelessen vind je nog steeds het gaatjesbord waar leerlingen plugjes in kunnen steken en met een draad tekeningen maken.

In het midden van de vorige eeuw schakelden blindenscholen steeds vaker over op thermoform: een reproductietechniek waarbij ze eerst met diverse materialen een mal maakten. Door deze mallen met een soort plastic te overtrekken, te verhitten en vacuüm te zuigen, krijg je dan een tactiele afdruk. Je kunt daarna dan gemakkelijk meer bijdrukken. Maar het is veel werk en de modellen kosten veel ruimte.

Thermoform is niet alleen geschikt voor kaarten en plattegronden, maar bijvoorbeeld ook voor tekeningen van dieren, het menselijk lichaam en andere onderwerpen.

De afgelopen jaren worden vooral zogenaamde zweltekeningen gebruikt. Dat zijn tekeningen op een vel papier met een dun chemisch laagje dat ervoor zorgt dat zwarte lijnen bij verhitting opzwellen. Zweltekeningen hebben maar een beperkt reliëf en kunnen minder schakeringen in



oppervlaktestructuur weergeven dan thermoform tekeningen. Maar ze nemen minder ruimte in, zijn eenvoudiger te maken en aan te passen. In de dagelijkse praktijk blijkt zwelpapier daarom meestal handiger dan thermoform.

## Elementen om op te letten

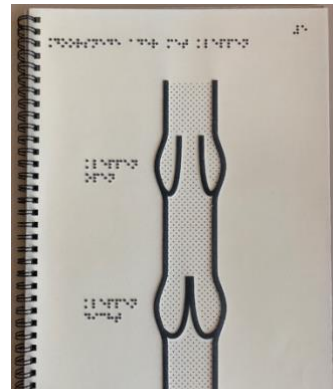
2,5D-modellen bestaan uit drie elementen: lijnen, gevulde vlakken en lege vlakken (bijvoorbeeld bij zwelpapier het onbewerkte papier). De lijnen geven de omtrekken van een object aan, de vlakken geven aan wat zich binnen de omtrek bevindt. Het onbewerkte papier geeft aan wat er niet bij het object hoort.

Als zwelpapier wordt gebruikt, dan zijn de lijnen zwart; de vlakken hebben arcering of zijn grijs. Het zwart komt bij het verhitten van het zwelpapier meer omhoog dan het grijs. Zo ontstaat er een tekening met twee niveaus. Door het reliëf te voelen en naar een gesproken toelichting te luisteren, verzamelt de leerling informatie om het model te snappen.

2,5D-tactiele tekeningen bevatten behalve lijnen en vlakken vaak ook elementen als braille-tekst, geschreven tekst voor zienden (liefst in kleur of lichtgrijs, zodat het in de zwelpapiermachine niet omhoog komt) en labels.

## Bestaand ontwerp kiezen

Zelf tactiele tekeningen maken op zwelpapier heeft het voordeel dat je ad hoc kunt inspelen op de specifieke leerbehoefte in jouw klas. Maar er zijn ook andere opties. Dedicon levert tactiele tekeningen bij de meest gangbare lesmethodes en kan in sommige gevallen ook



*Zwelpapier 'band' zoals die voor blinde leerlingen bij een methode wordt geleverd (Dedicon).*

maatoplossingen leveren. Zie voor meer informatie het kader 'Dedicon' hieronder.

Verder zijn er op internet kant-en-klare ontwerpen te vinden die je kunt downloaden en uitprinten – ook handig. Het aantal beschikbare ontwerpen voor mensen met een visuele beperking is nog niet heel groot, maar het groeit gestaag. Hieronder vind je een beknopte beschrijving van de belangrijkste websites met 2,5D-modellen.



## Dedicon

Dedicon ([www.dedicon.nl](http://www.dedicon.nl)) is in Nederland wel de belangrijkste organisatie op het gebied van het toegankelijk maken van lees- en leermaterialen zoals braille, vergrotingen en tactiele tekeningen. Bij Dedicon kun je terecht voor:

- Tactiele tekeningen bij schoolboeken. Vooral voor de exacte vakken in basis- en voortgezet onderwijs heeft Dedicon veel materiaal. Zorg dat je altijd de meest recente versie van de tactiele tekeningen hebt (te herkennen aan grijze letters bij het braille). Kijk op [educatief.dedicon.nl](http://educatief.dedicon.nl).
- De speciale boekenserie 'Op de tast' die je los van een schoolboek kunt gebruiken. Aan de hand van speciaal ontworpen tactiele tekeningen worden concepten uitgelegd. Soms zijn er 3D-modellen toegevoegd; die kunnen apart besteld worden.
- Gesproken uitleg bij 'Op de tast-boeken'. Zij spreken dan de tekst in zoals die beschikbaar is in braille en Edu-tekst.
- Een 'productieverzoek' voor 'eigen tekst en tekeningen' (3D kan helaas nog niet). Als docent kun je een schets of voorbeeld sturen. Vergeet

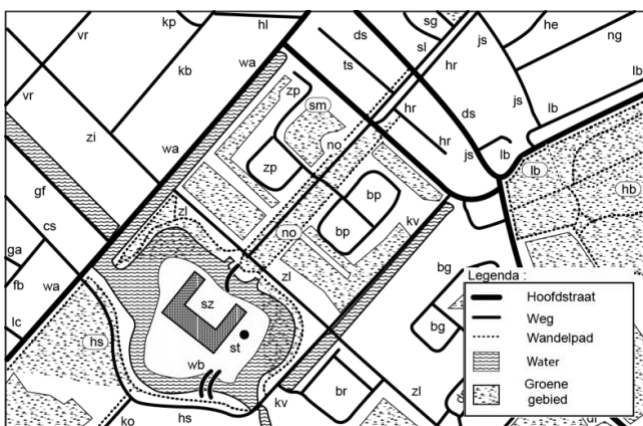
niet ook ingevulde Formulier informatie-behoefte op pagina 22 en 23 mee op te sturen. Op basis hiervan kunnen tekenaars en didactisch medewerkers van Dedicon een goed leesbare tactiele tekening maken. Ook kunnen teksten worden omgezet naar braille, Edu-tekst of bijvoorbeeld ‘gesproken boeken’.

Op de website [goedekennis.dedicon.nl](http://goedekennis.dedicon.nl) is ook veel informatie te vinden over tactiele tekeningen en 3D-modellen voor blinden en slechtzienden.



3D-puzzel van de 12 provincies, te bestellen bij Dedicon.

## Tactiele kaarten op maat bestellen



*Zeist slot en broeder en zusterplein verkrijgbaar als zwelpapier kaart bij Passend Lezen. Je kunt daar op maat een kaart bestellen als je die nodig hebt. Daarbij kun je, onder anderen kiezen uit topografische kaarten, stadsplattegronden, terreinplattegronden, bouwkundige plattegronden of op maat gemaakte routes. Passend Lezen kan de kaart leveren als pvc hardfolie, twin vision (zodat ze ook voor zienden leesbaar zijn) en zwelpapier.*

Ga je verhuizen of ga je gewoon even op vakantie, dan kun je – als je blind bent – bij Passend Lezen kosteloos een tactiele landkaart, situatietekening of (stads) plattegrond bestellen ([www.passendlezen.nl](http://www.passendlezen.nl)). Bijvoorbeeld met de route van de bushalte naar de school.

Op deze kaarten zijn alle elementen voelbaar. De levertijd van een standaard kaart is ongeveer twee

weken maar in geval van heel bijzonder kaarten is dat langer. De leerling moet deze materialen zelf bestellen.

## Handige websites met 2,5D modellen

### Tactiele tekeningen | [www.tactieletekeningen.nl](http://www.tactieletekeningen.nl)

- + Direct bruikbaar in de les (NL)
- + Handige indeling op thema
- + Tekeningen zijn uitgetest met blinde leerlingen
- + Goede informatie en handleiding
- Niet veel tekeningen
- Alleen tactiele tekeningen voor zwelpapier, geen 3D-modellen



Deze website is het resultaat van het project '(Ver)ken je wereld' van Bartiméus. Hier vind je ruim 150 tactiele tekeningen die zijn getest voor het basis- en voortgezet onderwijs voor leerlingen met een (ernstige) visuele beperking. De afbeeldingen zijn ingedeeld op thema, zodat je snel kunt zien of het onderwerp van jouw les erbij zit.

### BTactile | [www.btactile.com](http://www.btactile.com)

- + Veel modellen speciaal voor blinden en slechtzienden
- + Zoekmachine werkt snel
- + Goede informatie en handleiding
- Lastig zoeken
- Tekeningen voldoen niet altijd aan de richtlijnen



Op deze Engelstalige website kun je 2,5D- en 3D modellen downloaden voor zwelpapier en 3D-printer. Met ongeveer 1.500 tekeningen, 500 3D-modellen en 5.600 ontwerpen voor zwelpapier is dit een goede plek om te zoeken. De website levert ook uitgebreide instructie voor het printen.

### Touch Mapper | [www.touch-mapper.org/nl](http://www.touch-mapper.org/nl)

- + Superhandig als je snel een kaart van de omgeving wilt
- + Ook te gebruiken als je zelf een visuele beperking hebt
- + De website heeft een NL versie
- + Resultaat getest met de doelgroep
- Zwelpapier heeft teveel details
- Tekeningen voldoen niet altijd aan de richtlijnen



Wil je zelf snel een tactiele 2,5D-plattegrond maken en printen? Dan is deze site de oplossing. Het programma gebruikt kaarten van Open Streetmap (een soort open source-versie van Google Maps). Vul het adres van je keuze in, bijvoorbeeld 'Museumplein Amsterdam' en kies dan voor 'Tactiele kaart maken'. Bij de parameters kun je nog de

kaartschaal en het detailniveau instellen. Ook kun je instellen of je het resultaat met zwelpapier of met je 3D-printer maakt.

**StarCoins** | [www.rovingbits.com/StarCoins](http://www.rovingbits.com/StarCoins)



De vormgeving van deze astronomie-website (2014) mag dan wat ouderwets zijn, de modellen zijn wel gemaakt voor leerlingen met een visuele beperking. Je kunt 2,5D-ontwerpen van planeten en sterrenstelsels kant-en-klaar als STL-bestand downloaden. Zo kan een leerling een idee krijgen van bijvoorbeeld de Grote Beer en de Kleine Beer. De website biedt ook een lesplan. NB: De 2,5D-ontwerpen zijn allemaal bedoeld voor de 3D-printer, dus niet geschikt voor de zwelpapiermachine.

- + 2,5D-modellen speciaal voor blinden en slechtzienden
- + Modellen getest met blinden
- + Info, handleiding en lesplan
- Beperkt, alleen sterrenkundig
- Modellen kloppen helemaal maar zijn ook een beetje saai

## Maak zelf tekeningen op zwelpapier

Een bestaand ontwerp downloaden en uitprinten is natuurlijk de kortste route naar een goed 2,5D-model. Maar soms heb je ad hoc een tekening nodig. Dan is het handiger om zelf aan de slag te gaan of bijvoorbeeld de tactipad en dergelijke te gebruiken (zie pagina 19).

Je hoeft daarvoor geen volleerd illustrator te zijn. Met een beetje oefening en de juiste spullen kan in principe iedereen het. Volg daarbij zoveel mogelijk de richtlijnen voor 2,5D-modellen (zie pagina 49).

De paragraaf hierna beschrijft hoe je dat kunt doen, van eenvoudig (met de hand op zwelpapier tekenen) tot ingewikkeld (met de computer tekenen).

Zwelpapier kost ongeveer een 1 Euro per A4. Je kunt het online bestellen via [sensotec](https://sensotec.be) (<https://sensotec.be>) of de [lowvisionshop](http://www.lowvisionshop.nl) ([www.lowvisionshop.nl](http://www.lowvisionshop.nl)).



*Online zwelpapier bestellen is eenvoudig. De blaadjes kosten ongeveer een Euro per stuk en zijn per 100 te bestellen.*

## Met de hand tekenen

Als je redelijk handig bent met tekenen, kun je met pen of potlood of met zwarte en grijze stiften snel op zwelpapier een tekening maken. Het voordeel van deze methode is dat het doorgaans minder tijd kost dan op de computer. Je hoeft de tekening alleen maar door de zwelpapiermachine te laten gaan en het model is klaar. Een ander voordeel is dat je eventueel in stappen kunt werken: zodra de leerling de eenvoudige tekening doorheeft, voeg je nieuwe details toe om het concept verder uit te leggen. Zwelpapier kun je soms tot wel tien keer door de zwelpapiermachine heen halen, steeds met nieuwe toevoegingen.



*Reglette om handmatig braille te schrijven. Door in plaats van de prikpen een zacht potlood te gebruiken kun je er braille mee schrijven op zwelpapier. Bestel of print er zelf een met je 3D-printer.*

Het nadeel van zelf tekenen is dat je geen tekst in braille op het model kunt meeprinten, behalve als je heel handig bent in braille schrijven of als je een braille-mal kunt gebruiken. Bovendien is zelf tekenen bij complexere onderwerpen vaak te lastig.

## Digitaal tekenen

Met behulp van een computer of tablet en een eenvoudig tekenprogramma kun je zelf tactiele tekeningen ontwerpen, bijvoorbeeld met het gratis programma Inkscape ([www.inkscape.org](http://www.inkscape.org)). Je kunt ook werken met Paint in Windows of Paintbrush op de Mac. In Inkscape kun je tekeningen makkelijker aanpassen dan in Paint en je kunt van de bestanden ook een pdf maken om te verspreiden.

Het voordeel van digitaal tekenen is dat je tekenfouten kunt herstellen. De voltooide tekening print je uit op zwelpapier met een gewone inkjetprinter. Als laatste stap laat je de print door de zwelpapiermachine gaan - en het model is klaar om in de klas te gebruiken.

**LET OP** Zwelpapier kan vastlopen in je laserprinter en soms ook in je inktjetprinter. Bijvoorbeeld als de printer te warm is. Vraag daarom bij je AOB-er na wat bij jou op school de beste manier is om tekeningen op zwelpapier te kopiëren.

## Apparaten om 2,5D-modellen mee te produceren

Er zijn verschillende apparaten waarmee je je 2,5D-ontwerp tot een fysiek model maakt waarmee jij en de leerlingen in de klas aan de slag kunnen. De zwelpapiermachine is de bekendste. Maar er zijn ook andere opties. Op de volgende pagina's vind je een beknopt overzicht van de mogelijkheden en de apparaten om een 2,5D-model te maken.

Kijk voor je begint ook even op pagina 18 'snel aan de slag? lees dit eerst!' voor razendsnelle opties om een 2,5D-model te maken. Bijvoorbeeld als je maar heel weinig tijd hebt of als je live tijdens de les iets bedenkt. Daar worden snelle oplossingen besproken zoals spijkers en garen, sketchpad, tactipad, lego, Wikki Stix etc. Als je op school een zwelpapiermachine hebt kun je daarmee ook snel uit de hand tekeningen maken.

### Zwelpapiermachine

Deze machines of oventjes laten de chemische coating op het speciale zwelpapier opzwellen door verhitting. Overal waar zwarte inkt op het papier is aangebracht, zwelt de tekening op. Er zijn een paar fabrikanten van zwelpapiermachines: Zychem, PIAF en Reprotronics. Die machines kosten ongeveer 1200 euro, zwelpapier kost ongeveer 1,50 euro per vel. Als je geen machine hebt, kun je ook een hete lamp of een föhn gebruiken.



*Bij de PIAF zwelpapiermachine gaat het zwelpapier van de ene kant naar de andere kant van de machine. In het middendeel wordt het verwarmd zodat de donkere vlakken uitzetten.*

### **TIP Vergoeding voor apparatuur**

Je kunt proberen om als school vergoeding te krijgen voor de aanschaf van een zwelpapier-machine en zwelpapier. Misschien kan je AOB'er helpen bij het opstellen van de aanvraag.

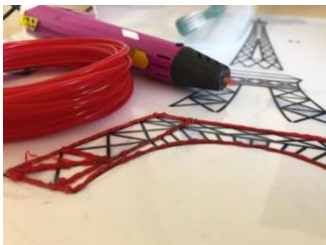


*Thermoform probeersel met een beker en vormpje.*

### **Thermoformer voor 2,5D-modellen**

Bij thermoform, ook wel vacuüm genoemd, wordt een vel plastic verwarmd en over het te repliceren object heen vacuüm gezogen. Het plastic krijgt dan de vorm van het object. Thermoform-modellen hebben in vergelijking met zwelpapier vaak meer reliëfniveaus. Zie ook hoofdstuk 7.

### **3Doodler Pen voor 2,5D-modellen**



*De 3Doodler pen en materialen*

Dit is een speciale pen waarmee je zowel 2,5D- als 3D-figures kunt maken. Aan de achterkant voer je een kleurstaafje in. Die komt er aan de voorkant als vloeibaar plastic of hout uit waardoor je ermee kunt tekenen. Meer informatie over dit apparaat kun je vinden in hoofdstuk 7.

### **Lasersnijder voor 2,5D-modellen**

Met een lasersnijder kun je verschillende materialen snijden en graveren, zoals:

1. Hout, bijvoorbeeld triplex en MDF
2. Metaalfolie van 0,5 mm
3. Leer
4. Kunststoffen zoals acryl en polyester
5. Rubber



6. Kurk
7. Papier en karton

Met een lasersnijder kun je heel precies werken en het gaat meestal ook best snel. Vooral voor eenvoudige platte 2,5D-modellen werkt het snel. Bij sommige materialen, zoals hout, zie je wel brandsporen bij de snijrand. Voor het bewerken van glas en metaal is een veel krachtiger (professionele) machine nodig. Een goedkoop en ook snel alternatief is nog de cricut-maker waarmee je snel vormen uit papier, stof of karton kunt snijden (zie foto en uitleg rechts).

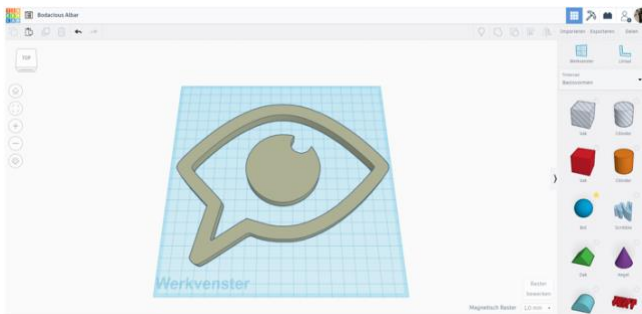


*Lasersnijder voor in de school.*

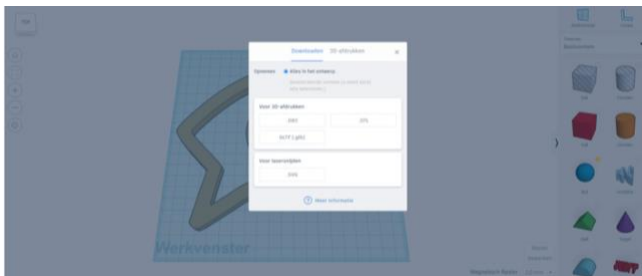
Hieronder is stap voor stap zichtbaar hoe het printen met de laserprinter werkt. We gaan uit van de printer die rechtsboven te zien is: (1) Tekening maken in bijvoorbeeld Tinkercad (zie pagina 69), (2) je model exporteren als svg bestand (3) via USB-stick op de laserprinter zetten, (4) materiaal in de printer zetten, instellen en dan printen.



*CRICUT-MAKER: Behalve met een lasersnijder kan voor het snijden van dunnere materialen ook een cricut-maker machine worden gebruikt. Daarmee kunnen diverse materialen worden gesneden. Behalve snijden met diverse mesjes kan de machine ook relief maken door in plaats van een mesje een platte punt te gebruiken. Je kunt een tekening maken op een tablet en die dan door de machine laten uitsnijden uit bijvoorbeeld leer, papier, stof, dun hout of karton.*



*(1) Tekening maken in Tinkercad (Zie pagina 69).*



*(2)(3) Opslaan als svg bestand en dan via USB stick op de laserprinter overzetten.*



*(4) materiaal in de laserprinter doen, de printer instellen via het interactieve menu en printen (start-knop). Behalve snijden kan de machine ook graveren. Daardoor kun je verschillende dieptes en structuren voelbaar maken.*



*Met een lasersnijder gemaakte puzzeltafel (bron: Yanko Design, 2020).*

## Richtlijnen voor 2,5D-modellen

Op de volgende pagina's krijg je een aantal richtlijnen die je kunnen helpen bij het maken van een goed 2,5D-model. Ze zijn van toepassing op modellen die worden gemaakt met zwelpapier en op modellen gemaakt met onder anderen de SLA-printer, 3Doodler, thermoform of lasersnijder (zie voor uitleg van de apparaten pagina 45).

De richtlijnen zijn ingedeeld in:

(1). Voorbereiding.

Handige zaken om vooraf over na te denken en rekening mee te houden als je een 2,5D-model gaat maken.

(2). Technische richtlijnen.

Richtlijnen die je kunt aanhouden bij het maken van je 2,5D-model.

(3). Begeleidende uitleg en navigatie.

Zorg dat je bij je 2,5D-model een goede beschrijving hebt om je leerling de nodige handvatten te geven.

Je eerder ingevulde Formulier informatiebehoefte uit hoofdstuk 2 vormt de basis voor je model. Houd die in dit hoofdstuk dus steeds bij de hand.

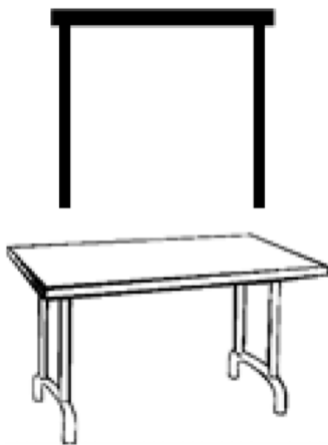
### (1) Richtlijnen voor de voorbereiding

Hanteer bij de voorbereiding van het maken van een 2,5D-model een paar vuistregels. De belangrijkste: stel vooraf vast welke essentiële elementen het model moet bevatten. Bedenk dat de ene leerling al meer ervaring met dit soort modellen heeft dan de andere; het zijn leermiddelen die je moet leren 'lezen' (zie ook het kader 'Tactiele tekeningen leren lezen' op de

pagina 14). Je kunt een bestaande afbeelding als uitgangspunt nemen, bijvoorbeeld uit een lesboek, maar dat hoeft niet.



*De winnaar van de Rijksstudio Design Award 2020, Alemeh M. Yengiabad toont in haar boek steeds een schilderij en de tactiele tekening daarvan naast elkaar. De schetsachtige opzet van de tekeningen en het perspectief kan het lastig maken om de tekening te begrijpen. Test dit dus goed uit met je leerling(en).*



*Zijaanzicht van een tafel (boven) en perspectief tekening (onder). . Perspectief kan voor jonge blinde leerlingen lastig te begrijpen zijn. In de bovenste tekening lijkt het alsof de tafel maar twee poten heeft. Zie ook 'tactiele tekeningen leren lezen' hiernaast.*

Houd bij de voorbereiding van een tekening rekening met de volgende richtlijnen:

- Gebruik in 2,5D-modellen geen perspectief want dat is verwarrend voor mensen met een visuele beperking. Werk met voor-, achter-, zij-, onder- en/of bovenaanzichten en doorsnedes.
- Wanneer je een nieuw concept introduceert: presenteer het model van verschillende kanten. Geef bijvoorbeeld bij een beroemd gebouw behalve een vooraanzicht, ook een zijaanzicht en een bovenaanzicht weer.
- Selecteer vooraf de belangrijkste elementen (deze heb je als het goed is al in het formulier gezet), zodat leerlingen het gemakkelijk kunnen herkennen. Bij een olifant bijvoorbeeld in elk geval de slurf, slagstanden en grote oren.

- Als je uitgaat van een bestaande afbeelding, maak daar dan een schematische weergave van. Details kunnen een tekening ook te ingewikkeld maken.
- Als in een tekening verschillende onderdelen voorkomen, zorg dan dat duidelijk is hoe die met elkaar samenhangen.
- Zorg dat er bij het model een gesproken uitleg is. Je kunt dit in de les gewoon zelf doen, maar ook via een audiobestand op de computer of een spraakmodule - zie hoofdstuk 8. Geef in bijbehorende uitleg bijvoorbeeld aan waar de leerling met het lezen van de tekening of het model moet starten, welke elementen belangrijk zijn om het hele model te begrijpen. Bied ook inhoudelijke informatie over het object. Meer informatie over gesproken uitleg is te vinden op pagina 55.
- Als je de tekening op je tablet of computer ontwerpt, bijvoorbeeld in een eenvoudig tekenprogramma als Paint, plaats dan indien mogelijk braille-onderschriften onder het model. Dit helpt blinde leerlingen de tactiele tekening zelfstandig te lezen. Gebruik niet te veel braille-tekst want dat neemt veel ruimte in. Meer informatie over het printen van braille staat op pagina 73.



*In het Uffizi Museum in Florence toont een platte 3D versie van het schilderij De geboorte van Venus. Het model gebruikt perspectief en kan dus lastig te begrijpen zijn voor mensen die blind zijn.*

a b c d e f g h i j  
 : : : : : : : : : : : : : : : :  
 k l m n o p q r s t  
 : : : : : : : : : : : : : : : :  
 u v x y z w  
 : : : : : : : : : : : : : : : :

*Braillelettertype verkrijgbaar via [eduvip.nl](http://eduvip.nl).*

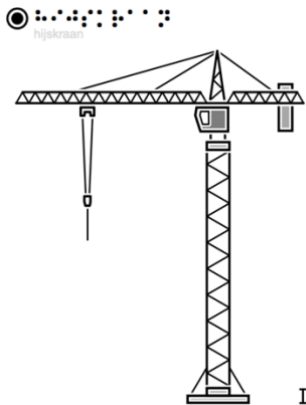
## (2) Technische richtlijnen voor 2,5D

### Algemeen

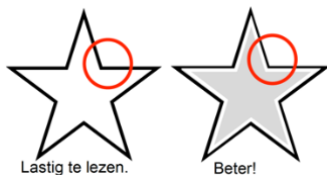
- Plaats altijd een oriëntatiestip linksboven op het blad of de print. Zo begrijpt de gebruiker snel wat boven, onder, links en rechts is. Bovendien kan hij of zij de tekening dan gemakkelijk weer goed leggen als die gedraaid is. Maak die stip bij zwelpapier zwart. Een anti-slipmatje is ook handig: het voorkomt dat de tekening steeds ongemerkt draait.



*Afbeelding met oriëntatiestip en daarnaast de titel in braille.*



*Naast het model is met een teken te zien hoe groot een mens is in vergelijking met de hijskraan (Bron: tactieletekeningen.nl).*



*Door het vlak tussen de lijnen te vullen kan een leerling direct voelen aan welke kant van de lijn de tekening is en verder gaan met verkennen (Bron: Rieken).*

- Plaats direct rechts van de oriëntatiestip de titel van de afbeelding in braille (of een verwijzing naar een uitleg elders).
- Maak de schaal van een model duidelijk door er bekende objecten zoals een mens, huis, fiets of paperclip in de juiste verhouding naast of bij te tekenen.
- Houd het simpel. Gebruik in één tekening maximaal vijf lijnstijlen, vijf puntsymbolen en vijf vlaktexturen. Zorg voor duidelijk voelbare verschillen. Gebruik bij lijnstijlen bijvoorbeeld niet meer dan drie verschillende lijndiktes en wissel af met streepjes- of stippellijnen. Hetzelfde geldt voor puntsymbolen. Gebruik fijne texturen om de structuur van een oppervlak aan te geven, bijvoorbeeld een stippenvulling waarbij de stippen zo dicht bij elkaar staan dat de textuur voelt als één geheel in plaats van als losse stipjes.
- Maak het oppervlak van objecten herkenbaar door alle vlakken tussen lijnen op te vullen met een arcering (vlaktextuur). Zo kan de leerling gemakkelijk voelen wat 'bij het object hoort'.
- Maak de lijnen van een onderdeel niet vast aan het geheel, maar zorg dat er circa 2 mm tussenruimte ('witruimte') is. Voorbeeld: teken de pootjes van een kikker niet vast aan zijn romp. Dit zogeheten comfortwit helpt de gebruiker om de verschillende onderdelen (pootjes en romp) van elkaar te onderscheiden.
- Voorkom dat lijnen en punten samenvloeien want dan zijn ze minder goed te onderscheiden. Wees als dat kan flexibel in de plaatsing.
- Voorkom grote zwartgekleurde gebieden op zwelppapier want dan kan het papier gaan scheuren in de zwelppapiermachine. Gebruik voor zo'n groot vlak dan liever een vulling met opvallende arcering (ruitjes, lijnen, etc.).
- Diepteverschillen kun je bij zwelppapier-tekeningen aangeven door het gebruik van verschillende grijstinten. Voorbeelden van grijstinten voor zwel-

papier zijn #5E5F60 (RGB-kleur: 94,95,96), #7D7D7D (RGB: 125,125,125), #9A9A9C (RGB 154,154,156). De tinten kun je in de meeste tekenprogramma's zelf instellen. Zie voor een voorbeeld [www.color-hex.com/](http://www.color-hex.com/).

- Maak duidelijk met bijvoorbeeld brailleonder-schriften of met spraakchips wat de verschillende onderdelen in een tekening voorstellen of zorg voor een toelichting. Pas bij braille de standaard richtlijnen voor braille toe - zie pagina 73.

## Lijnen

- Gebruik bij zwelpapier zwart voor lijnen en kleine vlakken.
- Maak forse lijnen van ongeveer 2 mm dik, dan zijn ze optimaal te voelen.
- Pijlen hebben een gesloten driehoek of een open pijlpunt.
- Gebruik horizontale lijnen om de positie van de delen (mensen, dieren of objecten) van de tekening ten opzichte van de grond of de horizon weer te geven.
- Geef beweging of verandering aan met verticale en diagonale lijnen.

## Vlakken

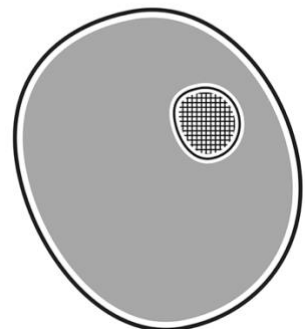
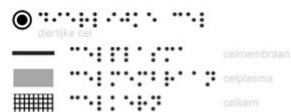
- Maak vlakken minimaal 6 mm<sup>2</sup> groot, anders herkennen de leerlingen ze niet als vlakken.
- Groepeer - als dat past bij het doel van het model - kleine gebieden die dicht bij elkaar liggen.
- Vul vlakken bij zwelpapier met grijs en/of anders met een arcering die de structuur van het vlak aanduidt.
- Als je een vlak vult met arcering, zorg dan dat de lijnen of punten van de arcering niet verder dan 2



roos



*Verschillende grijs tinten zullen verschillend omhoogkomen in de zwelmaschine.*



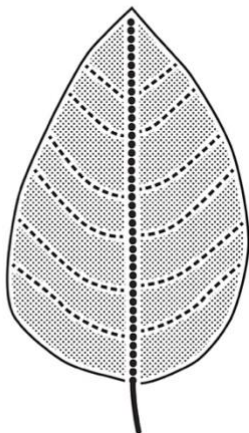
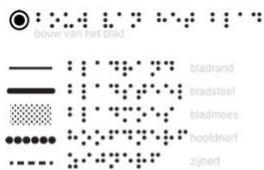
*Een kleine 'witruimte' van circa 2mm tussen de lijnen en de opvulling van een vlak helpt de leerling om omtrekken en vlakken van elkaar te onderscheiden.*

mm van elkaar verwijderd zijn, anders begrijpt de gebruiker niet dat ze bij elkaar horen en kunnen ze worden gezien als aparte lijnen of punten.

- Zorg voor 'comfortwit' van circa 2 mm tussen de vlakvulling en de randen. Dit helpt de gebruiker omtrekken en vlakken van elkaar te onderscheiden.

### TIP: Flexibiliteit

In sommige gevallen zijn de precieze maten van een tekening niet zo belangrijk, bijvoorbeeld als je een plattegrond maakt van een schoolcampus, waarbij het doel is om aan te geven hoe je bij een bepaald gebouw kunt komen en niet wat de precieze vorm en afmeting is van alle gebouwen waar je langsloopt. In zulke gevallen kun je creatief omgaan met lay-out, vormen en de plaatsing van informatie.



*Voorbeeld 'bouw van het blad' met texturen en verschillende soorten lijnen.*

### Texturen

- Gebruik verschillende texturen zodat het verschil tussen de elementen in een tekening voelbaar is. Maar bedenk dat wat visueel duidelijk anders is, niet altijd duidelijk anders aanvoelt. Gebruik bijvoorbeeld puntjes, diagonale of horizontale lijnen.
- Zorg ervoor dat de gebruikte texturen binnen de tekening uniek zijn en dus niet meerdere keren worden gebruikt voor verschillende dingen.
- Lever een legenda bij de verschillende texturen, zodat de leerling snapt wat ze betekenen.
- Als een vlak op een 2,5D-model kleiner is dan 6 mm<sup>2</sup> en er geen textuur in past, zet er dan een nummer of een tekst in braille in. Kies je voor een nummer, leg dat nummer dan uit in de toelichting of legenda.



## Labels

- Als je labels aan de tekening toevoegt, zorg dan voor minimaal 3 mm afstand tot het object waar ze bij horen. Een andere optie is om het label verder weg te plaatsen en een lijn van minimaal 12,5 mm te trekken van het label naar het object.
- Als labels in een vlak met een textuur zijn geplaatst, zorg dan voor een rand van 3 mm tussen label en textuur zodat leerlingen het label herkennen en niet denken dat het een ander vlak is.

### (3) Richtlijnen voor de begeleidende uitleg en navigatie

Uit onderzoek blijkt dat er bij 2,5D-modellen en andere haptische modellen altijd een gesproken beschrijving of uitleg nodig is (duale codering). Met de volgende adviezen zorg je voor een optimale leeropbrengst van het model.

- Geef de leerling de tactiele tekening en zorg dat de leerling de tekening of het model goed voor zich heeft liggen. Leg het model zo neer dat de oriëntatiestip linksboven ligt en laat de leerling bijvoorbeeld de titel voorlezen.
- Start dan met een oriënterende toelichting, zoals 'dit is een bovenaanzicht van een vliegtuig met rechts daarvan een zijaanzicht'. De leerling weet dan globaal over welk concept het model gaat.
- Beschrijf de onderdelen van de tekening volgens een bepaalde route. Door de handen van de leerlingen met verbale instructies te sturen, behoudt de leerling zelf het overzicht over de tekening of het model. Benoem alle onderdelen, lijnen en punten en leg uit wat ze betekenen voor het concept en wat hun functie is. Beschrijf dieren



*Soms zijn tactiele tekeningen voor blinde leerlingen wat een abstract schilderij is voor een museumbezoeker. Voor blinde leerlingen is een gesproken toelichting dan onmisbaar om te snappen waar ze naar kijken.*

van kop naar staart en andere objecten van voor naar achter als dat van toepassing is.

- Wanneer een leerling hieraan niet voldoende heeft kun je zijn of haar handen eventueel oppakken en verplaatsen. Til daarbij de handen niet op om te vervolgens een eind verderop te ‘droppen’, maar verplaats ze rustig en over kleinere afstand, zodat de leerling zoveel mogelijk het overzicht behoudt.
- Benoem alle elementen die van belang zijn voor het identificeren en begrijpen van het model en geef aan waar dat element te vinden is. Bij een vliegtuig bijvoorbeeld: cockpit, bovenkant, onderkant, romp, vleugels, motoren, staart. Beschrijf deze onderdelen van voor naar achteren en koppel het aan de tactiele eigenschappen van het model, bijvoorbeeld: ‘hier voel je een ribbelige rechthoek, dat is de motor’.
- Geef aan het einde een korte samenvatting.
- Geef vervolgens duidelijke instructies waarmee de leerling het model verder kan gaan ontdekken.

### **Aanvullende richtlijnen voor kaarten en plattegronden**

Landkaarten en plattegronden met reliëf zijn al lang in gebruik in het onderwijs. De geografische informatie die ze weergeven – over de grootte en de vorm van een land of stad, hoogteverschillen, water of land, wegen, rivieren enzovoort – laat zich meestal goed overzetten naar een voelbare vorm. Maar kaarten bevatten vaak erg veel informatie en veel verschillende onderdelen: lijnen, punten, tekst en texturen. Daarom zijn er bovenop de algemene richtlijnen voor 2,5D-modellen enkele specifieke aanbevelingen voor het maken van tactiele kaarten. Deze aanvullende richtlijnen vind je achter in dit boek op pagina 85.

### **TIP: Handige woorden voor begeleidende uitleg**

Tactiele tekeningen zijn geen leermiddelen waarmee een leerling zelfstandig werkt. Ze worden daarom ook vaak 'praatplaten' genoemd. De docent, ambulante begeleider of klasse-assistent geeft verbale aanwijzingen. Het is handig om daarbij gebruik te maken van begrippen die de leerling helpen bij het begrijpen van het model.

In het kader van het project '(Ver)ken je wereld' stelde onderzoeker Esther Rieken een handleiding op voor het begeleiden van de tactiele navigatie (zie [tactieletekeningen.nl/wp-content/uploads/2016/01/Tactiele-navigatie.pdf](http://tactieletekeningen.nl/wp-content/uploads/2016/01/Tactiele-navigatie.pdf)).

Daarin staat een handige lijst met woorden die je kunt gebruiken bij het geven van verbale aanwijzingen:

Rechts	Bol	Rechthoek	Harig
Links	Glad	Driehoek	Rond
Boven	Randje	Lang	Hoekig
Onder	Horizontaal	Kort	Vooraanzicht
Midden	Verticaal	Inham	Zijaanzicht
Schuin	Stip	Deukje	Bovenaanzicht
Recht	Streep	Ribbelig	Onderaanzicht
Boog	Cirkel	Ruw	
Hol	Vierkant	Bobbelig	

### **TIP: Afval scheiden**

Als je zwelpapiertekeningen na gebruik weggooit, doe ze dan bij het PMD-afval (plastic, metaal en drankkartons). Ondanks de chemische coating is Zwelpapier niet giftig.



## HOOFDSTUK 5.

### 3D-MODELLEN: RICHTLIJNEN EN BESTAAND ONTWERP

**Met een 3D-model kunnen leerlingen zich een voorstelling maken van complexe nieuwe concepten en objecten. Deze modellen laten de leerling het hele object voelen. In dit hoofdstuk lees je waar je op moet letten als je een 3D-model gaat maken of dat door iemand anders wilt laten doen.**

Na het inventariseren van de informatiebehoefte en de afweging met de beslisboom op pagina 35 heb je gekozen voor een 3D-model. De volgende stap is dan: kiezen uit de verschillende methodes om tot een goed model te komen. Je keuzes:

- Een bestaand ontwerp van het internet downloaden en uitprinten met een 3D-printer
- Een bestaand ontwerp downloaden en aanpassen (uitbreiden)
- Helemaal zelf ontwerpen
- Door iemand anders laten ontwerpen.

Welke methode je ook kiest - het is belangrijk om daarbij de richtlijnen voor 3D-modellen te volgen.

In dit hoofdstuk vind je hieronder eerst die richtlijnen. Daarna volgt informatie over het vinden van geschikte 3D-ontwerpen op internet. De andere drie methodes komen aan bod in hoofdstuk 6.

#### Richtlijnen voor 3D-modellen

Veel richtlijnen voor 2,5D-modellen gaan ook op voor 3D-modellen. Maar er is natuurlijk wel een duidelijk verschil tussen een volledig 3D-model en bijvoorbeeld een tactiele tekening op zwelppapier. Uit internationale

vakliteratuur en uit eigen onderzoek komt een aantal richtlijnen naar voren. Deze richtlijnen zijn ingedeeld in (1) voorbereiding, (2) technische richtlijnen en richtlijnen voor (3) begeleidende uitleg en navigatie. Het eerste deel is bedoeld voor de docent om het gebruik van het model door leerlingen voor te bereiden. Het tweede deel geeft aanbevelingen voor de technische eisen waaraan een optimaal 3D-model voldoet. Het derde deel geeft handvatten voor het maken van uitleg bij een 3D-model die de leerling helpt het model te begrijpen.

### (1) Richtlijnen voor de voorbereiding

Het eerder ingevulde Formulier informatiebehoefte vormt de basis voor je 3D-model. Dit formulier beschrijft de essentiële informatie die het model moet weergeven. Bedenk daarbij dat de ene leerling al meer ervaring met 3D-modellen heeft opgedaan dan de andere. Hanteer bij de voorbereiding in elk geval de volgende richtlijnen:

- Houd het simpel. Probeer niet met één model alles uit te leggen als dat te veel details oplevert. Geef bijvoorbeeld bij een kerncentrale eerst een overzicht van het hele model en maak aparte tekeningen voor de reactor, watercirculatie en koeling, stroomgenerator, turbine enzovoort. Of vereenvoudig het model zodanig dat een leerling niet wordt afgeleid door niet-essentiële informatie.
- Zorg voor gesproken uitleg met instructies. Geef bijvoorbeeld aan waar de leerling met het 3D-model moet starten en welke elementen belangrijk zijn om het hele model te begrijpen. Gebruik daarvoor de richtlijnen bij '(3) Begeleidende uitleg en navigatie' op pagina 55.
- Gebruik op een model bij voorkeur geen braille als dat niet hoeft. Braille neemt veel plaats in en kan

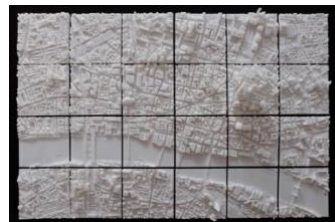
verward worden met andere informatie op een model. Wel kun je bij een model onderschriften toevoegen met extra informatie. Zie het kader 'Braille printen' op pagina 73. Eventueel kun je ook niet-tactiele, geschreven tekst op het model plaatsen ten behoeve van zienden.

## (2) Technische richtlijnen voor 3D

- Nogmaals: probeer met 1 model niet alles uit te leggen als dat teveel detail oplevert. Maak dan meerdere modellen of vereenvoudig het model als dat kan zodat een leerling niet wordt afgeleid door onnodige informatie.
- Maak je een model van een verzameling objecten? Houd dan bij voorkeur voor elk element dezelfde schaal aan. Geef het duidelijk aan als je van dit principe afwijkt en zorg er in zo'n geval voor dat de verschillende elementen wel een identieke lay-out hebben.
- Maak alle elementen onderscheidbaar. Denk bijvoorbeeld aan ramen in een vliegtuigromp. Als je de correcte schaal zou gebruiken zijn die waarschijnlijk niet voelbaar. Overdrijf dan gerust een beetje (geef ze bijvoorbeeld een extra dikke rand) of geef ze een afwijkende textuur. Ook zaken als huidvlekken of -verkleuringen kun je aangeven met textuur. Maar vermijd overmatig gebruik.
- Zorg voor voldoende hoogte vanaf het basisoppervlak van het model; anders zijn details niet voelbaar.
- Als je symbolen op het model aanbrengt, bijvoorbeeld nummers die verwijzen naar de beschrijving, maak ze dan minimaal 10 × 10 mm groot.
- Zorg dat het oppervlak van een model zo glad mogelijk voelt zodat het eindresultaat niet te ruw



*3D-doorsnede van een vliegtuigmotor. De onderdelen bewegen ook echt en zijn uit het omhulsel te halen om beter de details te herkennen. Bron: Chris Shakal. Het model is gratis te downloaden van grabcad.com.*



*3D geprinte kaart van London die is opgebouwd uit kleine delen. Het hoogteverschil vanaf het basisoppervlak is laag waardoor het voor iemand die blind is eerder aanvoelt als een ruwe baksteen en niet als delen van een stad. Bron: accucities.com.*

is en geen scherpe of puntige randen heeft (tenzij het origineel dat ook heeft natuurlijk).

- Gebruik niet meer dan 5 gebiedstexturen, 5 lijnstijlen en 5 puntsymbolen op hetzelfde 3D-model.
- Zie voor meer aanwijzingen ook de richtlijnen voor 2,5D-modellen op pagina 49.

### (3) Begeleidende uitleg en navigatie

Net als bij 2,5D-modellen geldt bij 3D-modellen dat een gesproken beschrijving of uitleg bij een haptisch model belangrijk is om het model te kunnen ontdekken en begrijpen (duale codering). Dit kun je zelf als docent ter plekke doen, maar je kunt ook werken met spraakchips of met een audio-toelichting op de computer.

Met de volgende adviezen zorg je voor een optimale leer-opbrengst van het model.

- Geef bij de start van de toelichting een algemeen overzicht van het object of concept. Geef nog niet te veel details.
- Beschrijf elk element dat van belang is voor het identificeren en begrijpen van het model en geef aan waar dat element te vinden is. Kies daarbij een logische route. Beschrijf bijvoorbeeld dieren van kop naar staart en voertuigen van voor naar achter.
- Beschrijf nu de functie van de verschillende onderdelen. Bij een vliegtuig: in het voorste deel zit de piloot, in de romp zitten de passagiers, de motor heeft een propeller zoals bij een ventilator thuis, die de lucht naar achteren beweegt zodat het vliegtuig vooruit gaat.
- Beschrijf het doel van het model in de les of voor de lesstof.
- Geef aan het einde een korte samenvatting.
- Geef vervolgens duidelijke instructies waarmee de leerling het model verder kan gaan ontdekken



zoals waar moet je starten, wat is de bovenkant, hoe ga je verder, enzovoort.

## Databases met kant-en-klare 3D-ontwerpen

Je kunt ervoor kiezen om zelf een 3D-ontwerp te maken, maar er zijn bestaan ook veel websites (meestal Engelstalig) die kant-en-klare ontwerpen aanbieden. Daar is het model dat je zoekt mogelijk al beschikbaar als een digitaal 3D-printbestand. Deze bestanden kun je vaak gratis downloaden en vervolgens met je eigen 3D-printer uitprinten. Zoek op zo'n website bijvoorbeeld op 'visually impaired' of 'partially sighted' voor bruikbare modellen.

Soms kun je een bestaand ontwerp ook zonder al te veel moeite aan jouw wensen aanpassen door er dingen aan toe te voegen (NB: toevoegen van details aan een bestaand model is vaak eenvoudiger dan aanpassingen) – zie daarvoor hoofdstuk 6.

Hieronder vind je een beknopte beschrijving van de belangrijkste websites met printbare 3D-ontwerpen, met hun sterke en zwakke punten.

**STLFinder** | [www.stlfinder.com](http://www.stlfinder.com)



Zoekmachine die modellen zoekt in online databases met 3D-ontwerpen zoals Grabcad Thingiverse en Shapeways. Eigenlijk een handige tool als je geen zin hebt om alle

websites langs te gaan op zoek naar een 3D-model. Na je zoekactie kun je via het menu rechts-boven aangeven of je behalve gratis ook betaalde ontwerpen wilt zien. Om bruikbaar te zijn in de les moet je het ontwerp vaak nog wel aanpassen voor blinden en slechtzienden.

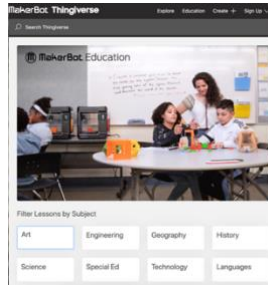


*Bij het Franse boek 'Le Petit Prince' zijn op veel websites goede 3D-modellen te vinden. Die kun je in de les gebruiken als je leerlingen het boek voor de lijst lezen.*

- + Zoekt op meer 3D-websites
- + Snel en veel modellen
- + Gratis (en betaalde) modellen
- Aanpassingen nodig voor blinden
- Lastig zoeken zonder de juiste termen
- Door de vele resultaten kan het overzicht verdwijnen

## Thingiverse | [www.thingiverse.com](http://www.thingiverse.com)

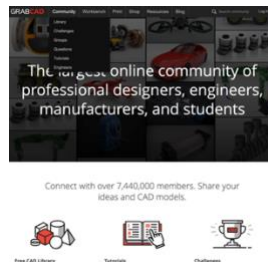
- + Website waarop 3D-modellen worden gedeeld
- + Je kunt je aangepaste 3D-model weer uploaden
- + Snel en veel hits
- + Je kunt op schoolvak zoeken (Filter 'lessons by subject')
- + Modellen zijn gratis
- Aanpassing nodig voor blinden
- Lastig zoeken zonder de juiste termen
- Door de vele resultaten kan het overzicht verdwijnen



De bekendste website voor 3D-ontwerpen. Op deze site kun je eenvoudig zoeken in de meer dan 1,7 miljoen 3D-modellen die door de achterliggende community zijn gemaakt. Je kunt ook je eigen ontwerpen uploaden en delen. De meeste ontwerpen zijn gratis en eenvoudig te gebruiken of aan te vullen. Er is een speciale afdeling met ontwerpen voor verschillende onderwijsvakken: [www.thingiverse.com/education](http://www.thingiverse.com/education). Er zijn niet heel veel ontwerpen in de categorie 'visually impaired'. Bij sommige modellen in deze afdeling staat ook een lesplan.

## GrabCAD | [www.grabcad.com](http://www.grabcad.com)

- + Community die de modellen deelt en beheert
- + Uitgetest op 3D-printers
- Zoekmachine is onoverzichtelijk
- Modellen moeten nog worden omgezet naar STL-bestand
- Aanpassing nodig voor blinden
- Lastig zoeken zonder de juiste termen
- Geen thematische indeling of indeling per schoolvak

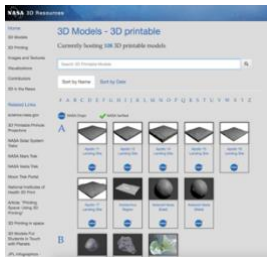


Snelgroeïende community waar ontwerpers, studenten en gebruikers samen CAD-bestanden delen. Met meer dan 7 miljoen leden is GrabCAD de grootste op het gebied van gratis 3D-ontwerpen. Behalve meer dan vier miljoen ontwerpen biedt GrabCAD tutorials. Instituten als de NASA organiseren hier prijsvragen. De website bevat relatief weinig ontwerpen in de categorie 'visually impaired' en de modellen moeten nog aangepast worden om bruikbaar te zijn.

## BTactile | [www.btactile.com](http://www.btactile.com)

Op deze website vind je zowel 2,5D- als 3D-modellen en tekeningen die speciaal zijn gemaakt voor mensen met een visuele beperking. De website levert ook uitgebreide instructies voor het printen van de tekeningen en modellen. Lees voor meer informatie de beschrijving bij 2,5D-modellen op pagina 42.

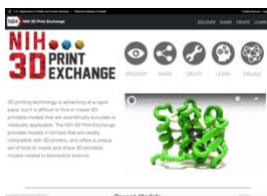
## NASA | [nasa3d.arc.nasa.gov/models/printable](http://nasa3d.arc.nasa.gov/models/printable)



De NASA 3D resources website met vele 3D-ontwerpen over de ruimtevaart. Zo is er een model van de landingsplaats van de Apollo raket, een asteroïde, de Hubble-telescoop en bijvoorbeeld de onderzoeksrobot Curiosity Rover die in 2012 op Mars landde. De bestanden zijn eenvoudig te downloaden als STL-bestand. STL-bestanden kun je in de meeste 3D-printers gebruiken. NASA biedt ook veel ondersteuning in de vorm van uitleg van de modellen.

- + De 3D-modellen zijn gebaseerd op werkelijke data van NASA
- + Informatie en handleidingen
- + Gratis te downloaden
- Aanpassing nodig voor blinden
- Lastig zoeken zonder juiste termen
- Modellen kloppen helemaal maar zijn ook een beetje saai

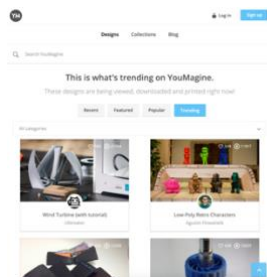
## NIH 3D Print Exchange | <https://3dprint.nih.gov/>



Wie zoekt naar medische modellen kan terecht op deze degelijke website, die wordt ondersteund door diverse gezondheidsinstanties van de Amerikaanse overheid. Keuze uit meer dan 9.000 ontwerpen. Bijna alle voorzien van uitleg of educatieve toelichting. De ontwerpen zijn te downloaden als STL-bestand.

- + Veel biologie en geneeskunde modellen
- + Informatie en handleidingen
- + Alle modellen gecontroleerd
- + Gratis te downloaden
- Beperkt aanbod
- Niet gericht op middelbaar onderwijs
- Nog niet getest met blinden

## YouMagine | [www.youmagine.com](http://www.youmagine.com)



Een community met ruim 15.000 goed printbare 3D-ontwerpen. Voor blinde leerlingen staan er helaas maar een beperkt aantal ontwerpen op de website. De ontwerpen werken goed met de Ultimaker-printers. Dankzij de samenwerking van YouMagine en natuurmuseum Naturalis kun je nu met de hele klas een 3D-print maken van het model van dinosaurus Trix (op ware grootte als je wilt!). Het lespakket kun je downloaden

- + Modellen zijn 'kant-en-klaar' voor Ultimaker-printers
- + Je kunt zelf Trix uitprinten als je klaslokaal groot genoeg is
- + Gratis 3D-modellen
- Weinig modellen die passen bij schoolvakken
- Niet getest met blinden

van de Ultimaker website, de bestanden kun je vinden via [www.youmagine.com/designs/trix-in-parts](http://www.youmagine.com/designs/trix-in-parts).

**E3D+VET** | <https://app.e3dplusvet.eu/models/>

- + *Kant-en-klare lessen*
- + *Wis-, natuur-, scheikunde en biologie*
- + *Modellen en lesbeschrijvingen*
- + *Niveau van de lessen is hoog*
- *Niet getest met blinden*
- *Weinig modellen beschikbaar*



Een Erasmus+ project van de Europese Unie met dertig kant-en-klare lessen en de bijbehorende 3D-bestanden van moleculen, het zonnestelsel, hoofdluis, fibonacci en piramides. Niet specifiek gericht op mensen met een visuele beperking maar door de combinatie van complete lesopzetten en bijbehorende ontwerpen leuk om eens naar te kijken.

**EduVIP** | <https://www.eduvip.nl>

- + *Geen bestanden, maar direct online bestelbare modellen*
- + *Keuze uit fabricage met 3D-printer of lasersnijder*
- + *Modellen getest met blinden*
- + *Prijs voor modellen is laag*
- *Weinig modellen beschikbaar*
- *Levertijd afhankelijk van beschikbaarheid van leerlingen en docenten.*



In de eduVIP.nl shop kun je kant-en-klare 3D-modellen bestellen. Die worden dan door leerlingen van Bartiméus geproduceerd. Als je een bijzonder model zoekt dat niet in de shop te vinden is of elders, vraag dan even via je ambulante begeleider of ze het voor je kunnen maken. Lever dan wel een afbeelding en het ingevulde Formulier informatiebehoefte aan.

## HOOFDSTUK 6.

### 3D-MODELLEN: MAAK ZE ZELF

**Soms kun je geen geschikt bestaand 3D-model vinden, niet online en niet offline. Dan heb je een nieuw ontwerp nodig. Hoe kun je dan te werk gaan? Dit hoofdstuk gidst je door de verschillende opties.**

Misschien heb je het idee dat 3D-design erg technisch en ingewikkeld is, maar als de modellen die je nodig hebt niet te ingewikkeld zijn blijkt dat in de praktijk mee te vallen. Veel docenten die met 3D-modellen aan de slag gaan, worden erg enthousiast.

Mocht je het maken van 3D-modellen toch ingewikkeld of te tijdrovend vinden (het is tenslotte wel een vak) kijk dan eens of je hulp kunt krijgen van een stagestudent of een enthousiaste collega-docent. Of neem contact op met een MakerSpace of FabLab in je omgeving. Meer informatie over MakerSpaces en FabLabs vind je op pagina 71 (in het kader: 'Technische en praktische hulp').

Wie besluit een nieuw ontwerp te maken, heeft drie mogelijkheden:

- Zelf een bestaand ontwerp aanpassen
- Zelf een model vanaf de basis ontwerpen
- Uitbesteden: je schakelt een professionele 3D-ontwerper in om het werk voor je te doen.

Welke optie je ook kiest, in alle gevallen is de inventarisatie van de informatiebehoefte (zie pagina 28) het startpunt voor je proces. En de richtlijnen voor 3D-ontwerpen in hoofdstuk 5 zijn maatgevend. Dit hoofdstuk beschrijft eerst de twee opties voor 'zelf doen', daarna krijg je tips voor het werken met een externe 3D-ontwerper.



*Tinkercad heeft een tool waarmee je vrijuit kunt tekenen.*

## Pas een bestaand ontwerp aan



*Grafiek waarin de bergbeklimpoppetjes een belangrijk moment aangeven. Als ze dezelfde schaal hebben zijn de gegevens van de grafiek op de tast te vergelijken (Bron: designboom.com).*

Lessen 0/5

- Les 1 – Je eerste tekening 10 min
- Les 2 – Sleutelhanger 05 min
- Les 3 – Pennenbak 05 min
- Les 4 – Telefoonhoesje 07 min
- Les 5 – Exporteren van je bestand voor de 3D-printer 05 min

Voorbeelden 0/2

- Maken van een Spinner 05 min
- Morse Code 05 min

Relaxe course (+98)

*Via de website 3Dkanjers (Leapo) kun je diverse kant-en-klare online cursussen volgen. Die helpen je stap voor stap een 3D-model ontwerpen en printen.*

Je hebt op internet een 3D-model gevonden dat net niet helemaal aan je wensen voldoet. Bijvoorbeeld omdat er een belangrijk detail ontbreekt of juist omdat het te gedetailleerd is voor jouw doeleinden. In dat geval kun je het gedownloade bestand in veel gevallen importeren in een programma voor 3D-ontwerp en er zelf details of aanvullingen aan vastmaken.

LET OP: Bedenk dat het gemakkelijker is om details weg te halen dan ze zelf toe te voegen, dus kies je basismodel met zorg uit en houd altijd het ingevulde Formulier informatiebehoefte bij de hand - dit zorgt ervoor dat je gefocust blijft op de haptische informatie die het model moet bevatten.

De software die je gebruikt om ontwerpen aan te passen is dezelfde die je gebruikt om 'from scratch' een nieuw ontwerp te maken. Als je een model gaat aanpassen is het handig om eerst goed met deze software te leren omgaan. De meest gebruikte ontwerpprogramma's vind je op de volgende pagina's.

LET OP: het ontwerpen van een 3D-model doe je niet zonder oefening op een achternamiddag. Je moet wel degelijk kunnen ontwerpen, nauwkeurig zijn en tijd willen besteden aan het leren omgaan met de programma's. Start dus eens met het maken van eenvoudige voorwerpen in een programma als Tinkercad. Als je dat onder de knie hebt, kun je steeds een stapje verder gaan, maar 3D ontwerpen is een vak.

## Ontwerp een model vanaf de basis

Wie zelf een 3D-ontwerp wil maken of een bestaand model wil aanpassen heeft keuze uit een ruime hoeveelheid gratis software. Er zijn ook veel online cursussen over het maken van 3D-modellen die je stap

voor stap door de programma's heen loodsen. Hieronder vind je vier veelgebruikte en gebruikersvriendelijke programma's voor 3D-ontwerp, voor beginners en gevorderden.

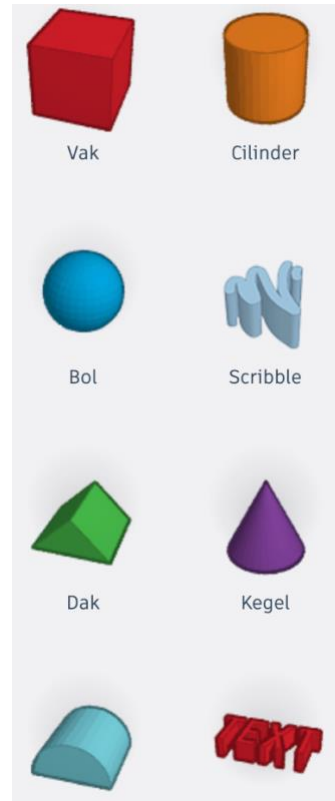
### Tinkercad | [www.tinkercad.com](http://www.tinkercad.com)



Tinkercad is echt een supereenvoudig programma om modellen te maken, en het is nog gratis ook. Bovendien bevat de website van Tinkercad video's die stap voor stap uitleggen hoe je alles kunt doen (tutorials).

Open het programma in je favoriete browser, maak een account aan en start met het maken van een 3D-ontwerp. Door simpele vormen te combineren, te schalen en aan te passen kun je snel een model bouwen. Je kunt met deze software ook een bestaand model aanpassen of voorzien van extra details.

Als je klaar bent met je model exporteer je dat als STL-bestand. Dat bestand kun je met een 3D-printer afdrucken. Je kunt het bestand ook uploaden naar bedrijven als 3D Hubs of Shapeways die het dan voor jou produceren en naar je opsturen. Dat is natuurlijk wel duurder dan zelf printen. Zie voor meer informatie 'Printen uitbesteden' op pagina 77.



*Keuze uit enkele van de vele elementen waarmee je een tekening kunt maken in het programma Tinkercad.*

### Google SketchUp | [www.sketchup.com/](http://www.sketchup.com/)



SketchUp is een 3D-tekenprogramma waarmee betrekkelijk eenvoudig online een 3D-model kunt maken. Het is iets ingewikkelder dan Tinkercad maar heeft dan ook meer mogelijkheden. Je kunt met het programma SketchUp zowel eenvoudige als complexe 3D-ontwerpen maken. Die ontwerpen kun je exporteren naar een 3D-printer. Het programma biedt veel extra mogelijkheden: zo kun je bij het ontwerp van

bijvoorbeeld een gebouw het bouwwerk een schaduw geven of tevoorschijn toveren in Google Earth. Binnen de ontwerp-omgeving kun je ook een aantal kant-en-klare modellen vinden.

SketchUp is gratis te gebruiken als je docent of leerling bent in het middelbaar onderwijs. Je kunt dan een account aanmaken via G-Suite of een Microsoft onderwijsaccount.

**Fusion 360** | [www.autodesk.com/products/fusion-360/overview](http://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview)

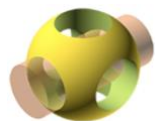


Autodesk Fusion 360 is een programma waarmee je professionele 3D-modellen kunt maken. Het is wat ingewikkelder dan Tinkercad en Google SketchUp maar werkt beter als je meer eisen stelt aan je 3D-model. Met Fusion 360 kun je in de cloud samenwerken met andere ontwerpers. Behalve voor het maken van 3D-modellen kun je deze software ook gebruiken voor het maken van fotorealistische visualisaties. Autodesk Fusion 360 werkt direct samen met de meeste 3D-printers en CNC-machines. Het is gratis voor studenten en startende bedrijven.



*Met Adobe Fusion 360 heb je meer tekenmogelijkheden. Deze motor zul je niet snel maken in een programma als Tinkercad of Sketchup. Echter met die laatste programma's ben je wel sneller (en gratis) aan de slag.*

**OpenSCAD** | [www.openscad.org](http://www.openscad.org)



OpenSCAD is de enige tool die ook kan worden gebruikt door mensen met een visuele beperking. Je kunt een volledig ontwerp maken door code te typen. Dat klinkt ingewikkeld, maar het programma is snel te leren en te gebruiken als je al kunt programmeren. Er staan veel voorbeelden online. OpenSCAD is een goede keuze voor mensen die Tinkercad hebben gebruikt en dat te eenvoudig vinden en meer mogelijkheden willen. Ook handig als je op een laagdrempelige manier



wilt leren programmeren. Het programma is gratis en werkt op Mac, Windows, Linux en het web.

### **Andere programma's**

Naast deze vier programma's bestaan er nog diverse andere, zoals Morphi, BlocksCAD, Leopoly, 3D-Slash, FreeCAD, Vectary. Makerspaces en FabLabs kunnen je vaak helpen om een keuze te maken en om een van deze 3D-designprogramma's onder de knie te krijgen – zie het kader 'Technische en praktische hulp'

### **Technische en praktische hulp**

Je hoeft bij het maken van haptische modellen natuurlijk niet alles alleen te doen. In veel gemeentes vind je zogeheten Makerspaces, HackerSpaces en FabLabs. Dit zijn een soort kleine openbare fabriekjes waar je verschillende dingen kunt maken met behulp van digitale en elektronische apparatuur en 'ouderwets' gereedschap, zoals een 3D-printer, CNC-frees en lasersnijder. Het loont de moeite er een keer langs te gaan. De beheerders van een lab of space, meestal vrijwilligers, hebben vaak ervaring met 3D-modellen. Zij kunnen je vaak ook helpen bij het gebruiken van de software en het ontwerpen van je model. Het uitprinten van de modellen is daar bovendien veel voordeliger dan bij een tele-service zoals Shapeways of 3D-hubs (zie 'Printen uitbesteden' op pagina. 73).

De termen Makerspace en Fablab worden vaak door elkaar gebruikt. Dat is niet helemaal terecht. Een Makerspace is in principe zelfstandig - elke school of bibliotheek kan een Makerspace opzetten. Een FabLab is onderdeel van een groot wereldwijd netwerk van zo'n 600 organisaties die overal vanuit dezelfde uitgangspunten opereren. Op [www.makerscene.io](http://www.makerscene.io) kun je zoeken naar een FabLab, HackerSpace of Makerspace bij jou in de buurt.

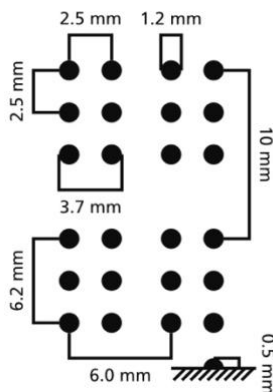
## **Ontwerp uitbesteden**

Kies je ervoor om het ontwerpen van een nieuw model uit te besteden aan een professionele 3D-ontwerper, dan begint een nieuw en andersoortig traject. Je komt

in de rol van opdrachtgever. Je moet dan niet alleen een geschikte ontwerper vinden, maar hem of haar daar vervolgens ook goed in aansturen. Je kunt 3D-ontwerpers vinden via de in hoofdstuk 5 genoemde websites met 3D-modellen of bij een organisatie als ShapeWays (zie pagina 79). Maar het is aan te raden ook een kijkje te nemen bij een Makerspace of een FabLab in je omgeving. De mensen daar kennen vaak ook plaatselijke professionals die je kunnen helpen.

Ook al werk je met een ontwerper met ervaring met 3D-modellen voor blinden en slechtzienden, ga er niet vanuit dat de ontwerper net zoveel afweet van het onderwijs of van de vakinhoudelijke doelen als jijzelf. Bovendien kent hij of zij jouw leerling(en) nooit zoals jij ze kent.

Ten slotte, het laten ontwerpen van een 3D-model kost vaak behoorlijk wat geld. Je moet immers de uren van een ontwerper betalen. Reken voor het uitbesteden van een ontwerp op flinke kosten. Het is dus de moeite waard om eens om je heen te kijken, zoek bijvoorbeeld naar een Makerspace, stagestudenten of handige collega's om mee samen te werken.



*Afstanden tussen braillepunten en karakters. Zie ook rechterpagina voor meer uitleg over braille (bron: Eduvip.nl).*

### Formulier informatiebehoefte en Richtlijnen

Als een extern iemand je model laat maken, geef ze dan de volgende informatie:

1. het Formulier informatiebehoefte (hoofdstuk 2). Het ingevulde formulier geeft de basisinformatie die de ontwerper nodig heeft: voor welk niveau is het model bedoeld, welke informatie moet het model bieden, welke afbeelding kan als voorbeeld dienen, enzovoort. Hoe gedetailleerder de informatie in het formulier is, hoe meer houvast de ontwerper heeft.
2. De Richtlijnen die je in dit handboek kunt vinden. De richtlijnen kunnen de ontwerpen meer houvast geven bij het ontwerpen van je 2,5D of 3D-model.

## Braille printen

3D-printers de puntjes van braille printen, maar ze doen dat cilindrisch in plaats van rond. Daardoor is de bovenkant van het puntje niet afgerond. Dat leest niet fijn en kan de vingers beschadigen. Print braille daarom altijd aan de zijkant van je model ('vertical braille') en niet erbovenop. En zorg altijd voor nabewerking, bijvoorbeeld met aceton of een schuurpapiertje om scherpe randen te voorkomen.

Braille is gebonden aan strikte eisen omdat de lezers anders in de war raken. Het bestaat uit twee kolommen met in totaal zes braillepuntjes, die blinden en slechtienden met hun vingers lezen. Met die zes puntjes worden cijfers en letters geschreven. In Nederland heeft de braille-autoriteit richtlijnen opgesteld: de braillestandaard.

Onderdeel	Formaat/vorm
Hoogte van de braillepunten	0,5 mm (plus min 0,1 mm)
Vorm	Bolvormig
Diameter aan de basis	1,5 mm (plus min 0,25 mm)
Afstand tussen twee punten binnen een cel	2,5 mm (horizontaal en verticaal)
Afstand tussen braillecellen horizontaal (tussen linker punt van cel en linkerpunt van volgende cel)	6 mm
Afstand tussen braillecellen verticaal	10 mm



























*Tabel: Braille-afstanden volgens de braille-autoriteit in Nederland (Bron: <https://braille-autoriteit.org/algemeen-gebruik/standaardafmetingen/>).*

Op internet kun je meerdere braille-lettertypen vinden om voor je model te gebruiken. Een voorbeeld van braille voor je OpenSCAD-ontwerp is te vinden op: <https://github.com/whosawhatsis/braille-openscad>.











Op de website van Eduvip kun je braillelettertypen downloaden voor gebruik in je tekenprogramma: [www.eduvip.nl/font-voor-braillelettertype/](http://www.eduvip.nl/font-voor-braillelettertype/).

# Het Nederlandse braille-alfabet















## Letters

									
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
									
k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
									
u	v	w	x	y	z				






## Leestekens

									
,	;	:	.	?	!	“ ”	(	)	-

## Vreemde letters en tekens

									
ç	é	è	ë	ä	ï	ö	ü	ß	&
									
*	@	€	/						











## Bijzondere tekens

				
hoofd- letter- teken	permanent hoofd- letterteken	herstel- teken	taalwis- selings- teken	druk- wijzigings- teken

## Cijfertekens

 lettertekens van a tot en met j worden ook gebruikt voor de cijfers. Om die reden worden cijfers voorafgegaan door het cijferteken.

## Cijfers

									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

## HOOFDSTUK 7.

### PRINTEN MAAR!

Je 3D-ontwerp is klaar. Nu moet je nog zorgen dat er een model in je klas komt te staan dat de leerlingen met hun tastzin kunnen gaan ontdekken. Voor de productie van het haptische model kun je kiezen uit verschillende apparaten en materialen. Dit hoofdstuk helpt je bij die keuze en geeft ook tips om het produceren van het model uit te besteden.

#### **Leer het zelf via het leerportaal van 3Dkanjers (Leapo)**

Als je geen ervaring hebt met 3D-printen, neem dan een kijkje op de website van 3Dkanjers.nl (zal binnenkort verhuizen naar Leapo, The Learning Portal). 3Dkanjers is een initiatief voor het onderwijs in Nederland. De organisatie stimuleert talentontwikkeling voor wetenschap en techniek met behulp van 3D-printen, Virtual Reality, Programmeren en Robotica. Er lopen vanuit Leapo meer dan zevenhonderd 3Dkanjers-projecten in het primair, voortgezet en speciaal onderwijs. De website bevat diverse kant-en-klare cursussen voor docenten en leerlingen die met 3D-printen aan de slag willen. Van het maken van je eerste model tot en met het onderhoud van je 3D-printer. Compleet met stap-voor-stapvideo's en uitgebreide toelichting.

Er zijn heel veel verschillende manieren om 2,5D- en 3D-ontwerpen te produceren. Er worden diverse apparaten voor gebruikt, zoals 3D-printers, speciale pennen, lasersnijders en frezen. Bovendien kun je kiezen van welk materiaal je jouw model wilt maken. Sommige apparaten werken met een bepaald materiaal, andere zijn veel minder kieskeurig.

#### **Zelf printen**

Misschien heb je op school een 3D-printer staan. In dat geval kun je zelf het model printen of een collega of



*3D-geprinte waterval in museum de Fundatie te Zwolle.*

stagesstudent vragen om te helpen. Dit is meestal de eenvoudigste weg, omdat je dan alles in eigen hand hebt. Als je eenmaal het ontwerp hebt, is het niet al te ingewikkeld meer: je stuurt je ontwerp van de computer met behulp van een 'slicer'-programma (zie pagina 76) naar het apparaat. Vervolgens leg je het 3D-printmateriaal (filament) in het apparaat.

Vanaf pagina 79 vind je meer informatie over de verschillende soorten printers en andere apparaten om modellen mee te maken. Vanaf pagina 84 vind je uitleg over de verschillende materialen waarvan een model kan worden gemaakt.

Als er geen geschikte 3D-printer of andere apparatuur op school staat, zoek dan contact met een FabLab of Makerspace bij jou in de buurt. In deze kleinschalige openbare fabriekjes staan de meeste van deze apparaten en kun je er zelf mee experimenteren. Vaak kunnen de mensen daar je ook helpen bij het maken van de modellen of kun je er een cursus volgen om het zelf te leren. Op [www.makerscene.io](http://www.makerscene.io) kun je zoeken naar een lab of space in je omgeving.

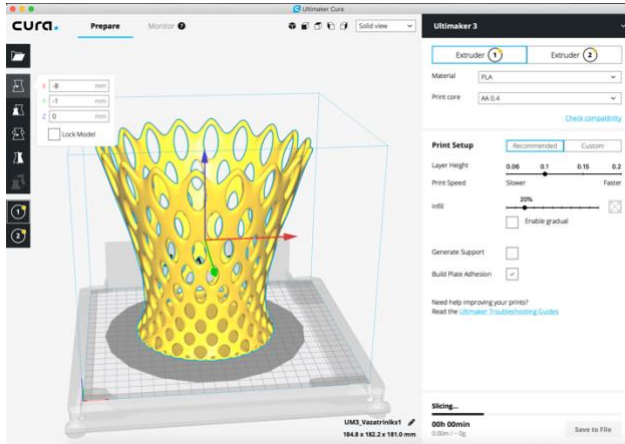
## Hulpprogramma voor 3D-printen

Als het ontwerp van je 3D-model af is, is dat bestand nog niet automatisch geschikt om te printen. Veel 3D-printers hebben daarvoor extra informatie nodig. Die extra informatie wordt geleverd door een speciaal programma waarin je aangeeft hoe jouw STL-bestand het beste geprint kan worden. Zo'n programma heet een 'slicer'.

De slicer zet het model digitaal om in een serie dunne lagen die vervolgens één voor één worden geprint. Je kunt met het programma bijvoorbeeld overhangende delen voorzien van ondersteuning zodat ze niet instorten tijdens het printen. Die ondersteuning kun je later dan weer weghalen.

Vorbereiding printen:

1. Sla je ontwerp op als een STL-bestand.
2. Open het slicer-programma dat hoort bij jouw 3D-printer.
3. Open het STL-bestand vanuit de slicer.
4. Volg de aanwijzingen van het slicer-programma.
5. Print.



*Met een programma zoals Cura kun je een 3D-model 'slicen'.*

De fabrikant van je printer adviseert meestal wel welk slicing-programma je bij het apparaat kunt gebruiken. Een veelgebruikt en gratis slicer-programma voor FDM-printers is Cura, ontwikkeld door 3D-printer-fabrikant Ultimaker. De software is eenvoudig in het gebruik. Cura geeft ook een inschatting van de printtijd:

[www.ultimaker.com/nl/software/ultimaker-cura](http://www.ultimaker.com/nl/software/ultimaker-cura). Cura werkt niet met SLA-printers. Meer informatie over 3D-printers vind je op pagina 79.

## Printen uitbesteden

Als je op school niet beschikt over apparatuur om 2,5D- of 3D-modellen te produceren, dan kun je het printen ook uitbesteden naar een tele-printing service. Er zijn daarvoor verschillende oplossingen. Bedenk wel dat de

kosten bij zo'n tele-printing service kunnen oplopen. Zelfs eenvoudige modellen kosten al snel 35 euro (exclusief verzendkosten). Er komen steeds meer tele-printing services bij, dus kijk op de verschillende websites of er wellicht goedkopere print-opties zijn voor jouw model.

Ook bij het uitbesteden van de productie moet je zelf een aantal keuzes maken over de productiemethode en de materialen. Vanaf pagina 79 vind je meer informatie over de verschillende soorten printers en andere apparaten. Vanaf pagina 84 vind je uitleg over de verschillende materialen waarvan een model kan worden gemaakt.

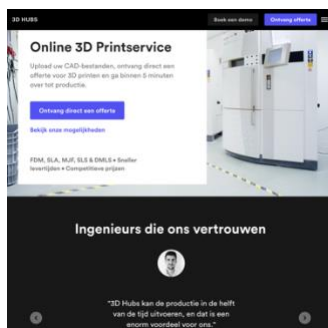
### Dedicon | [www.dedicon.nl/expertise/relief](http://www.dedicon.nl/expertise/relief)

Dedicon is in Nederland de belangrijkste organisatie op het gebied van het toegankelijk maken van lees- en leermaterialen. Denk aan braille, vergrotingen en tactiele of voelbare tekeningen. Dedicon kan ook ondersteunen bij het maken van toegankelijke kaarten, grafieken en 3D-modellen. Voor een leerling met een visuele beperking kan de organisatie in sommige gevallen maatoplossingen bieden. Zie voor meer informatie over Dedicon pagina 40.



### 3D Hubs | <https://www.3dhubs.com/>

Op het 3D Hubs platform kunnen technisch onderlegde personen eenvoudig een ontwerp uploaden. Je ontvangt dan snel een offerte en met een klik op de knop kun je de productie van je printbare 3D-ontwerp starten. Je kunt dat vragen aan de ontwikkelaars op het platform of direct laten printen via een van hun 240 productiepartners. Je hebt de mogelijkheid om je ontwerp te laten CNC-frezen, spuitgieten, 3D-printen en nog meer. De materialen variëren van plastic tot en met aluminium. Een offerte aanvragen kost ongeveer 5 minuten en kan volledig online. Een groot 3D-model laten printen (18 x 18 x 18 cm) kost ongeveer 90 euro.





Shapeways | <https://www.shapeways.com/design/>

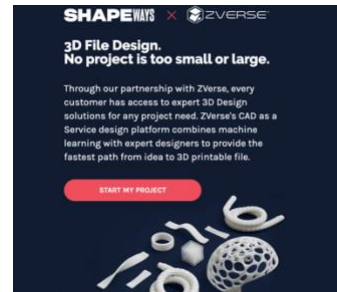
Bij Shapeways kun je terecht als je een ontwerp wilt laten printen. Je kunt er trouwens ook mensen vinden die je kunnen helpen bij het maken van een model (maar dat is behoorlijk prijzig). De kosten verschillen, afhankelijk van het gekozen materiaal en de tijd die het kost om je model te printen. Shapeways heeft veel aangesloten partners in Nederland. Je kunt kiezen tussen 'design' en 'print'. Als je print kiest kun je een STL-bestand opsturen, het materiaal en de afwerking kiezen en opgeven waar het bezorgd moet worden. Je ontvangt dan binnen korte tijd een offerte zodat je weet waar je aan toe bent. Je hebt keuze uit meer dan 50 materialen om mee te printen en meer dan 10 soorten print-technieken. De prijzen zijn vergelijkbaar met die van 3D Hubs.

Makerpoint | [www.makerpoint.nl](http://www.makerpoint.nl)

Je kunt ook eens contact opnemen met een van de digital fabrication points van Makerpoint. Daar zitten vaak mensen die je verder kunnen helpen of contact hebben met designers in jouw omgeving. Ze kunnen je ook advies geven over de beste manier om jouw model te printen of je verder verwijzen. Makerpoint levert voor onderwijsinstellingen ook trainingen op maat om beter te leren omgaan met je 3D-printer (hoe print je goed, wat doe je als de machine vastloopt, hoe zet je 3D-printen in het onderwijs in, etc.).

## Apparaten om mee te printen

Hieronder vind je een beknopt overzicht van de vele verschillende soorten printers en andere apparaten waarmee je haptische modellen kunt produceren. Eerder werden al de zwelpapiermachine en andere (2,5D) print mogelijkheden besproken op pagina 45.



We take your project from start to finish beginning with 3D file design.

Shapeways is the world's leading 3D printing service dedicated to providing fully customizable solutions, and with the help of ZVerse, we are able to get your project across the finish line in a fast, seamless experience.



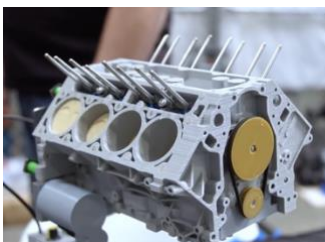
## FDM/FFF-printer



Fused Deposit Modeling (FDM) of Fused Filament Fabrication (FFF) is op dit moment in het onderwijs waarschijnlijk de meest gebruikte methode om 3D-prints (en soms ook 2,5D-prints) te maken. De meeste printers van het merk Ultimaker zijn bijvoorbeeld FDM-printers.

Dit is een goedkope en makkelijk toegankelijke printmethodiek. Heel goed bruikbaar voor schaalmodellen en modellen die uit meerdere onderdelen bestaan.

Je voert aan de achterkant filament (plastic draad) in en dat wordt via een printerkop verhit en in dunne lijntjes laag voor laag aangebracht op een 'printbed', een in hoogte beweegbaar klein platform. Zodra het ene laagje is geprint, zakt het printbed een stukje naar beneden en wordt de volgende laag geprint. Nadeel is wel dat je ribbeltjes krijgt door de verschillende laagjes die zijn geprint. De meeste moderne FDM-printers hebben twee printerkoppen (*extruders*) waardoor je twee kleuren tegelijk kunt printen. De maximale afmeting van een model ligt bij deze printers meestal rond de 20 x 20 x 20 cm.



*3D-model van benzinemotor met bewegende onderdelen. Geprint met FDM printer. Ontwerp door Leo Gregurić. Te downloaden van All3DP.com.*

LET OP: voor onderdelen die in elkaar moeten passen is het handig om wat ruimte in het ontwerp open te laten (tolerantie). Door warmte en krimp kunnen er kleine afwijkingen optreden ten opzichte van je ontwerptekening. In het ontwerp van de motor hiernaast zitten bewegende onderdelen. Die passen niet altijd direct. Het is dan handig om het ontwerp iets aan te passen of de onderdelen later te bewerken met bijvoorbeeld een schuurpapiertje.

### **TIP: Nabewerken print**

Zorg dat het oppervlak van een 3D-model zo glad mogelijk voelt. Een 3D-model uit de FDM-printer kan op verschillende manieren nabewerkt worden. Ruwe randjes kunnen weggevijld worden. Met een 3D pen kun je ook voor extra stevigheid zorgen of onderdelen aan elkaar 'solderen'. ABS kan glad gemaakt worden door een aceton-stoombad (bijvoorbeeld met de Polysher van Polymaker, maar dan moet je ook het filament van Polymaker gebruiken).

PLA kan ook voorzien worden van een fluwelig laagje door middel van Flock-technieken.

## SLA-printer

Stereo Lithografie (SLA)-printen (bijv. met Formlabs) wordt vaak ingezet voor objecten met veel detail. De ribbeltjes die ontstaan door de verschillende laagjes zijn bij deze techniek zo klein dat ze niet voelbaar zijn. Er is dus veel meer detaillering aan te brengen.

De vloeistof (Resin) die in deze printer gebruikt wordt is relatief duur. Een advies zou zijn om eerst met een FDM-printer een goedkoop proefje te maken, voordat SLA-printen wordt ingezet.

Een ander nadeel is dat het, in vergelijking tot FDM-printen, relatief langzaam gaat. Ook is het printoppervlak veel kleiner dan bij een FDM-printer, wat maakt dat de objecten minder groot kunnen zijn. Bij Stereo Lithografie (SLA) belicht een UV-laser of een digitale projector steeds opnieuw kleine laagjes in een vloeistofbad. In dat bad zit een UV-gevoelige vloeistof die hard wordt op de plek waar de laser of projector de vloeistof belicht. De modellen worden vaak op de kop geprint. Ze komen laag voor laag naar boven uit het vloeistofbad. De maximale afmeting van een model is meestal ongeveer 14 x 14 x 17 cm. Met industriële machines kunnen ook grotere modellen worden geprint.



## SLS-printer



*Modellen van gebouwen geprint met kleuren SLS printer. Hiermee krijg je veel levens-echtere modellen dan bij het printen met een FDM of SLA printer. Bij sommige makerspaces hebben ze dit soort printers nog staan. Bron: the coollector.*

Selective Laser Sintering (SLS) is een methode waarbij de machine steeds een dun laagje poeder neerlegt, waarna een laser het poeder volgens het 3D-ontwerp versmelt (verhardt). Daarna komt er weer een nieuw laagje poeder overheen, enzovoort. Als alle lagen klaar zijn en de poederbak is afgekoeld, kun je het model uit het poeder halen en afborstelen. Het overgebleven poeder is herbruikbaar voor een volgende print. Sommige SLS-printers kunnen in *full colour* printen (kleurenpoeder printers) maar die zijn erg duur. Je kunt er modellen van maximaal circa 40 x 40 x 50 cm mee maken, maar er zijn ook industriële machines die grotere modellen kunnen printen. Vanwege de prijs hebben steeds minder FabLabs en Makerlspaces een (kleuren) SLS-printer.

## CNC-frees



Strikt genomen is dit geen printer. Met een CNC-frees haal je van een blok materiaal steeds iets af, net zolang tot je ontwerp overblijft, ongeveer zoals een beeldhouwer uit een blok marmer een sculptuur hakt. CNC staat voor 'computer numerical control': de gegevens in jouw ontwerpbestand sturen de frees heel nauwkeurig aan. CNC-frezen werken met hout, kunststof en soms metaal. Je kunt er geen holle modellen mee maken. Er zijn professionele bedrijven die ermee werken, maar de meeste Makerspaces en FabLabs beschikken ook over zo'n apparaat. De maximale afmeting van een 3D-model bij ligt meestal rond de 130 x 250 x 20 cm. Industriële machines kunnen vaak nog grotere modellen maken.

## 3Doodler Pen

De 3Doodler Pen werkt heel anders dan de rest; je hebt er geen STL-bestanden of andere software voor nodig. Via de achterkant van deze speciale pen voer je een kleurstaafje in dat er aan de voorkant als vloeibaar plastic uitkomt en waarmee je dus kunt tekenen. Zo kun je snel een 2,5D- of zelfs een 3D-model maken, bijvoorbeeld een plattegrondje tekenen maar ook een staand 3D-model maken. Je kunt bijvoorbeeld de vier kanten van de Eiffeltoren plat printen en die dan tegen elkaar zetten, dan heb je een 3D-Eiffeltoren.



Wees wel voorzichtig als je de pen door blinde leerlingen zelf wilt laten gebruiken. Leerlingen en docenten bij Visio hebben de 3Doodler Pen een jaar lang uitgetest.

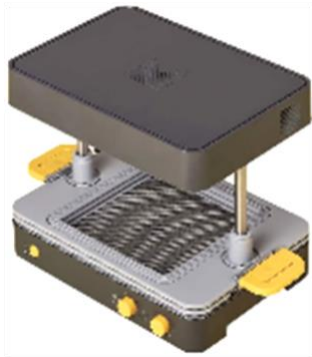
Volgens de docenten is 'de kwaliteit van de 3D-figuren die je kunt maken onvoldoende om geschikt te zijn als onderwijsmateriaal'. Bij leerlingen bleek vooral de hete punt een probleem (200 °C). Een docent schrijft: 'Het was een tweetal leerlingen wel gelukt om figuren te maken zoals letters en een hartje' maar ze komen tot de conclusie dat de pen niet echt geschikt is behalve bijvoorbeeld om uit te leggen hoe 3D-printen werkt. Als je het wel gebruikt, vervang dan de staafjes filament door een rol. Filament is dan niet alleen goedkoper, maar je kunt de pen ook langer gebruiken zonder bij te vullen. De bevindingen zijn te vinden op de website [eduvip.nl](http://eduvip.nl):

<https://www.eduvip.nl/onderzoek-3d-pennen/>.

LET OP: Als je leerlingen in een lokaal met de pen laat werken, gebruik dan PLA in plaats van ABS-materiaal. ABS ruikt heel ongezond.

## Thermoformer

Bij thermoform, ook wel vacu vorm genoemd, leg je het object dat je wilt kopiëren in de thermoformmachine.



*De Mayku is een thermoformer waarmee je eenvoudig en snel kleine modellen kunt maken.*

Vervolgens wordt er een vel dun plastic verwarmd en over het object heen vacuüm gezogen, zodat het de vorm van het object overneemt. Na afkoeling laat het plastic los.

Deze thermoformmodellen kunnen 2,5D-kaarten voor blinden en slechtzienden zijn, maar ook onderdelen voor de auto-industrie. Er is al een machine waarmee kleinere vormen kunnen worden gemaakt vanaf 649 euro (bijvoorbeeld de Mayku). Voor grotere vormen zijn duurdere machines nodig. Een machine om A4-thermoformen te maken kost ongeveer 3.000 euro (EZ-Form Brailon Duplicator of Henkelman NEO). Het maken van een model kost luttele seconden. De plastic bladen zijn er in veel kleuren, kwaliteiten en diktes. De kosten zijn per model laag. Wel moet er eerst een object worden gemaakt. Dat kan bijvoorbeeld met een 3D-printer, een lasersnijder of gewoon met hout. En als één exemplaar genoeg is, kan ook een aardappel in de juiste vorm worden gesneden.

## Materialen voor 3D-printers

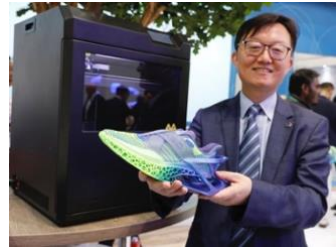


Filament is de 'inkt' van een 3D-printer. Het is meestal gemaakt van een thermoplast: een kunststof die bij verhitting zacht wordt. Er zijn veel verschillende soorten filament, allemaal met hun eigen print-eigenschappen. PLA is meestal het beste materiaal om mee te starten als je werkt met een FDM-printer. PLA is eenvoudig in gebruik, biologisch afbreekbaar en heeft een hoge printsnelheid. Als je meer ervaring hebt, kun je voor sommige modellen zo nodig een ander filament gebruiken. Hieronder vind je meer uitleg over de meest gangbare soorten 3D-filament voor 3D printers. Je kunt ze eenvoudig online bestellen.

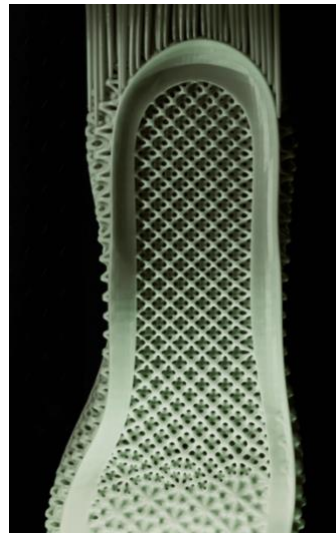
Houd er rekening mee dat alle print-materialen andere printerinstellingen nodig hebben. Lees daarvoor de gebruiksaanwijzing of oriënteer je op het web. PLA is

het meest geschikt voor op school en levert over het algemeen de minste problemen op bij het printen:

- **PLA** Populairste filament. Werkt bij lagere temperaturen dan ABS, is min of meer geurloos tijdens het printen en is verkrijgbaar in talloze kleuren. Het is echter niet supersterk en kan net zoals vinyl langspeelplaten niet tegen hogere temperaturen. Leg het dus niet in de zon.
- **PETG (PET, PETT)** Dit is het materiaal waarvan ook PET-flessen gemaakt zijn. Flexibel, sterk en gemakkelijk te printen. Wel is het gevoelig voor vocht en komen er gemakkelijk krassen op.
- **TPE, TPU, TPC** (Flexible) Rubberachtig plastic, minder sterk dan PLA maar heel flexibel. Gebruik dit voor onderdelen die moeten kunnen buigen. Het printen moet extra langzaam gebeuren om breken te voorkomen. Het printen duurt dus ook langer.
- **ABS** Duurzaam en sterk. Je print het materiaal onder hoge temperaturen en er zijn niet zo veel kleuren beschikbaar. De printerruimte moet goed geventileerd worden omdat het sterk ruikt. Onder andere LEGO en fietshelmen worden van ABS gemaakt. ABS is af te raden in klaslokalen tenzij er afzuiging is.
- **Nylon** Het meest gebruikte materiaal in de professionele printwereld. Je kunt het achteraf gemakkelijk kleuren. Sterk, heel flexibel en duurzaam, maar tijdens en voor het printen wel overgevoelig voor vocht. Daarnaast is het ook duur. Dat laatste maakt het minder aantrekkelijk voor scholen.
- **PC** (Polycarbonate) Een van de sterkste filamentsoorten. Sterk en bestand tegen schokken en hitte. Het is transparant en wordt onder meer gebruikt voor kogelbestendig glas, duikmaskers en scherpjes. Printen met PC vergt wel veel kennis en is niet gemakkelijk.



*Wanhua produceert complete schoenen vanuit de 3D-printer. De schoen bevat verschillende soorten materialen die allemaal 3D worden geprint en dan in elkaar gezet (Bron: Wanhua).*



*De Hero zool van Adidas wordt met TPU geprint op een 3D-printer. De verschillende printoplossingen zorgen voor verschillen in flexibiliteit en ondersteuning voor de voet. Bron: carbon.com*

Andere soorten filament bestaan meestal uit PLA met een toevoeging zoals hout (wood), rubber, ijzerdeeltjes of glow-in-the-dark-pigment. De meeste FDM/FFF-printers (zoals Ultimaker-printers) kunnen deze filamentsoorten aan.



*Je kunt ook haren 3D printen. Op het web staan veel voorbeelden zoals deze, compleet met uitleg (Bron: Shir Atar via Designboom).*

De toevoeging van andere elementen zoals hout of metaaldeeltjes kan iets toevoegen aan de voel-ervaring van een blinde leerling. Het kan bijvoorbeeld lastig zijn om je voor te stellen dat je een model van een boom in handen hebt als je duidelijk plastic voelt. In dat geval is het printen met een PLA-soort met hout een goed idee. Hout ruikt zelfs als hout en voelt ook anders. Omdat er echte houtdeeltjes inzitten moet de printer sneller printen om te voorkomen dat de houtdeeltjes verbranden of vast komen te zitten in de printkop.

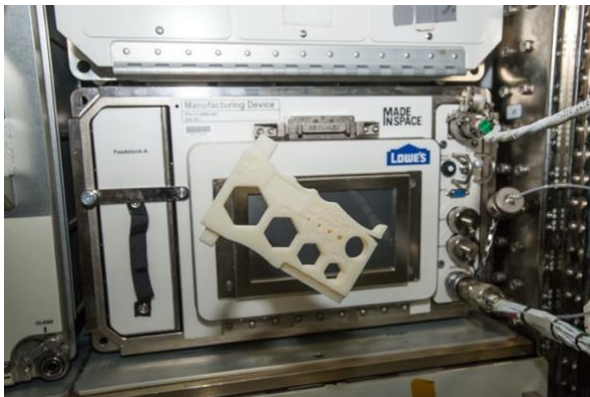


Naast de al genoemde printmaterialen worden onder meer de volgende toevoegingen gebruikt om filament een ander aanzicht of gevoel te geven:

- **Metaal** (brons, koper, etc.): dit is filament met toevoeging van metaaldeeltjes of lijkend op metaal. Het eindproduct lijkt sprekend op metaal maar is dus gewoon plastic.

Blinde leerlingen kunnen aan dit materiaal ook het temperatuurverschil met normaal PLA voelen.

Metaaldeeltjes kunnen trouwens wel de nozzle van de printer (het spuitkanaaltje) sneller doen slijten. Soms het is het beter een hardere nozzle te plaatsen voor metaalhoudend filament.



*3d printer zoals ze die aan boord van het ISS gebruiken. In de voorgrond zweeft een geprint onderdeel (Bron: NASA).*

- **Geleidend** (conductive): stroomgeleidend 3D-filament. Hiermee kun je geleidende delen maken binnen je print waardoor je die kunt koppelen aan geluiden of gesproken woord.

Voor het geluid kun je kant-en-klare oplossingen gebruiken zoals bijvoorbeeld van MakeyMakey of Bare Conductive (zie op hun websites voor meer informatie). Beide oplossingen hebben meerdere capacitieve sensoren die een geluid afspelen (of een lampje laten branden) als je ze aanraakt. In

het volgende hoofdstuk worden ze nader toegelicht.

- **Andere materialen** (koffie, chocola etc.) Voor de liefhebbers van levensmiddelen geuren en smaken, zijn er ook PLA toevoegingen zoals chocola, koekjesdeeg, pizza, enzovoort.
- **Oplosbaar**: dit kun je gebruiken om overhangende delen te ondersteunen. Als je een printer hebt met twee printerkoppen (extruders) laat je een van de twee het oplosbare materiaal printen. Als het model is geprint kun je de overbodige onderdelen in water oplossen.
- **Magnetisch**: het model(onderdeel) dat je hiermee print, trekt ijzer en andere metalen aan. Net als een magneet dus!
- **Kleur-veranderend** (Color-Changing): dit filament verandert van kleur als de temperatuur stijgt of daalt, bijvoorbeeld door aanraking met je vinger of hand (minder relevant voor blinde leerlingen).

## HOOFDSTUK 8

### Voeg audio en interactie aan je model toe

Uit onderzoek blijkt dat leerlingen bij alle typen haptische modellen een gesproken uitleg nodig hebben om hen te helpen het model te verkennen en begrijpen. Die toelichting kun je als docent natuurlijk zelf verzorgen, maar je kunt ook interactie of spraak aan je model toevoegen: wanneer een onderdeel van het model wordt aangeraakt, volgt dan bijvoorbeeld uitleg via een spraakmodule. In dit hoofdstuk laten we een paar oplossingen zien.

#### QR codes op je model

QR codes zijn een eenvoudige en gratis manier om geluid aan een 2,5D of 3D-model toe te voegen. Veel smartphones hebben herkenning van QR codes namelijk standaard ingebouwd via de fotocamera. Geluiden kun je opnemen met applicaties zoals dictafoon (apple) of voicerecorder (android). Die geluiden zet je vervolgens op een online platform zoals SoundCloud (maak dan een account aan op <https://soundcloud.com/>). Voor het maken van QR code en het koppelen aan het geluid bestaan gratis online oplossingen zoals QR Code Generator (<https://nl.qr-code-generator.com/>).

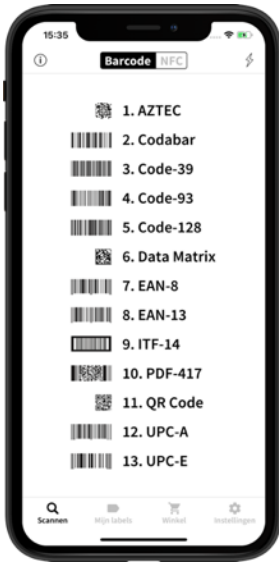


*Online is het eenvoudig om een QR code te maken en die te koppelen aan je eigengemaakte audio fragment of aan een website met meer informatie.*

#### Milestone

Bij Bartiméus wordt ook wel de Milestone gebruikt. Daarmee kun je RFID chips lezen en koppelen aan geluiden die je zelf opneemt. Nadeel is dat je de geluiden niet kunt uitwisselen, dat de leercurve hoog is en dat de Milestones toestellen duur zijn.

## Speechlabel



*De speechlabel app herkent veel verschillende formaten. De audio staat niet online maar op het eigen toestel en is daarom alleen op het toestel beschikbaar waarmee het is opgenomen.*

Een andere gratis oplossing om audio aan je model toe te voegen is de speechlabel app. Met de app kun je eenvoudig een QR code, barcode of NFC chip koppelen aan een boodschap die je in de app zelf kunt opnemen. Je hoeft daarvoor niet een nieuwe code aan te maken maar kunt elke code gebruiken. Zo kan iemand die blind is de barcode op een product scannen en voorzien van een eigen spraaklabel. Bijvoorbeeld ook handig als je in de koelkast het pak melk en het pak yoghurt uit elkaar wilt houden. De geluiden die je opneemt worden op de eigen telefoon opgeslagen en kunnen dus niet worden uitgewisseld met anderen. Toch is dit een hele snelle en handige manier om gesproken boodschappen aan objecten toe te voegen. Het is dan wel handig om een extra telefoon ter beschikking te hebben die de leerling in de les kan gebruiken.

Op de pagina hiernaast staat hoe je met speechlabel in een paar stappen een gesproken label aan je model kunt toevoegen.



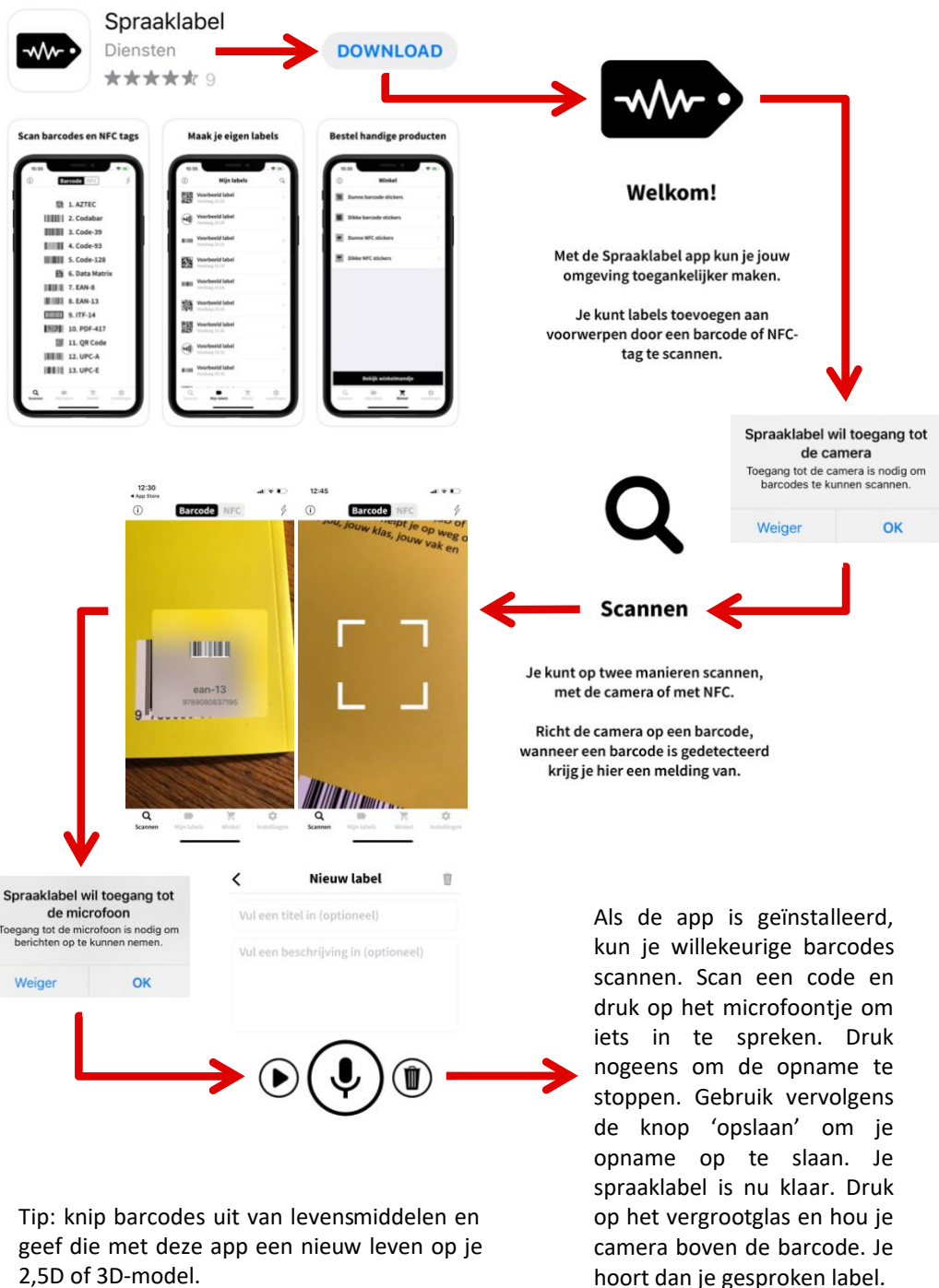
*'Recordable soundchip module' met een opname- (rood) en afspreeknop (zwart). Groen is de luidspreker, het zwarte rondje is de microfoon (Bron: Alibaba).*

## Soundchip uit China

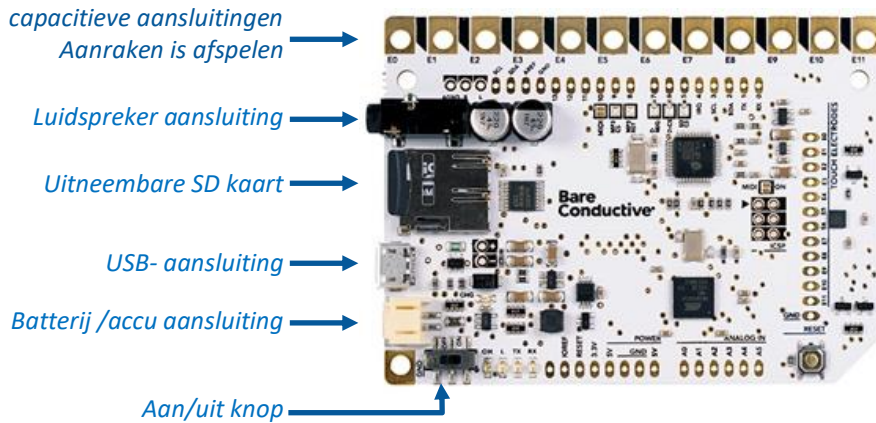
Een andere goedkope en eenvoudige manier om geluid aan een model toe te voegen is door een 'recordable soundchip'. Je hebt die soundchips met een opname- en een afspreeknop (zie afbeelding hiernaast). Met de meeste soundchips kun je tot wel 60 seconden geluid opnemen. Via [nl.aliexpress.com](https://nl.aliexpress.com) zijn de soundchips eenvoudig te bestellen en kosten ze inclusief de knoopcelbatterijen meestal niet meer dan twee Euro per stuk. Zoek op 'soundchip' en controleer voor het bestellen dat er een opname functie in de chip zit.

Iets technischer maar wel veel meer mogelijkheden bieden de interactieve 'bordjes' van MakeyMakey en BareConductive. Beide beschikken over capacitieve

## Snel spraak toevoegen met een barcode



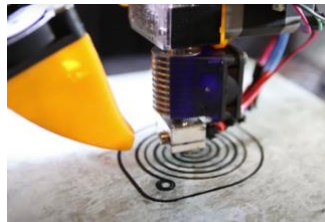
## Geluiden toevoegen met BareConductive



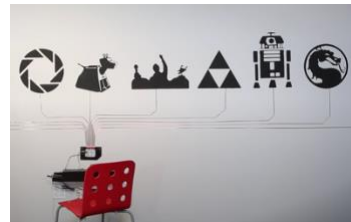
Zet je geluiden op de SD kaart (genummerd met 1, 2, 3 – 12). Sluit dan via de USB-aansluiting een oplader aan en verbind de contactpunten met je model via kopertape, geleidende verf of draad met een krokodillenklem. De aansluitingen zijn capacitief, dus aanraken is afspelen.



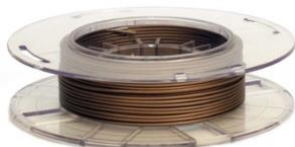
Verf verbinden aan bordje.



Printen.



Interactieve muur met BC bordje.



Geleidend filament.



Geleidende verf uit tube.

Je kunt bij het 3D-printen ook geleidend filament in je model gebruiken. Ook dat kun je eenvoudig aan het bordje verbinden. Soms is het beter om een knopje te gebruiken dan geleidend filament. Met een knopje hebben gebruikers controle over wanneer een geluid wordt afgespeeld.

Gebruik op je 2,5D of 3D-model geleidende inkt, of koperdraad om contact te maken met je BareConductive bordje. De inkt kun je direct smeren vanuit een tube of gebruik een potje geleidende verf en een kwast. Maar je kunt ook kopertape gebruiken, paperclips, of een zacht potlood.



Aansluitmogelijkheden.

sensoren. Dat wil zeggen dat ze iets afspelen als je ze een van de sensoren aanraakt. BareConductive heeft 11 sensoren die allemaal een eigen geluid kunnen afspelen. MakeyMakey heeft 7 sensoren

## BareConductive

BareConductive heeft 11 aansluitingen die capacitief zijn. Dat wil zeggen dat als je ze aanraakt, ze iets in gang zetten zoals een geluid. Die geluiden kun je op een SD kaart zetten. Die schuif je in het SD-slot van de BareConductive. Het geheel kan dan min of meer autonoom functioneren. Je kunt het zelfs wegwerken in je model. Behalve audio kun je met het 'bordje' ook licht en trilling toevoegen. Voor de verbinding aan je model kun je gebruikmaken van krokodillenklemmen of van geleidende inkt. Het bordje is eenvoudig uitwisselbaar tussen modellen. Bijvoorbeeld door een SD kaartje met andere geluiden te gebruiken of de geluiden op de SD kaart te vervangen door andere geluiden.

Op de pagina hiernaast staat meer informatie over hoe je met BareConductive in een paar stappen geluid kunt toevoegen aan je model. Je kunt met BareConductive ook een muur van je klaslokaal tactiel maken en van geluiden voorzien.

## MakeyMakey

De contactpunten of sensoren van het MakeyMakey 'bordje' kunt je gemakkelijk verbinden met onderdelen van je model (met krokodillenklemmen). Als je het 'bordje' dan via USB koppelt aan je computer of laptop kun je opgeven welk geluid moet worden afgespeeld als een van de onderdelen wordt aangeraakt.

Zo kun je een scheepsmodel laten praten (zie afbeelding op volgende pagina) maar ook een piano maken met bananen als toetsen. Je kunt het ook gebruiken om van willekeurige objecten een controller te maken. Nadeel is dat er altijd een computer nodig is.



*Je kunt met het BareConductive 'bordje' ook de muur van je school of lokaal interactief maken. Op een bordje passen via de SD-kaart 11 geluiden.*



*Met het Bare Conductive bordje voeg je eenvoudig geluiden toe aan een tekening, 2,5D of 3D-model, etc.*



*Met MakeyMakey kun je alles geluid laten maken (klei, groente, fruit en onderdelen van 3D-modellen). Koppel het eenvoudig aan een van de 7 aansluitingen. Met MakeyMakey kun je ook van alles een controller maken.*

Die computer is niet nodig bij het BareConductive 'bordje'.



*Casper ten Brug testte voor het Maritiem Museum een interactieve boot om aan blinde bezoekers maritieme begrippen en modellen uit te leggen en te laten ervaren. Hij gebruikte onder anderen MakeyMakey voor het prototype. Casper gebruikte knoppen in plaats van capacatieve verf om te voorkomen dat het geluid start zonder dat de gebruiker dat nog wil.*

## Penreader

Een andere oplossing die wordt gebruikt bij Bartiméus is de penreader van de Royal National Institute of Blind People (RNIB). Die penreader 'leest' speciale stickers. Het is een snelle en goedkope manier om geluiden aan een model toe te voegen. De penreaders zien er alleen een beetje speelgoedachtig uit.

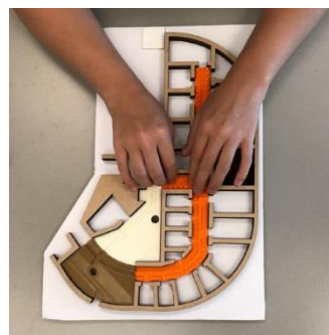


## Bijlagen

### 1. Aanvullende richtlijnen voor tactiele kaarten en plattegronden

Landkaarten en plattegronden met reliëf zijn al lang in gebruik in het onderwijs. De geografische informatie die ze weergeven – over de grootte en de vorm van een land of stad, hoogteverschillen, water of land, wegen, rivieren enzovoort - laat zich meestal goed overzetten naar een voelbare vorm. Maar kaarten bevatten vaak erg veel informatie en veel verschillende onderdelen: lijnen, punten, tekst en texturen. Daarom zijn er bovenop de richtlijnen voor 2,5D-tactiele tekeningen nog enkele specifieke aanbevelingen voor het maken van tactiele kaarten. In de serie 'Op de tast' van Dedicon zijn in de delen Nederland, Europa en Wereld topografische kaarten opgenomen waarbij uitgebreid is nagedacht over de vormgeving. Deze reliëfkaarten kunnen dienen als uitgangspunt voor het beoordelen van bestaande en het maken van nieuwe reliëfkaarten.

- Zet een kader om de kaart om hem af te bakenen.
- Bij het vereenvoudigen van een kaart kun je kleine elementen zoals eilanden, rivieren en kleine steden weglaten of groeperen als die niet nodig zijn voor het begrip.
- Leg per tactiele kaart niet meer dan twee thema's uit, bijvoorbeeld de bevolkingsdichtheid en de bodemgesteldheid. Wil je nog veel meer thema's behandelen, maak dan meerdere losse tactiele kaarten.
- Zorg voor een consistente lay-out als er meerdere kaarten zijn.
- Zet belangrijke elementen zoals de schaal, titel, geografisch noorden en legenda bovenaan in de tactiele kaart.
- Als je tekst in braille op de kaart plaatst, pas dan de braillestandaard toe. Zet bij voorkeur geen losse



*Plattegrond die is gemaakt met een lasersnijder op basis van een gescande technische tekening.*



*Topo kaart om op zwelpapier te printen of te bestellen (Dedicon).*

letters of cijfers in je model zoals een a of een b, een 1 of een 2. En als je dat wel doet, gebruik dan een 'voorloopteken'. Het voorloopteken voor cijfers is het 'cijferteken'. Voor letters is er bijvoorbeeld een 'hoofdletterteken'. Meer informatie is te vinden via [www.braille-autoriteit.org](http://www.braille-autoriteit.org).

- Houd het simpel. Gebruik in één tekening niet meer dan 5 gebiedstexturen, 5 lijnstijlen en 5 puntsymbolen. Zorg voor duidelijk voelbare verschillen. Gebruik bij lijnstijlen bijvoorbeeld niet meer dan 3 verschillende lijndiktes maar wissel af met streepjes- of stippellijnen. Hetzelfde geldt voor puntsymbolen en texturen.
- De grootte van een punt kan variëren van 2 tot 13 mm, afhankelijk van de toepassing. 6 mm is een goede middenweg.
- Een lijn moet minimaal 12,5 mm lang zijn om als lijn goed te worden herkend



*3D-geprinte kaart met een printer met twee kleuren (2 extruders).*

- Wegen of grenzen kun je ook weergeven met een stippel-, streepjes- of stippelstreepjes-lijn. Ook hier geldt: overdaad schaadt. Bij streepjeslijnen zijn de streepjes tussen 6 en 10 mm lang en is de ruimte tussen de streepjes altijd de helft van die lengte. Als de streepjes 8 mm lang zijn, is de ruimte ertussen dus 4 mm.

- Om vormen op een kaart weer te geven hoef je je niet te beperken tot de geometrische basisvormen (vierkant, cirkel, rechthoek). Ook complexere vormen zijn goed toepasbaar.
- Als een vlak zo klein is dat er geen textuur in past, zet dan een nummer of een tekst in braille in dat vlak. Als je voor een nummer kiest, leg de betekenis ervan dan uit in de legenda.
- Houd rekening met de mogelijkheid om kaarten mee te nemen (voor huiswerk of vakantie) of ze op een andere plaats te reproduceren.



*Plattegrond van Groningen met daarop straten, gebouwen, toelichting in braille en belangrijke objecten als 3D-weergave. Alleen de Martinitoren lijkt te missen.*

## 2. Problemen bij het printen

Bij het werken met 3D-printers kan er van alles foutgaan. Dat kan komen van droog filament, een te koude of hete onderplaat, een te koude of hete nozzle etc. Wie voor het eerst start met 3D-printen zal veel misgelopen prints meemaken. Kijk dan eens op de websites van [all3dp.com](http://all3dp.com) of [ultimaker.com](http://ultimaker.com) en zoek naar troubleshooting. Meestal is de oorzaak eenvoudig op te lossen.

Op de website van [support.3dverkstan.se](http://support.3dverkstan.se) kun je veel voorbeelden vinden van zaken die vaak misgaan bij het printen, inclusief oplossingen voor je Ultimaker printer.

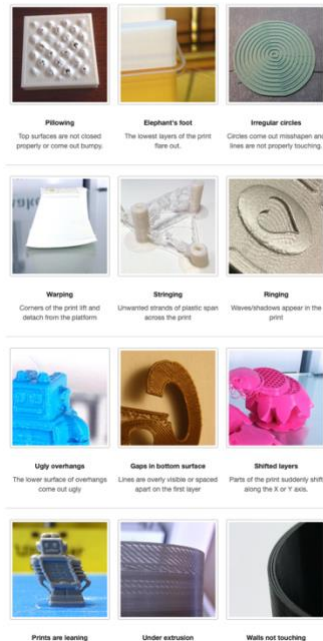
Er staan oplossingen voor o.a. pillowing, overhanging, warping, stringing, ringing, gaps, leaning, shifted-layers, under-extrusion, filament grinding en nog veel meer geweldige problemen die je kunt tegenkomen als je een model wilt printen. De oplossingen staan er direct onder zodat je snel weer door kunt met printen.

### A visual Ultimaker troubleshooting guide

On this page you'll be able to visually try to match the problems you are having with your print and hopefully find enough information so that you can alleviate the issue you're having. Look through the images and click on the one that matches the problems you're having to jump to a more in-depth explanation. The information on this page is skewed towards the Ultimaker2 but most of the information applies to the Ultimaker Original as well.

We also have a page with a few tips on [Getting Better Prints](#) by tweaking settings or modifying your model for printability.

If you find any inaccuracies or if something is unclear, please let us know.



*Op de website van Verkstan staat een overzicht van redenen waarom 3D-prints met de Ultimaker printer soms misgaan met de oplossingen. (<https://support.3dverkstan.se/article/23-a-visual-ultimaker-troubleshooting-guide>).*

## Bronnen

Agarwal, A., Jeeawoody, S., & Yamane, M. (2014). Team Walrus: 3D-Printed Teaching Aids for Students with Visual Impairments Final Report. *Perspectives in Assistive Technology*. Stanford University, Stanford.

Bliek, H.S. (2019). *Making art accessible to visually impaired museum visitors*. Scriptie voor Master interaction Industrial Design Engineering. University of Technology, Delft.

Doran, L. (2018). *Haptic Education for Visually Impaired Children*. (Graduation Project for Accessibility Foundation). Haagse Hogeschool. Den Haag.

Fogle-Hatch, C. (2020). "Bring Your Own Device" (BYOD) programming facilitates accessibility for people who are blind or have low vision. *MW20: MW 2020*. <https://mw20.museweb.net/paper/bring-your-own-device-byod-programming-facilitates-accessibility-for-people-who-are-blind-or-have-low-vision/>. Bezocht op 7-11-2020:

Gonzales, A. (2015). *Development and Analysis of New 3D Tactile Materials for the Enhancement of STEM Education for the Blind and Visually Impaired*. Arizona State University.

Hasty, L., & Seki, V. (2004). *Tactile Graphics Decision Tree*. American Foundation for the Blind. New York.

Holloway, L., Marriott, K., Butler, M., & Reinders, S. (2019). 3D Printed Maps and Icons for Inclusion: Testing in the Wild by People who are Blind or have Low Vision. *The 21st International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. (pp. 183-195).

Horvath, J., & Cameron, R. (2018). *Presentation 3D Printing: What's Realistic for TVs?* Nonscriptum LLC, Pasadena.

Jovanovic, N., Anelkovic, B., & Krstic, H. (2014). The role of 3D printing in the making of models for tactile perception of architectural objects. *4th moNGeometrija*, Vlasina.

Loch, R.E.N. (2008). Cartografia tátil: mapas para deficientes visuais. *Portal da Cartografia* 1(1), 35–58

Rieken, E. (2013). *Tastbaar resultaat, het effect van tactiele tekeningen op de leerresultaten van brailleleerlingen in het primair onderwijs* (Scriptie voor stichting Accessibility). Universiteit Utrecht, Utrecht.

Rieken, E., & Dam, S. van. (2012). *Eindrapport project '(Ver)ken je wereld'*. Bartiméus & Dedicon, Zeist / Grave.

Schuffelen, M. (2002). *On editing graphics for the blind, a manual with examples*. NLBB, Den Haag.

Siu, A.F. (2019). Advancing Accessible 3D Design for the Blind and Visually-Impaired via Tactile Shape Displays. *The Adjunct Publication of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (pp. 146-149).

Treurniet, T. (2018). *Visualize buildings for people with a Visual Impairment* (Stage onderzoek voor stichting Accessibility). TU Eindhoven, Eindhoven.

Urbas, R., Pivar, M., & Elesini, U.S. (2016). Development of tactile floor plan for the blind and the visually impaired by 3D printing technique. *J. Graph. Eng. Des.* 7(1), (pp. 19–26)

Van der Tier, L. (2017). *Pilotstudie naar het gebruik van Bare Conductive paint en Bare Conductive touch board in het onderwijs van Bartiméus* (Stage onderzoek voor stichting Accessibility). Universiteit Utrecht, Utrecht.

Veld, D., & Rieken, E. (2016). *Richtlijnen voor het ontwerpen van tactiele tekeningen op zwelpapier*. Project *verken je wereld*. Bartiméus, Zeist.



Logifaces - The Beginner Set - Ash  
\$50.00



Logifaces - Miracle Edition - Rose  
\$70.00

*Deze puzzels kun je bestellen of zelf maken. Maak met het 3D ontwerpprogramma Tinkercad een rechthoek en snijd die op in verschillende delen. Zo krijg je een puzzel. De puzzels zijn veel lastiger in elkaar te zetten dan je zou denken.*

Westerink, J. (2019). *The effect of tactile drawings and 3D-models on the concept formation of visually impaired people* (Scriptie voor stichting Accessibility) Universiteit Utrecht, Utrecht.

Wilson, P.F., Griffiths, S., Williams, E., Smith, P., Williams, M.A. (2020). Designing 3-D Prints for Blind and Partially Sighted Audiences in Museums: Exploring the Needs of Those Living with Sight Loss. *Journal of Visitor Studies*, 23:2, (pp. 120-140).

Withagen, A., Heins, L., Blok, A., Betten, A., Buurmeijer, A., Mul, M., & Oosterlaak, L. (2010). *FanTASTisch. Een inspiratiebron voor ouders van blinde kinderen*. Visio, Huizen.

## Dankwoord

De volgende personen wil ik bedanken voor het kritisch meelesen en meedenken bij het schrijven van dit handboek.

Allereerst dank aan Bartiméus Fonds. Dankzij dit fonds zijn de afgelopen jaren veel belangrijke projecten uitgevoerd samen met het onderwijs van Bartiméus. Als afsluiting van alle projecten is een project 'Haptisch Handboek' uitgevoerd. Voor dat project zijn twee brochures geschreven. De nieuwste brochure is voorgelegd aan een brede groep lezers en experts. De aanpassingen, verbeteringen en opmerkingen zijn verwerkt in dit handboek.

Speciale dank aan Rob Schenk en Ad la Faille die bij Bartiméus onderwijs een compleet 3D-printlab hebben opgezet. Daar leren ze leerlingen om zelf 2,5D- en 3D-modellen te maken en produceren ze modellen voor AOB en onderwijs. Ze hebben samen met leerlingen een eigen webwinkel geopend via eduVIP. Rob heeft kritisch meegelezen. Hij heeft ook veel van de in dit boek gebruikte modellen geprint en geduldig geholpen bij de stap-voor-stap handleiding.

Wim Adam en zijn collega's van de Ambulante Onderwijskundige Begeleiding (AOB) van Bartiméus veel dank voor de goede tips, vragen en opmerkingen. Hopelijk vindt dit handboek via de AOB'ers zijn weg naar de vele docenten in regulier onderwijs die lesgeven aan blinde leerlingen.

Dorine in 't Veld werkt bij Stichting Dedicon als projectmanager tactiel lezen en leren. Zij werkt onder andere aan tactiele tekeningen in diverse technieken en 3D. Zij heeft een enorm waardevolle bijdrage geleverd aan dit handboek. Via een beeldverbinding hebben we uitgebreid ervaringen en kennis uitgewisseld om het handboek af te stemmen op de

producten en diensten van Dedicon. Belangrijke uitzondering is dat dit handboek spreekt over 2,5D terwijl Dedicon spreekt over één of meerlaagse reliëftekeningen. Dorine is inspirerend als altijd en op het gebied van tactiele tekeningen en 3D-printen in Nederland een van de meest gedreven en terzake kundige mensen die ik ken. Zij werkt onder meer aan de 'Op de tast'-serie van Dedicon.



*Model van de Kilimanjaro met een doorsnede van de route naar de top. Het model is groot en bestaat dus uit diverse delen die aan elkaar zijn gezet. Het heeft ook audiopunten en voelbare informatie over de ondergrond. Voor het model zijn diverse 3D technieken gebruikt (Bartiméus).*

Claartje Aarts heeft tijdens de uitvoering van 3D-printprojecten in de afgelopen jaren vaak een helpende hand toegestoken. In de tijd dat zij nog bij Protospace in Utrecht werkte heeft ze onder meer meegebouwd aan een interactief model van de Kilimanjaro. Dat 3D-model is destijds door de televisiemakers en de blinde bergbeklimmers gebruikt als voorbereiding op de beklimming van de hoogste berg van Afrika. Het is ook nog lange tijd gebruikt bij de aardrijkskundelessen op Bartiméus. Het model was voorzien van audio met extra uitleg.

Van Claartje komt het voorstel om design thinking in het handboek op te nemen. Zij heeft het model op pagina 25 gemaakt en twee voorbeelden uitgewerkt.

Eric de Quartel werkt bij Bartiméus en heeft meegelezen, meegedacht en ook veel voorbeelden aangeleverd vanuit de onderwijspraktijk. Sommige van de 2,5D- en 3D-modellen in dit boek zijn in zijn lokaal gefotografeerd. Hij houdt zich actief bezig met braille (ontwikkelde onder andere de braille pi') en met het toevoegen van audio en interactie aan 2,5D- en 3D-objecten. Hij werkt ook mee aan het 3D-2D-project. Ook andere docenten van Bartiméus hebben meegekeken naar de tekst en de voorbeelden.

Esther Rieken heeft uitgebreid naar de tekst gekeken en veel input geleverd, vooral in het hoofdstuk over 2,5D. De tactiele tekeningen in dit handboek zijn voor het grootste deel haar werk en veel inspiratie voor het hoofdstuk over 2,5D-modellen komt van de website [tactieletekeningen.nl](http://tactieletekeningen.nl) en andere publicaties waaraan



Esther heeft gewerkt. Heel veel dank voor haar toestemming om die materialen en afbeeldingen in dit handboek te gebruiken.

Marloes Homburg van Makerpoint heeft in het verleden met Accessibility/Bartiméus in een aantal 3D-projecten samengewerkt. Zij heeft kritisch naar de tekst gekeken vanuit haar ervaring met docenten in het regulier onderwijs die 3D-printers gebruiken.

Verder heel veel dank aan alle studenten die de afgelopen jaren hebben gewerkt aan de vele 3D-print projecten bij Stichting Accessibility en Bartiméus: Sara Schippers, Lisa van der Tier, Joran Westerink, Tim Treurniet. Onder begeleiding van Ruben Brandsma van Accessibility hebben zij geholpen om de kennis over 3D-printen voor blinde leerlingen verder te vergroten. Vooral ook veel dank aan Lucia Doran die voor haar scriptie het Formulier informatiebehoefte heeft opgezet en veel onderzoek heeft gedaan naar de richtlijnen.

Dank ook aan de redactie en ondersteuning door Chris Bernasco (De Tekstsmid) bij het schrijven en bij het verwerken van commentaren en tips.

Mis je nog iets aan het boek, laat me dat dan even weten. Dan voegen we dat in de volgende versie toe.

Eric Velleman