



TrafficQuest
CENTRE FOR EXPERTISE ON TRAFFIC MANAGEMENT

TrafficQuest rapport

Effect van 3D-printen op de mobiliteit

Een verkenning naar mogelijke toepassingen



Colofon

Auteurs Karla Münzel (TNO)
Paco Hamers (TNO)
Sri Ramakrishnan (TNO)

Datum 24 mei 2020

Versienummer 1.0

Uitgegeven door TrafficQuest
Postbus 2232
3500 GE UTRECHT

Informatie Henk Taale

Telefoon +31 88 798 24 98

Foto voorkant De Gelderlander / Maarten Reith

TrafficQuest is een samenwerkingsverband van

TNO innovation
for life

TUDelft



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Watermaat

Traffic & Transport
Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
P.O. Box 96800
2509 JE The Hague
The Netherlands

www.tno.nl

T +31 88 866 00 00

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit



Voorpagina afbeelding is eigendom van: De Gelderlander / Maarten Reith

TNO report

TNO 2020 R10822

Verkenning 3D-printen

Traffic & Transport

Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
P.O. Box 96800
2509 JE The Hague
The Netherlands

www.tno.nl

T +31 88 866 00 00

Date	24 mei 2020
Author(s)	Karla Münzel; Paco Hamers; Sri Ramakrishnan
Copy no	
No. of copies	
Number of pages	31 (incl. appendices)
Number of appendices	2
Sponsor	Rijkswaterstaat WVL
Project name	Verkenning 3D-printen
Project number	060.42370

© 2020 TNO

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

Samenvatting

3D-printen is een productieproces waarbij een product gemaakt wordt door laag-voor-laag materiaal toe te voegen. Het gebruik van 3D-printen biedt meerdere **voordelen** op verschillende vlakken. 3D-printen biedt ontwerpvrijheid, waardoor efficiëntere of gepersonaliseerde designs mogelijk zijn. Het kan voor veranderingen in productielocaties zorgen en faciliteert *on-demand* productie en een verlaging in benodigde opslagcapaciteit. 3D-printen zorgt voor betere recycle-mogelijkheden en minder afvalproductie. Maar het inzetten van de 3D-printtechnologie heeft op dit moment ook **nadelen**. De productie is beperkt in materiaal, maten en vormen. Daarnaast is de verwachting dat het niet wordt ingezet voor massaproductie van producten, omdat kosten en productietijd hoger zijn dan bij de bestaande technieken. Als 3D-printen breed zal worden ingezet dan heeft dit niet alleen effecten op de industrie, maar ook op andere delen van de economie en maatschappij.

Zo kan 3D-printen productie op lokaal niveau mogelijk maken, waardoor transportstromen kunnen veranderen. In sommige branches zullen, in plaats van de import, de goederen lokaal geprint worden. Daardoor verandert de stroom van grondstoffen en de locatie van fabricage. Ook de logistieke keten, bijvoorbeeld rondom reserveonderdelen, kan veranderen. Omdat er dus mogelijke effecten van 3D-printen op het mobiliteitssysteem bestaan, zijn in deze studie, in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en Rijkswaterstaat (RWS), die de **mogelijke effecten van 3D-printen op het mobiliteitssysteem** verkend.

De verkenning bestaat uit het achterhalen van de situatie van de 3D-markt in Nederland, de toepassingen van 3D-printen in de mobiliteitssector en de toepassingen in andere sectoren met mogelijke effecten op het mobiliteitssysteem. Daarnaast is gezocht naar kansen voor de beleidsdoelstellingen van IenW rond bereikbaarheid, duurzaamheid en veiligheid, en de eventuele rol die IenW kan nemen bij de verdere ontwikkeling van 3D-printen. Om dit te behalen, zijn er een literatuuronderzoek uitgevoerd en tien interviews gehouden met verschillende experts uit de 3D-markt en kennisinstellingen. Deze methodiek leidt ertoe dat de conclusies en aanbevelingen gedeeltelijk verder gaan dan het mobiliteitssysteem.

De exploratieve verkenning leidt tot vijf hoofdconclusies en aanbevelingen:

Nederland is een koploper, maar benut kansen nog onvoldoende

In Nederland zijn meerdere wereldspelers op het gebied van 3D-printen te vinden en er vindt ontwikkeling van printtechnologieën (kunststof-, metaal- en betonprinten), materiaalontwikkeling en serviceplatforms plaats. In verschillende sectoren zijn toepassingen geïdentificeerd en *use-cases* ontwikkeld, maar de toepassing van 3D-printen beperkt zich op specifieke niches. De bestaande expertise wordt nog niet in grotere mate gebruikt om exportkansen voor de Nederlandse economie te grijpen. De overheid zou bedrijven kunnen stimuleren om de kansen van de toepassing van 3D-printen te verkennen. De overheid kan *launching customer* zijn door als opdrachtgever fungeren bij opdrachten waar 3D-printtechnologie een goede concurrent zou zijn tegenover conventionele methoden of door onderzoeksprogramma's op te zetten.

Service logistiek is de meest kansrijke sector met invloed op het mobiliteitssysteem

Er kan geconcludeerd worden dat 3D-printen grote voordelen heeft bij het produceren van reserveonderdelen *on-demand* en op locatie. Daardoor is de toepassing in de service logistiek kansrijk, met name op moeilijk bereikbare locaties of voor zeldzame onderdelen. Nederland is een groot transportland en expert op het gebied van logistiek. Bij de digitalisering van de logistiek kan 3D-printen een rol spelen en geïntegreerd worden. Via een *Digital warehouses* met

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

reserveonderdelen kunnen organisaties hun beheer en onderhoudsproces efficiënter maken. Dit is een kans voor de industrie, maar ook bij overheidsinstellingen. Daarnaast biedt het een kans voor Nederland om zijn expertise op het gebied van de digitalisering van de logistiek op te bouwen en deze kennis, diensten en technologieën te exporteren.

Veel kansen blijven onbenut door gebrek aan kennis en kennisdeling

De ontwikkeling en toepassing van 3D-printen is nog niet in de breedte van sectoren en bedrijven te zien. Veel bedrijven missen de kennis, tijd, budget en personeel om de mogelijke kansen rond een toepassing van 3D-printen te identificeren. Er is geen groot kennisnetwerk of breed ecosysteem rondom 3D-printen te vinden, waarin spelers elkaar helpen door kennis over technologieën en toepassingen uit te wisselen en verschillende perspectieven bij elkaar brengen om kansen te identificeren. Het opbouwen van een kennisnetwerk is van belang voor het gebruikmaken van zowel economische, als ook duurzaamheidskansen die 3D-printen voor Nederland biedt. De overheid kan de opbouw van een netwerk faciliteren of stimuleren om de mogelijkheden van 3D-printen in het zicht van een groter aantal van bedrijven brengen en barrières wegnemen om in de toepassing van deze innovatie te investeren.

Ontbrekende kwaliteitseisen en certificering zijn een belemmering

Het gemis aan certificeringsprocessen en verouderde kwaliteitseisen belemmeren de ontwikkeling en toepassing van 3D-printen. Eisen en standaarden zijn op dit moment georiënteerd op de bestaande 'klassieke' productietechnologieën en zijn gedeeltelijk niet goed toepasbaar op 3D-geprinte producten. Om deze belemmering weg te nemen, moeten de kwaliteitseisen bij certificeringsprocessen en inkoopprocessen vertaald worden naar eisen die haalbaar zijn voor zowel 3D-printen als bekende fabricagetechnieken. De overheid kan hier een rol spelen door certificerings- en standaardisatieprocessen op te zetten en kwaliteitseisen te herzien, zodat 3D-printen een concurrerende kans heeft tegenover andere productietechnologieën. Dit is ook toepasbaar bij bijvoorbeeld het bouwen en onderhouden van infrastructurele kunstwerken.

Diverse kansen voor invulling van de beleidsdoelen

3D-printen biedt verschillende voordelen en door deze voordelen ook kansen voor mogelijke positieve effecten op beleidsdoelen. Potentieel kan de toepassing van 3D-printen voor meer duurzaamheid zorgen in productieprocessen en voor veranderingen van de logistieke keten. 3D-printen zorgt mogelijk ervoor dat er minder grondstoffen nodig zijn, minder afval geproduceerd wordt en dat producten alleen geproduceerd worden waar en wanneer ze nodig zijn. De productie op locatie kan ervoor zorgen dat minder transport, of efficiënter transport mogelijk is. 3D-geprinte producten kunnen mogelijk ook beter gerecycled worden en kunnen daardoor, samen met de betere mogelijkheden voor reparatie ervoor zorgen dat circulariteit mogelijk wordt. Deze effecten op duurzaamheid zijn echter nog onduidelijk en moeten nog verder worden uitgezocht. Omdat er mogelijk kansen voor de overheid bestaan, kan de overheid een rol nemen en onderzoek hiernaar stimuleren.

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat, tot op heden, 3D-printen geen grote veranderingen in het mobiliteitssysteem van Nederland brengt. Er zijn maar beperkte directe toepassingen in het mobiliteitssysteem. In andere sectoren wordt 3D-printen vooral in specifieke niches toegepast, waar wel veranderingen in transportstromen kunnen ontstaan, maar waardoor het gehele mobiliteitssysteem niet disruptief zal veranderen. 3D-printen zal dus ook geen disruptieve effecten op bereikbaarheid, duurzaamheid en veiligheid hebben, maar in een aantal sectoren zijn wel kansen voor efficiëntievergroting, veiligheidsverbeteringen en verduurzamingsmogelijkheden te identificeren. De mate waarin dit doorwerkt op de mobiliteit is echter nog onduidelijk.

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Introduction	6
1.1 Aanleiding en onderzoeksvragen	6
1.2 Leeswijzer	7
2 Methode	8
3 Resultaten	10
3.1 Techniek en ontwikkelingsvooruitzichten	10
3.2 Inzichten uit de literatuuronderzoek en de expertinterviews	12
3.3 Analyse van het innovatiesysteem	19
4 Conclusies	22
4.1 Nederland is een koploper, maar benut kansen nog onvoldoende	22
4.2 Service logistiek is de meest kansrijke sector met invloed op het mobiliteitssysteem	22
4.3 Veel kansen blijven onbenut door gebrek aan kennis en kennisdeling.....	22
4.4 Ontbrekende kwaliteitseisen en certificering zijn een belemmering	23
4.5 Diverse kansen voor invulling van de beleidsdoelen.....	23
4.6 Tot op heden, geen grote veranderingen in het mobiliteitssysteem van Nederland	23
5 Aanbevelingen en vervolgstappen	24
5.1 Overheid	24
5.2 I&W en zijn diensten	25
6 Ondertekening	27
Appendix A Referenties	28
Appendix B Interview Leidraad	30

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

1 Introduction

3D-printen is een productieproces waar een product gemaakt wordt door laag-voor-laag materiaal toe te voegen. Het wordt ook wel additieve fabricage, additief produceren of *Additive manufacturing* (AM) genoemd. Dit nieuwe productieproces heeft meerdere voordelen bij het gebruik van grondstoffen en de vrijheid in ontwerp. Daardoor kan het voorzien in specifieke klantwensen, betere recycle-mogelijkheden en een verlaging in benodigde opslagcapaciteit. Daarnaast kan het een verandering van productielocatie teweeg brengen. Als 3D-printen breed zal worden ingezet dan heeft dit niet alleen effecten op de industrie, maar ook op andere delen van de economie en maatschappij.

3D-printen kan productie op lokaal niveau en door een groot aantal producenten mogelijk maken, daardoor kunnen transportstromen veranderen. In sommige branches zullen, in plaats van het importeren, de goederen lokaal geprint worden. Daardoor verandert de stroom van grondstoffen en de locatie van fabricage. Om deze reden wordt 3D-printen soms aangehaald als de derde industriële revolutie of van een kans op de-globalisatie. Maar ook dichterbij huis zijn er disruptieve effecten te verwachten als 3D-printen snel groeit. Lokale productie zorgt ervoor dat grondstoffen in plaats van halffabricaten of producten geïmporteerd worden. De manier waarop de logistiek werkt, kan daardoor veranderen. Daarnaast is er een kans dat consumenten anders naar producten gaan kijken, bijvoorbeeld pas tevreden zijn als ze volledig gepersonaliseerde objecten kunnen bestellen. Maar al het bovenstaande zijn uitersten en we zien dat de transitie naar 3D-printen niet massaal en snel gebeurt. Wel zijn er niches waar een prominente plek voor 3D-printen ontstaat en ook dit levert al effecten op in de maatschappij. Een mooi voorbeeld van zo'n nichetoepassing is het printen van zorgmaterieel door ziekenhuizen gedurende een tekort in de coronacrisis (Nu.nl, 2020).

1.1 Aanleiding en onderzoeksvragen

De aanleiding van het voorliggend rapport is een behoefte vanuit het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) om kansen te identificeren en voorbereid te zijn op de effecten van 3D-printen op het mobiliteitssysteem. In dit rapport wordt een verkenning beschreven naar 3D-printen en de effecten ervan op mobiliteit. Deze verkenning bestaat uit een literatuurstudie, gecombineerd met interviews van wetenschappers, consultants, marktanalisten, 3D-print-serviceproviders, 3D-printerfabrikanten en industrie. Het doel van de verkenning is in kaart brengen welke disruptieve effecten van 3D-printen invloed hebben op het Nederlandse mobiliteitssysteem. Om dit te bereiken, komen de volgende onderzoeksvragen aan de orde:

- Hoe ver is de 3D-print industrie in Nederland?
Het doel van deze vraag is in kaart te brengen hoe breed het productieproces wordt ingezet, welke actoren er zijn, of er een kennisnetwerk is en in hoeverre er in Nederland *Research & Development* of experimenten plaatsvinden. Beantwoording van deze vraag kan een indicatie geven waar IenW (of de overheid als geheel) kan inspringen om beleidsdoelstellingen rond bereikbaarheid, leefbaarheid, duurzaamheid en veiligheid te behalen.

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

- Welke toepassingen zijn er in het mobiliteitssysteem?
Toepassingen binnen het mobiliteitssysteem zijn voor IenW belangrijk, omdat het verantwoordelijk is voor een veilig, bereikbaar en leefbaar Nederland. De 3D-print ontwikkelingen kunnen een proactieve houding van het ministerie vragen, met name als er mogelijk effecten op veiligheid, bereikbaarheid en leefbaarheid ontstaan. Daarnaast kunnen toepassingen binnen het mobiliteitssysteem een kans bieden voor het ministerie om hun beleidsdoelen binnen duurzaamheid, leefbaarheid en bereikbaarheid te realiseren.

- Welke toepassingen zijn er in andere sectoren?
Toepassingen in andere sectoren kunnen direct of indirect invloed op het mobiliteitssysteem hebben. Bijvoorbeeld omdat 3D-printen de logistieke keten verandert of het gedrag van gebruikers. Zo kunnen ze een bijdrage leveren aan of een risico zijn voor overheidsdoelstellingen. Daarnaast kunnen er bij beantwoording van deze vraag zaken naar boven komen die niet direct in de invloedssfeer van IenW liggen, maar waar dit ministerie wel een bijdrage aan kan leveren.

1.2 Leeswijzer

Het rapport is als volgt opgebouwd: Hoofdstuk 2 beschrijft de gebruikte methodes van het onderzoek. Hoofdstuk 3 rapporteert de resultaten van het onderzoek, onderverdeeld in 'een korte beschrijving van de 3D-print technologie en de hoofdontwikkelingen', 'een beschrijving van de resultaten uit de literatuuronderzoek en de expertinterviews' en 'een analyse van het innovatiesysteem'. In hoofdstuk 4 worden de conclusies uit deze resultaten getrokken in connectie met de onderzoeksvragen en afsluitend worden in hoofdstuk 5 mogelijke vervolgstappen beschreven.

2 Methode

Om deze verkenning uit te voeren, is voor een exploratieve methode gekozen. Er is gebruik gemaakt van meerdere databronnen: literatuuronderzoek, TNO interne expertgesprekken en expertinterviews met verschillende stakeholders uit industrie, onderzoek en consultancy.

Het literatuuronderzoek bestond uit een studie waarin internationale en nationale academische literatuur, overheids- en industrieraapporten en nieuwsberichten zijn onderzocht. Daarnaast zijn gesprekken met TNO-experts uit verschillende afdelingen gehouden. De experts werken vanuit verschillende perspectieven aan de ontwikkeling en toepassing van 3D-printen (logistiek, 3D-print technologie en toepassing, materialen voor 3D-printen, toepassing bij defensie). Ook konden de TNO-experts doorverwijzen naar interessante gesprekspartners voor de expertinterviews. Tabel 1 geeft een overzicht over de geïnterviewde TNO-experts.

De inzichten uit dit literatuuronderzoek en de interne gesprekken dienden als voorbereiding voor tien interviews met experts op het gebied van 3D-printen in Nederland. Er is voor gekozen om experts te interviewen met zoveel mogelijk verschillende rollen en perspectieven op de 3D-markt. Zo zijn experts uit onderzoek, consulting, gespecialiseerde 3D-printbedrijven en de gebruikers in industrie geïnterviewd. De experts zijn gekozen vanwege hun publicaties, hun activiteiten op het gebied van 3D-printen of vanwege doorverwijzingen van eerdere gesprekspartners. Tabel 2 geeft een overzicht over de gehouden expertinterviews. De in Tabel 2 genoemde experts zijn op hun werklocatie geïnterviewd¹, met een vragenlijst als leidraad. De interviewvragen volgden uit de onderzoeksvragen van deze verkenning en waren gestructureerd langs vijf thema's: 3D-print markt in Nederland; toepassingen van 3D-printen in de mobiliteitssector; toepassingen in andere sectoren met effect op het mobiliteitssysteem; effecten op bereikbaarheid; duurzaamheid en veiligheid; en de rol van de overheid. De vragenlijst die als leidraad diende, is te vinden in Appendix B. Van elk interview is een kort verslag gemaakt, dat ter review op onjuistheden en eventuele aanvullingen aan de geïnterviewden is gestuurd en daarna gefinaliseerd.

De inzichten uit de verschillende databronnen zijn door het team van onderzoekers samengenomen en geanalyseerd, uitgaande van de onderzoeksvragen. Een verdere analysestap is doorgevoerd door het analyseren van de resultaten met het perspectief op het innovatiesysteem van 3D-printen. Hiervoor is gebruik gemaakt van het *Technological Innovation System* (TIS) (Hekkert et al., 2007) als analysekader. Vervolgens zijn de resultaten tijdens een workshop met de opdrachtgevers besproken en aangescherpt.

Afsluitend is het belangrijk om duidelijk te maken dat dit onderzoek exploratief van aard is en probeert de huidige situatie rondom een technologie en mogelijke effecten op het mobiliteitssysteem te verkennen. Onderzoek naar innovaties op deze manier is een momentopname en afhankelijk van de meegenomen perspectieven. Door de beperking van 10 expertinterviews moesten keuzes gemaakt worden en het konden niet alle perspectieven mee worden genomen. Het doel van dit onderzoek is de verkenning van mogelijke effecten van 3D-printen op het mobiliteitssysteem en het identificeren van verschillende handelingsperspectieven.

¹ Met uitzondering van de laatste drie interviews, die via videobellen hebben plaatsgevonden, vanwege de maatregelen rondom de uitbraak van het Corona-virus.

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

Tabel 1: TNO-interne expert gesprekken

Naam	Rol en Afdeling	Datum
Gerwin Zomer	Senior adviseur logistiek bij afdeling Sustainable Transport and Logistics	28.11.2019
Julius Berens	Consultant Additive Manufacturing bij Unit Defence, Safety & Security	19.12.2019
Tessa ten Cate	Program Manager Materials for Additive Manufacturing bij Materials Solutions	09.01.2020
Pieter Debrauwer	Managing Director AMSystem, Afdeling Equipment for Additive Manufacturing	14.01.2020
Robbert Janssen	Business consultant Logistics bij afdeling Sustainable Transport and Logistics	21.01.2020

Tabel 2: Expertinterviews

#	Organisatie	Naam Geïnterviewde	Expertise	Datum
Onderzoek				
1	TU Delft	Bert van Wee	Onderzoek effecten transport-systeem, transportbeleid	30.01.2020
2	TU Twente	Tom Vaneker	Onderzoek 3D-print processen en design	14.04.2020
Consultancy / bank				
3	ING	Raoul Leering	Financier bedrijven, rapport marktontwikkeling	05.03.2020
4	Berenschot	Onno Ponfoort, Fabian Nullmeier	Business cases voor 3D-printen	27.02.2020
5	Panteia	Manfred Kindt	Transport consulting	13.02.2020
6	Gordian	Jürgen Donders, Wouter Heijnen	Service logistiek, reserve-onderdelen	18.02.2020
3D-Print bedrijven				
7	Ultimaker	Paul Heiden, Moniek Jansink	Fabrikant kunststof printers, softwareontwikkelaar	20.02.2020
8	BAM	Jeroen Nuijten	Betonprinten	27.02.2020
Industrie				
9	ERIKS	Job van de Sande	Toepassing 3D-printen in productie	27.03.2020
10	Wiltling	Adwin Kannekens	Toepassing 3D-printen in productie	07.04.2020

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

3 Resultaten

3.1 Techniek en ontwikkelingsvooruitzichten

3.1.1 *Techniek*

3D-printen is een innovatie in fabricagetechnologie, het is een methode waarbij een product wordt vervaardigd door de grondstof laag voor laag op elkaar te smelten. Er zijn verschillende technieken voor 3D-printen, onderscheidend in de manier waarop de lagen worden gemaakt en het materiaal waarmee geprint wordt. Traditioneel worden producten geproduceerd met bewerkingstechnieken die afhankelijk zijn van het verwijderen van ongewenst materiaal, ook wel bekend als subtractief proces (verspanen) of door middel van een mal (spuitgieten). Met 3D-printen kan een idee rechtstreeks van een ontwerpbestand naar een product gaan, waarbij veel traditionele fabricagestappen worden overgeslagen. En fabricage kan overal ter wereld plaatsvinden waar de juiste printers beschikbaar zijn (Janssen, 2014).

Er zijn drie hoofdelementen die deel uitmaken van het productieproces van 3D-printen: De 3D-printer, het materiaal en het 3D-ontwerpbestand. Het ontwerpbestand is een digitaal 3D-model gemaakt met behulp van *computer-aided design* (CAD) software of door 3D-scanners. Dit ontwerpbestand is de blauwdruk voor het product dat vervolgens als driedimensionaal object in een 3D-printer afgedrukt wordt uit grondstoffen in vloeibare of deeltjesvorm (Janssen, 2014). Het proces is als volgt: door het smelten van de grondstof wordt het product in dunne lagen op elkaar gedrukt. De meest gebruikte materialen bij 3D-printen zijn (varianten van) kunststof, metaal, beton, keramiek en zelfs glas.

3D-printen heeft veel voordelen ten opzichte van traditionele fabricagetechnieken:

- *Vrijheid van ontwerp*: 3D-printen maakt het mogelijk om nieuwe ontwerpen te realiseren. Omdat de manier waarop een product wordt vervaardigd anders is bij 3D-printen, zijn efficiëntere ontwerpopties mogelijk, bijvoorbeeld bij het vervaardigen van holle producten en dus lichtere objecten. Ook kunnen parametrische modellen worden ontworpen voor het 3D-printen van betonconstructies. Parametrisch modellen zijn structuren met nieuwe vormen en grote maten.
- *Complexiteitsreductie van het product*: 3D-printtechniek maakt het mogelijk om ontwerp en de productie van complexe samengestelde onderdelen in één geheel te maken in plaats van meerdere kleinere onderdelen, hierdoor verminderd de complexiteit van de producten.
- *Tijd van ontwerp tot prototyping*: 3D-printen levert aanzienlijke tijdsbesparingen op om een product van ontwerpfase tot prototypefase te realiseren, omdat het maken van een digitaal 3D-ontwerp minder tijd en geld kost dan het maken van een ontwerp, een mal en eventuele frees activiteiten. Zo kunnen meer onderdelen en producten worden getest en zijn ze in korte tijd beschikbaar voor gebruik in vergelijking met traditionele fabricagemethoden. In veel gevallen resulteert de tijdsbesparing in een kostenbesparing voor de industrie.
- *Laag productieafval*: 3D-printen verbruikt precies de juiste hoeveelheid grondstof die nodig is om een product te vervaardigen en er kan precies het aantal producten produceren dat nodig is. In vergelijking met traditionele (subtractieve) fabricage is er dan minder productieafval.
- *Uitbesteding fabricage*: De input voor het 3D-printen van een product is een digitaal 3D-ontwerpbestand. Zo kan de fabricage worden uitbesteed door het 3D-ontwerpbestand te delen met een 3D-printfaciliteit of een plaats waar een geschikte 3D-printer beschikbaar is. Hierdoor kan het fabricageproces dichterbij de klanten komen, wat de verzendtijd verkort en transportkosten verlaagd.

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

- *Productaanpassing*: met 3D-printtechniek kunnen gepersonaliseerde producten worden vervaardigd naar behoefte van de klant door aanpassingen aan het ontwerpbestand aan te brengen. Zo kunnen kleine hoeveelheden gepersonaliseerd product gefabriceerd worden tegen relatief een lage prijs.

3D-printen biedt veel voordelen, maar er zijn ook enkele beperkingen:

- *Grootschalige productie*: Er zijn beperkingen voor grootschalige productie van producten in vergelijking met traditionele subtractieve productie. Het 3D-printproces kost meer tijd om een product te vervaardigen omdat de producten laag voor laag worden afgedrukt. Daarom is tot op heden het productievolume aanzienlijk lager dan het traditionele subtractieve productieproces.
- *Productafwerking*: Aangezien de producten laag-op-laag geprint zijn, ontstaat er een hobbelig of hoekige buitenkant op de producten. Veel geprinte producten hebben een nabewerking nodig om de vereiste afwerking te bereiken, vooral voor industriële vereisten. De afwerking van een product is belangrijk omdat tijdens de montage de juiste pasvorm nodig is.
- *Productmaat*: Een andere belangrijke beperking is de productgrootte. Doorgaans is de productgrootte beperkt tot de grootte van het printbed in de 3D-printer. Dit betekent dat er grote 3D-printers moeten worden gebouwd om grote producten te kunnen vervaardigen.
- *Materiaalkeuze*: Momenteel is de keuze van grondstoffen die geschikt zijn voor 3D-printen beperkt. Zo is er beperkte keuze aan materiaalkeuze, oppervlakte en andere materiaaleigenschappen. Er is echter een duidelijke toename te zien in de afgelopen jaren en de verwachting is dat dit doorzet.
- *Kwaliteit*: Tot op heden is het verschil in vorm, materiaalsterkte, oppervlaktekwaliteit erg divers onder geprinte producten, zelf als ze uit dezelfde printer komen met hetzelfde onderliggende ontwerp (Luan & Huang, 2017). Dit gebrek aan herhaalbaarheid levert een risico voor de kwaliteit van de producten.
- *Energie verbruik*: Voor veel print processen geldt dat de energieverbruik hoger is dan bij conventionele productiemethoden (Huang et al., 2016).

3D-printen wordt veel gebruikt in gebieden waar de voordelen groter zijn dan de tekortkomingen. Er zijn bewezen voorbeelden van het gebruik van 3D-printtechnieken in de consumentenproducten, elektronica, auto-industrie, de gezondheidszorg, tandheelkunde en ruimtevaart-industrie. De meest voorkomende fabricagetoepassingen voor 3D-printen zijn prototyping en *tooling* (*jigs* en *fixtures*)² (WEF report, 2020). De industrieën die 3D-printen gebruiken, profiteren ook van de doorlooptijdreductie en kostenreductie door 3D-printgereedschappen (van de Staak, 2019; de Vries, 2017).

3.1.2 De ontwikkelingsvooruitzichten voor 3D-printen op middellange termijn: 2030

De 3D-print consultancy Wohlers Associates voorspelt dat "de algemene 3D-print-markt blijft stijgen, met veel nieuwe spelers, honderden miljoenen dollars investering en innovatieve nieuwe producten ontworpen voor 3D-printen die weinigen jaren geleden voor ogen hadden." (Wohlers, 2019). De vooruitzichten voor de middellange termijn (2020-2030) van 3D-printen zijn positief. Er wordt groei verwacht in de materiaalkeuze en toepassingen van 3D-printen. Het World Economic Forum (WEF, 2020) stelt dat het gebruik van 3D-printen in de bouw zou kunnen groeien, zoals in Dubai (Jezard, 2018), waar naar verwachting 25% van de nieuwe gebouwen in 2025 3D-geprint zal zijn. Ook wordt voor biomedische en tandheelkundige toepassingen, zoals protheses, een hoge groei verwacht.

² The Dutch Centre for Promotion of Imports from developing countries (CBI) beschrijft jigs en fixtures als "jigs zijn op maat gemaakte gereedschappen die worden gebruikt om de locatie en / of beweging van een ander gereedschap te regelen. Dit zorgt voor herhaalbaarheid, nauwkeurigheid en uitwisselbaarheid bij de productie van producten. Fixture houdt het werk op een vaste locatie" (CBI, 2017).

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

Het is de bedoeling dat elektriciteitsbedrijven en vermogenslektronica bedrijven 3D-printen zullen helpen vooruitgaan (om energiezuinige machines te helpen maken), en dat zij branchebrede normen, zoals een ISO 3D-printen, zullen ontwikkelen om zo 3D-printen economisch levensvatbaarder te maken. Verder worden snellere 3D-printmachines met hoge prestaties en automatisering in de komende jaren verwacht. Deze ontwikkelingen zullen naar verwachting de soorten en het volume van 3D-geprinte producten vergroten (Petch, 2020).

Andere verwachte ontwikkelingen zijn onder meer de vooruitgang in de materiaalkunde, automatisering in de workflow, meer bedrijven met een '*digital warehouse*' (digitaal magazijn) bestaande uit digitale blauwdrukken van producten en reserveonderdelen die 3D-geprint kunnen worden, en '*hyper-local*' productie waar producten aan klanten worden aangeboden in minder dan 12 uur (Petch, 2020).

3.2 Inzichten uit de literatuuronderzoek en de expertinterviews

Deze sectie bevat de inzichten uit literatuuronderzoek, interne TNO-expertgesprekken en de tien expertinterviews samen. De resultaten zijn opgedeeld in drie thema's. Het eerste deel beschrijft de situatie in Nederland met betrekking tot 3D-printen, zoals de inzichten over de markt, actoren en interacties. Het tweede deel beschrijft de inzichten over de mogelijke toepassingen van 3D-printen in de mobiliteitssector die directe veranderingen voor het mobiliteitssysteem kunnen brengen. Het derde deel gaat in op toepassingen van 3D-printen in andere sectoren die indirect een effect op het mobiliteitssysteem kunnen hebben.

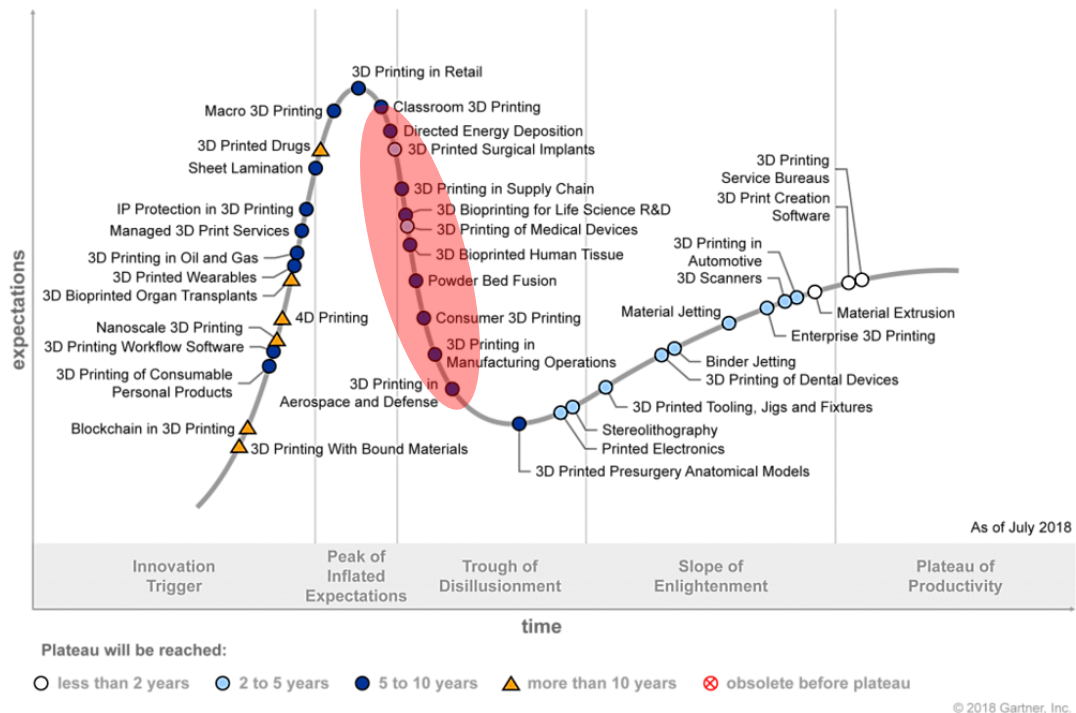
3.2.1 De Nederlandse 3D-markt

Enkele jaren geleden waren er hoge verwachtingen over mogelijke effecten van 3D-printen op de Nederlandse economie. De waarde van 3D-printen in Nederland in 2016 en 2017 werd geschat op respectievelijk € 100 miljoen en € 120 miljoen (ABN AMRO & Berenschot, 2017; DHL, 2016). In Nederland was meer dan de helft van deze waarde de bijdrage via innovatie en productie van 3D-printmachines, en een kwart van de waardebijdrage was via 3D-geprinte producten. De overige 25% zit in diverse services rond 3D-printen zoals: materiaalonderzoek, ontwerp, nabewerking, testen.

Toen waren de verwachtingen dat er een explosieve groei zou plaatsvinden en 3D-printen de markt disruptief zou veranderen. Inmiddels zijn de verwachtingen qua disruptiviteit naar beneden bijgesteld, maar in de toekomst kan de impact nog toenemen. Bij bedrijven en in specifieke sectoren (zoals in de lucht- en ruimtevaart, de medische sector en tandheelkunde) heeft het al een grote impact in processen door kortere doorlooptijden, nieuwe ontwerpen en vormen, en lagere kosten.

De verminderde groei zou te maken kunnen hebben met de overgang tussen fase van '*peak of inflated expectation*' en '*trough of disillusionment*' in Gartner's hype cycle (zie Figuur 1). De Gartner hype cycle geeft een overzicht van de 5 fasen van een technologische levenscyclus. Zoals gedefinieerd door Gartner, betekent '*peak of inflated expectation*' dat vroege publiciteit een aantal succesverhalen oplevert - vaak vergezeld van tal van mislukkingen. Sommige bedrijven ondernemen actie, velen niet. De fase '*trough of disillusionment*' betekent dat interesse over de technologie afneemt omdat experimenten en implementaties niet slagen. Producenten van de technologie hebben het lastig of haken af. Investerings gaan alleen door als de overlevende leveranciers hun producten naar tevredenheid van *early-adopters* verbeteren.

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit



Figuur 1: 3D-printing hype cycle by Gartner (Basiliere & Shanler, 2019)

3.2.1.1 Positie van Nederland in 3D-printmarkt

Nederland zit in de kopgroep van de ontwikkeling rondom 3D-printen (ABN AMRO & Berenschot, 2017). Andere koplopers wereldwijd in 3D-printen zijn Duitsland, de VS, en China.

Nederland loopt voorop, met name in:

- Ontwikkeling van 3D desktop kunststof printers en software (ABN AMRO & Berenschot, 2017).
- Ontwikkeling en toepassing van 3D-betonprinten (waarbij moet worden opgemerkt dat andere landen, zoals Dubai en China, ook druk bezig zijn).
- Dat de Nederlandse marine is voorloper op het gebied van gedistribueerde productie.

Wereldwijd kopen bedrijven meer *'Made in Holland'* 3D-printers en producten dan voorgaande jaren (Intermediair, 2018). Dit is het gevolg van succesvolle Nederlandse spelers in de 3D-print sector bijvoorbeeld: Ultimaker, wereldwijd leider op het gebied van kunststofprinters en printsoftware; Shapeways, de grootste online marktplaats voor 3D-geprinte producten; en 3D Hubs, bedient op dit moment een miljard mensen bij het vinden van een lokale 3D-printer. Dit zijn vooral bedrijven waarbij (een service leveren rond) 3D-printen de hoofdactiviteit van het bedrijf is.

Het hebben van grote succesvolle spelers in Nederland geeft het beeld dat Nederland een goed land is voor 3D-printtools en -applicaties. Dit kan worden gezien als een kans om de 3D-printtools en -diensten met Nederland te verbinden, vergelijkbaar met bijvoorbeeld de 'Smart Mobility Dutch Reality' campagne. Dergelijke campagnes kunnen helpen bij het zichtbaar maken en bewust maken van 3D-printmogelijkheden en exportdiensten, wat resulteert in meer samenwerkingen op nationaal en internationaal niveau, wat ertoe bijdraagt dat Nederland een voorloper is.

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

Nederland loopt voorop als het gaat om desktop 3D-printers voor kunststofmateriaal. Als het echter gaat om 3D-printtechnologie van metaal zijn landen zoals China, Duitsland en de VS koplopers, zowel in ontwerp als toepassing van 3D-print.

In andere landen worden bijvoorbeeld specifieke onderzoeksprogramma's voor industrie en onderzoek gefinancierd door de overheid (bijvoorbeeld in Duitsland). In het rapport van ABN AMRO en Berenschot wordt gesteld dat er investeringen nodig zijn om Nederland voorop te houden in deze sector (ABN AMRO & Berenschot, 2017; ING, 2017).

3.2.1.2 Sectoren en spelers in 3D-printen markt in Nederland

In Nederland wordt 3D-printen actief gebruikt door de verschillende sectoren en spelers. Tabel 3 geeft enkele voorbeelden van spelers die zich in de markt zetten als 3D-printbedrijven. Deze tabel mag niet worden beschouwd als een uitputtende lijst van spelers die 3D-printen in Nederland gebruiken. Er zijn nog meer industriespelers die 3D-printen op een kleine schaal toepassen, zoals in de medische sector of bij prototyping processen.

Tabel 3: Enkele voorbeelden van sectoren en spelers op de 3D-print markt in Nederland

Sector	Speler	Activiteit in 3D-printen
3D-printer fabrikanten	<ul style="list-style-type: none"> Ultimaker Additive Industries BAM & TU Eindhoven 	<ul style="list-style-type: none"> Kunststof 3D-printer fabrikant Metaal 3D-printer fabrikant 3D-betonprinter ontwikkelaar en gebruiker
Materiaal ontwikkeling en productie	<ul style="list-style-type: none"> DSM Brightlands Material Center 	<ul style="list-style-type: none"> Materiaal ontwikkelaar Kunststof materiaal ontwikkelaar
Software ontwikkeling	<ul style="list-style-type: none"> Ultimaker 	<ul style="list-style-type: none"> 3D-printen software ontwikkelaar
Dienstverleners	<ul style="list-style-type: none"> Gordian Wilting Shapeways 3D Hubs Berenschot 	<ul style="list-style-type: none"> Service logistiek dienstverleners Metaal maakbaarheid specialist 3D-printservice bedrijf On-demand online platform voor distributed manufacturing Management advies diensten
Bouw industrie	<ul style="list-style-type: none"> BAM Weber Beamix Witteveen+Bos 	<ul style="list-style-type: none"> 3D-betonprinten, ontwikkelaar en gebruiker Materiaalontwikkelaar en leverancier voor 3D-betonprinten Advies- en ingenieurbureau
Onderzoeksinstellingen op gebied van materiaal, manufacturing, toepassingen, design	<ul style="list-style-type: none"> TNO Technische Universiteiten 	<ul style="list-style-type: none"> Onderzoeker in materiaal, technologie en toepassingen van 3D-printen Onderzoekers in 3D-printer technologie
Toepassing industrie	<ul style="list-style-type: none"> ERIKS Wilting De Koninklijke Marine 	<ul style="list-style-type: none"> 3D-geprint reserveonderdelen voor industrie Metal maakbaarheid specialist 3D-geprint oplossingen in militaire operaties

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

3.2.1.3 *Ecosysteem interacties*

Er is een aantal interacties tussen spelers op de 3D-print markt in Nederland. De interacties beperken zich echter tot kleine samenwerkingsverbanden tussen een beperkt aantal actoren. Hieronder worden enkele van deze kleinschalige samenwerkingsverbanden geschetst.

Er zijn samenwerkingsverbanden bij de ontwikkeling van technologie en applicaties. Rondom Ultimaker gebeurt veel innovatie en toepassing in Nederland (bijvoorbeeld met Eriks, Heineken), met materiaalleveranciers/ontwikkelaars (DSM, Dupont) en softwarebedrijven (simulatie). Voor certificering bestaat er samenwerking met de Duitse organisaties TÜV en Fraunhofer. Er zijn ook samenwerkingsverbanden tussen de industrie (DSM, Ultimaker) en onderzoeksorganisaties (Brightlands Materials Center / TNO) op het gebied van materiaalonderzoek.

Ook bij de ontwikkeling van betonprinten bestaat een samenwerkingsverband van verschillende spelers. Onder de leiding van BAM is er een succesvolle samenwerking tussen verschillende industrieactoren (Weber Beamix, Witteveen + Bos) en onderzoeksinstituten (TU Eindhoven) bij de ontwikkeling van 3D-betonprinten.

En ook bij de ontwikkeling van vezelversterkt materiaal voor 3D-printen wordt samengewerkt tussen de industrie (RoyalHaskoningDHV) en onderzoeksorganisatie (Brightlands Materials Center / TNO). Dienstverlener Berenschot organiseert via een Joint Innovation Programme (JIP) consortium een ecosysteem voor de olie- en gasindustrie waarbij meer dan vijftien partners zijn betrokken.

Deze kleinere samenwerkingsverbanden zijn gericht op specifieke technologieën en toepassingen. Er is echter geen overkoepelend ecosysteem rondom 3D-printen waarin spelers uit verschillende sectoren kennis uitwisselen, samenwerking zoeken of gezamenlijk richting geven aan de ontwikkeling en toepassing van 3D-printen in Nederland. Kennisuitwisseling tussen sectoren en het gezamenlijk zoeken naar toepassingen en *business cases* zal de grotere spelers, maar vooral ook kleinere spelers, ten goede kunnen komen en zo ook de bredere toepassing in de Nederlandse industrie stimuleren. Verder kan een succesvol overkoepelend ecosysteem helpen bij het genereren van een merknaam voor Nederland als koploper in 3D-printen, leidend in kennis rondom de digitalisering van logistiek of in betonprinten. Zo kunnen extra exportmogelijkheden voor deze expertise gegenereerd worden.

Momenteel heeft de overheid geen rol in het 3D-print ecosysteem. 3D-printen wordt wel genoemd in het topsectorenbeleid, maar niet gezien als een sleuteltechnologie en er bestaat geen apart investeringsprogramma. Er zijn enkele regionale investeringsfondsen die soms ook investering in de aanschaf van 3D-printers bieden.

3.2.2 *Toepassingen in de mobiliteitssector*

3D-printen biedt op dit moment enkele directe toepassingen³ in de mobiliteitssector en kan daardoor effecten op het mobiliteitssysteem hebben. Met directe toepassingen in de mobiliteitssector worden toepassingen bedoeld, die direct de infrastructuur van het mobiliteitssysteem of voertuigen veranderen. Het gaat hier om enkele, beperkte toepassingen in specifieke niches. Ook al zullen daarom de effecten op het gehele mobiliteitssysteem beperkt zijn, deze toepassingen kunnen wel degelijk grote effecten hebben in bepaalde expertises of werkzaamheden. Deze specifieke situaties die hieronder zijn beschreven vergen dus mogelijk aandacht van beleidsmakers.

³ Toepassingen die indirect effect kunnen hebben op het mobiliteitssysteem worden in sectie 3.2.3 behandeld.

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

3D-printen kan gebruikt worden voor het printen van gebouwen/gebouwdelen en bouwwerken. Dus ook in de infrastructuur, bijvoorbeeld in de vorm van geprinte bruggen (beton, vezelversterkt kunststof) (Ankner, 2014; RoyalHaskoningDHV, 2020). 3D-printen maakt het mogelijk dat sensoren mee geprint worden om zo een beter overzicht te houden op de kwaliteit en veroudering van een bouwwerk. Ook biedt 3D-printen de mogelijkheden nieuwe vormen en maten en optimaliseerde designs te gebruiken. Voorbeelden zijn geluidsmuren of straatmeubilair (Ankner, 2014) en ook de combinatie van functies in een design. 3D-printen biedt verschillende mogelijkheden om de duurzaamheid van gebouwen te vergroten (Tofail et al., 2018), bv. door designs met meer holle ruimte om materiaal te besparen.

3D-printen kan ook toegepast worden bij het maken van reservedelen voor infrastructuur bouwwerken zoals bv. sluisen of spoorinfrastructuur. Als het om oudere infrastructuur gaat of om unieke gebouwen, kan het printen van reserverondelen voordeliger zijn dan het maken met traditionele productietechnieken (waar bijvoorbeeld een hele mal opnieuw gemaakt moet worden voor een klein aantal of zelfs maar een onderdeel). Ook niet meer beschikbare reserveonderdelen kunnen mogelijk geprint worden (Ankner, 2014). 3D-printen kan dus bijdragen tot een snelle beschikbaarheid van reserveonderdelen en kan zo de onderhoudskosten van infrastructuur verlagen.

Om deze toepassing van 3D-printen te gebruiken, is het wellicht nodig om al voordat onderdelen benodigd worden een 'digital warehouse' in te richten met de designs van de onderdelen. En ook kwaliteitseisen en inkoopprocessen moeten wellicht aangepast of vertaald worden aan de 3D-printtechnieken om deze toe te kunnen staan. Ook voor reserveonderdelen van voertuigen (bv. treinen, schepen, vliegtuigen) kan 3D-printen toegepast worden om zo de downtime van deze vervoermiddelen te verkorten, wat tot een efficiënter gebruik van de transportinfrastructuur kan leiden. Voorbeelden zijn het spoor (een praktijkstudie waar door NS geëxperimenteerd wordt met het printen van reserveonderdelen (NS, 2018)), even als bij de Duitse (DB, 2019) en Oostenrijkse Spoorwegen (OEBB, 2020)), schepen (Maersk heeft 3D-printers op schepen om tijdens vaart reserveonderdelen te printen (Chan et al., 2018)) en ook de Nederlandse marine heeft 3D-printers mee aan boord. Omdat het bij deze voertuigen niet om heel grote aantallen gaat, kan het toepassen van 3D-printen niet alleen snellere reparatietijden bieden, maar ook kostenefficiënter zijn. Bij het gebruiken van geprinte onderdelen is het wel belangrijk dat de certificering van onderdelen en mogelijke garantierechten goed geregeld zijn.

Ook bij voertuigen, zoals vrachtwagens en auto's, maar ook vliegtuigen, kan 3D-printen toegepast worden. Verbeterde designs en bv. het toepassen van vezelversterkt kunststof in plaats van metaal kunnen de voertuigen lichter en aerodynamischer maken (Ford & Despeisse, 2016). Verbeterde designs (bv. *one-piece designs*) kunnen ervoor zorgen dat minder onderhoud nodig is en mogelijk voor meer veiligheid zorgen (Tofail et al., 2018). Sensoren kunnen direct in het product mee geprint worden en zo slijtage meten, waardoor minder preventieve vervanging van onderdelen nodig is. Dit kan een bijdrage leveren aan de verduurzaming van Nederland. De luchtvaart- en de autoindustrie zijn sectoren waar 3D-printen al een grotere rol speelt en significante tijd- en kostenbesparing gerealiseerd wordt, daarnaast kan door verbeterde ontwerpen een grotere efficiëntie bereikt worden. Voor de mobiliteitssector geldt dat in de bovengenoemde sectoren de grootste ontwikkeling rondom 3D-printtechnologie plaats vindt.

Er kan dus geconcludeerd worden dat de toepassingen van 3D-printen in de mobiliteitssector op dit moment beperkt zijn tot specifieke niches, maar deze wel positieve effecten op een efficiënt gebruik van de transportinfrastructuur, voertuigen (water, land, lucht), duurzaamheid en mogelijk ook veiligheid kunnen hebben. De toepassing van 3D-printen vergt wel dat geprinte onderdelen gecertificeerd zijn en kwaliteitseisen mogelijk aangepast worden.

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

3.2.3 Toepassingen in andere sectoren met invloed op de mobiliteitssector (indirecte effecten 3D-print)

3.2.3.1 Sectoren

3D-printen wordt in verschillende sectoren en processen toegepast. Het wordt op dit moment vooral toegepast voor reserveonderdelen, prototyping, voor tools in het productieproces, bij de optimalisatie van designs en voor gepersonaliseerde producten. Bij de massaproductie van standaard onderdelen blijven traditionele productiemethoden sneller en goedkoper (Silva & Rezende, 2013). 3D-printen wordt vooral gebruikt voor producten die in lage aantallen worden geproduceerd, maar een hoge toegevoegde waarde hebben (*low-volume, high-value added*) (Tofail et al., 2018). Boon & van Wee (2018) rapporteren dat er nog uiteenlopende meningen bestaan over welke producten, of vooral gepersonaliseerde producten en prototypes of ook complexere producten en producten in grotere aantallen, in aanmerking komen voor decentrale productie met 3D-printers. 3D-printen kan eerder worden gezien als een '*enabling technology*' die naast de traditionele massaproductie bestaat en deze aanvult (Sasson & Johnson, 2016).

3D-printen wordt momenteel veel voor prototyping ingezet, waar het processen kan verkorten en prototypes minder verstuurd hoeven te worden. Daarnaast wordt het ook ingezet bij het maken van ontwerpen die tot hiervoor niet mogelijk waren (nieuwe geometrieën, kanaalstructuren) en het verbeteren en versimpelen van ontwerpen (zie ook Pour et al., 2016). Dit type toepassing vindt op dit moment vooral plaats in de hightechindustrie. Ook in de lucht- en ruimtevaart en bij defensie wordt 3D-printen toegepast, omdat er een grote focus op lichte en geoptimaliseerde designs ligt. 3D-printen wordt ook voor personaliseerde producten toegepast, zoals medische producten maar ook andere consumentenproducten (Janssen, 2014) (WEF report, 2020).

Een industrie waarin 3D-printen een grote potentie heeft, is de service logistiek, waar het om het beschikbaar stellen van reserveonderdelen gaat (Pour et al., 2016). Door 3D-printen kunnen reserveonderdelen *on-demand* en op locatie geproduceerd worden. Hierdoor zijn onderdelen snel beschikbaar en kan de *down-time* van machines gereduceerd worden (van Lingen et al., 2016). Dit biedt vooral ook voordelen op afgelegen plekken, zoals bv. op schepen of booreilanden. Ook voor reserveonderdelen die niet meer beschikbaar zijn (bv. bij oudere machines) of bij delen die alleen in kleine aantal benodigd zijn voordelen.

In sectoren met veel onderhoudsintensieve kapitaalgoederen zoals de luchtvaart- of auto-industrie waar het *supply chain* management van reserveonderdelen complex, maar van groot belang is, kan door 3D-printen het voorraadbeheer volledig herzien worden (van Lingen et al., 2016).

Een interessant toepassingsgebied van 3D-printen ligt bij defensie (van Lingen et al., 2016). Hier kan 3D-printen helpen om de onderhouds-logistiek te versimpelen. De *on-demand* productie door 3D-printen levert meerdere voordelen op voor het logistieke proces van defensie en zorgt voor een hoge inzetbaarheid van hun goederen. De logistieke keten wordt flexibeler, eenvoudiger en overzichtelijker voor de onderdelen die in aanmerking komen om geprint te worden. De afhankelijkheid van infrastructuur en schaarse transportcapaciteit neemt af en er zijn minder voorraadkosten.

Een grote drempel bij het toepassen van 3D-printen ligt bij missende certificering en kwaliteitsborging. Er missen nog veelal processen voor kwaliteitskeuring en de vertaling van standaarden en kwaliteitseisen naar de nieuwe techniek. Daarom vindt op dit moment de toepassing van 3D-printen vooral plaats bij niet-kritische onderdelen.

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

3.2.3.2 *De effecten op het mobiliteitssysteem:*

Deze genoemde toepassingen in verschillende industrieën kunnen verschillende effecten op het mobiliteitssysteem hebben:

Verandering van productielocatie en daardoor verandering van transportstromen:

Door het toepassen van 3D-printen kan gebruik gemaakt worden van een extra vrijheidsgraad bij het inrichten van logistieke ketens: de productielocatie kan flexibel en *on-demand* gekozen worden (Boon & van Wee, 2018; Ford & Despeisse, 2016; Janssen et al., 2014; Silva & Rezende, 2013; van Lingen et al., 2016; WEF, 2020). Door een verandering in de productielocatie veranderen transportstromen. Door lokale productie worden in plaats van producten grondstoffen vervoerd. Als dichterbij de consument/klant geproduceerd wordt, worden distributiestromen meer lokaal en over kortere afstanden (Boon & van Wee, 2018; WEF, 2020). Kortere afstandsritten nemen toe, lange af (Boon & van Wee, 2018). Het regionale- en lokale transportnetwerk wordt belangrijker en korte afstandsritten zijn potentieel beter te verduurzamen. Maar grondstoffen moeten nog steeds vervoerd worden (zie ook Boon & van Wee, 2018; WEF, 2020). 3D-printen kan ervoor zorgen dat sommige productieprocessen terug naar Europa worden gehaald en omdat 3D-print materialen ook vaker in Europa worden geproduceerd, kan dit voor een verkorting van transportstromen leiden. Als reservedelen snel op locatie kunnen worden geproduceerd door 3D-printen, kan dit vooral voor minder luchtvrachtverkeer zorgen, omdat reserveonderdelen vaak per vliegtuig getransporteerd worden (Ankner, 2014). Opgemerkt moet worden dat deze effecten beperkt zijn tot de mate waarin 3D-printen toegepast wordt of kan worden.

Vergroting efficiëntie transportnetwerk:

Langeafstandsvervoer van grondstoffen kan efficiënter zijn dan langeafstandsvervoer van producten. Grondstoffen kunnen efficiënter vervoerd worden, in bulk, met minder verpakking en minder urgentie (Boon & van Wee, 2018). Omdat meer distributiepunten voor meer flexibiliteit kunnen zorgen, kan het distributienetwerk efficiënter georganiseerd worden en daardoor kunnen er positieve effecten op congestie, verkeersveiligheid en emissies zijn (Boon & van Wee, 2018; WEF, 2020). Door nieuwe designs kan de *supply chain* versimpelen (Janssen et al., 2014). Ook in de bouwsector kan 3D-printen ervoor zorgen dat de logistieke stromen versimpeld worden en transportbewegingen afnemen (Kothman & Faber, 2016).

Reductie van transport:

Door een verhoogde digitalisering van de *supply chain* kunnen producten langer digitaal blijven, digitaal verstuurd worden en lokaal geproduceerd worden (WEF report, 2020). Bij gepersonaliseerde producten kan ervan uit worden gegaan dat minder retourvervoer nodig is. Maar zoals boven beschreven, komt 3D-printen alleen voor een specifiek deel van producten in aanmerking en zullen de effecten over het hele transportsysteem daarom beperkt zijn en niet tot een disruptieve reductie van transportstromen leiden.

Reductie van opslag, overschotten, overproductie:

Door *on-demand* productie is minder opslagruimte nodig. Vooral zogenoemde '*slow movers*' komen in aanmerking voor *on-demand* printen in plaats van opgeslagen te worden (zie ook Boon & van Wee, 2018, Janssen et al., 2014; van Lingen et al., 2016; WEF, 2020). Er behoeven dus ook minder verouderde voorraden vernietigd te worden en er kunnen direct minder producten geproduceerd worden, waardoor er minder overproductie is (van Lingen et al., 2016; WEF, 2020). Dit blijkt een duidelijk effect van 3D-printen te zijn.

Afval, recycling, circulariteit:

3D-printen kan ervoor zorgen dat er minder afval geproduceerd wordt, ook al is dit afhankelijk van het proces (Boon & van Wee, 2018; Janssen et al., 2014; WEF 2020). Geprinte producten kunnen

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

afhankelijk van het type beter gerecycled worden (Boon & van Wee, 2018) en kunnen voor meer circulariteit zorgen (ook doordat machines beter gerepareerd kunnen worden). Circulariteit kan daardoor wel meer kleine transportbewegingen veroorzaken. Er heerst nog onduidelijkheid over de daadwerkelijke bijdrage van 3D-printen aan duurzaamheid. Analyses zijn nodig die identificeren bij welke toepassingen 3D-printen tot meer energie-en resource efficiëntie leidt. Bijvoorbeeld bij metaalprinten blijkt dat ook bij de 3D-print techniek afval geproduceerd wordt, maar het metaalafval wordt onafhankelijk van de techniek vaak hergebruikt door het opnieuw te smelten.

3.2.3.3 *Inschatting van de mate van de effecten:*

De in bovenstaande paragraaf 3.2.3.2 beschreven effecten zijn mogelijk door het toepassen van 3D-printen. Maar er zijn uiteenlopende meningen over de daadwerkelijke impact op transportvolumes en milieueffecten (Boon & van Wee, 2018). De expertinterviews hebben erop gewezen dat in specifieke sectoren of voor specifieke onderdelen een verplaatsing van productie zal plaatsvinden en transportstromen dus kunnen veranderen. Maar over het hele mobiliteitssysteem zullen de effecten zeer beperkt blijven. Ook door veranderingen in de service logistiek, een sector waarin duidelijke business cases voor 3D-printen nu al geïdentificeerd zijn, zal geen disruptief effect op transportstromen plaatsvinden, omdat de service logistiek maar een klein percentage van de totale transportstroom is.

3.3 **Analyse van het innovatiesysteem**

Om een verdieping aan te brengen in de analyse van de resultaten en om handelingsperspectieven voor lenW te identificeren, zijn de resultaten met een blik op de toestand van het innovatiesysteem van 3D-printen geanalyseerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van het *Technological Innovation System (TIS)* (Hekkert et al., 2007) als analysekader.

Het TIS-kader gaat uit van zeven sleutelprocessen die in samenhang moeten functioneren, willen innovaties kans van slagen hebben. Deze sleutelprocessen zijn: ondernemerschap, kennisontwikkeling, kennisuitwisseling, richting geven aan het zoekproces, marktforming, mobiliseren van middelen en doorbreken van weerstand. De sleutelprocessen laten zien in welke mate de voorwaarden voor een innovatie zijn vervuld. De analyse van de sleutelprocessen kan helpen bij het identificeren van knelpunten waarvoor beleidsstappen kunnen worden gezet om een gezond innovatiesysteem op te bouwen.

3.3.1 *Ondernemerschap*

(Vertalen van kennis naar zakelijke kansen):

Nederland hoort bij de koplopers op de 3D-markt omdat er meerdere wereldspelers uit Nederland komen, bv. op het gebied van printertechnologie en serviceplatformen. Maar de resultaten in deze verkenning laten ook zien, dat nog niet genoeg bedrijven de kennis over 3D-printen weten toe te passen en zakelijke kansen weten te ontwikkelen.

3.3.2 *Kennisontwikkeling*

(Leeractiviteiten, leren door zoeken (R&D) en leren door het doen in de praktische context):

Er vindt kennisontwikkeling plaats, vooral in industrie (bij printerfabrikanten) bij service verleners en bij kennisinstellingen, maar niet in een heel grote mate. Experts merken op dat in andere landen meer ontwikkeling plaatsvindt op het gebied van 3D-print technologie en kennisontwikkeling er omheen, zowel in onderzoeksinstellingen als in de industrie. Er is een wisselwerking met toepassingen: een opdrachtgever of een andere prikkel is nodig om ontwikkelingen en kennis op te bouwen over mogelijke toepassing van 3D-printen.

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

3.3.3 *Kennissuitwisseling*

(Netwerken voor het faciliteren van kennisuitwisseling tussen actoren):

Innovatie vindt plaats wanneer actoren met verschillende achtergronden in wisselwerking staan, maar dit is in Nederland op dit moment over het algemeen onderontwikkeld. Er zijn wel kleine samenwerkingsverbanden tussen onderzoek en industrie en tussen toepassing en printer-technologie ontwikkeling. Maar er is geen samenwerking over verschillende industrieën of verschillende print-technologieën (kunststof, metaal, beton) heen. De overheid is op dit moment weinig betrokken in de verschillende netwerken.

3.3.4 *Richting geven aan het zoekproces*

(Activiteiten die eisen en verwachtingen over ontwikkeling vormgeven en laten convergeren):

Het kan hier om individuele activiteiten gaan maar ook om duidelijke beleidsdoelen, die ervoor kunnen zorgen dat de ontwikkeling in een gewenste richting gaat. In het geval van 3D-printen neemt de overheid op dit moment geen duidelijke rol in en geeft geen richting aan. De overheid kan in kaart brengen of ze bepaalde ontwikkelingen wil steunen en stimuleren, bijvoorbeeld omdat ze kansen bieden bij het behalen van beleidsdoelstellingen. Een voorbeeld hiervan zijn de potentiële effecten op circulariteit en verduurzaming. Beleid in de richting van deze doelen kan indirect richting geven aan toepassing van 3D-printen. Ook het uitbouwen van de koploperpositie en mogelijke export van Nederlandse expertise op het gebied van digitalisering in de logistiek kan mogelijk gestimuleerd worden en zo richting aan het innovatiesysteem geven. Industriespelers en onderzoeksinstellingen kunnen behoeften duidelijk maken, zodat interactie bevorderd kan worden. Ook door het overeenkomen over industriestandaards en kwaliteitseisen tussen industriespelers en toezichhouders kan richting gegeven worden aan het zoekproces.

3.3.5 *Marktvorming*

(Activiteiten die bijdragen tot het creëren van een vraag naar de opkomende technologie):

De 3D-markt wordt langzaam gecreëerd. Veel bedrijven zijn nog niet actief op zoek naar toepassingen, omdat de kennis over de voordelen, tijd en budget om deze voordelen te verkennen nog ontbreken. Kennisverspreiding en het verkennen van toepassingen zou door de overheid gesteund kunnen worden door *launching customer* te zijn en zo vraag te creëren in de industrie. Er zijn ook mogelijkheden van passieve steun door beleidsveranderingen op andere vlakken (bv. verhoging belasting op lange afstandstransport bevordert plaatselijke fabricage).

3.3.6 *Mobiliseren van middelen*

(Toewijzing van financieel, materieel en menselijk kapitaal):

Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van investeringen en subsidies, ook in generieke infrastructuur, zoals onderwijs of onderzoek. Het blijkt dat bedrijven nog kennis op moeten bouwen over de toepassingen. Hierbij blijkt gedeeltelijk hulp nodig te zijn. De industrie heeft goed opgeleid personeel nodig en investeringen in opleidingen in 3D-print technologieën en -toepassingen en softwareontwikkeling worden door industriespelers als belangrijk geacht.

3.3.7 *Doorbreken van weerstand*

(Reorganisatie van de institutionele configuratie van het systeem):

Op dit moment zijn geen echte opzettelijke tegenkrachten te identificeren. Ook actoren wiens producten mogelijk vervangen gaan worden, zien kansen in 3D-print technologie. Bedrijven verwachten genoeg omzet te houden in massaproductie en kunnen ernaast 3D-print diensten integreren voor niche producten die geprint kunnen worden. Maar er bestaat wel degelijk vraag naar certificering, duidelijke standaarden en normen voor 3D-print producten. In vele sectoren zijn op dit moment de kwaliteitseisen opgesteld vanuit kennis over bestaande technologieën en deze zijn niet altijd makkelijk te vertalen naar de 3D-print technologie. Hier moet in worden geïnvesteerd zodat 3D-print technologie een kans heeft om toegepast te worden.

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

Deze TIS-analyse laat zien op welke vlakten nog ontwikkeling nodig is en kan overheidsinstanties helpen om te identificeren waar een rol voor hen ligt.

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

4 Conclusies

De exploratieve verkenning van de 3D-print markt in Nederland en mogelijke effecten op het mobiliteitssysteem leiden tot vijf hoofdconclusies. Daarnaast zijn meerdere mogelijke kansen voor positieve effecten op beleidsdoelstellingen geïdentificeerd, deze geven aan waar nog verdiepend onderzoek nodig is om onderbouwde handelingsstappen te nemen

4.1 Nederland is een koploper, maar benut kansen nog onvoldoende

In Nederland zijn meerdere wereldspelers op het gebied van 3D-printen te vinden en er vindt ontwikkeling van printtechnologieën, materiaalontwikkeling en serviceplatformen plaats. Het wordt duidelijk dat de 3D-print markt ook voor een groot deel om softwareontwikkeling en digitalisering draait. Er zijn printerfabrikanten in kunststof-, metaal- en betonprinten in Nederland gevestigd en andere bedrijven met 3D-printen als hoofdactiviteit. Bedrijven die 3D-printen inzetten om bestaande activiteiten efficiënter te maken zijn in mindere aantallen aanwezig. Wel is er te zien dat er in verschillende nichesectoren op dit moment toepassingen geïdentificeerd en *use-cases* ontwikkeld worden. Ook al zijn er een aantal wereldspelers van de 3D-print markt in Nederland te vinden, en is er expertise in verbonden sectoren zoals de materiaalontwikkeling. Desondanks wordt de positie van Nederland nog niet in grotere mate of in een bredere zin gebruikt om de Nederlandse expertise als exportproduct te gebruiken en een rol als wereldleider op het gebied van 3D-printen op te pakken.

4.2 Service logistiek is de meest kansrijke sector met invloed op het mobiliteitssysteem

Er kan geconcludeerd worden dat vooral in de service logistiek (reserveonderdelen) een toekomst voor 3D-printen gezien wordt. Ook het Nederlandse leger kan als voorloper genoemd worden bij de toepassing van 3D-printen in de logistiek rondom reserveonderdelen. Nederland is een groot transportland en expert op het gebied van logistiek. Bij de digitalisering van de logistiek kan 3D-printen een rol spelen en geïntegreerd worden. *'Digital warehouses'* met reserveonderdelen bieden kansen in de industrie, maar ook bij overheidsinstellingen en kunnen nu al opgebouwd worden voor een latere toepassing. Het kan een kans voor Nederland zijn om expertise op het gebied van de digitalisering van de logistiek op te bouwen en deze kennis, diensten en technologieën te exporteren.

4.3 Veel kansen blijven onbenut door gebrek aan kennis en kennisdeling

De ontwikkeling en toepassing van 3D-printen is nog niet in de breedte van sectoren en bedrijven te zien. Veel bedrijven missen de kennis, tijd, budget en personeel om de mogelijke kansen rond een toepassing van 3D-printen te identificeren. Er is geen groot kennisnetwerk of breed ecosysteem rondom 3D-printen te vinden, waarin spelers elkaar helpen door kennis over technologieën en toepassingen uit te wisselen en verschillende perspectieven bij elkaar brengen om kansen te identificeren. Ook in onderzoek en opleiding wordt 3D-printtechnologie nog niet vaak breed geïntegreerd. Bedrijven melden een belemmering in de ontwikkeling en bredere toepassing door een gebrek aan goed opgeleid personeel die bekend zijn met 3D-print technologie en de juiste IT-kennis hebben.

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

4.4 Ontbrekende kwaliteitseisen en certificering zijn een belemmering

Missende certificeringsprocessen en verouderde kwaliteitseisen belemmeren de ontwikkeling en toepassing van 3D-printen. De kwaliteit van 3D-geprinte onderdelen is nog niet altijd stabiel en verdere ontwikkelingen moeten de processen nog verder versimpelen zodat overal dezelfde producten met dezelfde eigenschappen geprint kunnen worden. Maar een grotere belemmering ligt in de missende certificering van geprinte producten en printprocessen en kwaliteitseisen aan producten die specifiek zijn geschreven voor bekende fabricagetechnieken. Om deze belemmering weg te nemen, moeten de kwaliteitseisen bij certificeringsprocessen en inkoopprocessen vertaald worden naar eisen die haalbaar zijn voor zowel 3D-printen als bekende fabricagetechnieken. De missende vertaling en onzekere inschatting van de kwaliteit van geprinte producten belemmeren de bredere toepassing van 3D geprinte producten en vooral de toepassing van 3D-printen bij kritische onderdelen.

4.5 Diverse kansen voor invulling van de beleidsdoelen

3D-printen biedt verschillende voordelen en door deze ook kansen voor mogelijke positieve effecten op beleidsdoelen. Potentieel kan de toepassing van 3D-printen voor meer duurzaamheid zorgen in productieprocessen en door veranderingen van de logistieke keten. 3D-printen zorgt mogelijk ervoor dat minder resources nodig zijn, minder afval geproduceerd wordt en dat producten alleen geproduceerd worden waar en wanneer ze nodig zijn. De productie op locatie kan ervoor zorgen dat minder transport, of efficiënter transport mogelijk is. 3D-geprinte producten kunnen mogelijk ook beter gerecycled worden en kunnen daardoor, samen met de betere mogelijkheden voor reparatie, ervoor zorgen dat circulariteit mogelijk wordt.

4.6 Tot op heden, geen grote veranderingen in het mobiliteitssysteem van Nederland

Er is maar een beperkt aantal directe toepassingen van 3D-printen in het mobiliteitssysteem. In andere industrieën wordt 3D-printen vooral in specifieke niches toegepast, waar het wel degelijk veranderingen voor transportstromen met zich mee kan brengen (meer grondstoftransport in plaats van transport van producten, meer korte ritten, meer digitaal in plaats van fysiek transport, minder opslag). Maar over het gehele transportsysteem wordt niet met disruptieve veranderingen gerekend in de nabije toekomst. 3D-printen zal dus ook geen disruptieve effecten op bereikbaarheid, duurzaamheid en veiligheid hebben, maar in een aantal sectoren zijn wel kansen voor efficiëntievergroting, veiligheidsverbeteringen en verduurzamingsmogelijkheden te identificeren. De mate waarin dit doorwerkt op de mobiliteit is echter nog verder te onderzoeken.

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

5 Aanbevelingen en vervolgstappen

Deze studie is een verkenning naar de effecten en kansen rond 3D-printen en mobiliteit. 3D-printen is een technologie die op vele plekken in de maatschappij effect heeft. Om zicht te krijgen op de effecten voor mobiliteit is bij deze studie een brede scope aangehouden, met als doel effecten de mobiliteit die invloed hebben op mobiliteit te identificeren. Als bijeffect van deze methodiek zijn verschillende conclusies en aanbevelingen gevonden die veel breder zijn dan mobiliteit. Voor deze conclusies en aanbevelingen geldt dat er veel meer te concluderen is voor 3D-printen en het effect op de maatschappij en dat het onderzoeksteam rapporteert over wat het heeft gevonden. Daarnaast moeten aanbevelingen in dit rapport geïnterpreteerd worden als een belichting van kansen.

5.1 Overheid

Gebaseerd op de conclusies kunnen een aantal mogelijke vervolgstappen voor de overheid en specifiek lenW worden gegeven.

Algemene mogelijke vervolgstappen voor de overheid concentreren zich op het stimuleren van kennisontwikkeling, -verspreiding en uitwisseling; het opzetten van normen en standaarden, investering in opleidingen en onderzoek naar de duurzaamheidspotentie van 3D-printen.

5.1.1 *Nederland als koploper*

In Nederland zijn er veel kleine bedrijven die in een specifieke niche wereldleider zijn, maar volgens de geïnterviewde experts soms hulp nodig hebben om nieuwe innovatieve technologieën zoals 3D-printen in te zetten, de toepassingen te identificeren en kennis op te bouwen. In vele bedrijven in de maakindustrie wordt nieuwe kennis en innovaties niet (snel) toegepast. De overheid kan deze hightechbedrijven stimuleren om kansen te verkennen. De overheid kan als opdrachtgever fungeren in bv. onderzoeks- en industrieprogramma's.

5.1.2 *Service logistiek*

Voor alle organisaties met (zeldzaam) materieel kan het verstandig zijn om een *digital warehouse* aan te leggen met reserveonderdelen. Ook de overheid kan dit doen en hiervan zelf profiteren bij het beheren en onderhouden van infrastructuur zoals bijvoorbeeld sluizen. Zo kan indien er defecten zijn van zeldzame onderdelen een reserveonderdeel geprint worden. Bijvoorbeeld als de ophanging van een sluisdeur een uniek stalen onderdeel heeft en dit is defect. Het printen van dit onderdeel kost weinig tijd in vergelijking met het opmeten en produceren via de reguliere methode omdat er minder partijen bij betrokken zijn en de maten al bekend zijn. Op deze manier hoeft de defecte sluisdeur minder lang een blokkade te zijn voor de scheepvaart.

5.1.3 *Opleiden en kennis delen*

Het opbouwen van een kennisnetwerk is van belang voor het gebruikmaken van zowel economische, als ook duurzaamheidskansen die 3D-printen voor Nederland biedt. De overheid kan de opbouw van een netwerk faciliteren of stimuleren. In veel bedrijven in de maakindustrie worden nieuwe kennis en innovaties niet (snel) toegepast. Er mist budget en tijd voor het uitzoeken van mogelijkheden en kennisontwikkeling en er wordt risicomijdend gedrag getoond. Een kennisnetwerk zal 3D-printen in het zicht van een groter aantal bedrijven brengen en de barrière risicomijdend gedrag bij deze bedrijven wegnemen.

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

Daarnaast kan de overheid voorzien in een vraag naar 3D-print opgeleid personeel door het onderwijs 3D-printen een rol geven bijvoorbeeld bij IT, ontwerp en mechanica opleidingen op alle niveaus. Ook kan de overheid bijdragen door het aanbieden van stages of afstudeeropdracht bij haar eigen projecten die te maken hebben met 3D-printen.

5.1.4 *Certificering en kwaliteitseisen*

Omdat missende certificeringen een belemmering is voor het toepassen van 3D-printen, kan de overheid een rol spelen door certificerings- en standaardisatieprocessen op te zetten en kwaliteitseisen te herzien, zodat 3D-printen een concurrerende kans heeft tegenover andere productietechnologieën. Eisen en standaarden zijn op dit moment georiënteerd aan de bestaande 'klassieke' productietechnologieën en zijn gedeeltelijk niet goed toepasbaar op 3D geprinte producten. Ook de overheid zou daarom eisen aan bijvoorbeeld bruggen, kunstwerken en toegelaten onderdelen moeten checken of deze vertaald kunnen worden zodat ook geprinte producten in aanmerking komen. Dit betekent niet dat standaarden verlaagd worden maar dat bijvoorbeeld indicatoren voor eisen of testopstellingen veranderd moeten worden.

5.1.5 *Bijdrage aan beleidsdoelstellingen*

De overheid kan of eisen stellen aan bv. circulariteit wat indirect de toepassing van 3D-printen kan bevorderen. 3D-printen biedt mogelijk kansen om productieprocessen en de logistieke keten te verduurzamen, maar het moet echter nog verkend worden waar en hoe deze potentie waargemaakt kan worden en samenkomt met beleidsdoelstellingen. In de verkenning hiervan kan de overheid een rol spelen. Het moet geanalyseerd worden bij welke toepassingen 3D-printen daadwerkelijk tot meer energie-efficiëntie en minder resources leidt en daarom gestimuleerd zou moeten worden. Als de overheid wil waarborgen dat 3D-printen niet alleen wordt ingezet om de logistieke keten financieel profitabeler te maken, maar ook een circulariteit en verduurzamingspotentiaal wil generen, kan de overheid een rol nemen.

5.2 **I&W en zijn diensten**

Voor het ministerie geldt dat veel van het beleid in de praktijk wordt uitgevoerd door verschillende diensten. Om gerichter kansen van 3D-printen aan te stippen, is ervoor gekozen om, naast generieke aanbevelingen voor I&W, per dienst de kansen aan te stippen in plaats van per conclusie. In de aanbevelingen wordt specifiek ingegaan op de diensten: Dienst Wegverkeer (RDW), Rijkswaterstaat (RWS), Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) en ProRail.

5.2.1 *I&W*

De ontwikkeling van 3D-printen en de toepassingen zijn nog gaande en veranderen nog constant. Hiermee kunnen ook de effecten op het mobiliteitssysteem nog veranderen. Dit betekent dat het aan te bevelen is dat IenW de ontwikkeling op de 3D-print markt op de langere termijn blijft volgen en monitoren. Verder kan indirect beleid effect hebben op de toepassing van 3D-printen bijvoorbeeld klimaatbeleid via stimulering van recycling of de circulaire economie (immers, 3D-geprinte producten bestaan uit een homogeen materiaal en zijn makkelijk recyclebaar) of via belastingen op lange afstandsvervoer (immers, dit bevordert lokale vervaardiging, dat met 3D-printen relatief goedkoop is) kan 3D-printen indirect gestimuleerd worden.

5.2.2 *RWS*

Voor Rijkswaterstaat kunnen de mogelijkheden voor het inzetten van 3D-printen interessant zijn en kunnen beter verkend worden. De onderhoudbaarheid van infrastructuur (bv. bruggen, sluisen) en het mogelijke toepassen van 3D-printen en een *digital warehouse* voor reserveonderdelen kan nu al een kans bieden. Het doorvoeren van sitescans kan identificeren welke toepassingen

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

bestaan. Dit kan bv. ook in samenwerking met universiteiten/onderzoekinstellingen en industriespelers gedaan worden om een bijdrage te leveren aan het opbouwen van een breder kennisnetwerk. Verder kan RWS als *launching customer* een kans geven aan bedrijven om 3D-printen in hun productportfolio te integreren. Hiervoor moeten mogelijk inkoopprocessen van RWS aangepast worden om 3D-print designs mogelijk te maken. Op dit moment zijn veelal de eisen aan oplossingen zo dichtgetimmerd en gebonden aan bestaande productietechnieken dat 3D-print ontwerpen geen kans hebben.

5.2.3 *RDW*

Ook het RDW kan een rol spelen bij het toepasbaar maken van 3D-printen. RDW heeft de rol om voertuigen en gebruikte onderdelen te keuren en toe te laten op de openbare weg. 3D-printen kan gebruikt worden om (reserve)onderdelen van voertuigen te maken. RDW kan daarom verkennen waar certificering en het aanpassen van kwaliteitseisen nodig is om geprinte onderdelen in auto's en andere voertuigen toe te laten. Ook moet verkend worden waar, hoe en door wie delen geprint mogen worden die voor het gebruik in voertuigen toegelaten kunnen worden.

5.2.4 *ILT*

Het ILT houdt toezicht op veiligheid van het mobiliteitssysteem. En ook het ILT kan verkennen welke kwaliteitseisen mogelijk vertaald moeten worden om het mogelijk te maken dat geprinte onderdelen op een veilige en duurzame manier gebruikt kunnen worden.

5.2.5 *ProRail*

ProRail kan gestimuleerd worden om de kansen van het gebruikmaken van 3D-printen en *digital warehousing* verder te verkennen en experimentele toepassing uit te breiden om zo de efficiëntie bij reparaties en de inzetbaarheid van infrastructuur en treinen en te vergroten.

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

6 Ondertekening

Den Haag, 25 mei 2020

TNO



Jeroen Dezaire
Afdelingshoofd



Karla Münzel
Auteur

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

Appendix A Referenties

- ABN AMRO & Berenschot (Kemps, D., Vos, R., Ponfoort, O., De Jong, N., & Van Toor, H.) (2017). *3D-printing in 2017*. <https://insights.abnamro.nl/2017/03/omzet-3d-printing-in-nederland-naar-120-miljoen-in-2017/>
- Ankner, B. (2014). *3D Printers: Changing Transportation As We Know It*. The Eno Center for Transportation. <https://www.enotrans.org/article/3d-printers-changing-transportation-know/>
- Basiliere, P. & Shanler, M. (2019). *Hype Cycle for 3D Printing, 2019*. Gartner.
- Boon, W., & Van Wee, B. (2018). Influence of 3D printing on transport: a theory and experts judgment based conceptual model. *Transport Reviews*, 38(5), 556-575.
- Chan, H. K., Griffin, J., Lim, J. J., Zeng, F., & Chiu, A. S. F. (2018). The impact of 3D Printing Technology on the supply chain: Manufacturing and legal perspectives. *International Journal of Production Economics*, 205, 156–162. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.09.009>
- DB. (2019). *So funktioniert der 3D-Druck bei der Deutschen Bahn*. <https://inside.bahn.de/3d-druck/>
- DHL. (2016). 3D Printing and the Future of Supply Chains. In *DHL Customer Solutions & Innovation*
- Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573–1587. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.150>
- Hekkert, M. P., Suurs, R. A. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S., & Smits, R. E. H. M. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(4), 413–432. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.03.002>
- Huang, R., Riddle, M., Graziano, D., Warren, J., Das, S., Nimbalkar, S., Cresko, J. & Masanet, E. (2016). Energy and emissions saving potential of additive manufacturing: the case of lightweight aircraft components. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1559-1570.
- ING. (2017). *3D printing: a threat to global trade*. <https://www.ingwb.com/media/2088633/3d-printing-report-031017.pdf>
- Janssen, R., Blankers, I., Moolenburgh, E., & Posthumus, B. (2014). TNO: The impact of 3-D printing on supply chain management. *The Hague, Netherlands: TNO*, 28, 24.
- Jezard, A. (2018). *One-quarter of Dubai's buildings will be 3D printed by 2025*. WEF, World Economic Forum. <https://www.weforum.org/agenda/2018/05/25-of-dubai-s-buildings-will-be-3d-printed-by-2025/>
- van Lingen, J., Bastiaans, M., Berens, J., Blankers, I., van Elst, N., van Scheepstal, P., Straathof, M., Veraar, R., van Vliet, H., Andela, C., & Kool, G. (2016). *De impact van 3D-printen op Defensie*.
- Luan, H., & Huang, Q. (2016). Prescriptive modeling and compensation of in-plane shape deformation for 3-D printed freeform products. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 14(1), 73-82.

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

NS. (2018). *NS zet stap in de wereld van 3D-printen*. <https://nieuws.ns.nl/ns-zet-stap-in-de-wereld-van-3d-printen/>

Nu.nl (2020). *Tilburgs ziekenhuis haalt ventielen voorzuurstofmaskers uit 3D-printer*. <https://www.nu.nl/tech/6041625/tilburgs-ziekenhuis-haalt-ventielen-voor-zuurstofmaskers-uit-3d-printer.html>

OEBB. (2020). *3D-Druck*. <https://bcc.oebb.at/de/innovationen/3d-druck>

Petch, M. (2020). *100 3D printing experts predict the future of 3D printing in 2030 - 3D Printing Industry*. <https://3dprintingindustry.com/news/100-3d-printing-experts-predict-the-future-of-3d-printing-in-2030-167623/>

Pour, M. A., Zanardini, M., Bacchetti, A., & Zanoni, S. (2016). Additive Manufacturing Impacts on Productions and Logistics Systems. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1679–1684. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.822>

RoyalHaskoningDHV. (2020). *3D printed FRP bridges*. <https://www.royalhaskoningdhv.com/en-gb/specials/3d-printed-frp-bridges>

Sasson, A., & Johnson, J. C. (2016). The 3D printing order: variability, supercenters and supply chain reconfigurations. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 46(1), 82–94. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-10-2015-0257>

Silva, J. V. L., & Rezende, R. A. (2013). Additive manufacturing and its future impact in logistics. In *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)* (Vol. 6, Issue PART 1). IFAC. <https://doi.org/10.3182/20130911-3-BR-3021.00126>

van de Staak, S. (2019). *Heineken: Ensuring production continuity with 3D printing*. <https://ultimaker.com/de/learn/heineken-ensuring-production-continuity-with-3d-printing>

Tofail, S. A. M., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., & Charitidis, C. (2018). Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. In *Materials Today* (Vol. 21, Issue 1, pp. 22–37). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2017.07.001>

de Vries, C. (2017). *Volkswagen Autoeuropa: Maximizing production efficiency with 3D printed tools, jigs, and fixtures*. <https://ultimaker.com/learn/volkswagen-autoeuropa-maximizing-production-efficiency-with-3d-printed>

WEF (World Economic Forum). (2020). *3D Printing: A Guide for Decision-Makers*.

Wohlers (2019). *3D printing and Additive Manufacturing: Global State of the Industry*. Colorado: Wohlers Associates. <https://3dprintingindustry.com/news/wohlers-associates-2019-state-of-3d-printing-report-published-152117/>

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

Appendix B Interview Leidraad

1. Uitleg project

- 3D-print markt groeit samen met variëteit toepassingen. Mogelijk ook effecten op het transportsysteem.
- Verkenning van de effecten van de opkomst van 3D-printen op transport en mobiliteit in Nederland
- Welke toepassingen zijn er in de mobiliteitssector? En in andere sectoren die een indirect effect kunnen hebben?
- Is de overheid op veranderingen voorbereid? Kan of moet de overheid en rol nemen? Welke?

2. Toestemming, uitleg over output van studie.

3. Interviewvragen

- Vragen over persoon en rol
 - *Kunt u uzelf en uw rol kort voorstellen?*
 - Wat is uw rol binnen de organisatie?
 - Rol binnen de 3D-print markt?
 - Wat doet uw organisatie met 3D-printen?
 - Doet uw onderzoek naar 3D-printen?
 - Met welk doel doet u onderzoek naar de 3D-print markt?
 - Wat is uw kennisachtergrond over 3D-printen?

Toepassing en effecten transportsector

- Toepassing van 3D-printen in de transportsector
 - *Welke toepassingen zijn er in de transportsector?*
 - Welke toepassingen zijn er in de mobiliteitssector? (direct)
 - Eventueel voorbeeld geven: geprinte bouwwerken zoals bruggen
- Wat zijn hiervan directe effecten op mobiliteits- en transportsysteem?
- Wat zijn toepassingen met indirecte effecten op mobiliteits- en transportsector? Welke toepassingen kunnen van belang zijn?
 - Voorbeelden: lokale productie, on-demand productie, customization, prototyping, nieuwe efficiëntere designs
- Effecten op de mobiliteits- en transportsector (goederen, personen)
 - *Wat zijn mogelijke effecten van 3D-printen op de transportsector?*
 - Hoe beïnvloedt 3D-printen aanbieders van vervoersmiddelen?
 - Hoe beïnvloedt 3D-printen infrastructuur beheerders?
 - Hoe beïnvloedt 3D-printen gebruikers van de verschillende vervoersopties?
 - Hoe beïnvloedt 3D-printen (inter)nationale goederenstromen?
 - Hoe beïnvloedt 3D-printen vestigingsplaatskeuze?
 - Hoe kan 3D-printen de doorstroming beïnvloeden?
 - Bv. helft van vrachtwagen
 - Hoe kan 3D-printen de leefbaarheid beïnvloeden?
 - Hoe kan 3D-printen de verkeersveiligheid beïnvloeden?
 - Gaat 3D-printen de verkeer verminderen?

Overheid

- Rol van de overheid
 - *Wat is de rol van overheid in de ontwikkeling van 3D-printen?*
 - Welke instituties beïnvloeden de ontwikkeling?
 - Welke rol speelt de overheid momenteel?
 - Is de overheid voorbereid op de ontwikkeling van 3D-printen in de toekomst?

Verkenning naar het effect van 3D-printen op de mobiliteit

- Welke rol zou de overheid in uw mening moeten nemen op het gebied van 3D-printen? Bv. stimuleren? Beperken?
- Welke kansen en / of bedreigingen liggen er voor de overheid?
- Rol, kansen van lenW
 - Welke rol zou lenW moeten innemen in de ontwikkeling?
 - Welke kansen liggen er voor lenW?
 - Welke bedreigingen zouden er kunnen zijn?

Toepassing en effecten algemeen

- Toepassing van 3D-printen nu en in de toekomst (algemeen)
 - *Wat zijn de toepassingen van 3D-printen?*
 - Waar wordt 3D-printen momenteel toegepast?
 - Welke experimenten vinden plaats?
 - Welke toepassingen komen er in de toekomst bij?
- Effecten van 3D-printen en beïnvloede sectoren (algemeen)
 - *wat zijn effecten van de toepassing van 3D-printen?*
 - Wat zijn de belangrijkste effecten van 3D-printen?
 - Welke sectoren worden vooral beïnvloedt?
 - Welke sectoren worden indirect beïnvloedt?

3D-print markt en netwerk

- Ontwikkeling 3D-print markt (NL en internationaal)
 - *Wat zijn de grootste ontwikkelingen op de 3D-print markt?*
 - Hoe heeft zich 3D-printen in de laatste jaren in Nederland en wereldwijd ontwikkelt?
 - Hoe ver zijn we in Nederland op het gebied van 3D-printen in vergelijking met andere landen?
 - Welke landen lopen voorop?
 - Zijn er verschillende scenario's over hoe de ontwikkeling verder gaat?
 - Wat zijn barrières?
- Actoren en netwerk
 - *Hoe ziet het Nederlandse netwerk er uit?*
 - Wie zijn de belangrijkste actoren in Nederland?
 - Wat zijn de interacties tussen actoren?
 - Welke overheidsactoren spelen een rol?

4. Follow-up

- Wie moeten we nog spreken, wat moeten we nog uitzoeken?
- We gaan verslag van het interview sturen
- Mogen we nog een keer met vragen terugkomen
- Eindrapport