

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
	Voor wie is dit boek bedoeld?	2
	Is 3d-printen een hype?	2
	Wat is 3d-printing?	3
	Additive Manufacturing	4
	Zoek de verschillen	4
	Technieken	5
	Materialen	5
	De geschiedenis van de 3d-printer	6
	De rol van Kickstarter	9
	Verlopen patenten bieden kans tot ontwikkeling	11
	RepRap	11
	3d-printen in het onderwijs	13
2	De voordelen van 3d-printen	15
	De voordelen	16
	De consument wordt producent	23
	Beter voor de economie en het milieu	23
3	De nadelen van 3d-printen	25
	3d-printers en materialen zijn duur	26
	3d-printers zijn niet ‘dummie-proof’	27
	Meegeleverde printsoftware is complex	27
	Modelleren is niet eenvoudig	27
	Printen duurt lang	28
	Nabewerking is soms nodig	28
	Schadelijk voor de gezondheid	28
	Fabrieken en bedrijven verliezen klanten	29
	Economische gevolgen	29
	Digitale bestanden zijn eenvoudig te kopiëren	30
	Toename van namaak	30
	Wapens en andere illegale praktijken	31

4	Technieken	35
	De techniek staat voor niets	36
	Stereolithografie (SLA)	36
	Selective Laser Sintering (SLS)	37
	Electron Beam Melting (EBM)	39
	Digital Light Processing (DLP)	39
	Material Jetting (MJ)	40
	PolyJet	40
	Binder Jetting (BJ)	41
	Laminated Object Modeling (LOM)	42
	Fused Deposition Modeling (FDM)	42
5	Materialen	45
	Filamenten	46
	ABS (Acrylonitril Butadiene Styrene)	46
	PLA (PolyLactic Acid)	48
	PVA (PolyVinylAlcohol)	50
	HIPS (High Impact Polystyrene)	51
	Polyamide (Nylon)	52
	Soft PLA (Flexible PLA)	52
	LayWOO-D3	54
	Laybrick	54
	BronzeFill	55
6	Toepassingen van 3d-printen	57
	Prototyping	58
	Het maken van mallen	60
	Architectuur	60
	Meubels	64
	Medische wetenschap	65
	Defensie	68
	Ruimtevaart	69
	Mode	70

Sieraden	72
Muziekinstrumenten	73
Special effects	75
Gepersonaliseerde producten	76
Ideële organisaties	82
7 Hardware	85
De 3d-printer	86
De techniek in het kort	86
De anatomie van de 3d-printer	87
Waar u op moet letten als u een 3d-printer wilt kopen	94
Enkele 3d-printers op een rij	96
Zelfbouw 3d-printers	96
Geassembleerde 3d-printers	99
De 3d-scanner	107
Enkele 3d-scanners	110
8 Software	115
Modelleerprogramma's	116
Solid modeling-programma's	116
Sculptingprogramma's	119
Parametrische modelleerprogramma's	123
Polygonale modelleerprogramma's	124
Mesh-software	125
Printerclientprogramma	129
9 Internet	133
Webapplicaties	134
Online 3d-modellen	137
Online-servicebureaus	142
Handige websites	145

10 3d-printen in de praktijk	147
Hoe de foto bij het voorwoord tot stand kwam	148
Mijn eerste 3d-printer: de Felix 3.0	158
Index	173



Inleiding

Als u aan de slag wil met 3d-printen, krijgt u te maken met veel nieuwe termen en begrippen. Maar daarom hebt u natuurlijk ook dit boek gekocht. Wat is 3d-printen? Hoe is het ontstaan? Wat kunt u ermee? In deze introductie maken wij u wegwijs in deze materie.

Voor wie is dit boek bedoeld?

Dit boek is bedoeld voor iedereen die is geïnteresseerd in 3d-printen en hier meer over wil weten. Het boek is beslist geen handleiding voor de 3d-printer, want daarvoor zijn er te veel verschillen tussen alle bestaande apparaten. U leert ook niet hoe u alle software moet bedienen, want er valt wel een boek te schrijven over elk van deze programma's. We vertellen u ook niet hoe u een 3d-printer zelf kunt bouwen, want er worden prima handleidingen geleverd bij de bouwpakketten, en bovendien is dat geen klusje dat voor iedere lezer is weggelegd.

Nu hoor ik u denken: "Waar gaat dit boek dan wel over?" Wel, er blijft genoeg te vertellen en voor u te ontdekken. Bijvoorbeeld:

- hoe 3d-printen werkt, en wat u ermee kunt doen;
- hoe 3d-printen wordt toegepast in verschillende disciplines en beroepen;
- welke verschillende technieken worden gebruikt bij 3d-printen;
- met welke materialen u kunt 3d-printen;
- welke 3d-printers voor u interessant kunnen zijn;
- hoe u zelf 3d-modellen kunt maken;
- welke programma's voor u interessant zijn;
- waar u gratis 3d-modellen kunt vinden;
- tips en trucs om betere prints te krijgen;
- welke servicebureaus en webdiensten u kunt gebruiken;
- en nog veel meer...

Is 3d-printen een hype?

De laatste tijd berichten de media steeds frequenter over 3d-printing en er komen steeds meer websites, servicebureaus en bedrijven bij die zich richten op deze techniek. Sommigen 'experts' zien 3d-printing zelfs als de aanloop naar een volgende industriële revolutie.

U zou wellicht kunnen denken dat er sprake is van de zoveelste hype, die wel weer snel zal overwaaien. De – soms ietwat sensatiegerichte – berichtgeving in de media zal nog wel enige tijd aanhouden en naarmate we steeds meer gewend raken aan

het bestaan van deze technologie ongetwijfeld langzaam weer afnemen, maar het is erg onwaarschijnlijk dat de 3d-printer hierna uit het zicht zal verdwijnen.

De innovaties op het gebied van 3d-printen volgen elkaar de laatste jaren steeds sneller op en het aantal enthousiaste gebruikers en toepassingen in diverse vakgebieden groeit dagelijks. Ook de intrede van 3d-printen 'in de huiskamer' komt snel dichterbij nu er steeds meer keuze is uit betaalbare en gebruikersvriendelijke 3d-printers die zijn bedoeld voor de consument en de (semi)professionele gebruiker.

Een parallel met een ontwikkeling van ruim twintig jaar terug: niemand had exact kunnen voorspellen wat de komst van internet teweeg zou brengen, maar dat de wereld hierdoor zou veranderen stond als een paal boven water. Inmiddels is iedereen vertrouwd met de technologie en kunnen weinig mensen nog zonder. Maar de invloed van internet op onze samenleving is enorm: op het gebied van communicatie, reizen, geldverkeer, winkelen, de muziek-, film- en game-industrie, en – niet te vergeten – onze privacy.

Zo is het vermoedelijk ook met 3d-printen; niemand weet nog wat deze technologie ons precies zal brengen en welke invloed zij zal hebben op bijvoorbeeld de industrie, de gezondheidssector, de economie, en op ons dagelijks leven, maar het staat vast dat 3d-printen de wereld op zijn kop zal zetten.



Bron:
i.materialise.com.

Wat is 3d-printing?

3d-printen is – kortweg – het omzetten van een digitaal driedimensionaal ontwerp naar een tastbaar voorwerp. Er wordt eerst een ontwerp gemaakt van een object met behulp van een CAD-programma (*Computer Aided Design*) of met een 3d-modelleringsprogramma. Hierna wordt het 3d-ontwerp bewaard als computerbestand. Vervolgens wordt het ontwerp in een ander programma – de zogeheten *slicer* – in plakjes gesneden. Hierin worden onder meer de afmeting en de resolutie van het object bepaald. Hoe dunner de laagjes, hoe meer detail het object uiteindelijk zal hebben.

Deze printopdrachten worden bewaard in een tekstbestand: de *g-code*. Met dit universele bestandsformaat kan elke 3d-printer overweg, zowel een professionele als een consumentenprinter.

Vervolgens bouwt de 3d-printer het object laagje voor laagje op. Doorgaans gebeurt dit van beneden naar boven (*bottom-top*). De manier waarop de lagen worden opgebouwd varieert per techniek. De kwaliteit van een uit lagen opgebouwd object is afhankelijk van de laagdikte van het materiaal. Deze laagdikte varieert van 0,3 mm tot 16 microns.



Een duizendste van een millimeter Een micron – ook wel micrometer of *mu* (μ) genoemd – is een duizendste deel van een millimeter. Ter illustratie: één micrometer heeft bijvoorbeeld de lengte van een rijtje van ongeveer 5000 atomen, of een honderdste deel van de dikte van een vel krantenpapier. Een mensenhaar heeft een gemiddelde dikte van 50 tot 70 micron.

Additive Manufacturing

De officiële term voor dit fabricatieproces is *Additive Manufacturing* (additieve fabricage). Additief wil zeggen dat je materiaal toevoegt om een object of product te maken. De tegenhanger is *Subtractive Manufacturing*, waarbij juist materiaal wordt verwijderd om het object de juiste vorm te geven. Zoals bijvoorbeeld gebeurt met een blok metaal of hout dat wordt bewerkt met een zogeheten CNC-freesmachine, boormachine, snijplotter, graveermachine en dergelijke industriële apparaten.



Niks te frezen CNC, oftewel *Computer Numerical Control*, wordt toegepast om werktuigmachines, zoals freesmachines, snel en zeer nauwkeurig aan te sturen tijdens de vervaardiging van objecten in metaal, kunststof of hout. De benodigde instructies worden gegenereerd in een CAD-programma.

Zoek de verschillen

Een belangrijk verschil tussen deze twee verschillende fabricagemethoden is dat bij de subtractieve techniek een groot deel van het originele materiaal niet meer kan worden gebruikt. Dat levert veel afval op. Het product bestaat daarnaast soms ook uit afzonderlijke delen, zodat het eerst nog samengevoegd moet worden. Dat kost weer extra tijd en dus geld, en bovendien is het slecht voor het milieu.

Bij de additieve fabricage van objecten blijft er – buiten eventueel ondersteunend materiaal – geen afval over, want om een object te fabriceren wordt alleen materiaal gebruikt dat nodig is. Dit levert niet alleen een flinke kostenbesparing op, maar het is tevens veel duurzamer. Bovendien hoeft een object dat wordt gemaakt met behulp van additieve fabricage vaak niet te worden geassembleerd: een object kan uit meerdere onderdelen bestaan en zelfs bewegende onderdelen bevatten.

Termen *3d-printing* kan worden beschouwd als de verzamelnaam van alle verschillende technieken waarbij een 3d-model wordt gebruikt bij het fabriceren van een fysiek voorwerp. Soms worden ook termen als *rapid prototyping* of *desktop manufacturing* gebruikt, maar ook *freeform fabrication*, *rapid manufacturing*, *digital manufacturing* en *fabbing* kunt u tegenkomen.



Snel prototype De term *rapid prototyping* wordt gehanteerd in de industriële sector, waarbij een 3d-model wordt gebruikt voor het vervaardigen van een prototype van een product. Het object kan hierdoor worden getest en geëvalueerd voordat het op een industriële manier zal worden geproduceerd. Bij *rapid manufacturing* ligt de nadruk op het snel in (kleine) series maken van producten. *Rapid manufacturing* brengt minder kosten met zich mee dan fabricagemethoden waarbij giet- of spuitmallen worden gebruikt. Dit geldt echter voornamelijk wanneer een product in een kleine oplage wordt gemaakt. Zodra producten in grote aantallen moeten worden geproduceerd, is de traditionele fabricage met mallen momenteel nog steeds goedkoper.



Technieken

Er bestaan diverse technieken voor 3d-printen, waaronder als bekendste de zogeheten *material extrusion* technologie, zoals *Fused Deposition Modeling* (FDM), Met deze techniek wordt thermoplastisch materiaal verhit en uit de 'printkop' geperst om een voorwerp laag voor laag op te bouwen. De techniek wordt ook wel *Fused Filament Fabrication* (FFF) genoemd. De reden hiervoor is het patent dat het 3d-printbedrijf Stratasys heeft op de term FDM.

Professionele industriële printers werken doorgaans met *Selective Laser Sintering* (SLS). Of met *Stereo Lithography* (SLA), waarvan ook de naam van zogeheten stl-bestanden is afgeleid. Dit is het standaard bestandsformaat dat doorgaans wordt gebruikt om 3d-ontwerpen te kunnen printen naar een tastbaar voorwerp. Er bestaan overigens nog wel meer technieken, maar als er wordt gesproken over 3d-printen, gaat het in het algemeen over de drie zojuist genoemde technieken. In hoofdstuk 4 vertellen we u meer over de diverse technieken.

Materialen

Afhankelijk van de gebruikte techniek worden verschillende materialen – filamenten genoemd – gebruikt om de voorwerpen te printen. Plastics zoals nylon (polyamide) zijn populair, maar ook metalen als zilver, goud, brons, (roestvrij) staal, titanium en aluminium worden al toegepast. Voorwerpen kunnen worden geprint in keramische materialen en zijn er eveneens resultaten geboekt met beton, zand en hout als grondstof. Ook chocolade en suiker blijken prima materialen om mee te printen. De medische wetenschap experimenteert al enige tijd met organisch celmateriaal (bio-inkt) voor de 3d-printer en laat dit in een laboratorium uitgroeien tot levend weefsel. Deze toepassing wordt bio-printen genoemd.

Er zijn 3d-printers die alleen overweg kunnen met één materiaaltype, en er zijn apparaten die meerdere materiaalsoorten printen. Met sommige 3d-printers kunt u zelfs gelijktijdig verschillende materialen printen of met één soort materiaal meerdere kleuren printen.

De ontwikkelingen op dit gebied gaan snel en er zullen constant nieuwe technieken en materialen worden geïntroduceerd. In hoofdstuk 5 leest u meer over materialen voor 3d-printers.

De geschiedenis van de 3d-printer

Veel mensen denken dat 3d-printing een ontwikkeling van de laatste jaren is, maar niets is minder waar. Wist u dat het principe ervan al is ontstaan aan het eind van de negentiende eeuw? Kort na de uitvinding van de fotografie werd al gezocht naar manieren om fotogevoelig materiaal selectief te belichten en als een tweedimensionaal patroon uit te harden.

Fotogevoelig materiaal

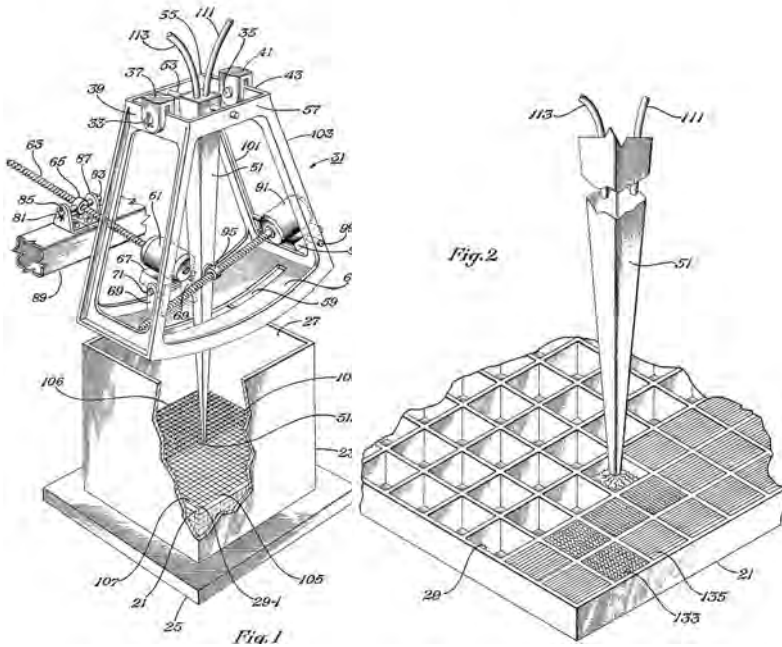
Aan het begin van de twintigste eeuw werd geëxperimenteerd met het laagsgewijs opbouwen van objecten in was, en later ook in plastic en metaal. In de loop der jaren werd de techniek verder verfijnd.

Sinds de jaren zestig van de vorige eeuw werd er geëxperimenteerd om objecten te maken met behulp van 3d-printers. De techniek werd voornamelijk gebruikt door industrieel ontwerpers en fabrikanten voor het vervaardigen van prototypen van producten.

Pioniers van 3d-printen

In 1972 wordt een patent goedgekeurd dat afkomstig is van de Franse uitvinder Pierre Ciraud. Hierin omschrijft hij een methode voor het uitharden van hars door middel van een laser. De Amerikaan Ross Householder bedenkt hierop een variatie, waarbij in plaats van fotogevoelige hars laagjes poeder worden gebruikt. Hij vraagt hiervoor in 1979 patent aan. Dit patent werd nooit commercieel toegepast. Er werd echter wel naar deze methode verwezen in het patent voor *Stereo Lithography* (SLA), dat in 1986 werd ingediend door Chuck Hull, de oprichter van 3D Systems, een van de grote spelers op het gebied van *additive manufacturing*.

Ook Carl Deckard is schatplichtig aan Ross Householder. In 1986 kreeg Deckard, afgestudeerd aan de technische universiteit van Austin in Texas, het patent op *Selective Laser Sintering* (SLS). Hij werkte, samen met een van zijn professors (Joseph Beaman), aan de ontwikkeling van deze methode, waarbij een laser een metaalpoeder smelt om een object laagsgewijs op te bouwen. Het patent op *Selective Laser Sintering* (SLS) werd een van de meest winstgevendende patenten van de Technische Universiteit Austin in Texas.



Het patent van Ross Householder, dat veel overeenkomsten heeft met Selective Laser Sintering en stereolithografie. (bron: google.com/patents)



Links: Carl Deckard, rechts: Joseph Beaman. (bron: utexas.edu)

S. Scott Crump studeerde *mechanical engineering* (werktuigbouwkunde) aan de staatsuniversiteit van Washington en bedacht in de jaren '80 van de vorige eeuw een technologie die *Fused Deposition Modeling* (FDM) wordt genoemd. Deze methode wordt doorgaans gebruikt door de huidige desktop-3d-printers. Het idee voor deze techniek ontstond nadat Crump een speelgoedkikker voor zijn dochter wilde maken door deze op te bouwen in lagen van plastic (polyethyleen) en was. In 1989 richtte hij samen met zijn vrouw Lisa Crump het bedrijf Stratasys op. Dit bedrijf is een van de grootste spelers op het gebied van professionele 3d-printers.

I. Inleiding

S. Scott Crump is de uitvinder van Fused Deposition Modeling (FDM), de technologie waarop de meeste desktop-3d-printers zijn gebaseerd. (bron: moby3dick.blogspot.com)



Vader Chuck Hull wordt wel gezien als de vader van het 3d-printen. Voordat hij in 1984 tot dit idee kwam, hield hij zich al bezig met het gebruik van uv-licht om coatings hard te maken die werden gebruikt voor meubels en tafels. Hierdoor ontstond het idee om duizenden dunne laagjes plastic op elkaar te stapelen en deze te laten uitharden met behulp van (uv-)licht. Deze techniek noemde hij stereolithografie. In 1986 richtte hij het bedrijf 3D Systems op en verkocht hij de eerste commerciële 3d-printers, die na enkele groeistruipen met de nodige financiële injecties voornamelijk werden toegepast in de auto-industrie, door productontwerpers en de medische sector. Toen de Amerikaanse universiteit MIT zich met de techniek bemoeide, maakte dat de weg vrij voor diverse innovaties, waardoor bijvoorbeeld ook andere materialen – zoals metaal en keramiek – gebruikt konden worden.



STL Chuck Hull is bovendien de bedenker van het zogeheten stl-bestandsformaat, dat nog steeds veel wordt gebruikt om 3d-objecten te bewaren die zijn bedoeld voor additieve fabricage.

Chuck Hull met een Cubify, een van de vele 3d-printers van 3D Systems. (bron: cubify.com)



Het onderzoekscentrum van het Amerikaanse leger startte in het begin van de jaren '80 met de ontwikkeling van 3d-printtechnologie. Eind jaren '80 kwamen er ook commerciële (lees: dure) 3d-printers op de markt. Maar de afgelopen vijf jaar heeft de ontwikkeling van 3d-printen een reuzensprong gemaakt. Dit is mede te danken aan de inzet van enthousiaste hobbyisten en de open source community op internet, waarbij wordt samenwerkt aan projecten en waarbij broncode en blauwdrukken met elkaar worden gedeeld. Dit heeft onder andere geleid tot talloze zelfbouw 3d-printers en diverse gratis softwareproducten. Bijvoorbeeld software waarmee 3d-printers kunnen worden aangestuurd of waarmee u 3d-ontwerpen kunt maken.

Reuzensprong

De rol van Kickstarter

In een boek over 3d-printen mag Kickstarter niet ontbreken. Deze website heeft namelijk een zeer positieve bijdrage geleverd aan de snelle ontwikkeling en acceptatie van de desktop-3d-printer door de consument.

Kickstarter kent vele succesvolle projecten, die hebben geleid tot talloze nieuwe betaalbare 3d-printers. Bijvoorbeeld de Buccaneer, een betaalbare 3d-printer die gebruikersvriendelijk werkt. De initiators van het project haalden bijna 1,5 miljoen Amerikaanse dollars op, terwijl het streefbedrag van het project \$ 100.000 bedroeg.



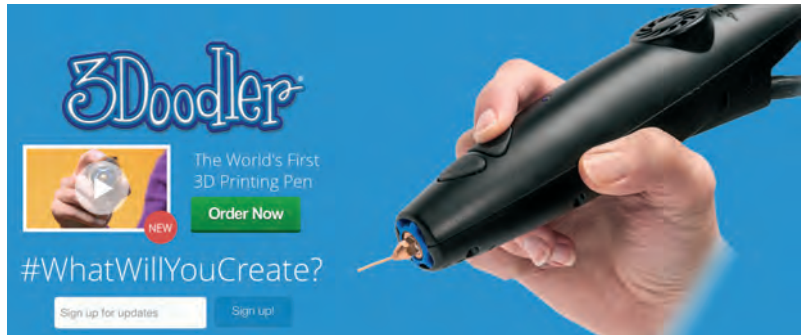
Behalve gebruikersvriendelijk is de Buccaneer ook nog eens 'portemonneevriendelijk'. (bron: pirate3d.com)

Een ander voorbeeld is 3Doodler, een uit de kluiten gewassen pen waarmee met plastic in de lucht getekend kan worden. Het plastic stolt zodra het uit de pen komt. Het streefbedrag van \$ 30.000 werd ruimschoots gehaald; toen de einddatum van het project was bereikt, stond de teller op meer dan twee miljoen Amerikaanse dollars. Eenzelfde concept wordt gebruikt voor de Lix: wederom een 3d-printpen, maar in een beduidend slankere uitvoering dan de 3Doodler, waarvoor meer dan £ 700.000 (€ 900.000) werd verzameld; bijna 25 keer zo veel als de beoogde £ 30.000 waarom werd gevraagd.

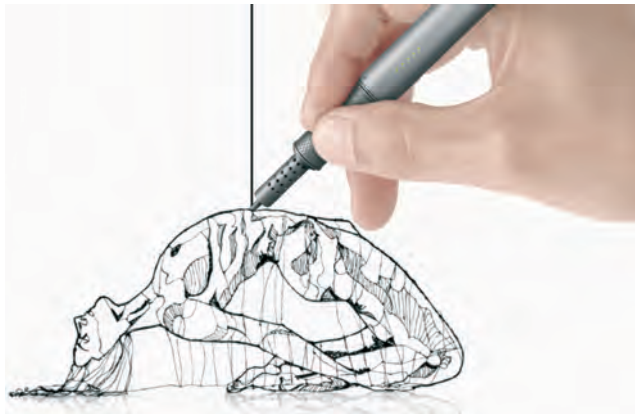
Op Kickstarter worden wekelijks nieuwe projecten gestart die betrekking hebben op 3d-printen. En in veel gevallen komen hier ook daadwerkelijk nieuwe producten uit voort.

I. Inleiding

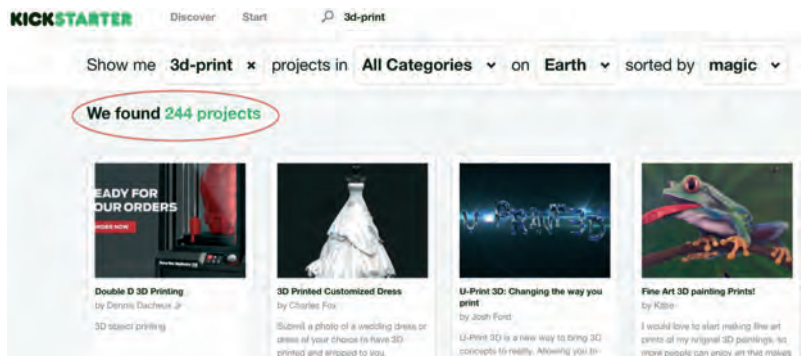
3Doodler is een handzame 3d-printer waarmee u 3d-objecten kunt maken door ermee in de lucht te tekenen. (bron: the3doodler.com)



De Lix valt een stuk lichter uit dan de 3Doodler en mag met recht een 'pen' worden genoemd. (bron: lixpen.com)



Crowdfunding Kickstarter (www.kickstarter.com) is een Amerikaanse crowdfundingwebsite. Hierop melden mensen met een idee voor een product of dienst projecten aan waarin bezoekers van Kickstarter kunnen investeren. In ruil hiervoor ontvangen deze investeerders – *backers* genoemd – het uiteindelijke product, of krijgt men bepaalde privileges of extra's. Dit hangt af van het bedrag dat zij investeren. Sinds april 2014 worden ook projecten uit Nederland ondersteund.



Het ontbreekt op Kickstarter niet bepaald aan projecten met betrekking tot 3d-printen.