

De wereld van 3D-printen

Willem Vermeend

DE WERELD VAN 3D-PRINTEN

Op weg naar een nieuwe
industriële revolutie?

Einstein Books, Den Haag 2013

Dit boek is de papieren versie van het digitale website boek
www.3dprintwereld.com

Voor filmpjes en links bij de verschillende onderwerpen wordt in
het boek verwezen naar de pagina's van het website boek.

© Willem Vermeend, 2013

© Einstein Books, Den Haag 2013

Omslagontwerp: Business Web Solutions

Typografie: Perfect Service, Schoonhoven

Foto auteur: Kees Hummel

ISBN 978 90 488 2018 4

NUR 964

www.einsteinbooks.nl

Dit is een uitgave van Einstein Books bv, onderdeel van
Dutch Media Uitgevers bv



Dit boek is ook leverbaar als e-book:

ISBN 978 90 488 2019 1

Inhoud

Voorwoord 13

1 Wat is 3D-printen? 17

1 Een nieuwe manier van maken 17

Een wereldwijde hype 17

2 Filmpjes over 3D-printen 18

3 Voordelen 3D-printen 18

Veel vrijheid bij het vormgeven van producten 18

Lage opstartkosten en een snellere product ontwikkeling 18

Printen on demand 19

Ideeën leveren sneller producten op 19

Wereldwijd locale productie mogelijk 20

Minder energiegebruik en verspilling van materiaal 20

Effectiviteit 3D-printen neemt toe 21

4 Verschillende 3D-printtechnieken 21

Het basisprincipe 21

Materialen waarmee geprint kan worden 22

Voorbeelden van 3D-printen 22

2 Van idee tot 3D-printen: het proces 25

1 Het creëren van een 3D-model 25

Zelfontwerpen 25

Software 25

Tekenprogramma's 26

Apps 26

STL bestanden 27

Zelf creëren wordt gemakkelijker 27

2 Het downloaden van een 3D-model 29

- 3 Het 3D-scannen van een object 29**
 - Het inschakelen van een servicebureau 29
- 4 Het uitbesteden van het 3D-printen 30**
- 5 Zelf thuis printen 30**
 - Desktop-printer 30
 - Beste 3D-printers voor thuisgebruik 31
- 6 Voorbeelden van 3D-printen die de aandacht trekken 32**
 - Bio-printing 32
 - Duitse techniek voor bio-printen 32
 - Printen van organen nog ver weg 33
 - 3D-printen in de medische sector 33
 - Printen van voedsel 34
 - In de VS: printen van voedsel voor astronauten en suikerspinnen 35
 - Filmpjes over printen van voedsel 35
 - Filmpjes over het 3D-printen van stenen en huizen 35
 - De meest fascinerende voorwerpen die nu al in 3D werden geprint 35

- 3 Een nieuwe industriële revolutie? 37**
 - 1 De opmars van 3D-printers 37**
 - Verschillen van opvatting over gevolgen 37
 - 2 Meer aanjagers van de revolutie 38**
 - Digitalisering is de voedingsbodem 38
 - Open source hardware 39
 - Creative commons 40
 - Makers 40
 - 3 Gevolgen voor economieën en bedrijven 41**
 - De opmars van 3D-printen beïnvloedt bedrijfsprocessen 41
 - Impact 3D-printen (nog) niet te voorspellen 41
 - 3D-printen de belangrijkste innovatie 42
 - Hype 42
 - 4 Consumenten 3D-printen is nog een hype 44**
 - Op de top van een hype 44
 - 5 Ontwikkelingen 3D-print industrie 45**
 - Jaarlijks een hoge groei 45

- 6 3D-printen zal naar verwachting een aanzienlijke economische impact hebben 46**
 - Toepassingen bij bedrijven en thuisgebruik 46
 - Extra impulsen voor 3D-printen 47
- 7 Copyright kan de opmars van 3D-printen vertragen 48**
 - Wetgeving is verouderd 48
- 8 Een globaal overzicht van de mogelijke gevolgen van de opmars van 3D-printen 49**
 - Effect op productieprocessen 49
 - Van aanbod- naar vraaggedreven productie 50
 - Verdienmodel van de industrie gaat veranderen 50
 - Kansen voor een nieuwe maakindustrie 51
 - Terugkeer van bepaalde producties vanuit lage loonlanden 52
 - Het ontstaan van een ‘maker cultuur’ 52
 - Online co-creatie van producten en diensten neemt toe 52
 - Meer maatwerk en persoonlijke branding 53
 - 3D-printen kan innovaties bevorderen 53
 - Nieuwe markten rond 3D-printen 53
 - On demand gebruiksgoederen 54
 - Nieuwe producten voor niche markten 54
 - Juridische gevolgen 54
- 7 De revolutie zal nog op zich laten wachten 55**
 - Nog in de kinderschoenen 55
 - Analyse per bedrijfstak, snel aan de slag 55
 - Voordat 3D-printen de huiskamer gaat veroveren, moet er nog veel gebeuren 56
 - Groei van 3D-printen in de zakelijke markt 56
- 8 De toekomstige impact van 3D-printen 57**
 - Overheid kan 3D-printen stimuleren 57
- 9 Op weg naar de revolutie? 57**
 - Opmars vooral in de zakelijke markt 57
 - Thuisgebruik? 58
 - Onderwijs kan 3D-printen bevorderen 58
- 10 Markt voor geprinte producten groeit 59**
- 11 Samen maken 60**

- 4 Een overzicht van 3D-printen in Nederland 63**
 - 1 Inhaalslag 63**
 - Onderzoek en startups 63
 - 2 3D-printen op het medische vlak 64**
 - Tandtechniek en chirurgie 64
 - Implantaten 64
 - Printen van kraakbeen 65
 - 3 Universiteiten en andere (onderzoeks)instellingen 65**
 - TU Delft 65
 - 3D-printen van meesterschilders 65
 - Universiteit van Utrecht 66
 - Fablabs 66
 - 4 Fabrikanten en servicebureaus op het terrein van 3-printen 67**
 - 3D-printers voor de huiskamer 67
 - 3D-printfabriek in Eindhoven 67
 - Servicebureaus 67
 - Creatieve sector 68
 - Haagse startup Protocow 68
 - 5 Regionale activiteiten 69**
 - Ontwikkelingen staan niet stil 69
 - Amsterdam 69
 - Haarlem 70
 - Eindhoven 70
 - Veldhoven 71
 - Zwolle 71
 - Rotterdam 71
 - Arnhem 72
 - Delft 73
 - 4 Waar liggen de kansen voor Nederland? 73**
 - Kiezen voor specialisaties 73
 - Bio-printen, voedsel printen 73
 - Bouwen 74
 - Focus op software en diensten en producten rond 3D-printen 75
 - Vooruitgang bij bestaande industriële ondernemingen 76

Onderwijs is van essentieel belang 76

Toepassingen in het MKB 77

5 Internationale ontwikkelingen 3D-printen 79

1 Een wereldwijde hype 79

Hype 79

2 Ontwikkelingen in de VS 80

Stimulansen van de regering 80

Onderzoek op universiteiten 80

3 Ontwikkelingen in Europa 81

België 81

Duitsland 81

Verenigd Koninkrijk 82

4 China 83

De Chinese regering stimuleert 3D-printen 83

5 Japan 83

6 Singapore 84

6 Hoofdpijnen van ontwikkelingen en trends op het terrein van de economie 85

1 Inleiding 85

2 Ontwikkelingen en trends: een korte schets 85

De wereldeconomie verandert steeds sneller 85

Zwaarste economische crisis 86

Ingrijpende ontwikkelingen 86

De tablet en smartphone economie 87

Bestaande verdienmodellen van bedrijven moeten worden aangepast 88

3 De economische invloed van technologische vernieuwingen 88

De impact van het internet 88

4 Innovatieve ondernemers zijn van cruciaal belang voor de werkgelegenheid 90

Innovaties stimuleren de economie en scheppen banen 90

Ondernemers zijn de motor van de economie 91

5 Het grote belang van een goed ondernemingsklimaat 91

- Concurrentie tussen landen om bedrijven 91
Schaduwkanten concurrentie 92
- 6 Bedrijven gaan op zoek naar landen met het 'beste' ondernemingsklimaat 93**
Lage belastingen spelen een belangrijke rol 93
- 7 Het grote belang van de internationale concurrentiekracht van landen 94**
Een sterke concurrentiekracht: extra groei en meer banen 94
- 8 Wie wil profiteren van de veranderingen heeft internationaal toptalent nodig 95**
Human capital wordt steeds belangrijker 95
- 9 Ook steden en regio's concurreren om innovatieve bedrijven en toptalent 96**
Het belang van een sterke lokale economie 96
3D-printen 97
- 10 Een goed draaiende maakindustrie vergroot de internationale concurrentiekracht 97**
We hebben een maakindustrie nodig; 3D-printen kan helpen 97
- 11 Economische en maatschappelijke betekenis financiële sector neemt af 98**
Een te grote financiële sector is schadelijk voor de economie 98
Alternatieve financieringsvormen 99
- 12 Onderwijs is een enorme groeimarkt 100**
Digitalisering van het onderwijs 100
Het VK introduceert 3D-printingen het internet in het onderwijs 100
Het hoger onderwijs gaat online 101
- 13 Digitalisering 101**
Invloed op economische ontwikkelingen; de opkomst van de tablet en smartphone economie 101
Online leidt tot wereldwijde klanten en concurrenten 102
Digitale fraude, misbruik (cybercrime) en spionage 102
Cybercrime leidt tot hoge kosten 103
Met Prism bespioneert de VS wereldwijd het internet 104
- 14 Invloed op de arbeidsmarkt en het nieuwe werken 104**
De impact van het web op de arbeidsmarkt 104

- 15 Internet of Things 106**
- 16 Cloud computing 107**
 - Uitbesteding 107
 - Voordelen 108
- 17 Big data 108**
 - Data gebruiken voor bedrijfsvoering 108
 - Door een goede analyse van big data neemt de winst toe 109
- 18 Economische machtsverschuivingen; minder snel dan eerder werd verwacht 112**
 - Outsourcing neemt af, reshoring neemt toe 112
 - Voordelen voor de VS en Europa 113
 - Opkomende economieën groeien minder hard en hebben problemen 114
 - Terug naar huis (reshoring) 115
 - Voordelen van reshoring 115
 - Vormen van protectionisme 116
- 19 Landen en bedrijven moeten snel inspelen op de veranderingen in de wereld 117**
 - Op meer borden tegelijk schaken 117
 - Bedrijven hebben een integrale internet bedrijfsstrategie nodig 117
- 20 Internationale economische prognoses moeten worden bijgesteld 120**
 - De top dertig van grootste economieën in de wereld 120
 - De top vier van de wereld zal voorlopig niet veranderen 121
 - Japan wordt onderschat 122
 - Japan scoort met het nieuwe economische beleid 123

Bijlage 1: Een overzicht van 3D-print technieken 125

Bijlage 2: 3D-prints algemene informatie 131

Voorwoord

Ontwikkelingen rond 3D-printen gaan razendsnel

De eerste experimenten om via 3D-printen objecten te maken vonden plaats eind jaren zestig van de vorige eeuw. In 1987 komen er commerciële 3D-printers op de markt. Maar vooral de afgelopen vijf jaar heeft 3D-printen een grote vlucht genomen. 3D-printen is de overkoepelende aanduiding voor fabricagetechnieken waarbij objecten laag voor laag worden opgebouwd, gestuurd door een computer. In de industriële sector is de officiële term Additive Manufacturing (AM).

De AM-technologie geeft zeer veel vormvrijheid bij het produceren. Vormen die met conventionele technieken niet mogelijk zijn, kunnen wel met 3D-printers worden gemaakt. Door deze vormvrijheid is het mogelijk producten beter aan te passen aan de eisen van het gebruik en worden complexe vormen betaalbaar. Het maakt voor de printer niet uit of er een kubus of een ingewikkelde structuur moet worden geprint. Ook de relatief lage opstartkosten en de mogelijkheid om snel producten en diensten in de markt te zetten, gelden als voordelen van 3D-printen.

Printen met verschillende materialen

Oorspronkelijk werd er geprint met kunststoffen, maar de ontwikkelingen rond 3D-printen gaan razendsnel. Inmiddels wordt er al geprint met verschillende materialen, zoals aluminium, roestvast staal (rvs), zilver, kunststoffen, keramiek, glas, papier en chocolade. Onderzoekers hebben ook al synthetische bloedvaten geprint. Daarnaast wordt er geëxperimenteerd met het printen van voedsel.

Een nieuwe industriële revolutie?

Volgens een toenemend aantal experts zal 3D-printen in combinatie met het internet, robotica en open software tot een nieuwe industriële revolutie leiden, die het komende decennium ingrijpende gevolgen zal hebben voor economieën van landen en verdienmodellen van bedrijven en het onderwijs. In verschillende landen zou dit tot een herleving van de maakindustrie kunnen leiden. Ook voor Nederland ligt hier een mooie kans. De vraag of deze revolutie daadwerkelijk zal plaatsvinden, hangt af van verdergaande technologische vernieuwingen op het terrein van 3D-printen, ontwikkelingen op het gebied van software en de kostprijs van het printen. Maar tevens van de mate waarin consumenten en bedrijven van 3D-printen gebruik gaan maken.

Industrie van saai en vuil naar helemaal in en hip

Het onderwijs is van cruciaal belang voor de ontwikkeling van 3D-printen en kan daarmee een belangrijke bijdrage leveren aan een versterking van de positie van de maakindustrie. De nieuwe generatie ondernemers en werknemers moet nu al leren dat ze straks met AM producten kunnen ontwerpen en produceren die met traditionele technieken niet mogelijk zijn. Maar ook dat deze techniek meer mogelijkheden biedt om samen producten te bedenken en samen te maken. Door AM kan er meer geëxperimenteerd en geïnnoveerd worden. Het imago van de industrie zal daardoor gaan veranderen. Niet meer saai en vuil maar creatief, co-creatie, innovaties: helemaal in, trendy.

De politiek omhelst 3D-printen

Recent is 3D-printen hoog op de politieke agenda van verschillende regeringen terecht gekomen. Zo zei President Obama in zijn State of the Union, in februari 2013, dat zijn regering 1 miljard dollar wil investeren in de verdere ontwikkeling van 3D-

printers. De Amerikaanse president is van mening dat *the 3D printing has the potential to revolutionize the way we make almost everything*. Zie www.3dprintwereld.com/3 (pagina 3).

Ook in Engeland wordt 3D-printen door de politiek omarmd. Begin juli 2013 publiceerde de Britse regering een nieuw nationaal curriculum voor basisscholen waarin wordt ingespeeld op nieuwe (economische) ontwikkelingen. Volgens deze plannen zullen scholen verplicht worden om 3D-printers aan te schaffen en leerlingen met het apparaat te laten werken. Deze aanschaf is nodig omdat volgens de Britse politiek 3D-printers op termijn de productie van goederen en de economie structureel zullen wijzigen.

In Nederland is 3D-printen een onderdeel van het economische beleid van het kabinet Rutte 2 om veelbelovende ICT-vernieuwingen in het bedrijfsleven te bevorderen. Deze zogenoemde ICT-doorbraakprojecten³ hebben als doel een bijdrage te leveren aan economische groei en de verbetering van de concurrentiepositie van Nederland door efficiënter en grootschaliger gebruik van ICT, vooral in het midden- en kleinbedrijf.

Een verkenning van de wereld van 3D-printen

In dit boek, de papieren versie van het interactieve digitale website boek www.3dprintwereld.com, verkennen we de wereld van 3D-printen. Voor filmpjes en links wordt in het boek verwezen naar de betreffende pagina van het website boek. In deze digitale publicatie is ook een lijst met geraadpleegde literatuur opgenomen. Deze verkenning is bedoeld voor iedereen die belangstelling heeft voor 3D-printen. Dit kan betekenen dat professionals het allemaal al weten, maar lezers zonder enige kennis hier en daar moeite zullen hebben om niet af te haken. Om dat zoveel mogelijk te voorkomen, maken we gebruik van aansprekende praktijkvoorbeelden. We gaan in op de AM-techniek, nieuwe ontwikkelingen en de economische betekenis.

Daarnaast bezien wij een aantal commerciële mogelijkheden voor ondernemers en toepassingen in de maakindustrie, het thuisgebruik en 3D-print initiatieven in Nederland op lokaal en regionaal niveau.

Omdat 3D-printen niet los kan worden gezien van belangrijke internationale economische ontwikkelingen en trends, wordt daarvan in het slothoofdstuk een korte schets gegeven. Lezers die uitsluitend geïnteresseerd zijn in 3D-printen zouden dit hoofdstuk kunnen overslaan. Maar politieke beleidsmakers, ondernemers, starters en iedereen die een economisch belang heeft bij de wereld van 3D-printen doen er verstandig aan dit hoofdstuk wel door te nemen. Het geeft waardevolle informatie die van essentieel belang is voor het bedrijfsbeleid waarvan de mogelijke inzet van 3D-printers een onderdeel is.

Den Haag, 1 november 2013

Willem Vermeend

1

Wat is 3D-printen?

1 Een nieuwe manier van maken

Een wereldwijde hype

Een 3D-printer is een apparaat waarmee op basis van digitale 'bouwtekeningen' (computerbestanden) producten en onderdelen geproduceerd kunnen worden. In de kern is 3D-printen een door de computer aangestuurde productiewijze. De objecten worden door de printer laagje voor laagje opgebouwd. Deze fabricagetechniek, Additive Manufacturing (AM)⁵, is niet nieuw. Al eind jaren '80 van de vorige eeuw kwamen de eerste machines op de markt die op basis van een computermodel een product konden printen. De techniek stond toen nog in de kinderschoenen, was duur en werd op kleine schaal alleen door grote industriële concerns gebruikt voor het vervaardigen van prototypes. Dankzij nieuwe technologische ontwikkelingen zijn 3D-printers vooral de laatste jaren goedkoper geworden en zijn er printers voor thuisgebruik op de markt verschenen. Bovendien kun je tegenwoordig in steeds meer materialen printen en neemt het aantal toepassingen nog steeds toe. Door de komst van 'desktop-printers' is 3D-printen niet meer alleen een commerciële activiteit van professionele ontwerpers en fabrikanten, maar kan het ook deel gaan uitmaken van de huiskamer. Iedereen met een idee om iets te maken, krijgt nu de mogelijkheid om dat idee met de printer om te zetten in een tastbaar voorwerp.

Op dit moment is er bij 3D-printen sprake van een wereldwijde hype en staat deze techniek volop in de schijnwerpers van de media. Een mooi voorbeeld van de explosieve toename van de belangstelling is de weergave van het aantal zoekopdrachten⁵ op Google naar '3D-printen' .

2 Filmpjes over 3D-printen

Voorbeelden van een snelle en heldere uitleg van 3D-printen en wat de mogelijkheden zijn, kun je bijvoorbeeld zien op:

www.3dprintwereld.com/6

3 Voordelen 3D-printen

Veel vrijheid bij het vormgeven van producten

De AM-technologie geeft zeer veel vormvrijheid bij het produceren. Vormen die met conventionele technieken niet mogelijk zijn kunnen wel met 3D-printers gemaakt worden. Daarbij moet wel gezegd worden dat de mogelijkheden per techniek verschillen. Zo kennen de desktop-3D-printers die gebruik maken van material extrusion (FDM) technologie⁷ meer beperkingen dan bijvoorbeeld professionele printers met powder fusion technieken (zoals SLS⁷). Zie voor een beschrijving van deze technieken bijlage 1.

Door deze vormvrijheid kunnen producten beter worden aangepast aan de eisen van het gebruik en worden complexe vormen betaalbaar. Het maakt voor de printer niet uit of er een kubus of ingewikkelde structuur moet worden geprint⁷.

Lage opstartkosten en een snellere productontwikkeling

De relatief lage opstartkosten en de mogelijkheid om snel met producten en diensten op markten actief te worden, zijn belangrijke voordelen van 3D-printen. Zeker in vergelijking met

productietechnieken waarvoor mallen nodig zijn, zoals bij spuitgieten⁷, heeft 3D-printen lage opstartkosten.

Een belangrijk voordeel van 3D-printen is ook de hoge opstartsnelheid, waardoor er snellere productontwikkelingen kunnen plaatsvinden, oftewel een kortere *time-to-market*⁷. Zo kan er direct vanuit het computermodel tot productie worden overgegaan. Daardoor is het mogelijk een aantal stappen in de productontwikkeling over te slaan. Daarnaast kunnen tijdens het ontwerpproces snel hoogwaardige prototypes worden gemaakt.

Printen on demand

Printers kunnen *on demand* printen. Het product wordt pas geproduceerd als het nodig is. Afhankelijk van de vraag is massaproductie niet nodig en hoeven er ook geen grote voorraden te worden aangehouden. Het 3D-printen kan grote gevolgen hebben voor voorraadbeheer en logistieke ketens. Een voorbeeld is de auto-industrie. Van de verschillende automodellen moeten reserve onderdelen geproduceerd en opgeslagen worden. Met de inzet van 3D-printers is het mogelijk dat deze onderdelen, op basis van de digitale bestanden, worden geproduceerd als ze daadwerkelijk nodig zijn.

In de VS gaat de NASA 3D-printers⁷ gebruiken om tijdens ruimtereizen⁷ onder meer onderdelen te kunnen printen.

Ideeën leveren sneller producten op

Daarnaast biedt 3D-printen *on demand* nog andere voordelen. Een individuele ontwerper kan een product nu digitaal creëren. Daarna eventueel één keer uitprinten en *on demand* gaan verkopen, zonder dat er geïnvesteerd hoeft te worden in productie of voorraad. Door deze mogelijkheid zal niet alleen het aantal ontwerpen toenemen, maar ook de commerciële levensvatbaar-

heid. Door 3D-printen zal de drempel om een idee om te zetten in een product en in de markt te zetten sterk worden verlaagd.

Wereldwijd locale productie mogelijk

Het digitale karakter, wat 3D-printen deelt met andere computergestuurde technieken, maakt lokale productie mogelijk. Vanuit je thuislocatie verstuur je digitale bestanden in plaats van producten. Met 3D-printers kunnen, op basis van deze bestanden, bepaalde producten wereldwijd lokaal worden geproduceerd. Deze mogelijkheid kan grote gevolgen hebben voor zowel productieprocessen, logistiek, transport, het gebruik van grondstoffen, economische ontwikkelingen in landen en ons leefmilieu. Zie bijvoorbeeld het onderzoek 'The new software-defined supply chain' van IBM.

Minder energiegebruik en verspilling van materiaal

Bij bepaalde productieprocessen kan met 3D-printen ten opzichte van een traditioneel proces het energiegebruik worden beperkt. Deze besparing is afhankelijk van de betreffende producteigenschappen en productie-eisen en moet wel bezien worden in de gehele productieketen. Zo kan het mogelijk zijn dat de ketenbenadering uitwijst dat een traditionele massaproductie, bijvoorbeeld door middel van spuitgieten, inclusief wereldwijd transport minder energie vraagt en efficiënter is dan lokaal 3D-printen. Dit neemt niet weg dat 3D-printen de potentie heeft om vervoersstromen van (eind)producten te verminderen en dat levert milieuvoordelen op. Ten opzichte van de traditionele productietechnieken wordt er bij 3D-printen in het algemeen tijdens het productieproces minder materiaal verspild. Daardoor wordt een meer duurzame wijze van productie mogelijk.