

3D-PRINTEN EN ADDITIVE MANUFACTURING (AM) - DE GEVOLGEN VOOR DE VEILIGHEID EN GEZONDHEID OP HET WERK

Inleiding

Dit artikel over driedimensionaal (3D-)printen is geschreven in opdracht van het Europees Agentschap voor veiligheid en gezondheid op het werk (EU-OSHA). Er worden enkele belangrijke vragen onder de loep genomen in verband met de mogelijkheden en problemen van de opkomende 3D-printsector voor werkgevers, werknemers en de nieuwe ondernemer die thuis of op een informele werkplek werkt. Met dit discussiestuk willen wij 3D-printen presenteren en nagaan welke gevolgen deze techniek voor de huidige en toekomstige werkomgeving kan hebben. Tot slot doen wij enkele aanbevelingen voor toepassing op Europees niveau: welke maatregelen kunnen worden genomen zodat 3D-printen bijdraagt aan een veiligere, gezondere werkomgeving die meer voldoening schenkt? Dit betreft zowel de bestaande relatie tussen werkgever en werknemer als de nieuwe, informele zzp-er (zelfstandige zonder personeel).

Wat is 3D-printen?

3D-printen is het modewoord bij innovatie en in de creatieve sector. Het grote publiek weet echter vaak niet wat het precies inhoudt. Additive manufacturing (AM), desktop producing, rapid prototyping, digitale fabricage — er zijn verschillende namen voor deze nieuwe technologie.¹ Omdat bij 3D-printen producten volledig automatisch worden ontworpen en vervaardigd, valt het onder de bredere noemer digitale fabricage.² Het is echter misleidend '3D-printen' als een overkoepelende term te gebruiken voor een breed scala aan nieuwe vormen van digitale productie — zoals CNC (Computer Numerical Control)-freesmachines, lasersnijders, geautomatiseerde staalplotters, enzovoorts. Zo is CNC een traditionele freestechiek, maar worden de bewegingen van de machine wel digitaal aangestuurd. Hoewel ze allemaal evenveel vrijheid bieden qua vormgeving en het unieke karakter, wordt bij de meeste methoden van digitale fabricage materiaal weggehaald via frezen, zagen of snijden. Bij 3D-printen wordt er vanuit het niets iets opgebouwd door materiaal toe te voegen. Daarom is additive manufacturing (AM) de kortst mogelijke beschrijving van deze technologie.³ In de toekomst zullen beide digitale technieken (weghalen en toevoegen) flexibel worden gehanteerd: een CNC-machine en robotica kunnen eenvoudig worden omgezet van subtractieve naar additieve productie door de kop te verwisselen.

In dit artikel heeft de term '3D-printen' alleen betrekking op de verschillende technieken waarmee producten worden vervaardigd die uitsluitend als computerbestand bestaan. Daarbij wordt gebruik gemaakt van een machine die grondstoffen laagsgewijs toevoegt totdat een eindproduct ontstaat.⁴ Het begint met het ontwerpen van een product op een computer. Het document van dit computerondersteunde ontwerp (CAD-bestand) is eigenlijk niets meer dan een uitgebreide printopdracht.

1 <https://3dprint.com/82272/what-3d-printing-works/>

2 <http://www.wired.co.uk/article/digital-fabrication>

3 <https://3dprint.com/82272/what-3d-printing-works/>

4 <http://additivemanufacturing.com/basics/>

Hoe werkt het?

Het door de computer gegenereerde ontwerp wordt digitaal onderverdeeld in duizenden laagjes; dit in plakken snijden gebeurt met software die een ontwerp voor een printopdracht maakt. Er kan ook een digitaal printbestand van een product worden gemaakt door een bestaand object in 3D te scannen. Deze gegevens kunnen met speciale software naar een printopdracht worden omgezet. Dergelijke scanners kosten 50 tot 50 000 EUR. De prijs van een desktop-3D-printer ligt rond 1 000 EUR.

Een professionele 3D-printer voor het afdrucken van prototypes en beperkte oplages kost 2 000 tot 20 000 EUR. De vervanging van bestaande grootschalige productie door 3D-printen vereist investeringen van ongeveer één miljoen EUR of zelfs meer.

De huidige 3D-printtechniek kan in twee verschillende technische processen worden onderverdeeld. Het effect dat zij op de toekomst van het ontwerpen, maken en distribueren van goederen zullen hebben, is eveneens verschillend: de bindtechniek wordt gebruikt in de zeer geavanceerde professionele sector, terwijl de extrusietechniek ruwer is en doorgaans wordt gebruikt op de consumentenmarkt en tijdens bottom-up experimenten met 3D-printen.⁵

Binden

Bij deze techniek wordt een printkop (uitgerust met een laser, een ultraviolet (UV)-beamer, een verwarmingselement, enzovoorts) gebruikt om een opgespoten synthetisch materiaal te binden. De kwaliteit is beter, met een bredere keuze van materialen. Tevens is daarvoor meer kennis en een grotere mate van precisie nodig. Deze 3D-printers zijn duurder, wat ook geldt voor de gebruikte materialen. Daarom wordt de bindtechniek vooral bij zeer geavanceerde en (semi-)industriële processen gehanteerd.

Extrusie

Bij extrusie gaat het om het binden van materiaal dat in een precieze choreografie van tijd en plaats wordt geëxtrudeerd. Dit is de meest gangbare methode voor opensource- en consumentvriendelijke 3D-printers, die gewoonlijk in de vorm van een multiplex bouw pakket worden aangeboden (zoals Makerbot, Ultimaker, Airwolf). Het geëxtrudeerde materiaal kan een vloeistof, synthetisch filament of organisch materiaal als keramiek of rubber zijn. Veel van deze printers worden als een doe-het-zelfpakket verkocht. De productie verloopt sneller en is goedkoper, maar het eindproduct is minder verfijnd.

Oud en nieuw materiaal

Bij de introductie van de 3D-printer werd er gewerkt met synthetische kunststoffen. In de afgelopen tien jaar is het aantal voor 3D-printers geschikte materialen echter sterk toegenomen. Tegenwoordig wordt eveneens op grote schaal gebruik gemaakt van 'traditionele' materialen als keramiek, staal, glas en zelfs hout. Uit onderzoek is gebleken dat desktop-3D-printers tijdens het afdrucken grote hoeveelheden ultrafijne deeltjes (van minder dan 100 nm) en bepaalde gevaarlijke vluchtige organische stoffen (VOS) kunnen uitstoten, al zijn er tot op heden slechts heel weinig combinaties van filament en 3D-printers getest.⁶

In een industriële context worden andere materialen toegepast dan thuis. In de thuisomgeving betreft het vooral het biologisch afbreekbare polymelkzuur (PLA) en acrylonitril-butadien-styreen (ABS), een

⁵ <http://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>

⁶ <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.5b04983>

op olie gebaseerde kunststof die daardoor giftiger is bij gebruik. Bij toepassing van PLA wordt ventilatie aanbevolen en bij ABS is ventileren zelfs noodzakelijk.⁷

Het meest gangbare materiaal in het industriële 3D-printproces is polyamide (bijv. nylon), een op olie gebaseerde kunststof, in vloeibare vorm en poedervorm. Tijdens het verhitten komen giftige dampen vrij zodat ventilatie onontbeerlijk is. Nog beter is het om de printer in een gesloten ruimte te plaatsen om uitstoot op de werkplek te voorkomen.

Kunststof chemicaliën als epoxyharsen worden in stereolithografie gebruikt en tevens voor de oppervlaktebehandeling van geprinte objecten. Deze kunnen allergisch contacteczeem veroorzaken. Niet-uitgeharde kunststof chemicaliën mogen niet worden aangeraakt en verontreiniging van oppervlakken en kleding moet worden voorkomen. Andere chemische stoffen die voor nabewerking en oppervlaktebehandeling worden aangewend, kunnen ook gevaarlijk zijn en moeten met zorg worden behandeld.

Polyamide in poedervorm wordt soms gemengd met aluminium (alumide); hoewel dit materiaal minder toxisch is,

moeten er toch speciale voorzorgsmaatregelen op het gebied van veiligheid en gezondheid worden getroffen. Andere industrieel toegepaste materialen zijn polysulfon (PSU) en polyfenylsulfon (PPSU), beide synthetische kunststoffen waarvoor veiligheidsmaatregelen op het gebied van ventilatie en behandeling moeten worden getroffen.⁸ Het snelst groeiende segment in 3D-printen is metaal.⁹ Hiervoor zijn ventilatiemaatregelen nodig, omdat metaal wordt gecombineerd met op olie gebaseerde kunststoffen. Vanwege de hoge temperaturen moeten er ook maatregelen voor veiligheid en behandeling worden getroffen. Bij het printen van metaal moet er rekening mee worden gehouden dat metalen kankerverwekkend kunnen zijn en dat daarom bij de behandeling van dit materiaal in poedervorm de luchtwegen bescherming behoeven.

Van recente datum zijn slimme materialen die na productie reageren op verschillen in warmte, druk of licht. Ook nieuw zijn nanokoolstoffen; deze zullen naar verwachting in de toekomst op grote industriële schaal worden toegepast. De introductie van deze hightechmaterialen vereist nauwgezet onderzoek naar de veiligheid, aangezien de meeste zich nog in de experimentele fase bevinden.¹⁰

Een ander belangrijk aspect is de voor- en nabehandeling van de printmaterialen en afgedrukte objecten. Bij het gebruik van printmateriaal in poedervorm is het belangrijk om te voorkomen dat het poeder zich verspreidt, bijvoorbeeld via plaatselijke afzuiging. Dan kunnen de geëigende werkmethoden zonder problemen worden toegepast. Er bestaat ook een risico op spontane verbranding van (metaal)poeders. Om zulke situaties te herkennen, kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van EX-toestellen (apparaten die plekken opsporen waar explosiegevaar dreigt).

De belofte van een nieuwe industriële revolutie

We leven in een digitaal tijdperk. Sociale media ontwrichten de traditionele journalistiek.¹¹ Online-aankopen hebben ervoor gezorgd dat traditionele winkels sluiten en dat het leven uit onze bruisende binnensteden is verdwenen. Zelfs onze arbeidsomstandigheden veranderen erdoor, omdat het werk in sterke mate is geautomatiseerd. Door het gebruik van robotica zullen we op een andere manier in onze auto gaan rijden en ons huishouden bestieren. En dankzij de 3D-printer zal de manier veranderen waarop we onze consumentengoederen in dit digitale tijdperk ontwerpen, vervaardigen en distribueren. In de afgelopen jaren waren de verwachtingen van 3D-printen zo hoog dat er niets minder dan een nieuwe industriële revolutie ophanden was. Zo luidde tenminste de boodschap van een invloedrijk, 12 pagina's tellend rapport in *The Economist* in 2012.

⁷ <https://all3dp.com/pla-abs-3d-printer-filaments-compared/>

⁸ <http://www.stratasys.com/materials/material-safety-data-sheets/fdm>

⁹ <https://www.3dprintingmaterialsconference.com/3d-printing-materials/metals-are-the-fastest-growing-segment-of-3d-printing-metal-sales-growing-by-32/>

¹⁰ <https://www.sculpteo.com/blog/2016/09/28/top-10-future-3d-printing-materials-that-exist-in-the-present/>

¹¹ <http://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/news/how-journalism-faces-second-wave-disruption-technology-and-changing-audience-behaviour-0>



The Economist, april 2012

Destijds werd voorspeld dat de 3D-printer als nieuw digitaal instrument spoedig in elk huishouden te vinden zou zijn. Dat zou het einde van massaproductie betekenen. Eigenlijk voorspelde *The Economist* hiermee een *post-industriële* revolutie. Iedereen zou de digitale blauwdruk van een product van internet kunnen halen en het vervolgens thuis met één druk op de knop kunnen uitprinten. Het product aanpassen zou ook mogelijk zijn: mensen met brede voeten zouden bijvoorbeeld eenvoudig een net iets bredere schoen kunnen printen. Het vervaardigen van dit unieke maatproduct zou net zo veel kosten als massaproductie in een Chinese fabriek en zo de bestaande economische status quo op dit gebied ondermijnen. De vraag naar nieuwe producten zou verminderen; uiteindelijk zouden er op grote schaal reparaties plaatsvinden, omdat de reserveonderdelen van defecte apparaten eveneens gemakkelijk thuis met een 3D-printer zouden kunnen worden gemaakt. Nu de productie naar particuliere woningen zou worden overgeheveld, zou de distributie van goederen veel minder tijd en energie kosten. Bovendien zouden vraag en aanbod in evenwicht zijn, omdat mensen alleen zouden printen wat ze nodig hadden. Dat betekent geen voorraden en overproductie meer, waarmee deze nieuwe industriële revolutie ook een groen karakter zou krijgen.¹²

De timing van het artikel in *The Economist* was geen toeval. De techniek van het 3D-printen bestond reeds halverwege de jaren tachtig. De Franse wetenschapper Alain Le Mehaute vroeg in 1984 een octrooi aan voor stereolithografie. Toch werd pas tien jaar later de term '3D-printen' bedacht. Destijds waren uitsluitend hooggespecialiseerde sectoren als medische zorg, autoprototypie en lucht- en ruimtevaarttechniek met hightech 3D-printers aan het experimenteren om prototypes te maken en flexibele productie te realiseren. In het eerste decennium van de 21ste eeuw werden echter grote stappen voorwaarts gezet. 3D-printen werd nu op grote schaal mogelijk, niet alleen met kunststoffen, maar ook met metaal, geleidende materialen, glas, keramiek en zelfs organische weefsels. Grote bedrijven als Canon en Siemens begonnen de markt voor consumentvriendelijke 3D-printers te onderzoeken. Makerbot, een Amerikaanse onderneming, verkocht in 2008 de eerste desktop-3D-printer voor iets meer dan 1 000 EUR, waardoor deze technologie voor het grote publiek beschikbaar kwam. Rond dezelfde tijd wordt in het kader van het onderzoeksproject RepRap (Replicating Rapid Prototyper) een rudimentaire desktopprinter ontwikkeld, die grotendeels bestaat uit kunststof onderdelen die met een desktopprinter kunnen worden gemaakt. De mechanische onderdelen van de RepRap kunnen van tevoren online worden besteld. Met andere woorden, de RepRap is de eerste 3D-printer die zichzelf kan reproduceren — en dat voor nauwelijks meer dan 200 EUR. De RepRap maakt gebruik van opensourcesoftware die vrij kan worden gedownload.

Kort gezegd veranderde 3D-printen binnen tien jaar van een futuristische methode van produceren die alleen door computernerds, baanbrekende ontwerpers en hightech industrieën werd toegepast, tot een gangbaar consumentvriendelijk instrument voor flexibele thuisproductie. Of, zoals *The Economist* het verwoordde, “de start van een nieuwe industriële revolutie”. Wat zijn nu de gevolgen van 3D-printen

12 <https://3dprint.com/144928/3d-printing-environmental/>

voor de economie en voor mens en maatschappij? Ten eerste is er sprake van een toename van de welvaart en ten tweede is een aanmerkelijke vooruitgang als gevolg van efficiënte en op maat gemaakte productie mogelijk. Met 3D-printen wordt een lokale en vraaggestuurde - en daarom meer duurzame - fabricagemethode geïntroduceerd. Omdat 3D-printen op een opensourcestructuur berust, is het bij uitstek geschikt voor nieuwe bedrijven en kleinschalige innovatie; de traditionele maakindustrie staat veel minder open voor deze vernieuwing. Daarom is 3D-printen niet alleen groener, maar veroorzaakt het ook een meer onpartijdige industriële revolutie die de positie van de consument versterkt.

De gevolgen van 3D-printen kunnen in twee niveaus worden uitgesplitst:

▪ Maatschappelijk

3D-printen versterkt de sociale integratie. Met minimale investeringen kan iedereen vanuit de eigen thuisbasis een kleine onderneming beginnen. Je hebt daarvoor alleen een computer, een 3D-printer en een snelle internetverbinding nodig. De benodigde kennis, ideeën en - in hoge mate - software worden vrij uitgewisseld. Door digitale productie is een 'makersbeweging' ontstaan van consumenten die producten vervaardigen. Hoewel deze beweging raakvlakken heeft met hacken, traditionele ambachten en wetenschappelijke experimenten, wordt algemeen verondersteld dat de 3D-printer aan de basis van deze wereldwijde trend ligt. Het effect van de makersbeweging op economie en samenleving kan moeilijk worden overschat. Wat Airbnb voor de hotelsector heeft gedaan, kan 3D-printen doen voor de industriële productie: radicale democratisering van ontwerp, productie en distributie. Voor beide geldt echter ook dat ze niet langer controle hebben over de omstandigheden waaronder de activiteiten plaatsvinden.

▪ Individueel

Kort gezegd, maakt 3D-printen individuele toegang tot betere producten mogelijk. Er kan gemakkelijker in individuele wensen en behoeften worden voorzien. Verder worden producten gemaakt van vervangbare onderdelen die te downloaden zijn, waardoor reparatie eenvoudig is. De producerende consument of *prosumant* krijgt meer macht en kan zijn dagelijkse leven verbeteren. De meest ingrijpende gevolgen van 3D-printen voor het individu zullen waarschijnlijk op het psychologische vlak liggen. Zoals socioloog Richard Sennett in zijn boek *The Craftsman* (de ambachtsman) laat zien, is het maken van goederen een diep verankerde behoefte van de mens. Het maakt zelfontplooiing, zelfwaardering en zelfverwerkelijking mogelijk. We zijn wat we maken, om het zo maar eens te zeggen. In onze moderne tijden is een makersbeweging mogelijk dankzij toegankelijke digitale productie als 3D-printen. Deze beweging geeft het individu autonomie en biedt mensen de mogelijkheid om hun eigen leven in zowel psychologisch als materieel opzicht vorm te geven. De makersbeweging verschaft ook nieuwe sociale netwerken en cohesie, omdat informatie en kennis vrij worden gedeeld. Tijdens de makersbeurzen, die over de hele wereld plaatsvinden, komen deze doe-het-zelfproducenten bij elkaar. Je zou kunnen zeggen dat met het 3D-printen een collectieve beweging van *doe-het-zelvers* is ontstaan.



Makersbeurs

Evolutie in plaats van revolutie

Maar nu, vijf jaar na het artikel in *The Economist*, is de revolutie nog steeds niet begonnen. Verre van dat. 3D-printen is zelfs niet gangbaar geworden.¹³ Makerbot ging in 2015 bijna failliet en de RepRap is sinds de lancering ervan nauwelijks verbeterd. Vanwege het ongeordende en versnipperde karakter van de 3D-printsector zijn er vrijwel geen cijfers voorhanden waaruit blijkt welke bijdrage deze branche op Europees niveau aan de economie levert. Betrouwbare ramingen laten evenwel zien dat in de hoger ontwikkelde Europese landen slechts 1% van de bevolking een 3D-printer bezit. Niettemin worden de meeste 3D-geprinte producten thuis vervaardigd en binnen de deeleconomie gedistribueerd. Industrieel 3D-printen vindt op nog kleinere schaal plaats dan thuisproductie. Om een voorbeeld te geven: de economische bijdrage van de gehele 3D-printsector in Nederland werd in 2015 geschat op rond 45 miljoen EUR, wat neerkomt op 0,005% van het totale bruto nationaal product (bnp) van het land (888 miljard EUR). Er zijn geen aanwijzingen dat dit cijfer in andere landen van de Europese Unie beduidend hoger ligt. In de afgelopen vijf jaar groeide de 3D-printsector jaarlijks met gemiddeld 30%. Zelfs als dit cijfer verdubbelt, zal het ten minste nog eens vijf jaar duren voordat 3D-printen met een economische sector als popmuziek kan concurreren. De gevolgen van 3D-printen zijn moeilijk te voorspellen. Eén ding is echter zeker: het zal de bestaande industrie niet vervangen, maar een aanvulling daarop vormen.

Wat betreft de toepassing van 3D-printen gaan de wegen steeds meer uiteenlopen. Enerzijds is er een nieuwe, uiterst geavanceerde en flexibele sector in opkomst. De betrokken bedrijven zijn werkzaam op gebieden als medische zorg en autoproductie, maar ook mode en alledaagse consumentenartikelen. Anderzijds groeit de kleinschalige en soms bijna lowtech doe-het-zelfproductie. Deze microfabrieken en start-ups zijn opgezet door ontwerpers, coöperaties, kleine bedrijven en informele netwerken. Wat echter nog ontbreekt, is het wijdverspreide gebruik van 3D-printen door consumenten op een breder niveau. De makersbeweging bestaat uit bekwame amateurs en pioniers.

Een nieuwe sector met 3D-printers

Kansen en risico's voor werkgevers

3D-printen maakt de weg vrij voor nieuwe bedrijfsmodellen. Het in Londen gevestigde onlineplatform Open Desk heeft zelfs geen productie-eenheid. Het biedt een collectie aan van meubels van ontwerpers over de hele wereld. Alle meubels zijn van houten planken gemaakt. Wanneer een klant een order plaatst, zoekt Open Desk de dichtstbijzijnde digitale-fabricageplek. Nadat de productiekosten aan de fabrikant zijn betaald, wordt de winst tussen Open Desk en de ontwerper gedeeld. Op die manier heeft een internationaal opererend meubelbedrijf nauwelijks meer dan een helpdesk nodig. Shapeways is een mondiaal bedrijf waar mensen hun eigen ontwerpen kunnen laten printen. Ook kunnen professionele ontwerpers hun ontwerpen uploaden, die consumenten vervolgens kunnen bestellen. Wanneer een order wordt geplaatst, ontvangt de ontwerper royalty's van Shapeways. Deze fabriek die op aanvraag producten vervaardigt, bevindt zich momenteel in New York, maar zal binnenkort wereldwijd vestigingen openen.

Bedrijven die op zo'n grote schaal met 3D-printers werken, komen voor nieuwe uitdagingen te staan, onder meer op het gebied van gezondheid en veiligheid op het werk.¹⁴ Het gaat daarbij om vraagstukken als blootstelling aan gassen en materialen, materiaalbehandeling, statische elektriciteit, bewegende delen en druk.¹⁵

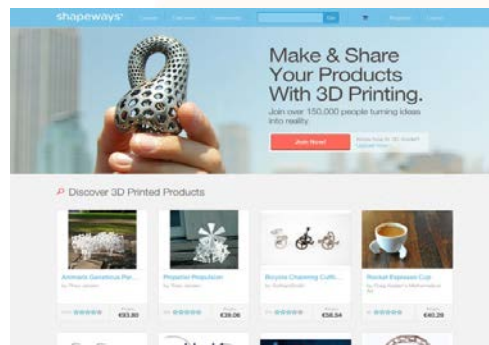
Verder is met het oog op auteursrechten en illegale productie een strikt toezicht op de werknemers noodzakelijk. Wanneer een replica van een Star Wars-personage wordt gemaakt, kan dat een inbreuk op de auteursrechten betekenen. Maar wie is dan aansprakelijk: de ontwerper, Shapeways of de koper? Omdat 3D-printen grote precisie vereist, moet de werkplek schoon en ordelijk zijn en zijn voor de gebruikersinterfaces heldere en begrijpelijke instructies nodig. Er kunnen gemakkelijk fouten worden

13 <http://www.techrepublic.com/article/why-desktop-3d-printing-still-sucks/>

14 <http://www.cmu.edu/ehs/fact-sheets/3D-Printing-Safety.pdf>

15 <http://www.additivemanufacturing.media/articles/changing-the-rules>

gemaakt bij de programmering of bij het instellen en kalibreren van de printer. Bovendien zullen er in geval van een slecht werkend eindproduct sneller gerechtelijke stappen worden ondernomen, omdat de moderne consument heel mondig is.



Shapeways

Bij de introductie van nieuwe producten moet tevens speciale aandacht aan de veiligheid worden besteed. Een voorbeeld hiervan is 'De Kamermaker', een 3D-printeenheid voor de bouw ontwikkeld door het Nederlandse architectenbureau DUS Architects. Met deze extreem grote 3D-printer kunnen bouwelementen van 50 cm bij 50 cm worden geprint. Maar wat betekent dit voor de veiligheid van bouwvakkers? Aan het Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Boston verricht de onderzoeksgroep Mediated Matters onder leiding van Neri Oxman experimenten met 3D-geprinte constructies die gebaseerd zijn op natuurlijke vormen en configuraties. Hybride productie, waarbij slechts onderdelen van een product in 3D worden geprint, begint ook gangbaar te worden.

Wat in de 3D-printsector ook ontbreekt, is een universeel standaardstelsel voor gebruik door individuen en de opkomende industrie. Met zo'n stelsel kunnen onderdelen worden uitgewisseld, wat de duurzaamheid en de veiligheid ten goede zal komen.

De Italiaans-Japanse ontwerpstudio Minale Maeda vervaardigt Keystones, een 3D-geprinte verbindingselement waarmee je je eigen meubels met gestandaardiseerde houten panelen kunt bouwen. De sterkte en treksterkte van deze onderdelen moeten worden gevalideerd en gecertificeerd. Vaak worden deze nieuwe producten en technieken door speciaal opgeleid personeel binnen een bedrijf ontwikkeld. Maar wie bepaalt wie de auteur is van deze innovaties? Wanneer hier geen adequate regels voor gelden, kan dat spanningen tussen werkgever en werknemer opleveren.

Een bestaande productie-installatie voor 3D-prints geschikt maken vereist grote investeringen. Het voordeel is dat investeringen in gietvormen of speciale machines niet langer nodig zijn voor het testen van prototypes. Nieuwe producten kunnen vrijwel onmiddellijk op de markt worden gebracht tegen relatief lage kosten. Nieuwe technieken bieden ook nieuwe mogelijkheden. Zo is de 3D-pen een printer die eruitziet als een pen en waarmee je in 3D kunt tekenen. Uit oogpunt van gezondheid en veiligheid moeten deze nieuwe handige 3D-printers grondig worden getest en aan strenge regels worden onderworpen, omdat bij verhitting de veiligheid in het geding kan komen. Bij steeds meer van deze pennen wordt UV-licht gebruikt.

Innovatieve en digitale sectoren als 3D-prints oefenen grote aantrekkingskracht uit op de millenniumgeneratie, die andere eisen stelt aan de kwaliteit van werk. In het algemeen betekent dit dat er een grotere vraag zal komen naar jongere werknemers die een andere kijk op arbeid hebben: vrije tijd en zelfontplooiing zijn belangrijker dan geld en baanzekerheid. Kortlopende contracten zijn de nieuwe norm. Ter compensatie verlangen jonge werknemers (creatieve) participatie en een dynamische omgeving.

Zulke constante innovaties en ontwikkelingen vereisen voortdurend onderzoek en ontwikkeling, evenals investeringen in hooggekwalificeerde werknemers, waarvan de kennis via opleidingen en onderwijs op peil moet worden gehouden.¹⁶

Onderstaande tabel toont de verschillen in arbeidsomstandigheden tussen flexibele productie op aanvraag via 3D-printen en de traditionele industriële productie.

Tabel 1: De verschillen in arbeidsomstandigheden

Traditionele industrie	Digitale fabricage
Hiërarchie	Gedemocratiseerd
Gecentraliseerd	Open
Regelgeving	Verantwoordelijkheid
Productiegericht	Communicatiegericht
Promotie	Opleiding
Financiële / baan zekerheid	Vrijheid en flexibiliteit

De implicaties voor werknemers en hun banen

Wat betreft de toekomst van arbeidsplaatsen is de hamvraag bij 3D-printen (en bij robotica en andere vormen van geautomatiseerde productie): worden bestaande banen overbodig of anders ingericht? Het antwoord luidt ja en nee.¹⁷

Ja, omdat machines de flexibele, handmatige productie zullen overnemen. Ambachtelijke arbeid wordt gedigitaliseerd. Met een 3D-printer kunnen objecten worden vervaardigd in de complexe en uitgebreide vormen die voorheen alleen vakmensen konden maken. Met de komst van 3D-printen van materialen als metaal en hout raken traditionele ambachten uit beeld.

Maar ook nee, omdat deze ontwikkeling niet per se tot meer werkloosheid hoeft te leiden. Ten eerste zal 3D-printen ook tot nieuwe banen leiden, bijvoorbeeld bij het ontwerpen en produceren van hardware (zoals 3D-printers) en, belangrijker, bij het maken van de software waarmee machines diverse taken kunnen uitvoeren.¹⁸ Tevens kan 3D-printen gemakkelijk de wereldmarkt openbreken. De productie krijgt steeds vaker een lokaal karakter. Daarom zal werk dat vroeger aan lagelonenlanden werd uitbesteed, wellicht naar Europa terugkeren. Er zal dan vraag komen naar geschoolde werknemers, maar de behoefte aan arbeiders die eenvoudig handwerk verrichten, zal juist afnemen. De kloof tussen opgeleide en minder goed opgeleide werknemers zal dus groter worden.

Door het overheersende gebruik van kunststoffen bij 3D-printen zullen de arbeidsomstandigheden sterk veranderen. Goede regulering en certificering van deze synthetische materialen is van essentieel belang. Productie met 3D-printen is duur en ook tijdrovend.

Net als bij andere digitale technologieën (robots, kunstmatige intelligentie, enz.) kunnen de gevolgen voor degenen die de routinetaken verrichten, ingrijpend zijn. Het werk is soms saai en uiterst oncreatief, alsof je toekijkt hoe verf opdroogt. Tegelijk is de 3D-printtechniek wel relatief complex, wat een hoge

¹⁶ <http://www.pwc.com/us/en/technology-forecast/2014/3d-printing/features/future-3d-printing.html>

¹⁷ <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.5437/08956308X5606193>

¹⁸ <http://www.forbes.com/forbes/welcome/?toURL=http://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2014/09/15/demand-for-3d-printing-skills-is-accelerating-globally/&refURL=https://www.google.nl/&referrer=https://www.google.nl/>

mate van concentratie vereist. Vergissingen worden snel gemaakt en de kleinste foutjes leiden tot grote gebreken in het eindproduct.

Dankzij het innovatieve imago is 3D-printen een aantrekkelijke bedrijfstak. Net als bij veel andere startende ondernemingen zijn de werknemers geneigd lange dagen te maken; ook kan de scheidslijn tussen werk en andere activiteiten gemakkelijk vervagen. De meeste 3D-printbedrijven zijn jong en groeien snel, waardoor ze minder goed gestructureerd zijn. Door de wisselende samenstelling van het personeel is het voor de werknemers lastig zich te organiseren. Dit geeft aanleiding tot zorg als het gaat om een redelijk loon, werktijden en veilige en schone arbeidsomstandigheden.

Thuis je eigen bedrijf starten

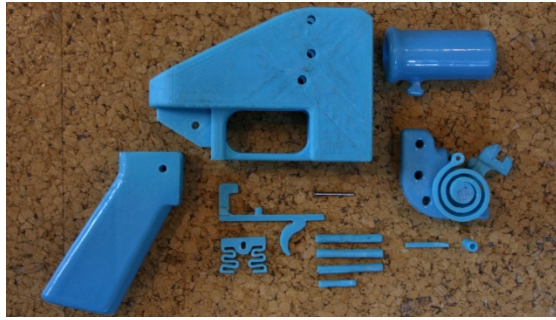
Met 3D-printen wordt een nieuwe informele productieketen geïntroduceerd. Deze democratische 'makersbeweging' maakt het voor mensen mogelijk om vanuit huis hun eigen bedrijf te starten. De meeste kleine ondernemingen en start-ups die zich met 3D-printen bezighouden, worden geleid door semi-professionals zoals destijds Steve Jobs, die een ervaren ondernemer op het gebied van computers was toen hij in zijn garage een bedrijfje opzette. Samen vormen zij een hoogst ongeordende branche die moeilijk te reguleren is. De eigenaar van een 3D-printbedrijf kan werken vanuit huis of een informele kantoorruimte (bijv. een garage) die niet geschikt is als professionele omgeving. De ergonomische omstandigheden, schone lucht, werktijden en een gezonde balans tussen privé en werk komen dan in het gedrang.

Voor de zelfstandige is onzekerheid verreweg het grootste probleem van 3D-printen. Wanneer iedereen de mogelijkheid heeft om 3D-printfabrikant te worden, kan de concurrentie tussen deze *crowdworkers* grote druk veroorzaken. Het blijkt voor de markt bijzonder problematisch te zijn om de prijs van deze 3D-printdiensten te reguleren. De economische stress wordt verder opgevoerd door het gebrek aan sociale rechten en financiële regelgeving. Wat een creatieve voorhoede lijkt, kan een nieuw digitaal proletariaat worden. In deze *gig economy* (klusjes-economie), zoals ze in de Verenigde Staten wordt genoemd, hoppen zelfstandige 3D-printwerkers van de ene opdracht naar de andere. De kans is heel groot dat er een nieuwe klasse van moderne dagloners ontstaat. Zelfs de thuisfabrikant die de verkoop en distributie in eigen beheer houdt en zijn product op onlineplatforms als Etsy of eBay aanbiedt, is daar niet immuun voor. De ouderwetse prikklok is vervangen door de druk van onlinebeoordelingen. De belofte van een postkapitalistische economie kan een vorm van hyperkapitalisme worden waarin veel mensen de productie controleren maar niemand de ondergrens van sociale en economische zekerheid controleert.

Deze nieuwe kleine ondernemingen zorgen voor dynamische maar hoogst onzekere vormen van werkgelegenheid. In deze sector waar de ontwikkelingen elkaar snel opvolgen, kan een vandaag tot stand gebrachte innovatie morgen al verouderd zijn. In bedrijven waar de juridische scheidslijn tussen ontwerper, fabrikant en ondernemer vaag is, bestaat geen duidelijkheid over wie in geval van defecten of inferieure kwaliteit aansprakelijk is. Dat zorgt ook op dit gebied voor onzekerheid. Omdat zo veel producten vrij (al dan niet legaal) van internet kunnen worden gedownload, ligt het gevaar van piraterij en inbreuk op auteursrechten op de loer.¹⁹ Er zijn regels en betrouwbare arbeidsovereenkomsten nodig. Afgezien van deze juridische problemen doen zich ook nieuwe ethische dilemma's voor. De Liberator Gun is een pistool dat met een desktop-3D-printer kan worden afgedrukt, nadat je de printinstructies gratis van internet hebt gedownload.²⁰

19 <https://www.technologysleagle.com/2015/09/top-3-legal-issues-of-3d-printing/>

20 <http://www.3ders.org/articles/20151130-what-are-the-legal-aspects-of-3d-printing-a-european-law-firm-weighs-in.html>



Liberator Gun

Speciaal moet hier de 'fablab' (een afkorting van 'fabrication laboratory') worden genoemd, een coöperatieve werkplek met digitale en analoge apparaten. De fablab speelt een belangrijke rol in de emancipatie van individuen, die daar slimme apparaten voor zichzelf kunnen maken. Het is, zo zou je kunnen zeggen, de ontbrekende schakel tussen 3D-printen voor persoonlijk gebruik en nieuwe bedrijven. Een fablab is toegankelijk voor het grote publiek op voorwaarde dat het productieproces wordt gedocumenteerd. Met wereldwijd meer dan 250 fablabs (ruim 100 in Europa) werd een van de grootste opensourcedatabanken voor 3D-printen en andere digitale fabricagemethoden gecreëerd. Het aantal fablabs neemt nog altijd toe. De meeste hebben geen winstoogmerk en bieden individuen gratis diensten aan, zoals cursussen en workshops; het aantal commerciële fablabs is eveneens gegroeid. Omdat deze werkplekken op informele basis worden beheerd, wordt niet altijd voldaan aan de eisen die voor arbeidsomstandigheden gelden. Vanwege de aanwezigheid van gevoelige apparaten als lasersnijders en geautomatiseerde freesmachines, moet er op deze werkplekken bijzondere aandacht aan de veiligheid worden geschonken. Ook is het gemakkelijk de regels voor minimumleeftijd en maximale werkuren te overtreden.



Fablab

Toekomstige trends

Nieuwe innovaties zullen ingrijpende gevolgen hebben voor 3D-printen en de werkomgeving. De vijf belangrijkste innovaties voor de toekomst zijn:

Voeding

Flexibele productie en creatieve vrijheid bieden de levensmiddelenindustrie grote mogelijkheden. Op dit moment wordt 3D-printen vooral gebruikt voor vloeibare voeding als chocola en pannenkoekenbeslag. In de nabije toekomst zal 3D-printen worden gebruikt voor rauw voedsel dat later een behandeling als verhitting zal ondergaan of zal worden verwerkt via natuurlijke processen als fermentatie of ontkieming. Dat zal leiden tot nieuwe uitdagingen op het gebied van hygiëne, veiligheid en arbeidsomstandigheden in het algemeen (schone lucht, ergonomie, enz.).

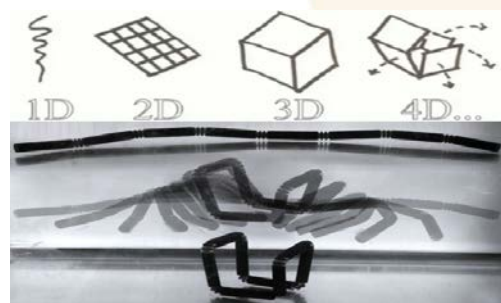


3D-printen van voeding

4D-printen en slimme materialen

Slimme materialen hebben een of meer eigenschappen die in sterke mate gecontroleerd kunnen worden gewijzigd door externe stimuli als temperatuur, kracht, licht, vocht, pH en elektrische of magnetische velden. Wanneer deze materialen met een 3D-printer worden vervaardigd, kunnen zij objecten vormen die op hun omgeving reageren door qua vorm, voelbaarheid of hardheid te veranderen. Dit proces wordt 4D-printen genoemd, omdat de objecten na verloop van tijd weer veranderen. Deze veranderingen kunnen het gevolg zijn van gevoeligheid voor licht, druk of temperatuur. Sommige materialen hebben een 'geheugen'; zij nemen hun oorspronkelijke vorm aan wanneer de omstandigheden weer veranderen. Veel materialen hebben een uiterst experimenteel karakter, zonder dat duidelijk is welke risico's daaraan kleven voor de gezondheid en hygiëne. Er gaan al stemmen op om hier regels voor op te stellen.²¹

4D-printen



4D-printen

Bioprinten

Het in 3D-printen van organisch en/of levend weefsel wordt bioprinten genoemd. Bioprinters produceren cellen met een bioprintkop die naar links en rechts, naar achteren en naar voren en naar boven en beneden beweegt om de cellen precies op de juiste plek te plaatsen. Op deze wijze kan een organisch object in talrijke zeer dunne lagen worden opgebouwd.²² Behalve cellen vervaardigen kunnen bioprinters ook een oplosbare gel extruderen om de cellen tijdens of na het printen te ondersteunen en te beschermen. Er zijn talrijke succesvolle experimenten geweest met het printen van 'levende' materialen met schimmels of algen. Net als bij slimme materialen gaat deze techniek gepaard

21 <http://journal.georgetown.edu/programmable-matter-4d-printings-promises-and-risks/>

22 <http://www.explainingthefuture.com/bioprinting.html>

met risico's voor de gezondheid en hygiëne. Tevens komen er allerlei ethische vragen om de hoek kijken.²³



Bioprinten

Nanoprinten

Door 3D-printen met nanotechnologie te combineren, wordt het mogelijk om objecten op nano- of molecuulniveau te vervaardigen. In theorie betekent dit dat via additive manufacturing elk object van ongeacht welk soort materiaal in ongeacht welke vorm en hoeveelheid kan worden gemaakt. Er zijn echter nog geen praktijkvoorbeelden van deze techniek; er kan nog niet worden voorzien welk effect nanoprinten op de werkomgeving zal hebben.

Conclusies

De gevolgen van de 3D-printer voor de fysieke veiligheid op de werkplek zullen vermoedelijk beperkt blijven. Er zullen risico's zijn, maar hoogstwaarschijnlijk gaat het daarbij niet om nieuwe risico's voor de fysieke veiligheid. Per slot van rekening hebben we hier te maken met een machine met een relatief beperkte handmatige bediening. Verder zijn de meeste materialen die voor 3D-printen worden gebruikt, bekend, wat ook geldt voor de gezondheidseffecten van de uitstoot van gassen, de blootstelling aan materialen en de behandeling daarvan, en statische elektriciteit.

De gevolgen voor het welzijn van de werknemer kunnen echter wel aanzienlijk zijn. Er ontstaan nieuwe risico's op het gebied van baanonzekerheid, werktijden, aansprakelijkheid, monotoon en routinematig werk, bijhouden van nieuwe ontwikkelingen door opleidingen en onderwijs en, tot slot, veiligheidsrisico's als gevolg van de introductie van experimentele machines. Het is sterk aan te bevelen dat een reactie op deze veranderingen op Europees en niet op nationaal niveau wordt geformuleerd, omdat 3D-printen een mondiale economische sector is. Deze betrokkenheid moet op drie niveaus tot uitdrukking komen:

1. Toezicht en controle

Welke innovaties staan voor de deur? Hoe waarschijnlijk is het dat deze innovatie op grote schaal zal worden toegepast? Rust er octrooi op deze techniek of wordt ze op andere wijze beschermd? Wie is aansprakelijk in geval van defecten? Kunnen de gebruikte materialen worden getraceerd?

Dat zijn slechts enkele van de vragen die aan de orde zullen komen. Het toezicht op de veranderingen in 3D-printen vereist een voortdurende dialoog met de bedrijfstak. Dat kan het eenvoudigst en goedkoopst worden gedaan door een onlineplatform te creëren waaraan zowel werknemers als werkgevers kunnen deelnemen. Om contact op te nemen met individuen als de prosumert (zelfproducerende consument) en toezicht op hen te houden, is het uitgebreide netwerk van fablabs in Europa geschikt.

2. Regulering en certificering

²³ <http://www.computerworld.com/article/2486998/emerging-technology/bio-printing-human-parts-will-spark-ethical--regulatory-debate.html>

Door het dynamische, bottom-up en soms experimentele karakter van 3D-printen is er gebrek aan regulering. Certificering kan een krachtig instrument vormen. Momenteel wordt certificering uitsluitend verricht door hightechbedrijven die hun eigen, met grote investeringen ontwikkelde productietechnieken beschermen. Dat deze technieken geheim zijn en daarvoor octrooi is verleend, helpt niet mee om regels voor 3D-printen op te stellen. Regulering van 3D-printen in de werkomgeving is om de volgende redenen onontbeerlijk:

- **Kwaliteits- en veiligheidscontrole**

3D-printen wordt constant beïnvloed door de ontwikkeling van nieuwe technieken en materialen. Dit levert veiligheidsrisico's op met betrekking tot de 3D-printers en de vervaardigde goederen.

- **Aansprakelijkheid**

De introductie van nieuwe technieken en materialen kan leiden tot conflicten tussen werkgever en werknemer over intellectueel en creatief eigendom. Omdat ontwerpen (grotendeels) vrij online beschikbaar zijn, ontstaan er ook nieuwe risico's op schendingen van het auteursrecht en aansprakelijkheid in geval van slecht werkende of inferieure producten. Wellicht zijn standaardcontracten en juridisch advies nodig.

- **Welzijn van werknemers**

3D-printen ademt de sfeer van de mondiale economie en dynamische start-ups. Dit kan stressvol zijn voor werknemers aan wie hogere eisen worden gesteld als het gaat om werktijden, flexibiliteit en verantwoordelijkheid. Omdat de 3D-printsector grotendeels uit startende ondernemingen en nieuwe soorten microfabrieken bestaat, is de organisatiegraad binnen traditionele vakbonden gering.

- **Gezondheid en veiligheid**

Het gebruik van materialen en emissies kunnen risico's voor de gezondheid opleveren.

- **Baanonzekerheid**

In deze uiterst innovatieve branche kan de baanonzekerheid groot zijn. Deze onzekerheid kan worden beperkt door werknemers via opleidingen de mogelijkheid te bieden om zich bij te scholen.

- **Betrokkenheid**

Werken met automatische machines als 3D-printers kan saai en stressvol zijn. Opleidingen kunnen de motivatie van de werknemers positief beïnvloeden. Zij zijn gewoonlijk relatief jong. Werkgevers moeten extra maatregelen treffen om hen gemotiveerd te houden, door verantwoordelijkheid te delen en flexibele arbeidsomstandigheden te bieden.

3. Opleidingen en onderwijs

Behalve uitdagingen op het vlak van de individuele werkomgeving biedt 3D-printen ook fantastische mogelijkheden om gelijkheid op de arbeidsmarkt als geheel te bevorderen. Wij leven in een kennismaatschappij die op netwerken en technologie is gebaseerd. De kloof groeit tussen mensen die toegang hebben tot en kennis hebben van technologie en degenen die dat ontberen. Dankzij 3D-printen en de onderliggende makersbeweging is kennis goedkoop en relatief eenvoudig via internet te verkrijgen. De belangrijkste netwerken binnen deze makersbeweging zijn de fablabs. Door bij het aanbieden van onderwijs en opleidingen met fablabs samen te werken, kan de groeiende technologiekloof worden overbrugd, zodat er meer gelijkheid op de arbeidsmarkt ontstaat. Dit is vooral van belang in de economische context van Europa, waar individualiteit, openheid en innovatie tot de voornaamste streefdoelen behoren.

Meer lezen

- *Printing Things. Visions and Essentials for 3D Printing.* Dries Verbruggen (editor). ISBN 9783899555165. Gestalten, 2015
- *Open Design Now: Why Design Cannot Remain Exclusive.* Lucas Evers & Bas van Abel (editors). ISBN 9789063692599. BIS Publishers, 2011
- *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World.* Jeremy Rifkin. ISBN 9780230341975. St. Martin's Griffin, 2013
- *Fabricated: The New World of 3D Printing.* Hod Lipson & Melba Kurman. . ISBN 9781118350638. Abe Books, 2013
- *Makers: The New Industrial Revolution.* Chris Anderson. ISBN 9780307720962. Crown Business Publishers, 2012
- *The Maker Movement Manifesto: Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkerers.* Mark Hatch. . ISBN 9780071821124. MacGraw-Hill Education, 2013
- *3D Printing: The Next Industrial Revolution.* Christopher Barnatt. . ISBN 9781484181768. Create Space Independent Publishers, 2013
- *Postcapitalism: A Guide to our Future.* Paul Mason. ISBN 9781846147388 Allen Lane Publishers, 2011

Dit discussiestuk is gebaseerd op een samenvatting van een langer artikel dat Jeroen Junte heeft geschreven, en bevat de reacties die van het netwerk van focal points van het Agentschap zijn ontvangen.

Dit artikel is opgesteld in opdracht van het Europees Agentschap voor veiligheid en gezondheid op het werk (EU-OSHA). Alle meningen en/of conclusies in dit rapport zijn van de auteur(s) en komen niet noodzakelijkerwijs overeen met de opvattingen van EU-OSHA.

Vertaling geleverd door het Vertaalbureau (CdT, Luxemburg)