

Technologiemonitor 2018

*Een nieuw perspectief
op technologische doorbraken:*

**3D printen, Blockchain,
Zelfrijdende auto
en Augmented Reality**



Stichting
Toekomstbeeld
der Techniek



Juni 2018

Roland Ortt (TU Delft)
Bram Dees (TU Delft)

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
1. Inleiding	4
2. Aanpak	6
3. 3D printen	15
3.1 Definitie	
3.2 Patroon en toepassingen	
3.3 Conditie	
4. Blockchain	23
4.1 Definitie	
4.2 Patroon en toepassingen	
4.3 Conditie	
5. Zelfrijdende auto	30
5.1 Definitie	
5.2 Patroon en toepassingen	
5.3 Conditie	
6. Augmented Reality	37
6.1 Definitie	
6.2 Patroon en toepassingen	
6.3 Conditie	
7. Conclusies	44
Appendix - Over STT - Colofon	53

Voorwoord

Dat technologie onze samenleving verandert behoeft geen betoog meer. We kunnen ons niet meer voorstellen te leven zonder elektriciteit, auto, vliegtuig, paracetamol en internet. De consequenties van deze technologieën merken we ieder moment van de dag. Hoe we eten, werken en communiceren is voor een groot deel gebaseerd op het gebruik van deze technologieën. Zoals gezegd: we kunnen niet meer zonder.

De gevolgen van deze technologieën zijn dus bekend. Maar weten we ook hoe deze technologieën ontstaan? Wie heeft ooit het eerste idee of patent gehad? Welke organisatie heeft een cruciale rol gespeeld in de ontwikkeling van de technologie? Wat waren de eerste producten gebaseerd op deze technologie? En welke factoren speelden een rol in de ontwikkeling? Kortom: hoe zag het patroon van de technologieontwikkeling eruit?

Deze vragen staan aan de basis van onderzoek dat onderzoekers van de faculteit Techniek, Bestuur en Management van de TU Delft in 2018 hebben verricht in opdracht van de Stichting Toekomstbeeld der Techniek. Zij hebben van vier zogenaamde technologische doorbraken onderzocht hoe die ontwikkeld zijn in de loop der tijd. Dat zijn: blockchain, 3D printen, de zelfrijdende auto en 'Augmented Reality'. Daarbij is gekeken naar wanneer deze doorbraken voor het eerst zijn uitgevonden, wanneer de eerste prototypes zijn ontwikkeld en vanaf wanneer marktdiffusie is opgetreden.

Er kunnen in dit patroon daarom drie fasen onderscheiden worden:

1. De ontwikkelingsfase: tussen uitvinding en eerste introductie.
2. De adaptatiefase: tussen eerste introductie en de start van industriële productie en grootschalige verspreiding.
3. De stabilisatiefase: na de start van industriële productie en grootschalige verspreiding.

Naast dit temporele patroon is ook in kaart gebracht welke factoren een rol spelen bij de ontwikkeling van technologische doorbraken. Deze factoren zijn condities waaraan voldaan moet worden zodat de ontwikkeling van de technologie voortgaat, zoals kennis over de technologie, sociaal-culturele aspecten, de 'product performance' en regelgeving.

Deze factoren laten zien dat technologieontwikkeling niet vanzelf gaat. Technologieën komen niet volledig uit de lucht vallen en zijn niet het resultaat van een willekeurig proces. Met behulp van deze factoren wordt duidelijk dat technologieontwikkeling gevolgd, verklaard en gemanaged kan worden. En gegeven het maatschappelijk en economisch belang van doorbraaktechnologieën is dat meer dan goed nieuws.

De Stichting Toekomstbeeld der Techniek heeft het voornemen het onderzoek naar de ontwikkeling van technologische doorbraken jaarlijks uit te voeren. Zo kan de ontwikkeling van potentiële technologieën gemonitord worden en inzichtelijk worden gemaakt welke factoren daarop van invloed zijn. Daarmee wordt de Technologiemonitor een duurzaam en meer dan welkom handvat voor innovatiemanagers, productmanagers, strategen en beleidsmakers om onze samenleving vanuit technologisch perspectief een stap verder te brengen!

*Juni 2018, Dr. Patrick van der Duin,
directeur Stichting Toekomstbeeld der Techniek*

1. Inleiding

De Stichting Toekomstbeeld der Techniek voert brede toekomstverkenningen uit op het snijvlak van technologie en samenleving. Dat snijvlak kan worden benaderd vanuit het maatschappelijke perspectief. De samenleving is een grote eenheid om te bestuderen en daarom wordt die verdeeld in domeinen. De STT toekomstverkenningen worden veelal uitgevoerd vanuit het perspectief van zulke maatschappelijke domeinen, zoals het onderwijs, de gezondheidszorg, de industrie, en veiligheid. Rapportages van STT omvatten vaak een verkenning in één domein, als een bouwsteen van een multidisciplinair beeld van de gehele maatschappij. In ieder domein spelen technologische ontwikkelingen een rol. Het samenspel van die technologische ontwikkelingen en de bredere maatschappelijke invloeden op de ontwikkelingen binnen het domein vormen de basis voor een domeinverkenning.

Het snijvlak van technologie en samenleving kan echter ook worden benaderd vanuit het perspectief van nieuwe technologische ontwikkelingen. Nieuwe technologische ontwikkelingen vormen een wel erg grote eenheid om te bestuderen en daarom worden die ontwikkelingen verdeeld in afzonderlijke technologieën zoals gentherapie, robotica, blockchain en zelfrijdende auto's. Ieder van dergelijke technologieën ontwikkelt en verspreidt zich over een langere periode. In die periode worden de technologieën vaak toegepast in de verschillende domeinen. Het samenspel van de bredere maatschappelijke invloeden en de ontwikkelingen in specifieke domeinen, en hun gezamenlijke effect op de ontwikkeling en verspreiding van een technologie vormen een belangrijke basis voor een verkenning op het snijvlak van technologie en samenleving die complementair is aan het bestaande werk in STT.

In domeinen zoals de zorg of het onderwijs worden verschillende technologieën toegepast die veranderingen in gang zetten. Andersom geldt ook dat nieuwe technologieën, zoals het internet, zich verspreid en ontwikkeld hebben door achtereenvolgens in verschillende domeinen te worden toegepast. Soms ontstaan zelfs nieuwe maatschappelijke domeinen of combinaties van domeinen met de komst van een technologie. Kortom, om het snijvlak van technologie en samenleving te bestuderen zijn complementaire perspectieven nodig, zowel het perspectief van maatschappelijke domeinen als van nieuwe technologische ontwikkelingen.

Dit rapport beschrijft een 'Technologiemonitor', waarin voor de maatschappij belangrijke nieuwe technologische ontwikkelingen worden bestudeerd. Dat betekent dat naast inhoudelijke kennis van nieuwe technologie, ook expliciet de aanpak om dergelijke technologische verkenningen uit te voeren centraal staat.

In dit rapport staan drie onderzoeksvragen centraal:

- Wat zijn technologische doorbraken waarvan verwacht kan worden dat zij tot fundamentele verandering zullen leiden in de maatschappij?
- Hoe staat het op dit moment met de ontwikkeling en verspreiding van dergelijke potentiële technologische doorbraken?
- Wat zijn de condities die bepalend zijn voor het doorbreken van de technologie?

1.1 Aanpak

Technologie is een breed begrip waaronder verschillende dingen wordt verstaan. Daarom zal in dit rapport voor het beantwoorden van de eerste onderzoeksvraag een manier worden gepresenteerd om een eenduidige definitie van een technologie te geven die vervolgens wordt toegepast op vier geselecteerde technologische doorbraken.

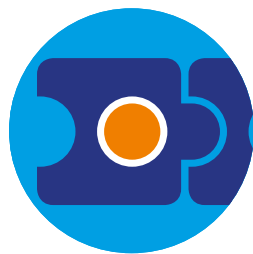
Voor het in kaart brengen van de ontwikkeling en verspreiding van deze technologieën wordt gebruik gemaakt van een eerste model. Dit model beschrijft een patroon van ontwikkeling en verspreiding van technologische doorbraken in de loop van de tijd. Het model onderscheidt een drietal generieke fasen. Dat patroon wordt gebruikt om aan te geven hoe de technologie in het verleden is ontwikkeld en toegepast, waar deze nu staat, en hoe deze zich in de toekomst verder kan gaan ontwikkelen. Voor de vraag hoe het nu staat met de ontwikkeling en verspreiding van de technologische doorbraak zullen we het patroon gebruiken om de opeenvolgende toepassingen van de doorbraak in de loop van de tijd zichtbaar te maken. Dit model wordt dus gebruikt voor het beantwoorden van de tweede onderzoeksvraag.

Dat patroon van ontwikkeling en verspreiding ontstaat als resultaat van een samenspel van een groot aantal factoren die de uiteindelijke veranderingen bepalen. Om de veranderingen in de tijd te verklaren zullen we in dit rapport een tweede model presenteren dat een afspiegeling

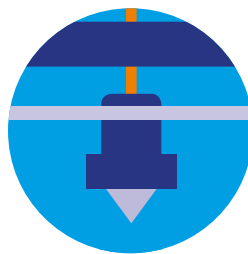
vormt van het grote aantal factoren dat technologische verandering in gang zet. Die factoren worden gepresenteerd als een dashboard dat condities voor grootschalige verspreiding weergeeft. Als grootschalige verspreiding dus nog niet begonnen is, dan kan aan de hand van deze methode worden weergegeven aan welke condities nog niet is voldaan. Dit model wordt dus gebruikt voor het beantwoorden van de derde onderzoeksvraag.

1.2 De vier technologische doorbraken

Aan de hand van een kort onderzoek is een lijst gevormd van mogelijke technologische doorbraken. Daarbij is rekening gehouden met het aggregatieniveau waarop de technologie wordt gedefinieerd en met huidige verwachtingen van de technologie. Een te hoog aggregatieniveau maakt het onmogelijk om eenduidige mijlpalen in de ontwikkeling en verspreiding te vinden omdat dan families van technologieën besproken worden, waar een te laag aggregatieniveau een te vereenvoudigd beeld zou geven. Door technologieën te kiezen waarvan verwachtingen momenteel hoog zijn en die op het punt staan de grootschalige verspreiding in te gaan, is het zowel mogelijk om vanuit historisch perspectief de aanloop in kaart te brengen als om met behulp van de modellen de nabije toekomst te schetsen. Uit een grote lijst met technologische doorbraken zijn vier technologische doorbraken geselecteerd die onderzocht worden: blockchain, 3D printen, de zelfrijdende auto en Augmented Reality.



Blockchain



3D printen



Zelfrijdende auto



Augmented Reality

2. Aanpak

In dit rapport worden drie onderzoeksvragen beantwoord, elk met gebruik van een eigen aanpak of model, die in de volgende paragrafen aan bod komen.

- De eerste onderzoeksvraag is: **Wat zijn technologische doorbraken waarvan verwacht kan worden dat die tot fundamentele verandering zullen leiden in de maatschappij?** Voor het beantwoorden van die vraag wordt in de eerste paragraaf een manier gepresenteerd om een technologische doorbraak eenduidig te definiëren.
- De tweede onderzoeksvraag is: **Hoe staat het op dit moment met de ontwikkeling en verspreiding van de vier geselecteerde potentiële technologische doorbraken?** Voor het beantwoorden van die vraag wordt in de tweede paragraaf een model gepresenteerd om aan te geven hoe de ontwikkeling en verspreiding van een technologische doorbraak verloopt.
- De derde onderzoeksvraag is: **Wat zijn de condities die bepalend zijn voor het doorbreken van een technologie?** Voor het beantwoorden van die vraag zal in de derde paragraaf een dashboard worden gepresenteerd met de belangrijkste factoren voor de ontwikkeling en verspreiding van technologische doorbraken.

In de laatste paragraaf zal kort worden aangegeven hoe de manier van definiëren en de beide modellen in samenhang kunnen worden toegepast om een technologische verandering in kaart te brengen.

2.1 Manier om technologische doorbraken te definiëren

Wat maakt een technologie een technologische doorbraak? Brede toepasbaarheid en structurele verandering!

Technologische doorbraken zijn technologieën waarvan verwacht kan worden dat zij tot fundamentele verandering in de maatschappij kunnen leiden. Die fundamentele verandering stellen we vast aan de hand van twee aspecten. Ten eerste betekent een fundamentele verandering dat de technologie in meerdere domeinen van ons dagelijks leven of in meerdere indus-

trieën kan worden toegepast. In het verleden zijn elektromotoren in veel verschillende industrieën toegepast, met name in alle 'maak-industrieën'. Een technologische doorbraak zoals de elektromotor, is een breed toepasbare technologie. Ten tweede betekent een fundamentele verandering dat in elk van die domeinen of industrieën een structurele verandering in gang wordt gezet. Dat betekent dat de technologie niet alleen een component of onderdeel van een bestaande keten of werkwijze vervangt, zodat de manier van werken op hoofdlijnen identiek blijft, maar dat de technologie ook kan leiden tot een fundamentele herstructurering van de werkwijze in dat domein of die industrie. Ook nu is de elektromotor een mooi voorbeeld. De elektromotor werd in het begin gezien in de industrie als een alternatief voor de stoommachine. Overigens, de stoommachine was bijna een eeuw eerder zelf ook een technologische doorbraak. De toepassing van elektromotoren in plaats van stoommachines leidde tot een nieuwe indeling van fabrieken. Efficiënte stoommachines waren groot en om de krachten optimaal te benutten werden via allerlei ingewikkelde schakelmechanismen met wielen en lange leren banden, meerdere industriële processen binnen één fabriek aangedreven door één stoommachine. Alle verschillende processen werden dus naast elkaar gepositioneerd. De elektromotor kon klein worden gemaakt zonder efficiency-verlies zodat er per proces een aparte elektromotor kon worden ingezet. Daardoor konden deelprocessen los van elkaar worden gepositioneerd en ontkoppeld. De elektromotor leidde tot een herstructurering van industriële processen.

De definitie van een technologie

Een term die verwijst naar één technologie blijkt in de praktijk vaak te verwijzen naar meerdere technologieën. Daarnaast worden vaak verschillende termen gebruikt voor eenzelfde technologie. De term 3D printen, bijvoorbeeld, blijkt bij nadere beschouwing te verwijzen naar een familie van verschillende technologieën, zoals het verlijmen van opeenvolgende platen materiaal of het opwarmen en uitharden van poeder van een materiaal in opeenvolgende lagen. Het werken met verschillende materialen, zoals beton, metaal, chocola en plastic, vereist wezenlijk andere technologieën. Verder blijkt dat er ook andere termen worden gebruikt om die familie van 3D printers aan te duiden zoals de term 'additive manufacturing'.

Als een technologie niet eenduidig is gedefinieerd, ontstaat er verwarring over de vraag wanneer die technologie is uitgevonden, wanneer ze voor het eerst is toegepast, en wanneer de grootschalige toepassing van die technologie is begonnen of zal beginnen. Daarnaast is het onduidelijk hoe het staat met de condities voor grootschalige verspreiding. Kortom, de

vragen hoe het staat met een technologische doorbraak en wat de condities zijn voor verdere ontwikkeling en verspreiding zijn niet te beantwoorden zonder een eenduidige definitie van de betrokken technologie.

Een eenduidige definitie wordt gevormd door de volgende aspecten van een technologie te beschrijven (een soortgelijke definitie wordt beschreven door Arthur (2009)):

- 1 Het technologisch principe;
- 2 De functionaliteit;
- 3 De componenten.

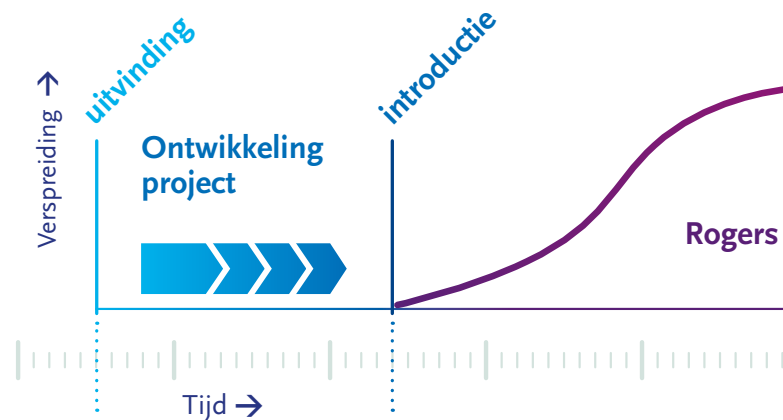
Deze aspecten maken duidelijk hoe de Babylonische spraakverwarring rond technologie ontstaat. De zelfrijdende auto, een van de vier geselecteerde technologieën, is gedefinieerd in termen van zijn functionaliteit. Op welk technologisch principe dat zelfrijden is gebaseerd en wat de onderdelen zijn van de technologie, is niet vastgelegd. Daarnaast is de functionaliteit 'zelfrijden' ook niet eenduidig vastgelegd. Als je in Google zoekt op 'autonomous vehicle' dan vind je behalve auto's ook vliegtuigen, schepen en duikboten. Als je dan in Wikipedia zoekt naar de geschiedenis van zelfrijdende auto's dan lijkt het alsof de eerste zelfrijdende auto's al in de jaren 20 van de vorige eeuw rondreden. In een later hoofdstuk van dit rapport zullen we de zelfrijdende auto definiëren volgens de drie bovenstaande aspecten en daarmee kunnen we eenduidig aangeven wanneer de technologie voor het eerst is gedemonstreerd (de uitvinding) en toegepast (de introductie in de markt).

2.2 Model om ontwikkeling en verspreiding van doorbraken weer te geven

Het standaardmodel: ontwikkelproject en diffusiepatroon

Het huidige, wijdverspreide en breed toegepaste, standaardmodel van de ontwikkeling en verspreiding van een technologisch doorbraak bestaat uit twee delen. Het eerste deel beschrijft de ontwikkeling van de doorbraak als een ontwikkelproject. Het tweede deel beschrijft de verspreiding of diffusie van de doorbraak nadat zij in de markt is geïntroduceerd. Beide delen van dit model, het ontwikkelproject en de verspreiding of diffusie (het 'innovatie-diffusie' model), zijn uitgebreid beschreven en gemeengoed in de wetenschappelijke literatuur.

Figuur 2.1: Het innovatie-diffusie model (tekst in figuur omzetten naar NL)



Het ontwikkelproject wordt vaak gezien als een verzameling van opeenvolgende fasen zoals ideegeneratie en -selectie, conceptvorming en -selectie, productontwikkeling, productieontwikkeling, ontwikkeling van een marketingplan en uiteindelijk de introductie en implementatie in de markt. Een dergelijke weergave van een ontwikkelproject is het bekende 'stage-gate-model' (Cooper, 1990) (zie de weergave van de projectfasen in de bovenstaande figuur, tussen uitvinding en introductie). Varianten op deze projectbenadering zijn ook voorgesteld zoals een agile project benadering, ad-hoc benaderingen, en hybride combinaties hiervan.

De diffusie is voor veel technologische doorbraken onderzocht door de opeenvolgende verkopen of implementaties van deze doorbraken te tellen. Cumulatief ontstaat dan vaak een patroon van adoptie dat er uit ziet als een soort S-curve (zie de weergave van de curve na introductie in bovenstaande figuur): in het begin neemt de adoptie maar langzaam toe, dan ontstaat er een versnelling, waarna de versnelling weer afneemt en de adoptie een plafond bereikt als de complete verzameling mogelijke afnemers, de potentiële markt, is bediend. De combinatie van de twee lijkt dan ook een logisch en compleet model te vormen om te kijken waar technologische doorbraken precies staan op een bepaald moment in de tijd. Opvallend is dat het standaardmodel, bestaande uit een ontwikkelproject en diffusie, impliciet van een aantal aannames of basisgedachten uitgaat:

- Ontwikkeling van een product op basis van de nieuwe technologie is een project dat, mits goed gemanaged, leidt tot succes.
- Verspreiding van het technologisch product is een maat voor dat succes. Als de verspreiding achterblijft is er ergens in het ontwikkelproject iets misgegaan: het verkeerde idee is bijvoorbeeld geselecteerd, of een idee is verkeerd uitgewerkt, verkeerd geproduceerd of verkeerd geïntroduceerd.

Het succes van een technologische doorbraak wordt dus toegeschreven aan de kwaliteit van onderzoek (de prestatie van de technologie) en van management (de productvorm, marketing-mix en introductie-strategie).

Waarom klopt dit standaardmodel niet (altijd)?

Wanneer de ontwikkeling en verspreiding van een technologische doorbraak als historisch fenomeen wordt beschreven ontstaat een ander beeld dan het standaardmodel.

Wat als de ontwikkeling en verspreiding wordt gevolgd vanaf het moment van uitvinding? Een uitvinding wordt dan gedefinieerd als de eerste keer dat de technologie is gedemonstreerd. Om het moment van uitvinding goed vast te stellen is het belangrijk om de definitie van de doorbraak (zie paragraaf 2.1) zorgvuldig vast te stellen. Er gebeurt van alles voorafgaand aan die uitvinding, zoals ideeën en patenten die worden gedeponeerd, fundamenteel onderzoek naar het technologisch principe achter een doorbraak, etcetera. Wij richten ons op alles wat gebeurt vanaf de uitvinding. Na het documenteren van meer dan 100 technologische doorbraken vanaf hun uitvinding valt het volgende op (Ortt, 2010):

Tussen uitvinding en introductie zit meer dan één ontwikkelproject

- De tijd tussen uitvinding en eerste introductie omvat een periode die vaak vele malen langer is dan de periode die nodig is voor het afronden van een ontwikkelproject.
- In plaats van één gecoördineerd ontwikkelproject vinden er vaak vele gerelateerde, maar niet gecoördineerde, ontwikkeltrajecten plaats bij verschillende actoren. De combinatie van die trajecten kan onmogelijk worden gezien als één project.
- In een groot deel van die fase tussen uitvinding en eerste introductie, wordt helemaal niet alleen gewerkt in ontwikkelprojecten. Vaak duurt het enige tijd voor een technologie de prijs/kwaliteit heeft die introductie in de vorm van een product mogelijk maakt. Daarvoor is vaak fundamenteel onderzoek nodig dat een geheel andere structuur heeft dan een ontwik-

kelproject. Soms is de technologie al ver genoeg maar kan binnen betrokken organisaties geen financiering worden gevonden voor de ontwikkeling van een project. Soms is er geen urgente reden om een technologie verder te ontwikkelen en ligt de technologie jaren 'op de plank'.

Kortom: de ontwikkeling tussen uitvinding en eerste introductie is anders dan een project.

Na introductie geen gestage verspreiding, ook niet voor succesvolle doorbraken!

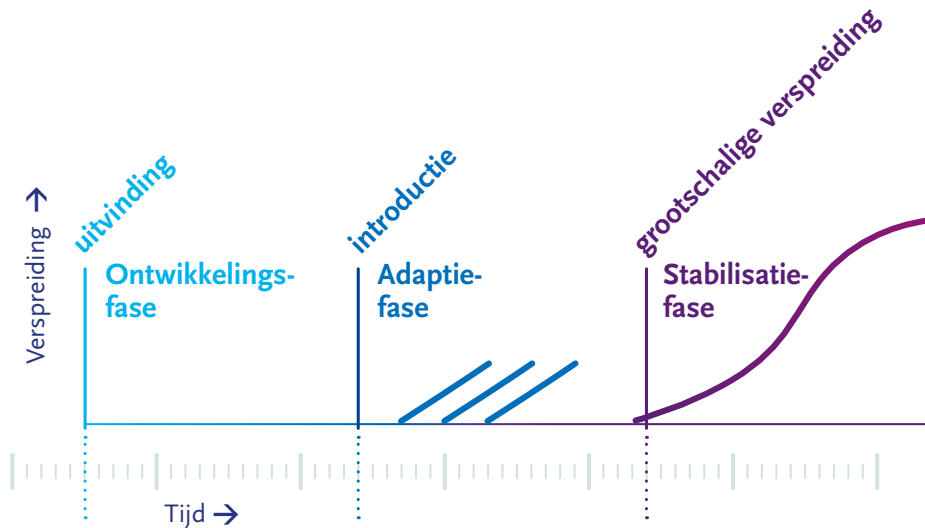
- De verspreiding van veel doorbraken heeft inderdaad een S-vormig diffusiepatroon. Dat lijkt te pleiten voor het tweede deel van het standaardmodel. Echter, bij nadere bestudering blijkt eveneens dat er een enorme tijd zit tussen de eerste introductie van een doorbraak en de start van die S-vormige diffusie curve. Kortom; die diffusiecurve ontstaat wel bij succesvolle doorbraken, maar vrijwel nooit direct na introductie.
- In plaats van succesvolle verspreiding vinden vaak meerdere kleinschalige, soms weinig succesvolle, toepassingen plaats van technologische doorbraken. Die toepassingen zijn geen bevestiging van het gebrek aan succes (zoals het standaardmodel impliceert) maar zijn een gevolg van het feit dat de technologische doorbraak en haar markttoepassingen moeten worden verkend, begrepen en ontwikkeld samen met alle complementaire producten en diensten en alle andere randvoorwaarden. Het ontwikkelen van al die randvoorwaarden neemt vaak veel meer tijd in beslag dan het ontwikkelen van de nieuwe technologie zelf.
- In de praktijk van ongeveer 80% van de doorbraken die in ons onderzoek zijn bestudeerd in de loop van 15 jaar, geldt dat er voorafgaand aan de grootschalige verspreiding, in de vorm van een S-vormige diffusiecurve, een langdurige fase van niche toepassingen plaatsvindt (Ortt, 2010).

Kortom: een kleinschalige en chaotische start van de verspreiding van een technologische doorbraak is niet altijd een teken van gebrek aan potentieel. Het is veeleer een logische start voor iets compleet nieuws en is een gevolg van de complexe interactie van opbouw van een systeem, concurrentie met andere technologieën en concurrentie met verschillende vormen van dezelfde technologie.

Het nieuwe model: het patroon van ontwikkeling en verspreiding

Deze belangrijke bezwaren tegen het standaardmodel hebben ons geïnspireerd om een aangepast model te vormen dat een meer realistische weergave vormt van de ontwikkeling en verspreiding van een technologische doorbraak in de loop van de tijd.

Figuur 2.2: Het patroon van ontwikkeling en verspreiding van technologische doorbraken



In het model worden drie bakens in de tijd onderscheiden:

- 1 De uitvinding.**
De eerste demonstratie van de werking van de technologische doorbraak.
- 2 De eerste introductie in de markt.**
De eerste keer dat de technologische doorbraak wordt toegepast, verkocht of geïmplementeerd.
- 3 De start van de industriële productie en grootschalige verspreiding en implementatie van de technologische doorbraak.**

Met die drie bakens kunnen drie opeenvolgende fasen worden onderscheiden:

- De ontwikkelingsfase tussen uitvinding en eerste introductie. De uitvinding is de demonstratie van een werkend principe dat in veel gevallen nog lang niet productie- en marktrijp is. In de ontwikkelingsfase vindt vaak onderzoek plaats om het principe te verbeteren en verder zijn er vaak één of meerdere ontwikkeltrajecten om op basis van het principe een product te maken.
- De adaptatiefase tussen eerste introductie en de start van industriële productie en grootschalige verspreiding. In deze fase zie je vaak een trial-en-error proces waarin verschillende productvarianten in uiteenlopende marktniches worden geïntroduceerd. Er vindt als het ware aanpassing (adaptatie) plaats tussen het product, verschillende consumentengroepen en verschillende toepassingen. Die adaptatie kan uiteindelijk leiden tot een soort standaard product.
- De stabilisatiefase begint met industriële productie en grootschalige verspreiding. Deze fase start met een soort standaard product dat op grote schaal geproduceerd kan worden en dat op grote schaal wordt toegepast en verspreid. De productvarianten en toepassingen zijn als het ware gestabiliseerd.

Opmerkingen bij het nieuwe model

Het nieuwe model is een aanvulling op het standaard innovatie diffusie-model. Het nieuwe model geeft aan, in tegenstelling tot het standaardmodel, dat tussen uitvinding en introductie meer tijd ligt dan de tijd die nodig is voor een ontwikkelproject. Het nieuwe model geeft helder aan, in tegenstelling tot het standaardmodel, dat diffusie vaak niet begint met een S-curve maar met een proces van kleinschalige verspreiding in opeenvolgende niche toepassingen.

In iedere fase van het model spelen vele actoren een rol. Groepen actoren werken samen om een samenhangend systeem van complementaire producten en diensten, en een netwerk van leveranciers en distributeurs te vormen. Er kan daarnaast ook concurrentie optreden met groepen actoren die de vorige technologie in de markt hebben gezet (technologie-concurrentie) of groepen die dezelfde nieuwe technologie in een andere vorm in de markt willen zetten (ontwerp-concurrentie). Ook kunnen de prestaties van de technologie nog beneden verwachting zijn, of kunnen toepassingen van de technologie nog niet duidelijk zijn en ook daarbij spelen verschillende actoren een rol. Deze mechanismen vormen een paar van de redenen dat de tweede fase een chaotisch karakter kan krijgen.

Innovatie vindt gedurende het gehele patroon plaats, niet alleen aan het begin. Die innovatieprocessen kunnen betrekking hebben op de technologie, op de componenten, producten of systemen die gemaakt worden met de technologie, op de marketing-mix, op de productie en op de gehele organisatie, het bedrijfsmodel rond de technologie of zelfs de aard van het netwerk van samenwerkende bedrijven. In tegenstelling tot wat vaak wordt gedacht, neemt de innovatie-activiteit (in termen van het aantal partijen dat een innovatietraject doorloopt of in termen van de investeringen in innovatieprocessen op een bepaald moment) vaak toe gedurende het patroon. De gedachte is vaak dat er een soort logische volgorde is waarin ontwikkeling van het principe en innovatieprocessen eerst plaatsvinden, die leiden tot een nieuw product, waarna dat product verspreid in de markt. Dit zogenaamde pijplijnmodel blijkt echter sterk af te wijken van de praktijk waarin de innovatie-activiteit later in het proces juist toeneemt in plaats van afneemt. De economische verklaring daarvoor is dat innovatie pas op gang komt als er een grote markt van consumenten is zodat investeringen in innovatie ook daadwerkelijk rendement opleveren, iets wat in het begin van het patroon veel minder zeker is.

Er zijn verschillende scenario's voor de vorm van het patroon van ontwikkeling en verspreiding. Die scenario's onderscheiden zich door verschillende lengtes van fasen. Er zijn voorbeelden van doorbraken waarin de eerste fase bijna een eeuw duurt, zoals bij de fax en bij het materiaal PVC, en voorbeelden waarbij die fase minder dan een jaar duurt, zoals bij dynamiet. Hetzelfde geldt voor de tweede fase. Afhankelijk van de lengte van de fasen zijn er scenario's te onderscheiden, zoals onderstaande voorbeelden aangeven.

In een eerste scenario stopt een ontwikkeling voortijdig tijdens de eerste of tweede fase, voorafgaand aan het begin van grootschalige verspreiding. Een voorbeeld daarvan is het patroon van de electro-mechanische televisiesystemen die in de jaren 30 van de vorige eeuw na kleinschalig verkopen volledig van het toneel verdwenen omdat de volledig elektronische systemen de standaard werden. Het is geen 'natuurwet' dat het patroon altijd volledig doorlopen wordt, de ontwikkeling en verspreiding kan in iedere fase stoppen, bijvoorbeeld als de technologie vroegtijdig is verouderd.

Een tweede scenario is het scenario waarin ons model het standaard innovatie-diffusie model oplevert! In dat geval is de ontwikkelfase net zo lang als een ontwikkelproject en valt de adaptatiefase volledig weg. Het nieuwe model omvat dus het standaardmodel als een bijzonder geval. Eerder onderzoek leert ons dat het standaardmodel maar in 20% van de technologische doorbraken optreedt (Ortt, 2010).

Al deze vormen van realisme passen in het model van het patroon. Toch blijft ook het nieuwe model een versimpeling en het is belangrijk om te snappen hoe dat komt en wat dat betekent in de praktijk. De oorzaak is simpel: het model is gevormd aan de hand van historische cases en dat geeft een 'hindsight bias'. In de praktijk betekent dit dat er een nog chaotischer patroon ontstaat dan het gestileerde evolutionaire patroon zoals gepresenteerd. In een van de mooiste innovatie-managementstudies, de Minnesota studies (Van de Ven et al., 2009) liepen onderzoekers mee met innovatie-trajecten in bedrijven. Er werd nooit gewerkt aan één innovatie maar aan vele varianten tegelijkertijd. Er werd zelden gecoördineerd tussen alternatieve activiteiten die gericht waren op dezelfde technologie, en vaak ook maar zeer tijdelijk. Als een van die varianten een succes wordt, dan kan het patroon terugkijkend worden opgebouwd maar dan wordt tevens vergeten hoeveel werk is gedaan aan varianten die 'het niet zijn geworden'. Opvallend is dat die Minnesota-studies nooit tot een mainstream model hebben geleid. Waren de bevindingen te ingewikkeld, of waren de bevindingen misschien te weinig concreet zodat onduidelijk was wat je moest gaan doen? Waarschijnlijk beide.

Aannames en beperkingen van het model

Ieder model is een simplificatie van de werkelijkheid. De wijze van simplificatie is afhankelijk van het doel waarvoor het model bedoeld is, als je een ander doel hebt ligt de nadruk op andere aspecten en vereenvoudig je de werkelijkheid in een andere richting. De simplificatie is ook een gevolg van de (beperkte) beschikbare kennis op een bepaald moment in de tijd. Maar het standaard innovatie-diffusie model is echt verouderd: we hebben nieuwe kennis die aangeeft hoe het patroon van ontwikkeling en verspreiding van technologische doorbraken werkelijk verloopt en het nieuwe model op basis van die kennis omvat het standaard model als een bijzonder geval.

Ook het nieuwe model is op zijn beurt weer een simplificatie van de werkelijkheid. Om de simplificatie weer te geven is het belangrijk om de aannames onder het model expliciet te maken. Als niet aan de aannames van het model is voldaan, is het model een onbruikbare simplificatie. Overigens, het expliciet maken van de aannames geeft ook richting aan toekomstig onderzoek.

De belangrijkste aannames van het nieuwe model:

Aanname 1: De technologie valt eenduidig te definiëren (met behulp van de eerder beschreven methode in paragraaf 2.1). Dat definiëren is een stuk makkelijker als je terugkijkt, dus als je een historische casus analyseert. In de praktijk zijn er vaak meerdere onderzoeks- en ontwikkel-

trajecten en is het nog onduidelijk wat een bepaalde technologie eigenlijk is. Toen Baekeland bijvoorbeeld Bakeliet uitvond wist hij niet zeker of hij nu een constructiemateriaal (plastic), een vernis of een lijm had gevonden. Later werd het duidelijk hoe zijn vinding in de praktijk werd gezien (Bijker, 1995).

Aanname 2: De gedefinieerde technologie blijft veranderen, maar blijft binnen de definitie gedurende het gehele patroon. Als de technologie zo snel verandert dat steeds voordat een fase is afgerond alweer een nieuwe technologie is uitgevonden of geïntroduceerd en de ontwikkeling van de vorige technologie stopt, dan ontstaat een chaotische situatie waarin het model niet gebruikt kan worden.

Aanname 3: De bakens in de tijd: (1) uitvinding, (2) eerste introductie, en (3) start van industriële productie en grootschalige verspreiding, zijn in de tijd vast te leggen met een nauwkeurigheid die groter is dan de lengte van de fasen tussen de bakens. Dus als de uitvinding en eerste introductie niet preciezer vast te stellen zijn dan in een tijdsinterval dat groter is dan de tijd tussen deze bakens dan ontstaat een onoverzichtelijke situatie waarin het model niet bruikbaar is.

2.3 Model om condities voor grootschalige verspreiding weer te geven

Het bovenstaande model is een passieve beschrijving van het patroon van ontwikkeling en verspreiding van technologische doorbraken. Om het patroon te verklaren of misschien zelfs te voorspellen is meer informatie nodig. Wij hebben, na grondig vooronderzoek, een lijst gemaakt van factoren die een barrière kunnen vormen voor de ontwikkeling en verspreiding van de technologische doorbraak. De beschikbare factoren zijn verdeeld in veertien categorieën. Zeven categorieën vormen het sociaal, economisch en technisch systeem: dit zijn de kernfactoren. De andere zeven factoren kunnen de kernfactoren beïnvloeden.

Een voorbeeld geeft aan waarom die beïnvloedende factoren belangrijk zijn. Als een kernfactor ontbreekt, bijvoorbeeld doordat er geen consumenten zijn, dan is grootschalige verspreiding niet mogelijk. De oorzaken kunnen verschillend zijn: dat kan komen omdat kennis bij consumenten over de technologie en haar toepassingen ontbreekt of omdat de technologie duur is. Kennis van deze factoren is van belang voor het verklaren en voorspellen van het patroon.

Deze verzameling factoren vormen een aanzienlijk uitbreiding op de factoren die Rogers gebruikt om diffusie te verklaren in het standaard innovatie-diffusie model. Rogers kijkt primair naar factoren aan de vraagzijde van de markt, met name de karakteristieken van de (potentiële) consumenten, en hoe die consumenten de innovatie percipiëren. Dat is begrijpelijk als je het ontstaan van de diffusie-theorie kent. Rogers was landbouwsocioloog die in de jaren 60 van de vorige eeuw onderzoek deed naar de acceptatie van 'hybrid corn', een nieuw soort graan, onder boeren in de Verenigde Staten. Omdat alle factoren aan de aanbodzijde van de markt op orde waren, richtte de aandacht zich terecht op de vraagzijde van de markt. Echter, toen iedereen het diffusie model ging gebruiken in andere situaties werd niet gecheckt of die aanbodfactoren ook in die situaties op orde waren en van belang waren voor de verspreiding. We hebben als het ware een model dat ontwikkeld was voor een bijzondere situatie, zonder blikken of blozen toegepast op alle mogelijke situaties.

Onderstaand twee tabellen met een omschrijving van de veertien factoren: de zeven kernfactoren en de zeven beïnvloedende factoren.

Tabel 2.1: Kernfactoren voor grootschalige verspreiding van technologische doorbraken

Kernfactoren	Beschrijving
1 Productprestatie	Een product (met alle componenten en software) met een voldoende goede prestatie en kwaliteit (absoluut of relatief ten opzichte van concurrerende producten) is nodig voor grootschalige verspreiding. Een lage prestatie, kwaliteit of onbedoelde bij-effecten van, of ongelukken met, producten kunnen grootschalige verspreiding hinderen.
2 Productprijs	De prijs van een product omvat financiële en niet-financiële investeringen (bijvoorbeeld de tijd en moeite) om een product te verkrijgen en gebruiken. Een product (met alle componenten en software) met een redelijke prijs (absoluut of relatief ten opzichte van concurrerende producten) is nodig voor grootschalige verspreiding. Een hoge prijs kan grootschalige verspreiding hinderen.

3 Productiesysteem	Een productiesysteem dat grote hoeveelheden producten van voldoende kwaliteit en prestaties kan leveren (absoluut of relatief ten opzichte van concurrerende producten) is nodig voor grootschalige verspreiding. Ontbreken van een dergelijk systeem, onbedoelde bij-effecten van, of ongelukken bij, productie kunnen grootschalige verspreiding hinderen.
4 Complementaire producten en diensten	Complementaire producten en diensten voor de ontwikkeling, productie, distributie, adoptie, gebruik, reparatie, onderhouden en het afdanken van producten zijn nodig voor grootschalige verspreiding. Afwezigheid of incompatibele systeem onderdelen, onbedoelde bij-effecten van, of ongelukken met, complementaire producten en diensten kunnen grootschalige verspreiding hinderen.
5 Actoren en netwerkvorming	Beschikbaarheid van benodigde actoren en voldoende coördinatie van hun activiteiten voor de ontwikkeling, productie, distributie, adoptie, gebruik, reparatie, onderhoud en het afdanken van producten zijn nodig voor grootschalige verspreiding. Coördinatie kan emergent en impliciet zijn (bijv. het marktmechanisme) of kan formeel en expliciet zijn (bijv. een industrie-associatie). Als bepaalde actoren of coördinatie mechanismen nodig zijn maar ontbreken, dan kan dat grootschalige verspreiding hinderen.
6 Klanten	Klanten zijn nodig voor grootschalige verspreiding. Klanten moeten kennis hebben van het product en haar gebruik en moeten het product willen en kunnen betalen en gebruiken. Als klanten ontbreken wordt grootschalige verspreiding gehinderd.
7 Normen, regels en wetten	Normen, regels en wetten met betrekking op het product, productie, complementaire producten en diensten, of hoe actoren (aan vraag- en aanbodzijde van de markt) moeten omgaan met het product en het omringende socio-technische systeem zijn nodig voor grootschalige verspreiding. Het ontbreken van normen, regels en wetten kan grootschalige verspreiding hinderen.

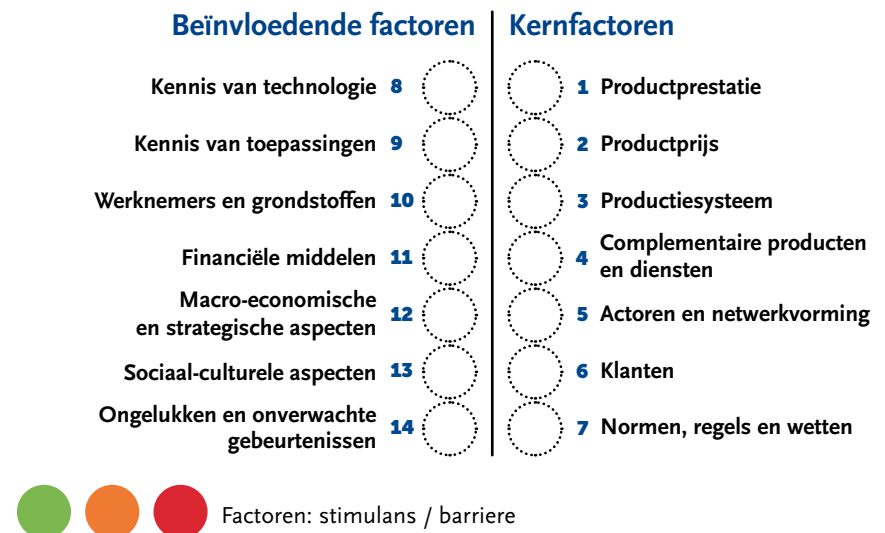
Tabel 2.2: Beïnvloedende factoren voor grootschalige verspreiding van technologische doorbraken

Beïnvloedende factoren	Beschrijving
8 Kennis van technologie	Dit omvat fundamentele en toegepaste kennis van de technologie. Fundamentele kennis heeft betrekking op technologische principes in het product, productie, complementaire producten en diensten, en het omringende socio-technische systeem. Toegepaste kennis heeft betrekking op kennis voor het ontwikkelen (design), produceren, en beheersen van technologische principes. Als relevante actoren belangrijke kennis van technologie voor hun rol ontberen, kan dat grootschalige verspreiding hinderen.
9 Kennis van toepassingen	Dit omvat kennis van potentiële toepassingen, kennis van de markt(structuur) en de betrokken actoren. Deze kennis is nodig voor alle actoren, inclusief klanten, om strategieën te vormen, productvereisten te formuleren en om andere actoren te vinden. Als relevante actoren relevante kennis van toepassingen voor hun rol ontberen, kan dat grootschalige verspreiding hinderen.
10 Werknemers en grondstoffen	De beschikbaarheid van werknemers met de benodigde kennis en vaardigheden, en de beschikbaarheid van grondstoffen en inputs zoals componenten en materialen, zijn nodig voor de productie en het gebruik van een product, voor productie, complementaire producten en diensten. Organisaties met een rol in het verzorgen van deze aspecten, zoals vakbonden, vallen hier ook onder. Een gebrek aan dergelijke inputs kan grootschalige verspreiding hinderen.
11 Financiële middelen	Financiële middelen en de organisaties (bijv. banken) of platforms (bijv. crowd funding) om deze middelen te leveren zijn nodig voor de ontwikkeling en verspreiding van nieuwe producten, productiesystemen, complementaire producten en diensten en voor de adoptie, implementatie en het onderhoud van de producten. Een gebrek aan financiële middelen bij actoren aan de vraag- of aanbodzijde van de markt kan grootschalige verspreiding hinderen.

12 Macro-economische en strategische aspecten	Macro-economische en strategische aspecten refereren naar de algehele economische situatie in een land of industrie, zoals een recessie of een industrie-brede stagnatie. Strategische aspecten refereren naar belangen van landen en industrieën. Macro-economische en strategische aspecten van landen en industrieën kunnen grootschalige verspreiding hinderen.
13 Socio-culturele aspecten	Socio-culturele aspecten refereren naar normen en waarden in een bepaalde cultuur of industrie. Ze omvatten methodes en gewoontes in een industrie of land en kunnen ook betrekking hebben op belangengroepen buiten de supply chain. Deze aspecten zijn vaak minder geformaliseerd dan de formele normen, regels en wetten. Socio-culturele aspecten kunnen grootschalige verspreiding hinderen.
14 Ongelukken en onverwachte gebeurtenissen	Dit omvat ongelukken en gebeurtenissen buiten het socio-technische systeem met een grote impact, zoals oorlogen, nucleair incidenten, natuurrampen of politieke omwentelingen. Deze zaken, of het risico er op, kunnen grootschalige verspreiding hinderen.

De factoren vormen een dashboard. De status van de factoren kan beoordeeld worden als remmend voor verdere ontwikkeling en grootschalige verspreiding, of juist niet remmend, of er tussenin. Die drie mogelijkheden zijn per factor vertaald in een verkeerslicht: een factor is remmend (rood), niet remmend (groen) of daar tussenin, licht remmend (oranje). Het dashboard is dan een verzameling verkeerslichten waarvan je de status in één oogopslag kunt zien.

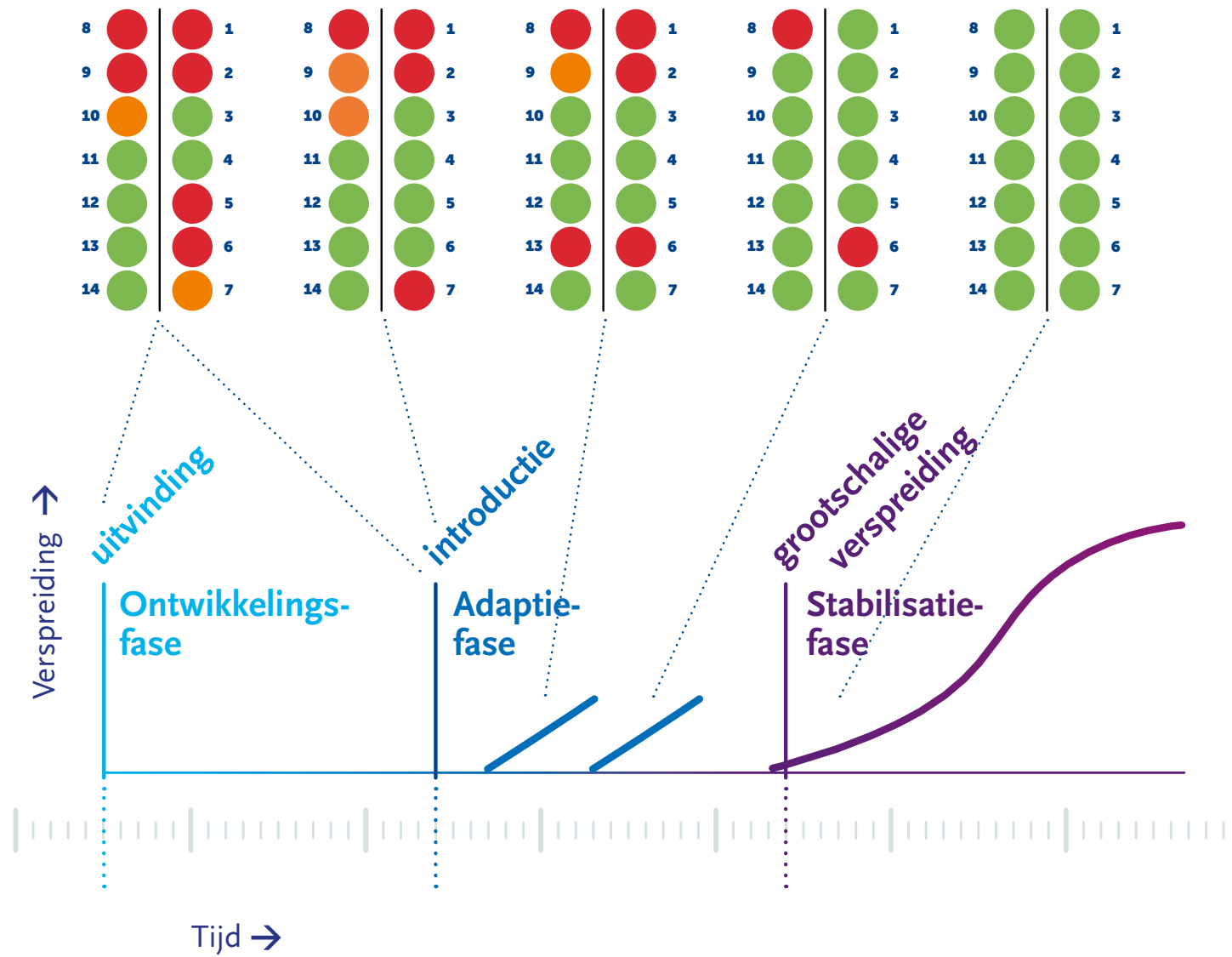
Figuur 2.3: Dashboard met factoren die van belang zijn voor grootschalige verspreiding

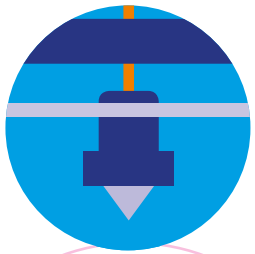


2.4 De combinatie van methodes

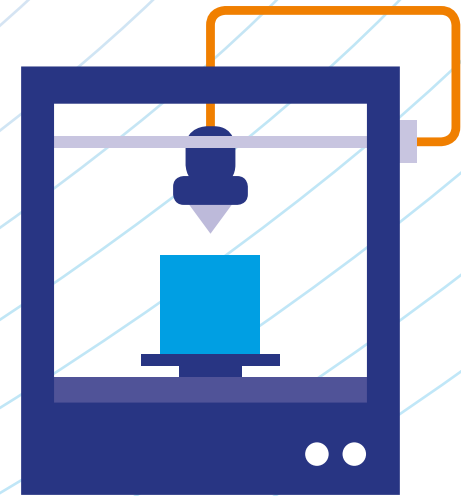
In dit hoofdstuk is ten eerste beschreven wat een technologische doorbraak is en hoe een dergelijke doorbraak kan worden gedefinieerd als eenheid van onderzoek. Ten tweede is een model gepresenteerd dat aangeeft op een tijdas hoe het patroon van ontwikkeling en verspreiding van technologische doorbraken verloopt. Dit model biedt een historisch perspectief, geeft aan waar de doorbraak nu staat en hoe deze verder ontwikkeld en verspreid kan worden. Ten derde is een model beschreven waarin belangrijke sociale, technische en economische factoren en hun belangrijkste beïnvloedende factoren worden beschreven. Dit model geeft aan hoe de technologische doorbraak er voor staat en aan welke condities nog moet worden voldaan alvorens grootschalige verspreiding waarschijnlijk is. Figuur 3 laat zien hoe de combinatie van methodes wordt gebruikt. Het patroon voor Double Clutch Technology (DCT), een dubbele versnellingsbak die soepeler en sneller schakelen mogelijk maakt, is afgebeeld. Op verschillende momenten wordt aangegeven welke factoren als belemmering werkten voor verdere ontwikkeling en grootschalige verspreiding (rood) en hoeveel factoren juist die ontwikkeling en verspreiding faciliteerden (groen).

Figuur 2.4: De combinatie van modellen geeft aan hoe factoren voor grootschalige verspreiding veranderen in de tijd gedurende het patroon van ontwikkeling en verspreiding van een technologische doorbraak





3D printen



3. 3D printen

Droombeelden genoeg. Op vakantie ter plekke de kleding printen die je die dag wilt dragen. Op Mars precies printen wat nodig is en het materiaal weer recyclen om later andere gereedschappen te printen. Levende organen printen om zo het tekort aan donoren volledig op te lossen. Hoelang nog voor dit allemaal mogelijk is? Dit hoofdstuk behandelt de ontwikkeling en verspreiding van 3D printen.

3.1 Definitie

Functionaliteit

3D printen is een productietechniek waarbij een object gemaakt wordt vanuit een 3D model door materiaal laag voor laag toe te voegen.

Werkprincipes

De 'American Society for Testing and Materials' (ASTM) definieert zeven verschillende categorieën in het 3D printen (ASTM, 2015):

- 1 **Binder jetting:** bindende inkt wordt in een patroon gespoten op een poeder om zo de laag poeder te binden.
- 2 **Direct energy deposition:** thermische energie wordt gebruikt om materiaal te smelten en het vervolgens samen te voegen.
- 3 **Material extrusion:** materiaal wordt selectief door een mondstuk aangevoerd.
- 4 **Material jetting:** druppels bouwmaterialen worden selectief geplaatst.
- 5 **Powder bed fusion:** een laag poeder wordt selectief aan elkaar gesmolten met thermische energie.
- 6 **Sheet lamination:** platen materiaal worden samengevoegd om zo een object te vormen.
- 7 **Vat photopolymerization:** een vloeibaar fotopolymeer wordt selectief gestold onder invloed van licht.

Componenten

Om te beginnen is er een basis nodig waarop geprint kan worden, een substraat waarop het

materiaal hecht, maar waarvan het eindproduct ook weer los te maken is. Daarop wordt het printmateriaal geplaatst, de plaatsing gaat vaak met behulp van een energiebron (warmte of licht). Daaromheen is het meest opvallende gedeelte van de 3D printer zichtbaar: de constructie om het substraat en het product, het materiaal en de energie op goede plaats te krijgen en de goede snelheid te geven.

Er kan met behulp van CAD-software, een 3D scanner of fotogrammetrie-software een 3D model gemaakt worden. Van het 3D model wordt een STL-bestand (SurfaceTessellationLanguage of StandardTessellationLanguage) geëxporteerd die door een zogenaamde 'slicer' omgezet wordt in G-code. Het is de G-code die alle handelingen van de 3D printer aanstuurt en daarmee het printen in gang zet.

3D printen en 'additive manufacturing'

Het 3D printen is een additieve productiemethode, waarbij voortdurend materiaal wordt toegevoegd. Dat staat in contrast met niet-additieve methodes waarbij materiaal vervormd wordt zoals bij persen of dieptrekken of waarbij materiaal verwijderd wordt zoals bij draaien, boren, zagen en frezen. De term 'additive manufacturing' (AM) wordt veel gebruikt voor 3D printen, maar zou strikt genomen meer productiemethodes kunnen behelzen. Beide termen worden gebruikt, maar AM meer in technische kringen en 3D printen meer bij het brede publiek (Bourell, 2016).

3.2 Patroon en toepassingen

Er is een aantal oude beschrijvingen van methodes voor het maken van 3D objecten, zoals het rondom fotograferen van een persoon om een goed gelijkend stenen beeld te kunnen maken en het opbouwen van een object uit goed geplaatste lasdruppels. Dan publiceert Kodama in 1981 een artikel waarin hij verslag doet van zijn 'rapid prototyping'-systeem op basis van een fotopolymeer die harder wordt bij blootstelling aan licht. Hij heeft een werkend systeem en heeft daarmee meerdere producten geprint. In 1984 volgt een stereolithografisch systeem van Charles Hull waarvoor hij in 1986 een patent ontvangt, in datzelfde jaar richt hij het een bedrijf voor 3D printers op: 3D Systems Corporation (Steenhuis & Pretorius, 2015). Hij is echter niet de eerste, Helisys was het eerste bedrijf in 1985 en in datzelfde jaar werd ook Denken opgericht in Japan (Bourell, 2016).

Helisys en Denken verkochten hun eerste systeem respectievelijk in 1991 en 1993. Daarin was 3D Systems ze voor: in 1988 werd de SLA-1 voor het eerst verkocht. In de jaren die volgen worden andere methodes voor 3D printen ontwikkeld. DTM komt met een vorm van 'powder bed fusion', Soligen is de eerste met 'binder jetting' en in 1998 wordt 'directed energy deposition' op de markt gezet door Optomec (Bourell, 2016).

Het 3D printen komt voort uit 'Rapid Prototyping'. Waar een ontwerper in de auto-industrie soms tot twee maanden moest wachten op een prototype, werd die tijd met 3D printen verkort tot ongeveer twee dagen. Daarmee konden iteraties elkaar veel sneller opvolgen. De echte enthousiastelingen doen 3D printen al lange tijd zelf, met zelfontwikkelde printers. Wat is dan het moment dat een eerste printer voor thuisgebruik op de markt kwam? Die opkomst is geleidelijk gegaan, steeds met kleine stapjes. Het was in 2006 dat een printer op de markt kwam vanuit het project Fab@Home die een mijlpaal vormde in het echt goedkoop thuis kunnen printen (Bourell, 2016). In 2010 volgde de eerste auto met een geprinte carrosserie (Stratasys, 2010), vervolgens werden meer auto-onderdelen geprint, eerst nog met uitzondering van de aandrijflijn. Ook de modewereld begon te experimenteren, te beginnen met schoenen, bikini's en jurken (Resins Online, 2013). Het printen van huizen en andere gebouwen komt steeds dichterbij door het 3D Print Canal House in Amsterdam dat in 2013 startte (3D Print Canal House, 2016), het bedrijf Winsun dat een appartementencomplex van meerdere verdiepingen geprint heeft in 2015 (Architect Magazine, 2015) en daarna ook door projecten van vele andere bedrijven en organisaties. De mogelijkheden in de medische wereld hebben de verwachtingen daar hoog op laten lopen. In 2013 werd bij een patiënt succesvol zijn kaakbeen vervangen door een 3D geprint exemplaar nadat zijn bot sterk beschadigd was door een ongeluk (Hu & Yin, 2014). Snel volgden toepassingen in protheses, hoortoestellen en geprinte tanden en kiezen: met name delen die per persoon op maat gemaakt moeten worden. Voedsel wordt ook geprint, het zorgt voor meer vrijheden in ontwerp voor bijvoorbeeld chocola, snoep, pasta, maar ook pizza (Wong, 2014). Het Brits Museum heeft 3D modellen van verschillende historische objecten beschikbaar gemaakt zodat mensen die thuis kunnen printen (Vincent, 2014). Door 3D printen is het nu ook mogelijk om beschadigde stukken te herstellen, skeletten te printen van uitgestorven diersoorten en souvenirs te printen voor de verkoop. Vliegtuigonderdelen hebben vaak complexe vormen zodat ze licht zijn, maar wel grote krachten aankunnen. Toen wet- en regelgeving eenmaal op orde was, is in 2015 het eerste vliegende onderdeel in productie genomen. De Boeing 787 Dreamliner vliegt met ongeveer 30 geprinte onderdelen (Bourell, 2016). Het grootste voordeel voor de luchtvaarttechniek lijkt te zitten in het reduceren van het aantal onderdelen, door deze te vervangen door één 3D geprint onderdeel.

Tabel 3.1: Opeenvolgende toepassingen voor 3D printen

Jaar	Toepassing	Toelichting
1988	Rapid Prototyping	Prototypes van nieuwe ontwerpen
2006	Thuis printen	Volledige vrijheid
2010	Auto	Carrosserie
2013	Kleding	Schoenen, bikini's en jurken
2013	Bouw	Alle gebouwen
2013	Medisch	Bot, protheses, hoortoestellen, gebit
2014	Voedsel	Chocola, snoep, pasta, pizza
2014	Cultureel erfgoed	3D modellen, herstel, souvenirs
2015	Vliegtuigonderdelen	Allerlei onderdelen

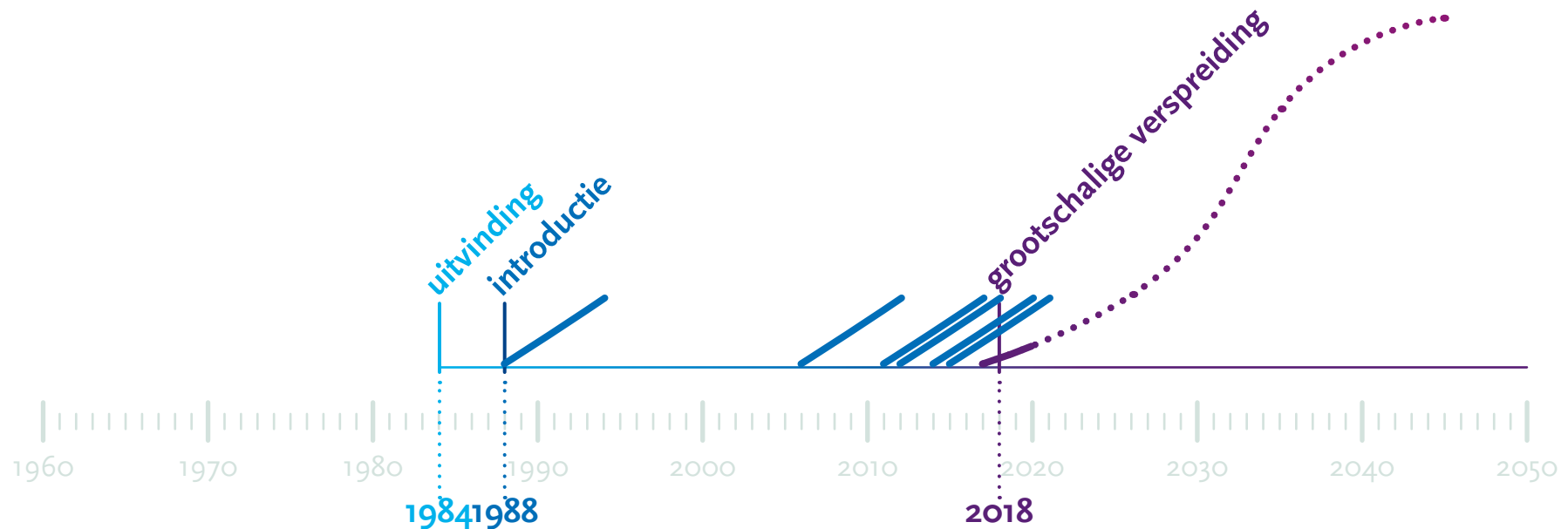
Toekomstige toepassingen waaraan gewerkt wordt spreken zo mogelijk nog meer tot de verbeelding dan bovenstaande. Er kan veel bereikt worden als het mogelijk wordt om op micro- of zelfs nanoschaal te printen. Sommige bronnen noemen 'volume-based AM' waarbij een object niet laag voor laag geprint wordt, maar waarbij elk punt van het object tegelijk geprint wordt zodat het printen geen uren of dagen meer duurt, maar enkele seconden. De medische toepassingen kunnen ook nog ver uitgebreid worden door wat wel 4D printen genoemd wordt, het printen van levende cellen: van het printen van genen naar het printen van organen tot misschien zelfs ooit organismen.

Daarnaast zijn er ontwikkelingen om meer printbare materialen te vinden. Materialen moeten bijvoorbeeld harder, sterker of slijtvaster worden. Ook is het belangrijk dat er zo min mogelijk spanningen optreden in een geprint product. Wanneer geprint wordt door middel van het verwarmen van materiaal kunnen er spanningen in het materiaal ontstaan. Overdimensionering zou dit probleem oplossen, maar in bijvoorbeeld de luchtvaart is dat niet wenselijk. Ook het combineren van verschillende materialen in één printer en in één product gebeurt steeds vaker. De eerste geprinte producten hadden nog een enigszins ribbelig oppervlakte door het printen in lagen. Door een materiaal te vinden dat geen nabewerking nodig heeft kunnen kosten bespaard worden.

Van 2010 tot 2015 is de 3D printermarkt gegroeid met gemiddeld 30% per jaar (Bourell, 2016), waarin de crisis dus is meegerekend. 3D printen zou al door 10% van de bedrijven gebruikt worden voor prototypes of productie in 2014 (Ortt, 2017). Er is een schatting die in 2020 een marktwaarde van 21 miljard verwacht voor alleen het industriële gedeelte van de markt, terwijl de markt voor consumentenprinters recent nog meer dan 100% in een jaar groeide (Steenhuis & Pretorius, 2015). Terugkijkend naar de lijst toepassingen in Tabel 3.1 is ook daar de sterke groei zichtbaar tussen 2010 en 2015. Echter, in veel toepassingen ging het om testen, eerste probeersels en experimenten. Daarvoor moesten vaak vergunningen en andere eenmalige toestemmingen verkregen worden en wetgeving liep steeds achter waardoor toepassingen al wel verkend werden, maar nog niet altijd in hun volle potentie benut worden. Zoals we in de volgende paragraaf zullen zien, zijn veel van die bezwaren nu weggenomen en hoewel sommige toepassingen nog niet de massamarkt op kunnen, kan een groot aantal dat nu wel. Het begin van grootschalige verspreiding van 3D printen is nu, in 2018.

De tijd van uitvinding in 1984 tot de eerste marktintroductie in 1988 is niet lang. Daarna heeft het echter ongeveer 30 jaar aan ontwikkelen, experimenten en niche-toepassingen gekost om 3D printen klaar te maken voor grootschalige verspreiding. Dat is aan de lange kant, vergeleken met het gemiddelde van een grote verzameling andere historische casussen (Ortt, 2010), maar wordt misschien begrijpelijker wanneer we ons realiseren wat 3D printen voor veranderingen teweegbrengt in value chains en supply chains, zoals ook relevant zal blijken in de paragraaf over de condities.

Figuur 3.1: Patroon van ontwikkeling en verspreiding van 3D printen



3.3 Conditie

Kennis van technologie

Er kunnen al onderdelen voor vliegtuigen geprint worden, de eerste gebouwen staan al en mensen kunnen thuis al printen wat ze willen. Er wordt nog sterke ontwikkeling verwacht in printkwaliteit en materialen (Lu, 2015), waardoor nog verbeterde prestaties verwacht kunnen worden, maar ook zonder die verdere ontwikkelingen kan 3D printen met de huidige kennis al veel voordelen opleveren.

Kennis van toepassingen

Het begrip en gebruik van 3D printen leidt al tot commercieel gebruik van 3D geprinte producten, maar is nog niet hetzelfde als grootschalig gebruik ervan in een bedrijf. 3D printen gaat tot grote veranderingen leiden in zowel de interne processen in productiebedrijven als in supply chains (Ortt, 2017). Die volgende stap is een complexe stap die nog niet genomen is.

Werknemers en grondstoffen

3D printen maakt veelal gebruik van beschikbare 3D software om een apparaat aan te sturen via G-code welke ook al veel gebruikt wordt voor bijvoorbeeld CNC-machines. In die zin zijn er ruim voldoende mensen met de benodigde kennis en ervaring om relatief makkelijk met 3D printers te kunnen werken. Beschikbaarheid van de benodigde 3D modellen was nog een beperking voor de consumentenmarkt, maar met open-source projecten als het RepRap project (waarover straks meer) wordt daar in hoog tempo verandering in gebracht.

Financiële middelen

Ortt (2017) noemt een aantal financiële barrières voor grootschalige verspreiding van 3D printen: hoge investeringen en hoge materiaal- en onderhoudskosten. Deze factoren hebben een remmende werking, toch zijn er ook positieve signalen zoals de vele onderzoeken naar aspecten van 3D printen waar financiering achter zit en het grote aantal bedrijven dat geprinte producten gebruikt of verkoopt.

Macro-economische en strategische aspecten

De enorme veranderingen in value chains en supply chains die bedrijven moeten ondergaan alvorens de volle potentie van 3D printen te merken, nemen lange tijd in beslag. Veel bedrijven

zijn hier al mee begonnen en de bedrijfsmodellen voor de toepassing van 3D printen op grote schaal zijn al bekend (Ortt, 2017).

Sociaal-culturele aspecten

3D printen kan (een deel van) het antwoord zijn op de vraag naar unieke, persoonlijke producten en kan bijdragen aan duurzaamheid (Wilkinson & Cope, 2015). Doordat daarmee ingespeeld wordt op bestaande trends, is er in sociocultureel opzicht weinig tegenstand te verwachten tegen grootschalige verspreiding. Bij twee toepassingen kan dat anders zijn: het printen van levende cellen resulteert in allerlei ethische discussies waarin compromissen gesloten zullen worden (Lu, 2015) en de mogelijkheid tot het printen van wapens gaat tot problemen leiden. Wanneer we zover zijn zal duidelijk worden of die toepassingen van 3D printen door het algemene publiek omarmd of afgewezen worden.

Ongelukken en onverwachte gebeurtenissen

Er zijn geen grote gebeurtenissen gevonden die grootschalige verspreiding van 3D printen lijken te remmen. Wel gebeurtenissen die juist een positieve invloed hebben, zoals de toespraak van Obama in 2012 die tot gevolg had dat veel ontwikkelingen versneld werden (Bourell, 2016).

Productprestaties

Ondanks dat er een aantal markten is waar 3D printen al direct voordelen biedt, zoals de markt voor hoortoestellen (Ortt, 2017), heeft het langzame printen met een lage kwaliteit en weinig gebruiksvriendelijkheid nog veel ontwikkeling nodig gehad. Hoewel het niet standaard is, zijn er printers met een resolutie van 1.600 dpi ('dots per inch') die daarmee een laag kunnen printen met een dikte van 16 micrometer. De printsnelheid van metalen ligt in de orde van grootte van enkele kilogrammen per uur (Lu, 2015) en een gemiddelde CNC machine verwerkt meer metaal dan dat. Ook Bourell (2016) wijst erop dat 3D printen heel snel is in het maken van prototypes, maar voor productie nog erg traag. Het trage printen is niet perse een reden om te beweren dat grootschalige verspreiding van 3D printen nog niet begonnen zou zijn, omdat huidige ontwerpen niet voldoen om niet-additieve productiemethodes en 3D printen met elkaar te vergelijken. GE heeft in een straalmotor twintig onderdelen vervangen door één 3D geprint onderdeel (Lu, 2015), daarmee wordt gecompenseerd voor de hogere kosten per onderdeel.

Productprijs

Wanneer slechts enkele exemplaren geproduceerd moeten worden, is een 3D geprint object snel goedkoper dan een niet-geprint onderdeel. Daarbij denken we bijvoorbeeld weer aan de hoortoestellen. Naarmate het productieaantal oploopt, dalen de kosten per onderdeel met traditionele productiemethodes. Bij 3D printen blijven de kosten per onderdeel echter nagenoeg gelijk. Om 3D printen beter te laten concurreren met andere productiemethodes moeten daarom de kosten per geprint onderdeel omlaag. Die kosten bestaan voornamelijk uit kosten voor de 3D printer en kosten van printmaterialen. Andere factoren die invloed hebben op de kosten zijn printsnelheid, toenemende complexiteit van het object en verlaging van verspilling van materiaal (Bourell, 2016). De kosten voor 3D printen begonnen erg hoog, maar zijn nu aan het dalen, mede onder invloed van patenten die verlopen (Ortt, 2017). Intussen kunnen 3D printsystemen al concurreren met seriegroottes tot wel 10.000 stuks (Steenhuis & Pretorius, 2015).

Andere financiële voordelen door gebruik van 3D printen zijn verminderde transportkosten wanneer op locatie geprint kan worden, denk aan een vermindering van het aantal reserve-onderdelen dat een monteur bij zich hoeft te hebben, of aan printen op locatie in de bouw. Lu (2015) kijkt nog een stap verder en wijst op de mogelijkheid dat consumenten thuis hun producten mee-ontwerpen en printen. Ontwerptijden kunnen omlaag, transport is onnodig en consumenten kunnen unieke producten krijgen.

Productiesysteem

De prijs van 3D printers is gestaag aan het dalen en verkoopcijfers gaan omhoog. Productie van 3D printers lijkt geen remmende werking te hebben op de verspreiding ervan. Wel hebben de printers zelf een potentieel revolutionaire invloed op productiesystemen.

Complementaire producten en diensten

CAD-software kan gebruikt worden om 3D modellen te creëren, maar deze software werd al veel eerder gebruikt voor technische tekeningen en de stap naar 3D printen van die modellen is dan ook voor een groot deel gezet en heeft daarmee bijgedragen aan de verspreiding van 3D printen. Groter is de stap naar een gebruiksvriendelijke en eenvoudige besturing van een 3D printer, die nog achterloopt (Ortt, 2017). Het delen van 3D modellen bij consumentenprinters is belangrijk omdat niet iedereen beschikking heeft over ontwerpsoftware en over de kennis om die te gebruiken. Makerbot, producent van consumentenprinters heeft daarvoor de Makerbot

Thingiverse opgezet waar gebruikers hun 3D modellen kunnen delen met anderen, waarna gebruikers ook op elkaars modellen voort kunnen bouwen. Momenteel zijn er al meer dan een miljoen modellen op de Thingiverse beschikbaar (MakerBot Industries, 2018). Platforms waarop vraag en aanbod bij elkaar komen om zo snel creatieve ontwerpen en oplossingen aan klanten te bieden zijn nog niet wijd verspreid. Zo heeft de consument nog weinig invloed op vraag en aanbod in de markt, weinig invloed op ontwerpen en weinig mogelijkheden om daar zelf op een laagdrempelige manier aan te werken, doordat bijbehorende software nog niet op dat niveau is. Gebruiksvriendelijke software voor de bediening van 3D printers heeft al sterke ontwikkelingen doorgemaakt, maar ontwerpsoftware blijft voor veel gebruikers te complex.

Actoren en netwerkvorming

De grootste potentiële invloed van netwerkvorming is de mogelijkheid voor consumenten om deel te nemen in het ontwerp- en productieproces om zo unieke persoonlijke producten te kunnen kopen die toch duurzaam zijn, bijvoorbeeld door het gebruik van gerecycled materiaal of door het verminderen van transport. Het hiervoor genoemde platform Thingiverse is daar een voorbeeld van. Een ander voorbeeld is RepRap. Het RepRap project begon in 2005 en heeft als doel gehad om een printer te maken die zoveel mogelijk of zelfs alle eigen onderdelen kon maken, RepRap staat dan ook voor 'Replicating Rapid Prototyper' (Steenhuis & Pretorius, 2015). Dit open-source project heeft invloed gehad op de beweging weg van 'rapid prototyping' naar printen als productieproces (Wilkinson & Cope, 2015).

Klanten

Doordat het vooral hobbyisten waren die aan de technologie werkten, waren technische uitdagingen geen probleem. Het oplossen daarvan was onderdeel van de pret van een 3D printer. Om de massamarkt te bereiken is het nodig dat printers geheel gebruiksvriendelijk en eenvoudig te bedienen zijn en software die dat bereikt voor de massamarkt is er nog niet (Lu, 2015; Ortt, 2017). Er zijn al sterke ontwikkelingen geweest en die zijn ook direct terug te zien in de recente sterke groei van de markt, van een gebrek aan gebruikers lijkt dan ook geen sprake te zijn.

Normen, regels en wetten

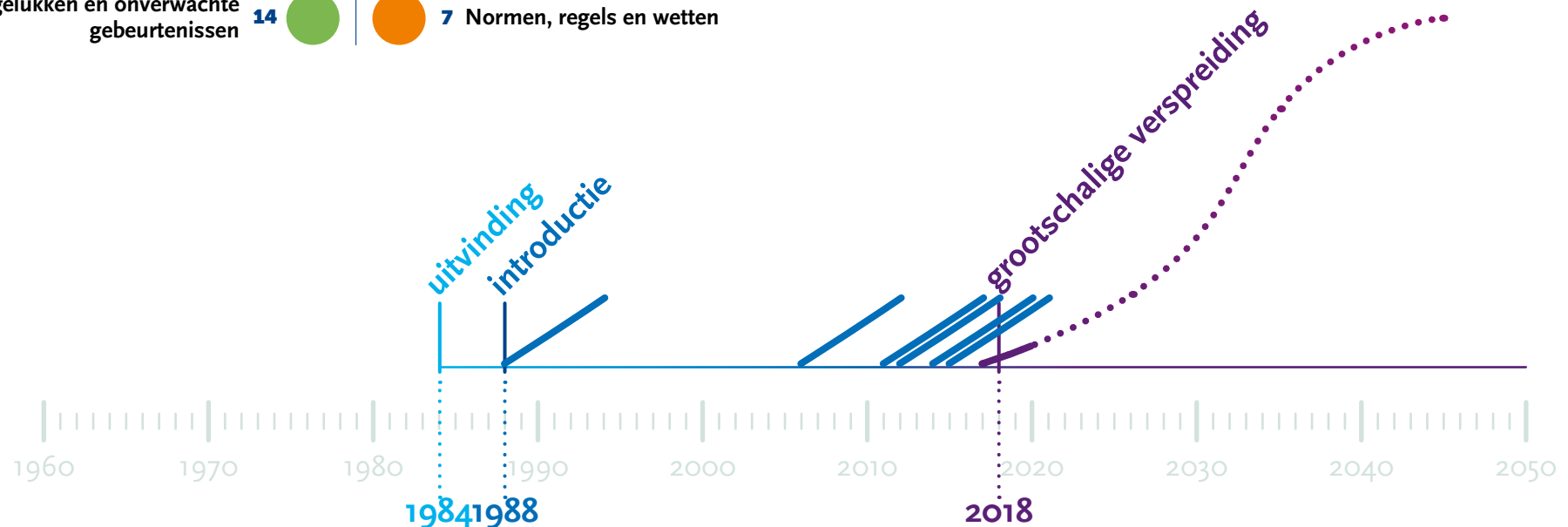
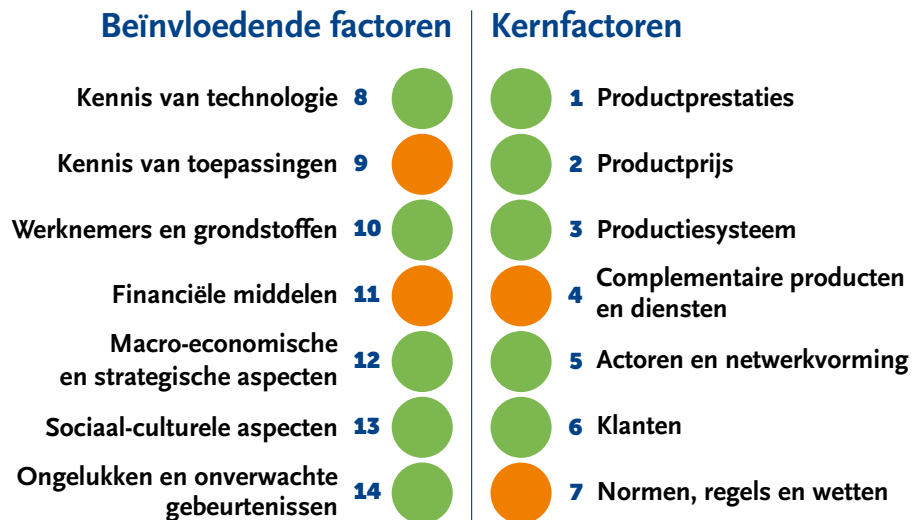
De eerste patenten, die vanaf 1984 werden toegekend voor 3D printen (Steenhuis & Pretorius, 2015), zijn al verlopen en dat heeft positieve gevolgen voor de groei van de markt, zoals door de lagere prijs van 3D printers. In China is in 2012 de China 3D Printing Technology Industry

Alliance opgericht en in 2014 is 3D printen opgenomen in twee verschillende nationale innovatieprogramma's (Hu & Yin, 2014). President Obama heeft in 2012 gesproken over US Manufacturing Innovation Institutes, waarvan de eerste datzelfde jaar nog werd opgericht met 3D printen als focus. Niet alleen dat instituut, maar ook vooral de publiciteit door Obama heeft internationale gevolgen gehad voor allerlei instellingen en organisaties die daarna meer met 3D printen zijn gaan werken (Bourell, 2016). Toch zijn er nog veel uitdagingen voor 3D printen wat wet- en regelgeving betreft. Voor alle toepassingen moeten nieuwe veiligheidseisen opgesteld en nageleefd worden. Auto's mogen nu rijden met geprinte onderdelen, vliegtuigen hebben ook steeds meer geprinte onderdelen, maar bewijs van printkwaliteit leveren is vaak lastig. In de bouwindustrie verloopt dit proces bijvoorbeeld nog moeizaam. Verdere zorgen gaan over het (illegaal) printen van wapens, wat moeilijk te monitoren is omdat online bestanden delen nauwelijks te voorkomen is. Als laatste is er nog weinig jurisprudentie beschikbaar in dit veld: eerst was meestal één organisatie verantwoordelijk voor het ontwerpen, produceren en verspreiden van een product (Bourell, 2016), dat zou nu radicaal kunnen veranderen.

Tabel 3.2: Overzicht van de condities voor 3D printen

Beïnvloedende factoren	Kernfactoren
8 Kennis van technologie	1 Productprestaties
9 Kennis van toepassingen	2 Productprijs
10 Werknemers en grondstoffen	3 Productiesysteem
11 Financiële middelen	4 Complementaire producten en diensten
12 Macro-economische en strategische aspecten	5 Actoren en netwerkvorming
13 Sociaal-culturele aspecten	6 Klanten
14 Ongelukken en onverwachte gebeurtenissen	7 Normen, regels en wetten

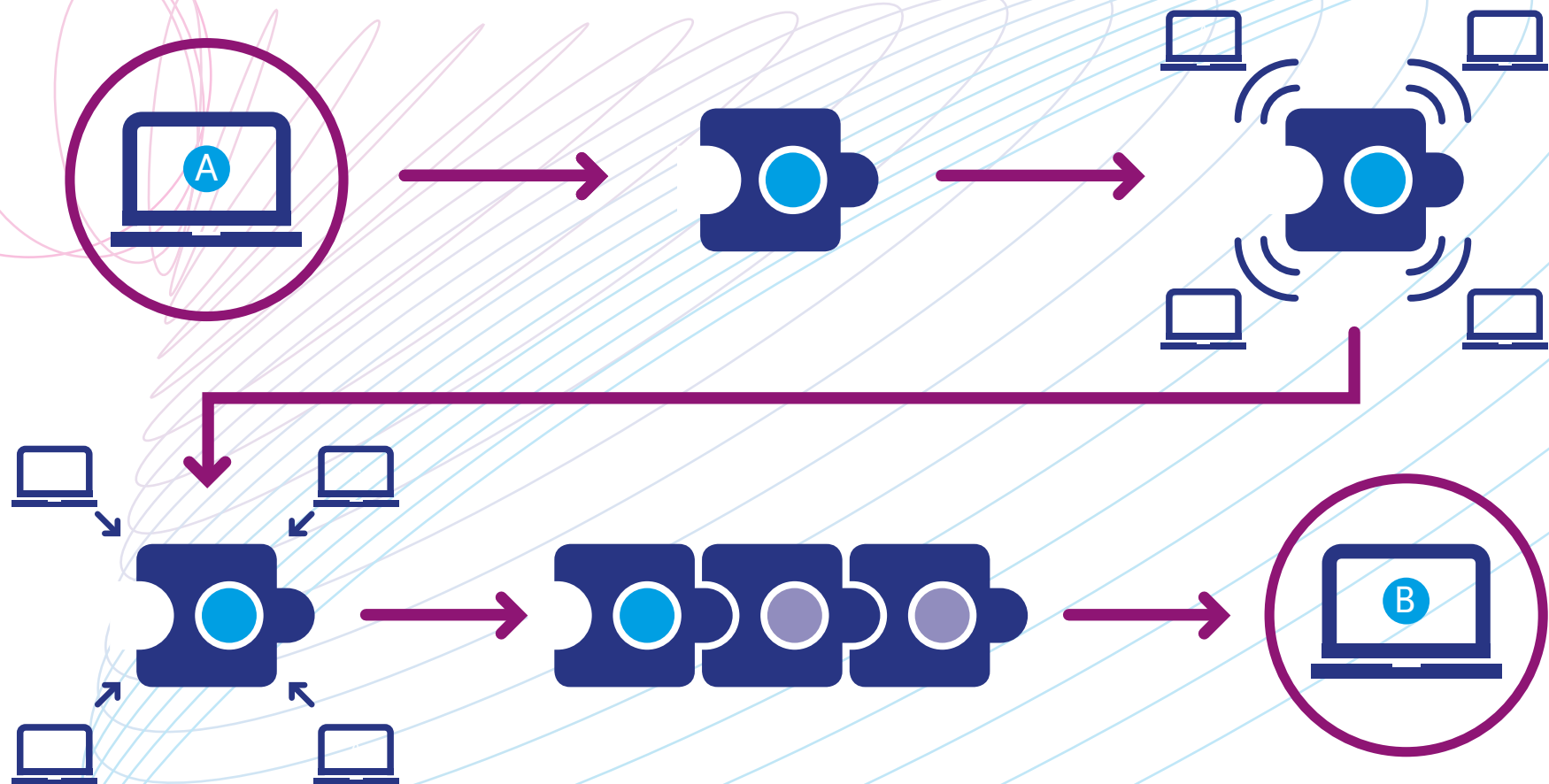
Figuur 3.2: Het patroon en de condities voor 3D printen



In het overzicht van de condities die als noodzakelijke voorwaarden gelden voor groot-schalige verspreiding, zien we dat 3D printen geen rode condities meer heeft. Een aantal staat echter nog niet op groen en verbetering van deze condities zou goed versnelde verspreiding tot gevolg kunnen hebben. Elke toepassing van 3D printers vraagt om andere parameters, voorbeelden zijn andere printmaterialen, andere eisen aan geprinte producten en andere veiligheidseisen. Behalve dat wet- en regelgeving beperkingen op kan leggen, kunnen toepassingen vaak experimenteel geprobeerd en uitgewerkt worden. Wanneer duidelijk is welke toepassingen wenselijk zijn, is er vraag naar bepaalde complementaire producten en services en komen ook meer financiële middelen beschikbaar. Andersom is ook mogelijk: complementaire producten zoals een nieuw materiaal, kunnen nieuwe toepassingen mogelijk maken. Het lijkt erop dat de markt de meeste invloed heeft op werken aan kennis over toepassingen door zoveel mogelijk niche-toepassingen uit te proberen en hard te werken aan complementaire producten en services om 3D printen zo gebruiksvriendelijker te maken en meer toepassingen te geven.



Blockchain



4. Blockchain

Waarschijnlijk kent ondertussen iedereen in Nederland tenminste één persoon die zegt dat cryptovaluta de toekomst zijn. Terwijl deze enthousiasteling onverminderd Bitcoin en andere zogenaamde ‘altcoins’ blijft propageren, ziet het grote publiek in het nieuws hoe de koers op en neer schiet. Dit hoofdstuk behandelt de ontwikkeling en verspreiding van de ‘blockchain’, het platform waarop Bitcoin gebouwd is.

4.1 Definitie

Functionaliteit

Een blockchain is een open, gedistribueerde database die transacties kan bijhouden tussen partijen op efficiënte, verifieerbare en permanente wijze (Iansiti & Lakhani, 2017).

Werkprincipes

Een blockchain protocol creëert consensus in een netwerk door elke transactie te verifiëren met eerdere transacties, door een nieuwe transactie alleen aan de ‘chain’ toe te voegen als deze overeenkomt met eerdere transacties. Daardoor kan een gebruiker nooit iets uitgeven wat hij niet in bezit heeft. Via dit systeem kan direct informatie verzonden worden naar een andere partij, zonder derde partij die de transactie uitvoert, terwijl betrouwbaarheid gewaarborgd is. Dit resulteert in veilige transacties zonder dat er vertrouwen hoeft te zijn tussen de zender en de ontvanger. Wanneer een apparaat probeert informatie te verzenden op een manier die in strijd is met de overeengekomen regels, worden acties van dat apparaat beperkt of zelfs uitgesloten. Veranderingen kunnen dan ook alleen doorgevoerd worden door een meerderheid aan stemmen te bereiken.

Componenten

Een blockchain is in eerste instantie gedefinieerd in een protocol dat de ‘spelregels’ bevat voor de actoren in het netwerk. Actoren die onderdeel willen uitmaken van de blockchain zullen gebruik maken van dat protocol. De blockchain bestaat daarmee in een netwerk van apparaten die met elkaar verbonden zijn, meestal via het internet. In principe kunnen alle actoren in het netwerk een transactie doen, maar een aantal actoren zal ook moeten controleren of de informatie wel in overeenstemming is met de historie. Wanneer deze bevestiging door een

in het protocol vastgelegd aantal actoren is gegeven, wordt het nieuwe blok aan de ‘chain’ toegevoegd. Elk van deze blokken bestaat uit een meerdere onderdelen, waarvan de ‘hash’ de eerste is: de verwijzing naar het voorgaande blok waar het nieuwe blok een vervolg op wil zijn. Daarnaast bevat elk blok de datum en tijd waarop het blok gevonden is. Als laatste bevat het blok de transactiedata, de gegevens die verzonden worden.

Blockchain en cryptovaluta

De meest bekende associatie bij blockchain zijn de cryptovaluta, waarbij de blockchain gebruikt wordt om unieke ‘private keys’ te verzenden die we bijvoorbeeld Bitcoins noemen. Ondertussen zijn er meer cryptovaluta die op dit principe gebaseerd zijn, al meer dan 1500 (CoinMarketCap, 2018). Het is belangrijk om op te merken dat in dit rapport de blockchain in zijn volle breedte besproken wordt, waarbij de blockchain dus gebruikt kan worden voor het vastleggen van alle mogelijke identiteiten (van producten of mensen) en voor elke denkbare transactie door elk willekeurig persoon of apparaat met toegang tot het netwerk. Wanneer fysieke objecten een unieke code toegewezen krijgen, kunnen ook zij van eigenaar wisselen via een blockchain. Blockchains hoeven daarbij niet openbaar te zijn en kunnen bijvoorbeeld ook gebruikt worden om binnen een bedrijf informatie tussen werknemers te verzenden.

4.2 Patroon en toepassingen

De eerste beschrijving van een reeks documenten, elk met een niet-vervalsbaar tijdstempel, komt van Haber and Stornetta (1991). Het jaar erop werd het concept van de Merkle-bomen in de reeks documenten verwerkt, hiermee werd het mogelijk om meerdere documenten te combineren in één blok, en om van alle documenten tegelijk te controleren of zij onbeschadigd zijn, of zij onveranderd zijn gebleven sinds verzending (Bayer, Haber, & Stornetta, 1992). Dat is de laatst gevonden mijlpaal voor de publicatie van de uitvinding in 2008. Tussen 1992 en 2008 zijn geen mijlpalen gevonden die overduidelijk aan de basis staan van de uitvinding van blockchain, wel blijkt er een aantal mensen gewerkt te hebben aan vergelijkbare concepten. David Chaum werkte aan DigiCash, Adam Back kwam met Hashcash, waarna B-money van Wei Dai en Bit gold van Nick Szabo gezien worden als voorlopers van de Bitcoin. Terugkijkend is het duidelijk dat de verschillende digitale valuta elkaars oplossingen hebben gebruikt en daarop door zijn gegaan, en zo is ook duidelijk dat voor de Bitcoin gebruik is gemaakt van ideeën uit de Bit gold van Nick Szabo. Szabo heeft deze ideeën gedeeld in een besloten mailing in 1998 en voor het eerst publiekelijk beschreven in 2005 (Cannucciari, 2016).

Satoshi Nakamoto publiceerde in 2008 het uiteindelijke idee waarmee de bitcoin, en daarmee ook de onderliggende blockchain, ontwikkeld is. Wie Satoshi Nakamoto is? Dat is volledig onbekend. Man, vrouw, of groep, we weten het niet. Wel heeft Nakamoto de ideeën van Szabo toegepast en daarop voortgebouwd. Niet wetende of Nakamoto die ideeën dan van meet af aan meegelezen heeft in de besloten mailing waarin Szabo hardop dacht (Szabo, 2011), moeten we concluderen dat de uitvinding van de blockchain plaatsgevonden heeft tussen 1998 en 2008. Een demonstratie van het principe van de blockchain zoals we die nu kennen in die periode van tien jaar is niet bekend. Wel is het bekend dat Nakamoto na de publicatie in 2008, samenwerking gezocht en gevonden heeft met een aantal ontwikkelaars waarna in januari 2009 de Bitcoin werkend was (Cannucciari, 2016). Daarmee lijkt het onwaarschijnlijk dat hij in de periode van 1998 tot 2008 nog geen verdere poging ondernomen zou hebben dan alleen het werk aan de theoretische publicatie. Het moment van uitvinding is daarmee onbekend, maar heeft plaatsgevonden tussen 1998 en 2008.

De entiteit Satoshi Nakamoto is voor het eerst opgedoken bij zijn publicatie in 2008. Ontwikkelingen zijn dan ook alleen bekend vanaf dat moment. Nakamoto heeft alleen online contact gehad met ontwikkelaars, zowel via forums als via e-mail. Via die weg is de benodigde software uitgewerkt aan de hand van het concept zoals geformuleerd, en waarschijnlijk al getest, door Satoshi Nakamoto (Cannucciari, 2016).

Al snel volgde de eerdergenoemde introductie van de Bitcoin in 2009, toen in januari tien bitcoins verzonden werden in de allereerste transactie ooit. De allereerste cryptovaluta was een feit. Het was pas na deze introductie dat men zich realiseerde dat het onderliggende principe, de blockchain, bruikbaar zou zijn voor veel meer toepassingen.

In 2011 werd duidelijk dat de anonieme transacties van de Bitcoin illegale activiteiten kunnen vergemakkelijken. Silk Road was een onlinemarkt voor het verhandelen van drugs, bezoek van de website was anoniem doordat deze geplaatst was op het Dark Web en betalingen konden anoniem zijn dankzij Bitcoin. Andere ideeën zoals gebruik van muziek waarvoor de artiest betaald wordt zodra het nummer afgespeeld wordt of automatische betaling voor een product bij ontvangst van het pakket kunnen ook via de blockchain uitgevoerd worden. In 2014 begon het platform Ethereum waarlangs iedereen een contract kan afsluiten op de blockchain, een zogenaamd 'slim contract'. Deze toepassing van de blockchain wordt ook wel blockchain 2.0 genoemd, omdat deze toepassing misschien nog wel meer veranderingen teweeg kan brengen

dan de cryptovaluta. Ondertussen worden cryptovaluta nog hoofdzakelijk los van overheden opgezet en gebruikt, maar komen er wel steeds meer toepassingen vanuit de overheden zelf. Een voorbeeld is de E-Dinar Coin die in 2015 door Tunesië geïntroduceerd werd als eerste nationale cryptovaluta. Senegal volgde al snel, en ondertussen werken veel landen aan eigen versies (iAfrikan News, 2016). In 2017 heeft de eerste internationale verkoop van land plaatsgevonden. Dit is onderdeel van de veel bredere mogelijkheden om eigendommen via een slim contract te verhandelen. In dit geval werd iets meer dan 2 hectare land in Californië verkocht aan een koper uit Noorwegen.

Tabel 4.1: Opeenvolgende toepassingen voor Blockchain

Jaar	Toepassing	Toelichting
2009	Cryptovaluta	Bitcoin en vele andere cryptovaluta
2011	Illegale activiteiten	Drugshandel, wapenhandel
2014	Blockchain 2.0	Voor 'slimme contracten'
2015	Nationale cryptovaluta	E-Dinar in Tunesië
2017	Vastgoed	Verkoop van landgoed

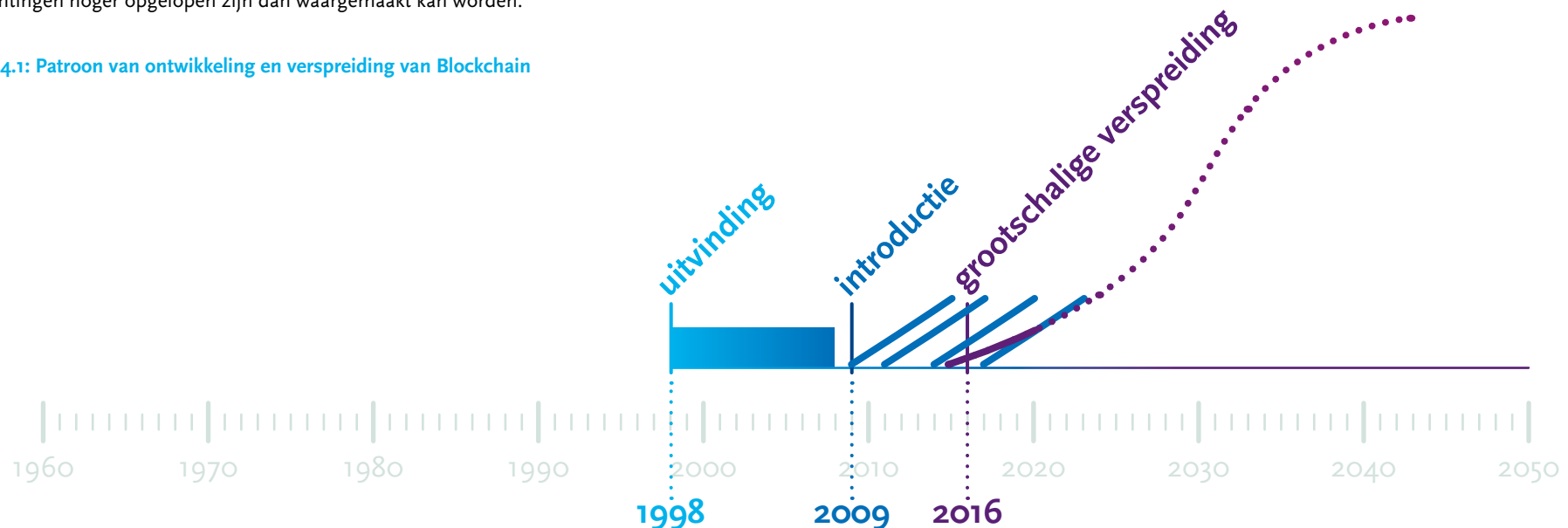
De mogelijkheden gaan nog veel verder. Als alles wat in netwerken gebeurt geverifieerd kan worden, kunnen er bijvoorbeeld online verkiezingen gehouden worden. Mensen kunnen huwelijken registreren op de blockchain. Medische patiëntinformatie kan op de blockchain opgeslagen worden en is op het juiste moment voor de juiste personen en instanties beschikbaar. Financiële diensten kunnen zullen fundamenteel veranderen omdat overeenkomsten direct en automatisch uitgevoerd worden. En de twee miljard mensen die nu in het geheel geen toegang tot financiële diensten hebben, bijvoorbeeld omdat ze zich niet kunnen identificeren, kunnen direct wereldwijd handelen met wie ze maar willen met slechts een smartphone en een internetverbinding.

Dus waar in het patroon bevinden we ons nu? Is er sprake van een grootschalige verspreiding of is er reden om aan te nemen dat blockchain nog werkt aan niche-toepassingen die wellicht nog instorten? Al in mei 2017 was er een stevige basis met een geschatte drie miljoen gebruikers van cryptovaluta wereldwijd (Gautham, 2017), waarna in november van datzelfde jaar blijkt dat Coinbase, een platform waarop de grootste cryptovaluta verhandeld wordt, al twaalf miljoen geregistreerde gebruikers heeft. Zij zorgden samen met gebruikers van andere

platforms voor 12.000 transacties per uur alleen voor Bitcoin (Sedgwick, 2017). Accenture beweert dat adoptie van blockchain technologie de 13,5% voorbij zou zijn gegaan in 2016 voor bedrijven in de financiële services (Accenture, 2017). Het bedrijf Venture Outliers kon wereldwijd zo'n 1.250 startups vinden die werken aan blockchain waarvan ruim een derde deel zich op de financiële sector richt (Sandner, 2017), AngelList (2018) heeft een online lijst van 1.913 startups kunnen vormen. Er is nu zo'n brede basis voor blockchain technologie dat het ondenkbaar lijkt dat huidige toepassingen niet zullen slagen en de S-curve opnieuw zal moeten beginnen na implementatie van een nieuwe toepassing. In die zin gebeurt er iets unieks bij de blockchain. De eerste toepassing is gelijk de basis voor alle verdere ontwikkeling, er is een platform gecreëerd dat stevig genoeg blijkt om direct op heel veel manieren te worden toegepast. Is er dan sprake van grootschalige verspreiding? Ja, we gaan mee in de vaststelling van Accenture en leggen de grens voor het begin van grootschalige verspreiding in 2016. Hebben we dus inmiddels in de volle breedte kunnen meemaken wat de potentiële gevolgen van de blockchain zijn? Geenszins, want cryptovaluta zijn nog nauwelijks bruikbaar als betaalmiddel bij bedrijven en instellingen, en slimme contracten worden voornamelijk experimenteel toegepast. Deze observatie zou een aanleiding kunnen zijn voor de conclusie dat de volle potentie van de blockchain verstreckende gevolgen heeft voor bijna de gehele wereldbevolking. Het zou ook kunnen betekenen dat de technologie zo gehypet is dat de verwachtingen hoger opgelopen zijn dan waargemaakt kan worden.

Het komt weleens vaker voor dat het moment van uitvinding van een technologie niet geheel duidelijk is terug te vinden. Verschillende personen kunnen aan hetzelfde werken, media-aandacht komt pas op gang nadat de technologie al wat verder ontwikkeld is of het begon als militaire toepassing en is daarom geheim gebleven. Het geval van blockchain is in die zin uniek: het moment van uitvinding is geheim gebleven! Er zijn ideeën uit 1998 gebruikt en in 2008 is de uitvinding gepubliceerd, ergens in die periode moet de uitvinding gedaan zijn. De eerste marktintroductie volgt in 2009 met het beschikbaar maken van de Bitcoin en daarna volgt een periode waarin veel overheden, universiteiten, onderzoeksinstituten, bedrijven, startups en ook algemeen publiek zelf aan het werk gaan met het ontwikkelen van toepassingen voor de blockchain. In deze periode wordt duidelijk dat blockchain een platform is: de niche toepassingen in de adaptatiefase worden allemaal op de blockchain gebouwd en de blockchain zelf is in de basis niet veranderd. Grootschalige verspreiding is begonnen rond 2016. De lengtes van de fasen zijn relatief kort en grootschalige verspreiding betekent vooral dat de verspreiding door zal gaan tot er een beter alternatief is. Echter, de periode die nodig is voor implementatie van alle toepassingen zou weleens erg lang kunnen worden.

Figuur 4.1: Patroon van ontwikkeling en verspreiding van Blockchain



4.3 Condities

Kennis van technologie

Hoewel de kennis nog niet tot elke organisatie is doorgedrongen waarvoor ze relevant kan zijn, lijkt het erop dat er genoeg fundamentele kennis is over de precieze werking van de blockchain.

Kennis van toepassingen

Meningen en verwachtingen variëren van een revolutie die groter is dan de opkomst van het internet en ons leven fundamenteel zal veranderen, tot een hype die weer uit zal doven en weinig echte toepassing zal vinden. Dat is een teken dat kennis over de toepassing van blockchain nog achterloopt.

Werknemers en grondstoffen

Er wordt hard gewerkt aan allerlei blockchain-toepassingen, zoals bijvoorbeeld zichtbaar in het aantal startups. Daarin en in veel andere projecten leren mensen te werken met blockchain, maar ondertussen valt bijvoorbeeld het aantal beschikbare Solidity programmeurs (voor slimme contracten via het platform van Ethereum) nog in het niet bij het aantal Java programmeurs.

Financiële middelen

De hoge verwachtingen van blockchain lijken te leiden tot ruime financiële middelen. Totale investeringen in blockchain startups werden in 2016 geschat op 1,55 miljard wereldwijd (Friedlmaier, Tumasjan, & Welp, 2016) en de totale marktkapitalisatie van cryptovaluta is de 300 miljard al ruim voorbij (CoinMarketCap, 2018).

Macro-economische en strategische aspecten

Het zijn vooral de grotere organisaties zoals overheden die voorzichtig omgaan met het reguleren van blockchain toepassingen, vooral de cryptovaluta. Het is zoeken naar een balans tussen potentiële voor- en nadelen (Pisa & Juden, 2017). En al zouden grote organisaties overgaan tot implementatie, Iansiti and Lakhani (2017) noemen de enorme verandering waar, bijvoorbeeld, een advocatenkantoor doorheen zou moeten gaan om alle overeenkomsten op te stellen als slimme contracten.

Sociaal-culturele aspecten

De sterkste negatieve geluiden over blockchain gaan of over de torenhoge verwachtingen die hoger zouden zijn dan blockchain ooit kan vervullen, of het gebruik van cryptovaluta voor illegale praktijken. Er is veel discussie over de potentie en de manier van toepassing van blockchain, maar er lijkt maar weinig protest tegen het idee van wereldwijde transacties en informatie-uitwisseling zonder derde partij.

Ongelukken en onverwachte gebeurtenissen

De publicatie van Nakamoto kwam tijdens de crisis in 2008, een moment waarop veel mensen vertrouwen in huidige financiële systemen kwijtraakten en waarop gezocht werd naar alternatieven. Sindsdien is het nieuws vol geweest van de stijgende waarde van de verschillende cryptovaluta, waarbij steeds meer benadrukt is hoe risicovol belegging in cryptovaluta is. Het is bedoeld als betaalmiddel, maar huidige volatiliteit laat dat niet toe. Ook de DAO hack en hacken van platforms als Coinbase en Bitfinex verlagen het vertrouwen in cryptovaluta en daarmee wellicht ook in blockchain in het geheel. Ook worden Bitcoins vaker genoemd in combinatie met illegale praktijken, waar de onlinemarkt Silk Road een voorbeeld van is.

Productprestaties

Het concept van de blockchain wordt voornamelijk gebruikt als platform, om uit te bouwen met behulp van andere toepassingen. Onderwerpen van verandering zijn de verdeling van stemrecht in het netwerk en manieren om meer informatie met minder rekenkracht verwerkt te krijgen.

Productprijs

Door een tussenpartij onnodig te maken, kunnen transacties over de hele wereld via de blockchain plaatsvinden met lagere transactiekosten dan nu het geval is via banken. Nu wordt dat nog bemoeilijkt door de hoeveelheid informatie die in één blok verwerkt kan worden en door de volatiliteit van de cryptovaluta. Wanneer meer informatie, dus meer transacties, per blok aan de blockchain toegevoegd kan worden, gaan de transactiekosten verder omlaag en zullen ze gauw onder de huidige kosten van het bankensysteem duiken. Helaas zorgt de hoge volatiliteit van de cryptovaluta soms voor de betaling van een onjuist bedrag, omdat de koers gedurende het invoeren en verwerken van de transactie al teveel veranderd is. De potentiële kostenreductie door eliminatie van de tussenpersoon is terug te vinden in alle toepassingen van de blockchain.

Productiesysteem

Van productie is in het geval van blockchain lang niet altijd sprake. De toepassing bouwt meestal voort op het bestaande internetnetwerk en veel software is open source. Voor alle verschillende toepassingen wordt vaak nog wel software ontwikkeld, voortbouwend op de blockchain die als platform fungeert, maar er zijn geen aanwijzingen dat deze vorm van productie de grootschalige verspreiding van blockchain in de weg zou staan. Integendeel, het is juist erg eenvoudig om zelf een applicatie op de blockchain te ontwikkelen.

Complementaire producten en diensten

De blockchain zelf is vooral een platform, de waarde ervan ligt vooral in het groot aantal ingrijpende toepassingen dat erop gebaseerd kan worden. Complementaire producten en services zijn in die zin onmisbaar, de meer dan 1000 startups die zich hier wereldwijd op toeleggen zijn een sterke aanwijzing dat deze in ontwikkeling zijn. In de diamantenindustrie wordt de weg van edelstenen door complexe supply chains gevolgd met behulp van blockchain, die technologie en services worden kant-en-klaar aangeleverd (Iansiti & Lakhani, 2017). Ondertussen staan de slimme contracten nog in de kinderschoenen.

Actoren en netwerkvorming

Een organisatie die gaat werken met een publieke blockchain zal bijna geen invloed op die blockchain kunnen uitoefenen (Pisa & Juden, 2017), daarnaast zijn overheden vaak toch al terughoudend over cryptovaluta. Toch lijken deze problemen voor overheden geen rem te zetten op netwerkvorming. Er zijn talloze voorbeelden van overheden, universiteiten, onderzoekscentra, banken, bedrijven en andere groepen en organisaties die elkaar ontmoeten met de enthousiaste instelling om samen te werken aan ontwikkelingen en implementaties.

Klanten

Iedereen met een internetverbinding kan deelnemen in publieke blockchains. De potentie is daarmee enorm. De gemiddelde gebruiker van Bitcoin is een 32 jaar oude mannelijke libertariër die geïnteresseerd is door nieuwsgierigheid, winst en politiek (Guadamuz & Marsden, 2015). Een experiment onder MIT studenten waarbij 4.494 studenten gratis 100 dollar aan Bitcoin aangeboden kregen, vond dat 30% van de studenten geen interesse toonde. Van de studenten die het aanbod aannamen heeft 20% binnen een paar weken de Bitcoins verkocht voor dollars (Iansiti & Lakhani, 2017). Veel mensen tonen interesse in blockchain, maar is vaak nog niet duidelijk genoeg om ermee te kunnen werken.

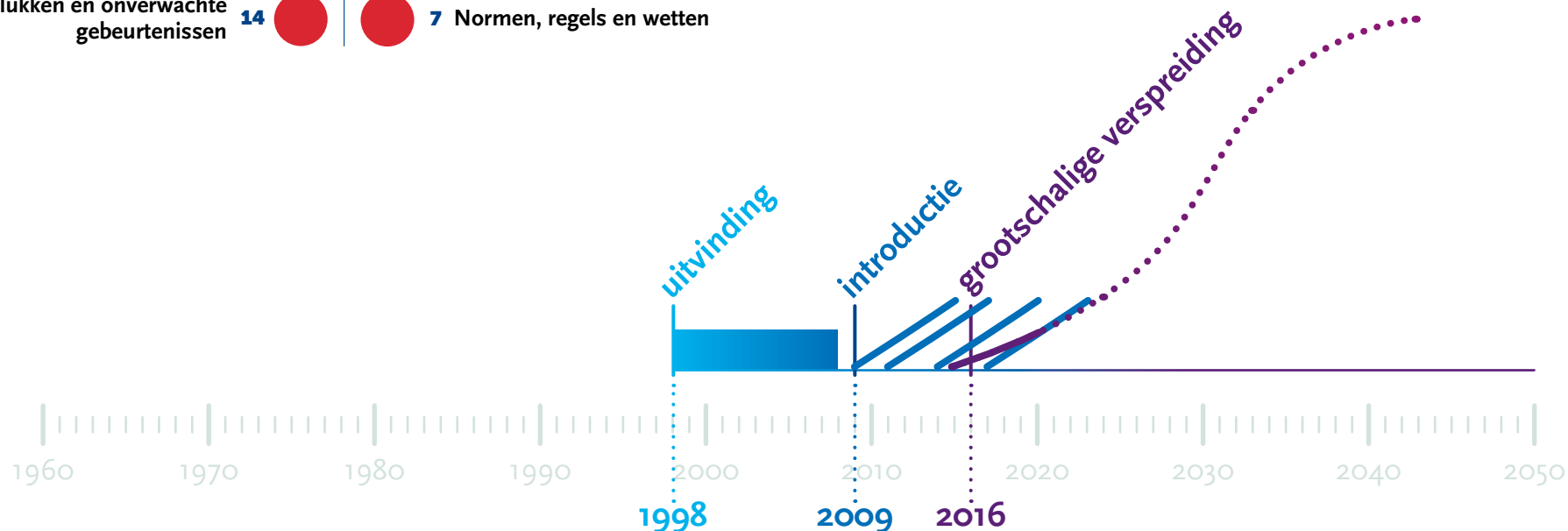
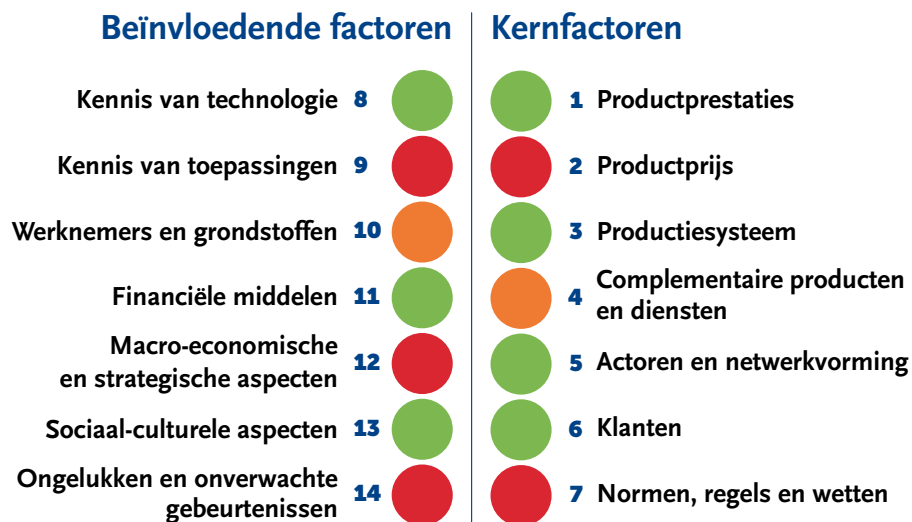
Normen, regels en wetten

Veel cryptovaluta maken gebruikers grotendeels anoniem, waardoor er veel kritiek is op het mogelijke gebruik ervan voor illegale praktijken. Dat bemoeilijkt politieke betrokkenheid en ontwikkeling van beleid voor cryptovaluta. Een misschien nog wel groter bezwaar voor de overheid is het verliezen van de controle over monetair beleid (Iansiti & Lakhani, 2017). De terughoudendheid van veel overheden en signalen over eventuele verboden op cryptovaluta zijn daarmee begrijpelijk. Overheden zijn daarmee niet perse een terughoudend tegenover alle blockchain-toepassingen: Dubai heeft bijvoorbeeld bekend gemaakt in 2020 alle overheidsdocumenten op blockchain uit te willen geven (Gupta, 2017).

Tabel 4.2: Overzicht van de condities voor Blockchain

Beïnvloedende factoren	Kernfactoren
8 Kennis van technologie	1 Productprestaties
9 Kennis van toepassingen	2 Productprijs
10 Werknemers en grondstoffen	3 Productiesysteem
11 Financiële middelen	4 Complementaire producten en diensten
12 Macro-economische en strategische aspecten	5 Actoren en netwerkvorming
13 Sociaal-culturele aspecten	6 Klanten
14 Ongelukken en onverwachte gebeurtenissen	7 Normen, regels en wetten

Figuur 4.2: Het patroon en de condities voor Blockchain

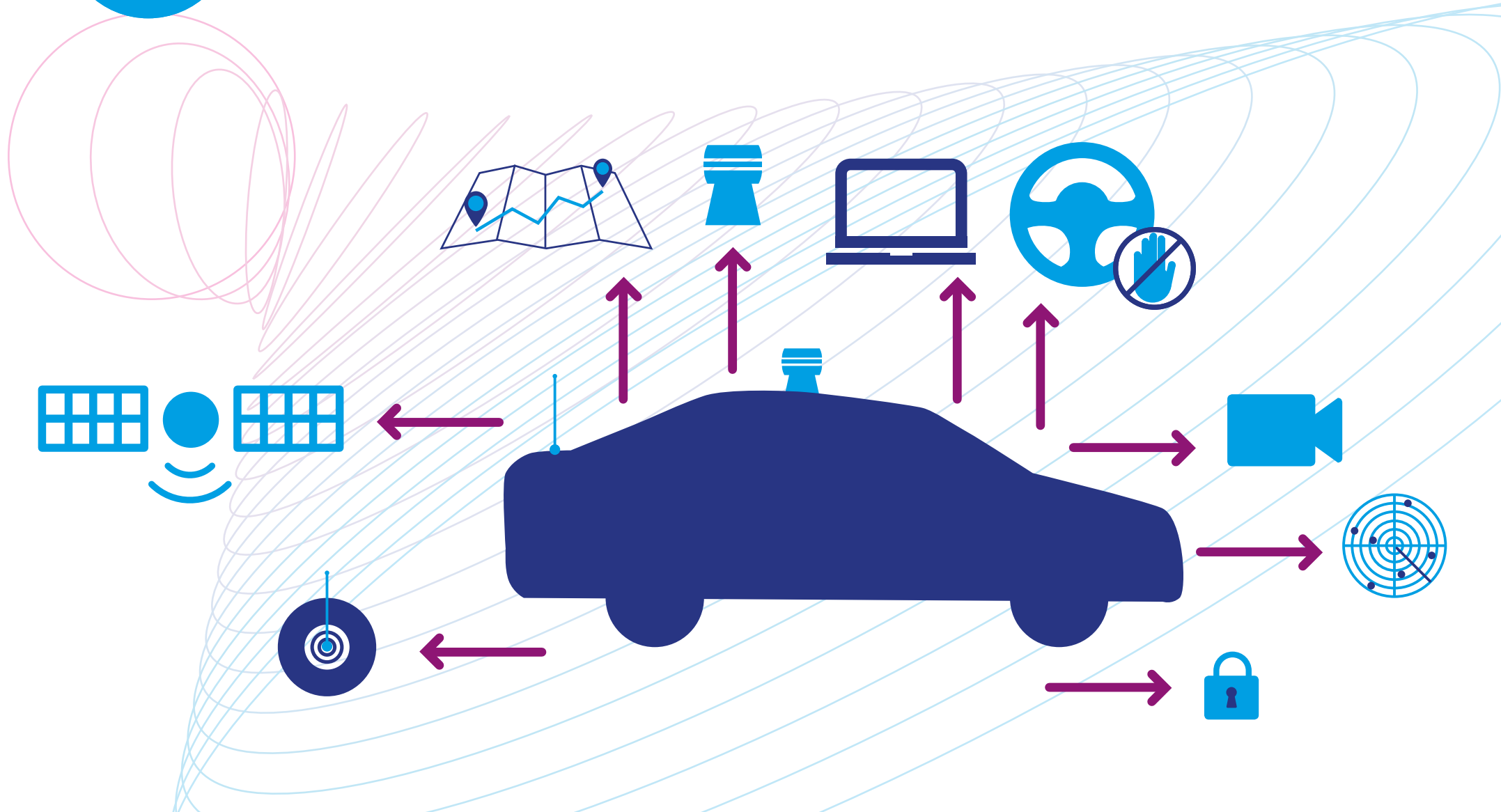


De condities van dit model zijn voorgesteld als noodzakelijke voorwaarden voor grootschalige verspreiding. Toch stelden we onder 'Patroon' dat grootschalige verspreiding rond 2016 begonnen is, terwijl we hierboven zien dat nog lang niet alle condities op groen staan. Allereerst geeft dit aan dat blockchain zich op een andere manier ontwikkelt dan de meeste andere radicaal nieuwe technologieën. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn dat blockchain een platform is en dat hoge verwachtingen kunnen compenseren voor bepaalde gebreken.

Het grote publiek lijkt vaak enthousiast over de toepassingen van blockchain, maar snapt zowel de blockchain als de toepassingen niet echt. Nu hoeft dat ook niet, zo zien we bijvoorbeeld bij het internet, maar zolang toepassingen in de pioniersfase zitten zal dat toch remmend werken. Het beperkte begrip van toepassingen houdt ook bedrijven voorzichtig in gebruik van de blockchain in bestaande processen, helemaal in combinatie met de achterblijvende wet- en regelgeving. Veel overheden overwegen om regelgeving op te stellen voor de blockchain, maar op welke manier en in welke mate wordt wereldwijd nog heftig bediscussieerd. Condities die daarom het belangrijkst lijken om te beïnvloeden zijn de kennis van de toepassing door demonstraties en experimenten en wet- en regelgeving bijvoorbeeld door nauw overleg met overheden en toonaangevende innovatieve organisaties in de markt.



Zelfrijdende auto



5. Zelfrijdende auto

De hele twintigste eeuw is nagedacht over en geëxperimenteerd met zelfrijdende auto's. Rond 1920 reden al op afstand bestuurd radiografische auto's rond. Later, in de jaren '50, kwamen er auto's die langs een elektronisch strip of anderszins aangebrachte markering konden rijden. Sinds de jaren '80 zijn er zelfrijdende auto's die autonoom rijden. Het lijkt erop dat de zelfrijdende auto op doorbreken staat! Dit hoofdstuk behandelt de ontwikkeling en verspreiding van de zelfrijdende auto.

5.1 Definitie

Functionaliteit

Een zelfrijdende auto is een auto die, nadat de gewenste bestemming is doorgegeven, zelf zijn route bepaalt en beweegt door het normale verkeer, zonder interventie van een menselijke bestuurder.

Werkprincipes en componenten

De zelfrijdende auto is een complex systeem dat bestaat uit meerdere componenten die elk gebaseerd zijn op hun eigen technologische principes. Het eerste deelsysteem is de auto zelf. Het tweede deelsysteem is het navigatiesysteem dat veelal is gebaseerd op de combinatie van een elektronische routekaart en plaatsbepaling middels gps (al dan niet gecorrigeerd, bijvoorbeeld met DGPS of door de afstand te meten middels het aantal wielomwentelingen). Ten derde een verzameling van verschillende sensoren, elk gebaseerd op hun eigen technologische principes: elektronische camera's, radar, laser, sonar en infrarood sensoren. Elk van deze sensoren hebben hun eigen karakteristieken. Ten vierde een computer met software om alle signalen van de sensoren en het navigatiesysteem te combineren en vervolgens te komen tot een keuze hoe nu precies te rijden. De software is vaak gebaseerd op een zelflerend algoritme. Tenslotte is het belangrijk dat de besturingssignalen van de computer worden overgebracht naar de auto, het gas, de rem, het stuur, en de verlichting.

Zelfrijdende en automatische auto

Een auto die op een vast en afgebakend traject zelfstandig heen en weer rijdt, is geen zelf-

rijdende auto volgens onze definitie. Al ver voor de eerste zelfrijdende auto waren er voertuigen, bijvoorbeeld op een afgesloten traject op een vliegveld, die automatisch heen en weer reden. Zulke voertuigen maken gebruik van één vast geprogrammeerd traject of van een extra afbakening van de route, bijvoorbeeld met een elektronische strip of een andere afbakening die niet aanwezig is op de openbare weg.

De zelfrijdende auto is een complex systeem dat bestaat uit allerlei deelsystemen die op hun beurt ook weer complexe systemen zijn. Het is opvallend dat voorafgaand aan de eerste zelfrijdende auto's maar ook daarna, verschillende van deze deelsystemen los beschikbaar kwamen voor auto's. Cruise control is misschien de eerste stap, later volgen 'adaptive cruise control' waarin de snelheid wordt aangepast als de auto te dicht bij andere auto's komt, 'lane departure warning system' dat vaststelt of de chauffeur zonder richting aan te geven van baan lijkt te verwisselen, 'parking assistance' dat het stuur draait bij het achterwaarts inparkeren (de bestuurder geeft dan wel zelf gas), of 'automatic brake' dat automatische remt als er een object of persoon voor de auto komt en de bestuurder niet (snel genoeg) reageert.

Omdat de mate van autonomie van de zelfrijdende auto kan verschillen is een systeem geformuleerd met niveaus van autonomie (TechRepublic, 2016).

Niveau 1: Bestuurder bestuurt de auto met behulp van geautomatiseerde systemen zoals 'adaptive cruise control' en 'lane departure warning system' of 'parking assist'.

Niveau 2: De auto kan zelf optrekken, remmen en sturen maar de bestuurder blijft opletten en houdt vaak de handen aan het stuur.

Niveau 3: De auto kan zelfstandig rijden en de bestuurder kan iets anders doen maar de bestuurder moet binnen een bepaalde tijd en na een waarschuwing alsnog kunnen ingrijpen.

Niveau 4: Bestuurder hoeft niets meer te doen (kan gaan slapen). Handmatig rijden is alleen in bijzondere situaties toegestaan.

Niveau 5: De bestuurder kan niet meer ingrijpen, er is vaak geen stuurwiel in de auto.

Wij spreken in dit hoofdstuk van een zelfrijdende auto als de auto minstens niveau 3 van autonomie heeft.

5.2 Patroon en toepassingen

Vanaf de jaren 20 in de twintigste eeuw is er geëxperimenteerd met geautomatiseerde voertuigen. Aanvankelijk waren die voertuigen radiografisch bestuurd vanuit een andere auto die in de buurt reed, zoals is gedemonstreerd in 1926 met de radiografisch bestuurde auto, de 'Linrrikan Wonder'. In die auto werden de radiosignalen doorgegeven naar kleine elektrische motortjes waarmee de beweging van de auto werd beheerst (Brimbrow, 2015).



Illustratie 5.1: The 'Linrrikan wonder' een radiografisch bestuurde auto.

Later werd ook gebruik gemaakt van elektrische auto's die via een in de weg aangebracht elektronisch circuit werden gestuurd, zoals de demonstratie van de 'Phantom auto' op de Wereldtentoonstelling van 1939. In de jaren '50 en '60 werden soortgelijke systemen verder geperfectioneerd en op kleine schaal gedemonstreerd op de openbare weg. Later, in de jaren '70, werden ook de eerste ramingen gepresenteerd van de kosten en opbrengsten van een systeem met een elektronisch circuit in de weg dat de auto begeleidt. Geschat werd dat door de toegenomen capaciteit van de wegen (met tenminste 50%) en door de afname in ongelukken (met ongeveer 40%) de investering in het systeem voor het einde van de eeuw kon worden terugverdiend (Reynolds, 2001). Een dergelijk systeem is nooit ingevoerd en is nu hopeloos verouderd, immers heeft een zelfrijdende auto geen elektronisch circuit nodig in de weg.

In 1968 werd op de Weense conventie voor wegverkeer, een conventie waarbij 70 landen waren aangesloten, een fundamenteel principe vastgelegd: de bestuurder heeft altijd de controle en is ook volledig verantwoordelijk voor het gedrag van een voertuig in het verkeer. Dit principe vormt een ernstige belemmering voor de zelfrijdende auto. De instituties, regels en wetten, zullen een belemmering blijven voor lange tijd omdat al deze instituties zijn gevormd met een verkeerssysteem in gedachten waarin bestuurders gedrag van voertuigen bepalen.

Vanaf de jaren '70 werd ook buiten de auto-industrie aandacht besteed aan componenten die nodig zijn voor zelfrijdende auto's. In die periode werd bijvoorbeeld onderzoek gedaan naar kunstmatige intelligentie en zelflerende systemen, wat weer input oplevert voor computeralgoritmen voor zelfrijdende auto's.

In de jaren '80 verschijnen de eerste zelfrijdende auto's die voldoen aan onze definitie: deze auto's konden langere tijd in het verkeer rijden zonder interventie van een bestuurder. In 1983 reed de Terragator, een autonoom autootje van Carnegie Mellon University, bedoeld voor ruw terrein, zelfstandig rond. Dit karretje werd gezien als een voorloper van autonome voertuigen die voor allerlei toepassingen gebruikt konden worden: het opruimen van gevaarlijk afval (de bouwer, Whitaker, was actief geweest bij het opruimen van een ongeluk in een nucleaire reactor), het exploreren van verre planeten (de VS hadden al een reis naar de maan uitgevoerd) en het uitvoeren van onderwater verkenningen. In 1986 demonstreerde de Carnegie Mellon University de Navlab, een zelfrijdend busje. Deze bus had al een laser scanner (Lidar) om de omgeving in kaart te brengen. Tevens werd gewerkt aan algoritmes om alle informatie te verwerken en de auto aan te sturen. In 1987 rijdt een zelfrijdende Mercedes-Benz bus rond die door de Bundeswehr University in München is gemaakt met geld van het Europese Eureka Prometheus Project. Deze bus kon 95% van de tijd zelfstandig rijden op de snelweg.

In Europa wordt onderzoek naar de zelfrijdende auto middels Eureka (een verbond van Europese overheidsorganisaties) gefinancierd tussen 1987 en 1995. In de VS start DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) een project om een autonoom landvoertuig te ontwikkelen in samenwerking met verschillende partijen. Dit voertuig beschikte over een laser sensor en elektronische camera gekoppeld aan een computer waarmee het voertuig autonoom bewoog met lage snelheid door open terrein. De software om de info van alle sensoren te verwerken en het voertuig aan te sturen wordt eind jaren '80 gevormd door Carnegie Mellon University met gebruik van neurale netwerken als basis voor het beheersen van het voertuig.

In de jaren '90 wordt in de VS door het US Congres een wet aangenomen die de USDOT (US Department of Transportation) aanspoort om voor 1997 met partners een zelfrijdend voertuig te demonstreren. In dat jaar worden 20 zelfrijdende voertuigen samen gedemonstreerd. Aan het einde van de jaren '90 wordt de financiering van het project stopgezet vanwege een inperking van het onderzoeksbudget. Elders wordt er op verschillende plaatsen geëxperimenteerd met zelfrijdende auto's, die steeds harder kunnen rijden, een steeds groter percentage

kan daadwerkelijk autonoom functioneren in het verkeer. In diezelfde periode wordt ook een pilot gedaan met de ParkShuttle, een zelfrijdende bus die op luchthaven Schiphol en op een bedrijvenpark in Nederland wordt ingezet om zonder bestuurder passagiers te vervoeren. De bus was niet autonoom volgens onze definitie maar reed op een gemarkeerd traject met in de rijbaan geplaatste magneten, het traject had wel kruisingen waar voetgangers, fietsers en auto's konden rijden.

In de late jaren '90 komen Toyota (1998) en Mercedes (1999) op de markt met Adaptive Cruise Control (ACC), een belangrijke component in het complexe systeem van de zelfrijdende auto. ACC benut een laser om de afstand tot een volgend auto te bepalen en vertraagt automatisch wanneer die afstand te klein wordt. Op dat moment wordt de zelfrijdende auto een onderwerp van onderzoek voor alle grote autofabrikanten.

In het eerste decennium na 2000 blijft DARPA zelfrijdende voertuigen verder ontwikkelen. In 2004, 2005 en 2007 worden er Challenges georganiseerd door DARPA waarbij 1 miljoen dollar wordt uitgelooft voor het voertuig dat het snelst 150 mijl door de woestijn kan afleggen. Mercedes verfijnt ondertussen in 2005 haar Adaptive cruise control, Distronic plus genaamd, waarbij de auto ook zelfstandig volledig tot stilstand kan komen indien nodig. Dit wordt gedemonstreerd op tv in een populair autoprogramma.

In 2008 wordt voor het eerst een voertuig op de markt geïntroduceerd dat zelfstandig is volgens onze definitie. Tot dat moment was er sprake van wetenschappelijke projecten en pilots, nu was er voor het eerst een verkoop. Het gaat hier om een zelfrijdende vrachtwagen die op een afgesloten bedrijfsterrein in Australië van een mijn wordt ingezet. De zelfrijdende auto is kostenbesparend en wordt ingevoerd als onderdeel van een groter bedrijfsmatig systeem waarin verschillende activiteiten (boren, kranen, vervoer) grotendeels automatisch worden uitgevoerd en op afstand gemonitord kunnen worden.

Na deze eerste introductie worden rond 2010 meerdere prototypes ontwikkeld van zelfrijdende auto's zoals de zelfrijdende elektrische auto's van GM met Segway en de zelfrijdende Audi die een bergtraject aflegt. In de praktijk worden steeds meer deelsystemen van het zelfstandig rijden gemonteerd als optie in gangbare automodellen, zoals adaptive cruise control, lane assist, parking assist en automatisch remmen in de Mercedes S-klasse en de Infiniti Q50. De auto-industrie kiest dus voor een strategie waarin deelsystemen worden geïntroduceerd in

topmodellen. Mercedes blijft bijvoorbeeld haar S-klasse uitbreiden met steeds meer toevoegingen die de mate van autonomie van de auto vergroten.

In 2014 volgt dan de tweede marktintroductie van een zelfrijdende auto, de Navia shuttle, een elektrisch karretje dat zelfrijdend tot 8 passagiers kan vervoeren met een snelheid van 20 km per uur op vliegvelden, themaparken, en in voetgangersgebieden. In 2016 wordt een zelfrijdende taxi in Singapore geïntroduceerd.

Opvallend is dat ook nieuwkomers de markt betreden met elektrische zelfrijdende auto's. Google werkt aan een zelfrijdende auto en Tesla introduceert haar elektrische auto die is voorbereid op zelf rijden. Tesla kiest ervoor om de software in haar elektrische auto's te testen en te verfijnen alvorens een zelfrijdende auto te introduceren, of beter nog: alvorens de software voor zelfrijdende auto's te installeren in bestaande auto's.

Daarna komt Volvo met een groot aantal Xc90's die rond Gotenburg worden geleased en daar autonoom mogen rijden in een pilot. In 2017 komt Audi met een zelfrijdende A8 op de markt. Een overzicht van de toepassingen wordt gegeven in onderstaande tabel

Tabel 5.1: Opeenvolgende toepassingen voor zelfrijdende auto's

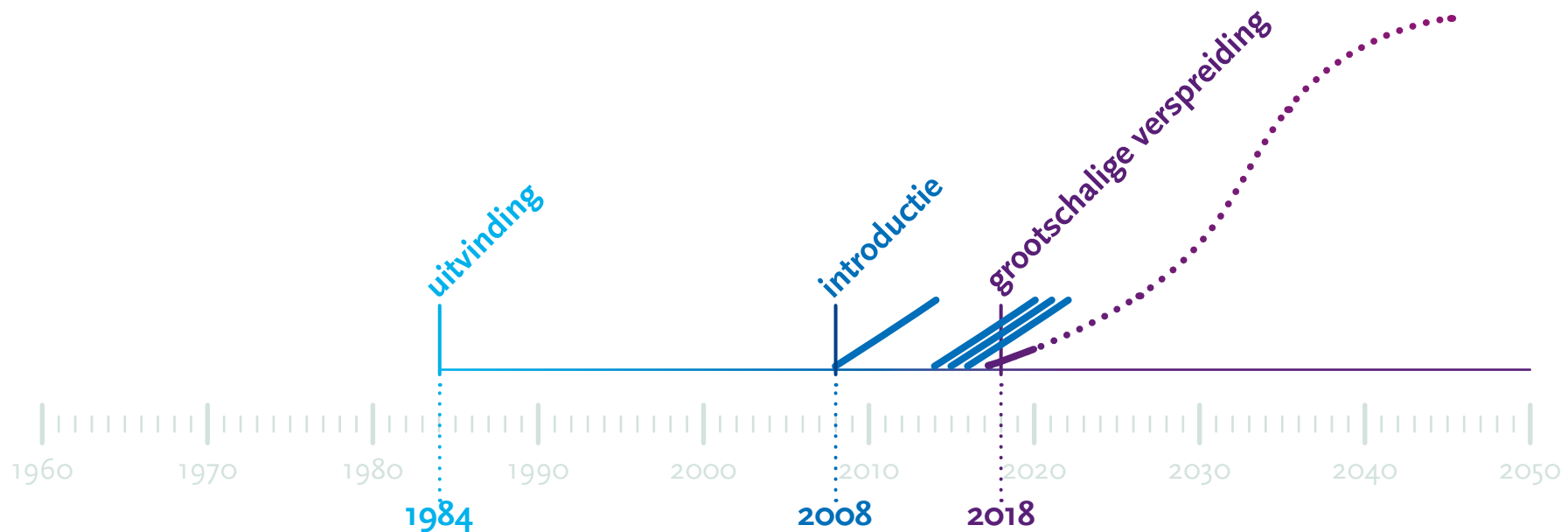
Jaar	Toepassing	Toelichting
2008 - 2011	Vrachtwagens in mijnbouw	Gebruik in afgesloten industriële gebieden en niet op de openbare weg.
2014	Shuttle voor passagier transport	Navia shuttle van Induct Technology, een bedrijf van buiten de automotive sector, wordt verkocht voor gebruik in specifieke gebieden buiten de openbare weg.
2016	Taxi service	In augustus 2016 wordt in Singapore lanceert nuTonomy de eerste zelfrijdende taxi.
2016 - 2017	Tesla (potentieel) zelfrijdende auto	Vanaf 2016 zijn alle Tesla's voorbereid in hun hardware op zelf rijden. De software draait op de achtergrond maar is nog niet actief.

2017	Volvo leasing zelfrijdende auto's	In 2017 worden in Gotenburg een groot aantal Volvo XC90 geleased die zelfrijdend kunnen functioneren op daarvoor aange- wezen gebieden.
2017	Audi's eerste zelfrijdende auto in productie	In 2017 de Audi A8 met AI kan tot 60km per uur zelfrijdend verplaatsen.

Als we alle informatie op een rij zetten ontstaat het volgende beeld van het patroon: de uitvin-
ding is rond 1986 gedaan met de demonstratie van de eerste zelfrijdende voertuigen. In 2008
wordt de eerste zelfrijdende auto, een vrachtwagen, geïntroduceerd in de markt. Na die intro-
ductie volgen enkele ander marktintroducties in specifieke markt-niches.

Dus waar in het patroon bevinden we ons nu? We bevinden ons vlak voor het begin van groot-
schalige verspreiding. Dit op grond van de aangekondigde marktintroducties van zelfrijdende
auto's, bijvoorbeeld door Toyota en andere fabrikanten.

Figuur 5.1: Patroon van ontwikkeling en verspreiding van de zelfrijdende auto

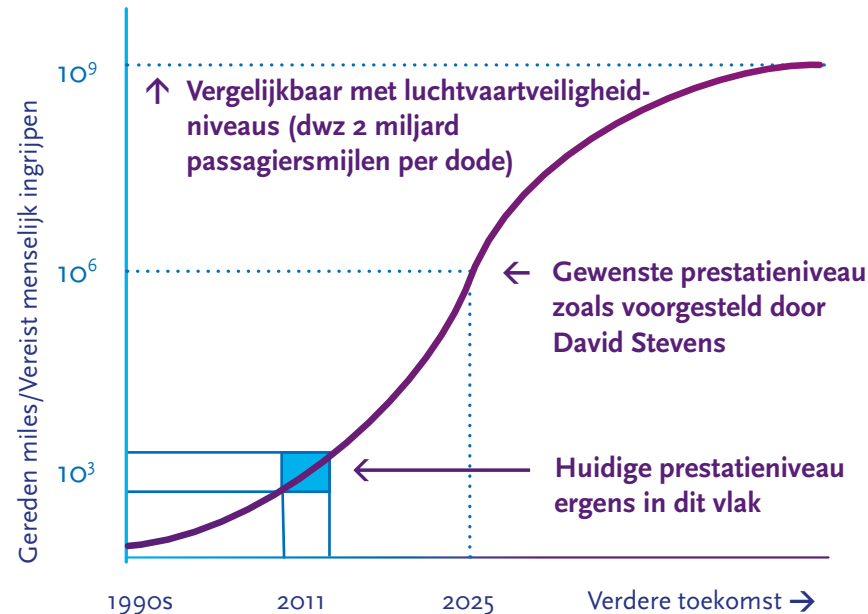


5.3 Condities

Kennis van technologie

De basistechnologie voor zelfrijdende auto's is beschikbaar maar er zijn nog veel losse eindjes. Bijvoorbeeld in het foutloos en hacker- en privacy-proof maken van de software.

Illustratie 5.1: De toename van de prestatie van zelfrijdende auto's (More and Lu, 2011)



Kennis van toepassingen

De belangrijkste toepassingen van de zelfrijdende auto zijn grotendeels bekend. Met dezelfde technologie worden echter ook een heleboel andere toepassingen mogelijk in industriële en logistieke processen, en die zijn nog niet allemaal bekend.

Werknemers en grondstoffen

De werknemers en grondstoffen vormen geen beperking.

Financiële middelen

Financiële middelen vormen geen beperking.

Macro-economische en strategische aspecten

Zelfrijdende auto's kunnen leiden tot een aanzienlijk verlies van banen in de vervoersbranche, taxidiensten, pakketdiensten, enzovoorts. Maar zelfrijdende auto's kunnen ook veel positieve economische effecten hebben zoals werktijd tijdens autoritten en minder verlies van werknemers door ongelukken.

Sociaal-culturele aspecten

Er zijn verschillende ethische kwesties: hoe laat je een computeralgoritme kiezen voor een bepaalde ingreep om het aantal gewonden te reduceren? Verder moeten veel mensen wennen aan het gebrek aan controle. Tenslotte vinden veel mensen autorijden plezierig, een zelfrijdende auto kan dan leiden tot weerstand.

Ongelukken en onverwachte gebeurtenissen

Alhoewel zelfrijdende auto's nu al minder ongelukken maken dan auto's die bestuurd worden door een chauffeur is er toch veel aandacht voor ongelukken. Een dodelijk ongeluk met een Uber-taxi in maart 2018 was wereldnieuws. Er wordt een lijst van ongelukken bijgehouden. Die ongelukken hebben een enorme invloed op de perceptie van de consument.

Productprestaties

De technologie is nog niet perfect. Sensoren kunnen worden geblokkeerd, er zijn fouten en afwijkingen in de hardware en de software. Die randgevallen geven aan dat er veel onbekend is. Auto's kunnen hun weg niet vinden in de sneeuw, een papierzak en een overstekend dier worden niet herkend, en dat kan onnodig gevaarlijke situaties opleveren. Betrouwbaarheid van de software is een uitdaging.

Productprijs

De zelfrijdende auto zelf is natuurlijk duurder door alle extra apparatuur. Dat scheelt al gauw duizenden euro's. Er zijn ook veel besparingen door het voorkomen van ongelukken, een lagere verzekeringspremie, intensiever gebruik van de weg.

Productiesysteem

Veel autofabrikanten zijn klaar om zelfrijdende auto's te fabriceren: Infinity, Toyota, Mercedes, Audi, Google, Tesla. Vele componenten (de sensoren, de computer en het control system, etc.) zijn beschikbaar, productie is geen probleem.

Complementaire producten en diensten

Alle systemen in de zelfrijdende auto zijn beschikbaar, maar de aanpassingen in de infrastructuur, het wegensysteem en het verkeer, om gevaarlijke of onduidelijke plekken beter te markeren, kunnen hoge kosten met zich meebrengen.

Actoren en netwerkvorming

Allianties tussen verschillende partijen zijn al zichtbaar.

Klanten

Veel klanten missen nog vertrouwen in zelfrijdende auto's. (More and Lu, 2011).

Normen, regels en wetten

Er wordt een begin gemaakt met de aanpassing van het stelsel van regels en wetten. Maar aansprakelijkheid zal ingrijpend moeten worden bekeken. Verder moet de regelgeving van het gehele verkeerssysteem worden herzien, immers bij een ongeluk is niet een chauffeur verantwoordelijk (Bimbrow, 2016).

Tabel 5.2: Overzicht van de condities voor de zelfrijdende auto

Beïnvloedende factoren	Kernfactoren
8 Kennis van technologie	1 Productprestaties
9 Kennis van toepassingen	2 Productprijs
10 Werknemers en grondstoffen	3 Productiesysteem
11 Financiële middelen	4 Complementaire producten en diensten
12 Macro-economische en strategische aspecten	5 Actoren en netwerkvorming
13 Sociaal-culturele aspecten	6 Klanten
14 Ongelukken en onverwachte gebeurtenissen	7 Normen, regels en wetten



Augmented Reality



6. Augmented Reality

Augmented Reality, in het kort AR, kan worden gezien als het toevoegen van informatie aan de realiteit zodat iemand de combinatie van realiteit en toegevoegde informatie ervaart als één werkelijkheid. Augmented Reality lijkt heel futuristisch maar er wordt al meer dan een halve eeuw aan gewerkt, mee geëxperimenteerd en het wordt al twintig jaar daadwerkelijk gebruikt. AR wordt nu op grote schaal toegepast. Dit hoofdstuk behandelt de ontwikkeling en verspreiding van AR.

6.1 Definitie

Functionaliteit

Augmented Reality omvat een meerdere functionaliteiten: (1) het opnemen van een scène (een deel van de werkelijke omgeving); (2) het identificeren van de inhoud van die omgeving zodat een deel kan worden gefilterd en een deel kan worden benadrukt; (3) het bewerken van de geselecteerde omgeving en het toevoegen van extra informatie. De toegevoegde informatie kan heel verschillend zijn: het kan beeld, geluid, reuk, tactiele informatie, of combinaties daarvan omvatten. In de praktijk bevat AR vaak beeld en geluid.

Werkprincipes

Er zijn verschillende principes om AR te creëren. Het belangrijkste principe, 'video see-through' genaamd, bestaat uit het digitaliseren van omgevingsbeelden waar vervolgens extra informatie aan wordt toegevoegd. Dit principe nemen we als basis voor onze definitie. Maar er zijn ook andere principes, zoals 'optical see-through', waarbij de werkelijke omgeving niet bewerkt of gedigitaliseerd wordt maar aan het bestaande beeld van de omgeving, zoals iemand dat ziet, een ander beeld of informatie wordt toegevoegd. Je zou dit een projectie kunnen noemen. Daar werd al mee geëxperimenteerd in toneelvoorstellingen voordat video-camera's bestonden.

Componenten

Voor AR heb je een display nodig (om een combinatie van de werkelijke en toegevoegde realiteit weer te geven) en sensoren die aangeven waar de gebruiker zich bevindt en welke kant

hij op kijkt, omdat het virtuele beeld afhankelijk is van positie en oriëntatie van de gebruiker. Tenslotte zijn er een grafische computer en bijbehorende software nodig.

Augmented Reality (AR) en Virtual Reality (VR)

De geschiedenis van Augmented Reality en Virtual Reality loopt behoorlijk gelijk op. Augmented Reality combineert de bestaande omgeving met nieuwe informatie, Virtual Reality creëert een volledig nieuwe omgeving los van de bestaande omgeving waarin iemand zich bevindt. De eerste demonstratie van Ivan Sutherland in 1968 wordt wel gezien als de uitvinding van AR en VR. Milgram ziet AR en VR ook als twee opties op een continuüm dat loopt van een echte tot een compleet virtuele omgeving.

Illustratie 6.1: Mixed reality varianten (Milgram and Kishino, 1994).



Toch is er een principieel verschil tussen AR en VR: AR is een combinatie van de werkelijkheid en daaraan toegevoegde informatie en dat betekent dat die toegevoegde informatie precies moet passen op of in de realiteit. Wanneer een gebruiker zijn hoofd heen en weer beweegt moet het AR-beeld goed mee bewegen met dat wat de gebruiker in werkelijkheid ziet. Dat geldt tevens voor het bewegen van de ogen. Die synchronisatie van werkelijkheid en toegevoegde informatie vormt een technologische uitdaging.

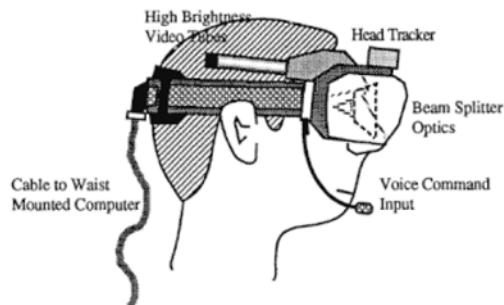
Wij spreken in dit hoofdstuk van Augmented Reality als de werkelijkheid wordt gedigitaliseerd en wordt bewerkt waarna er informatie wordt toegevoegd, het zogenaamde 'video see-through' principe.

6.2 Patroon en toepassingen

Vanaf de jaren '50 en '60 in de 20ste eeuw is er nagedacht over 'Augmented Reality' en 'Virtual Reality'. Morton Heilig, een Amerikaanse cameraman, geloofde bijvoorbeeld al in de jaren

'50 in het idee dat je een toeschouwer in de film moest kunnen betrekken. Hij maakte in 1962 een installatie waarin je omringd werd door de beelden van de film en waarbij naast beeld en geluid ook trillingen, wind en geur kon worden overgebracht (Alkhamisi & Monowar, 2013). Dit is geen AR omdat er geen vermenging plaatsvindt van toegevoegde beelden en geluid en de werkelijkheid. In 1968 demonstreert Ivan Sutherland de eerste AR-opstelling waarin aan de werkelijkheid beelden worden toegevoegd. Dit wordt wel gezien als de uitvinding van AR en tevens van VR (Arth et al, 2015). Het was nog een optisch 'see-through' systeem maar wel met een display dat op het hoofd wordt gedragen. Met het systeem kon iemand een simpele figuur manipuleren. In de jaren '70 en '80 wordt er met name onderzoek gedaan naar AR door Amerikaanse universiteiten en militaire labs.

Illustratie 6.2: Een AR headset (Arth et al, 2015)



In de jaren '90 worden de eerste serieuze experimentele systemen ontwikkeld. Bijvoorbeeld door Tom Caudell en David Mizell die in 1994 voor Boeing een systeem creëren waarbij monteurs, terwijl ze aan een vliegtuig werken, kunnen zien hoe een onderdeel (virtueel) verwijderd of gemonteerd wordt (Bensch, 2015). Een andere toepassing was het gebruik van Augmented Reality in een theatervoorstelling in 1994 (Williams, 2016). Het zijn de eerste kleinschalige maar reële toepassingen van de tot dan toe wat futuristische en experimentele technologie.

In de latere jaren '90 komen systemen en technologieën beschikbaar die belangrijk zijn voor het toepassen van AR (Van Krevelen en Poelman, 2010). Hoewel de eerste mobiele telefoons al in de jaren '80 waren geïntroduceerd begon mobiele telefonie pas in de jaren '90 een vlucht te nemen. Later wordt de mobiele telefoon belangrijk voor AR-toepassingen op brede schaal.

Computers worden krachtiger en zijn beter in staat om grafische informatie snel te verwerken. Gps komt beschikbaar voor civiele toepassingen. Ook wetenschappelijk neemt AR een vlucht: er ontstaan groepen van wetenschappers, conferenties en workshops waarin informatie over AR wordt uitgewisseld (Van Krevelen en Poelman, 2010). Er ontstaan groepen van gebruikers die zelf toepassingen programmeren en knutselen aan AR-technologie. Dit is overigens een bekend fenomeen: iets soortgelijks was al in het begin van de 20ste eeuw gebeurd met radio's, en later vanaf de jaren '70 van diezelfde eeuw ook met computers. Dergelijke gebruikers en producenten worden wel aangeduid als 'lead users' (Von Hippel, 2001).

Sony brengt in 1997 de eerste commerciële 'head-mounted display' op de markt. De adoptie van die display is beperkt en opvallend is dat, hoewel het apparaat bedoeld was voor het algemene publiek, hij toch vooral gebruikt wordt voor onderzoek (Arth et al, 2015). In 1999 komt een toolkit beschikbaar waarmee AR-toepassingen kunnen worden gebouwd, ARToolKit genaamd (Arth et al, 2015). Tevens komen de eerste op locatie gebaseerde services voor mobiele telefoons op de markt. Een op locatie gebaseerde service is geen Augmented Reality, maar het is een dienst die zaken aanbiedt die gerelateerd zijn aan de plek waar de gebruiker zich bevindt. Bijvoorbeeld informatie over restaurants in de buurt van de gebruiker. Iets soortgelijks was al toegepast in museum-audiosystemen, maar die waren natuurlijk alleen beschikbaar in musea op een lokaal netwerk. Al deze diensten, producten en technologische ontwikkelingen lijken in eerste instantie niets met elkaar te maken te hebben, maar ze dragen bij aan het systeem van complementaire producten en diensten die nodig zijn voor AR-toepassingen.

Illustratie 6.3: De Sony headset (Arth et al, 2015)



In 2000 wordt de eerste AR-game geïntroduceerd: AR-Quake (Alkhamisis en Monowar, 2013). De game wordt geproduceerd op een Internationaal Symposium over Wearable Computers en is zowel binnen als buiten te gebruiken. Ondertussen gaat de ontwikkeling van AR-toepassingen en apparatuur voor militaire doeleinden gewoon door. Een draagbaar 'Battlefield Augmented Reality System' wordt in 2000 gepresenteerd (Arth et al, 2015) en er ontstaan steeds meer toepassingen: AR-reisgidsen, waarmee je op een bepaalde plek informatie kan krijgen over je omgeving (Joos2322, 2008) en nog meer games zoals Mozzies (Arth et al, 2015; Eden, 2010) en Human Pacman (Mixed Reality Lab, 2018). Naast alle toepassingen wordt er ook gewerkt aan technologische verbetering, bijvoorbeeld om werkelijkheid en toegevoegde informatie beter te synchroniseren, of om meerdere gebruikers simultaan te laten werken in een AR-toepassing.

Zo rond 2008 beginnen allerlei grote bedrijven te bewegen: kleine bedrijfjes worden overgenomen, Microsoft gaat samenwerken met een Israëlisch bedrijf dat 3D sensoren maakt, samen ontwikkelen ze Kinect, een bewegingsgame die vanaf 2010 te koop is. Rond 2012 wordt AR een hit in de reclamewereld. Iedereen met een mobiele telefoon kan AR-toepassingen zien die bepaalde producten promoten, Coca-Cola komt met een AR-reclame, in Nederland doet Albert Heijn mee in de rage, Ikea gebruikt AR-toepassingen (hoe ziet je kamer eruit met de nieuwe IKEA-stoel erin?).

In 2012 komt Google met de Google Glass op de markt. Het is geen doorslaand succes maar alle grote bedrijven mengen zich nu in AR-toepassingen: Facebook, Apple, enzovoorts. Een overzicht van de belangrijkste toepassingen wordt gegeven in Tabel 6.1.

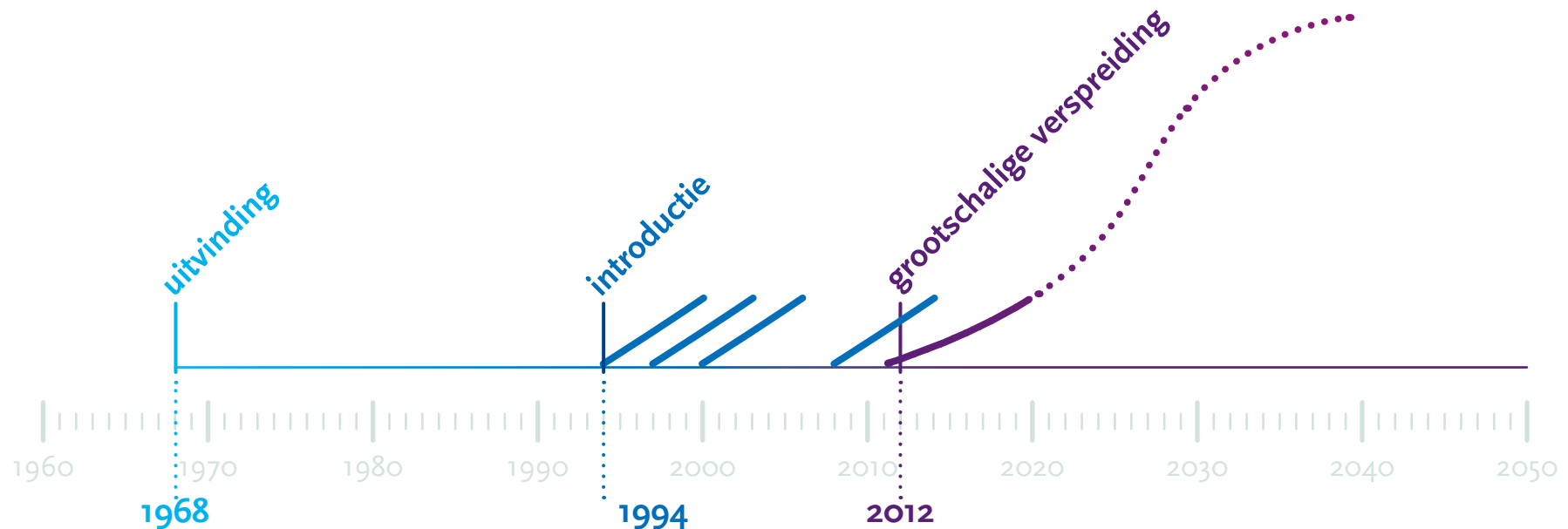
Tabel 6.1: Opeenvolgende toepassingen voor Augmented Reality

Jaar	Toepassing	Toelichting
1994	Experimentele toepassing bij Boeing (industrieel)	Bij Boeing werd AR toegepast om monteurs van vliegtuigen te ondersteunen. Aanvankelijk hadden die wel ondersteuning door beelden op een laptop die op locatie aangaven hoe ze iets moesten doen. Met AR konden ze op het werkelijke vliegtuig geprojecteerd zien hoe een onderdeel moest worden aangebracht of verwijderd.
1994	Theater met AR	In 1994 werd een dansvoorstelling gecreëerd waarbij dansers rond virtuele objecten dansten.
1997	Introductie van een AR-headset bedoeld voor de consumentenmarkt.	Sony brengt in 1997 een AR-headset op de markt die bedoeld is voor de consumentenmarkt maar in de praktijk vooral gebruikt wordt in experimenten en onderzoek.
2000	Introductie van een AR-spel	In 2000 wordt AR-Quake geïntroduceerd. Het spel kan zowel binnen als buiten worden gespeeld. Het systeem is uitgerust met een draagbare computer in een rugzak, een elektronisch kompas (voor de oriëntatie) en gps (voor de positie), een headset en een bedieningseenheid met twee knoppen.
2008	Reisgids met AR	In 2008 wordt een reisgids geïntroduceerd waarmee je op locatie informatie krijgt over gebouwen (die nog bestaan) of gebouwen die er vroeger waren.
2012	Reclame	In 2012 wordt het grootschalige gebruik van AR voor reclamedoelinden geïntroduceerd.
2016	Pokémon	Het spel Pokémon Go werd wereldwijd door grote groepen mensen gespeeld.

Als we alle informatie op een rij zetten ontstaat het volgende beeld van het patroon: de uitvinding was in 1968, de eerste werkelijke toepassing was waarschijnlijk in 1994 (maar dat is moeilijk met zekerheid te zeggen gezien het onduidelijke onderscheid tussen experimentele en commerciële toepassingen). De eerste grootschalige toepassingen dateren we na 2010, bijvoorbeeld voor reclamedoeleinden (vanaf 2012) of voor de game Pokémon Go (vanaf 2016). In de praktijk zijn er vele kleine toepassingen naast de bekende toepassingen met grote groepen gebruikers.

Dus waar in het patroon bevinden we ons nu? Volgens ons bevinden we ons na het begin van grootschalige verspreiding. Ondanks dat gegeven valt op te merken dat een groot aantal toepassingen van AR nog niet benut wordt in de praktijk. Kortom, grootschalige verspreiding is begonnen maar het werkelijke potentieel van de technologie is nog zeker niet bereikt.

Figuur 6.1: Patroon van ontwikkeling en verspreiding van Augmented Reality



6.3 Conditie

In deze paragraaf zetten we de stand van de condities voor grootschalige verspreiding op een rij.

Productprestaties

In zogenaamde 'Head-mounted displays' spelen de volgende problemen (Bensch, 2015, p.26: Buntinx, 2017):

- Het synchroniseren van het werkelijke en virtuele beeld is moeilijk door mogelijk snelle bewegingen van hoofd en ogen.
- Variatie in lichtintensiteit kan voor problemen zorgen zoals kleurafwijkingen maar ook vormafwijkingen.
- De camera staat vaak boven op het hoofd en dat geeft een andere oriëntatie dan die van de ogen. Het gevolg is een afwijking in het beeld.

Productprijs

De prijs voor AR-uitrusting is nog steeds vrij hoog, maar de prijzen zakken snel. De prijs om een AR-app te laten ontwikkelen is hoog, dat komt omdat het ontwikkelen veel tijd kost: tussen de 440-760 uur voor een soortgelijke applicatie als IKEA gebruikt. Dat kan meer tot wel 100.000 Euro kosten. Een goede applicatie is veel waard en op termijn kunnen er steeds meer en goedkopere ontwikkelaars buiten de VS worden ingehuurd, is de verwachting (Morozova, 2018).

Productiesysteem

Verschillende softwarepakketten zijn beschikbaar om AR-applicaties te programmeren (Capterra, 2018).

Complementaire producten en diensten

In de loop van de tijd, vanaf de jaren '90, zijn er steeds meer complementaire producten, diensten, componenten en technologische mogelijkheden beschikbaar gekomen om AR op grotere schaal te gebruiken (Wikitude, 2017).

Actoren en netwerkvorming

Vanaf eind jaren '90 zijn er allerlei overnames, allianties en bewegingen tussen bedrijven zichtbaar. Ook gerenommeerde bedrijven als Google, Microsoft, Apple en Facebook zijn actief op AR-gebied (The Drum, 2018). Het beeld is nog wel versnipperd. Toch kan elk van bovengenoemde bedrijven afzonderlijk op wereldschaal een standaard neerzetten.

Klanten

Klanten weten nog te weinig wat mogelijk is met AR. Dat geldt voor zakelijke klanten die applicaties willen maken voor hun eindgebruikers maar het geldt ook voor de eindgebruikers zelf. (Zie ook: kennis van de toepassingen.)

Normen, regels en wetten

Specifieke wetten en regels voor AR ontbreken veelal of bestaande wetten zijn niet aangepast aan de bijzondere situatie die ontstaat bij AR-gebruik. Gewonden en beledigingen zijn slecht geregeld in een half reële en half virtuele wereld (Volkh, 2017). Een deel van die problemen heeft te maken met ongewenst seksueel gedrag of ongewenste uitlatingen op dat vlak. In een compleet virtuele omgeving was dat al een probleem, zie bijvoorbeeld negatieve ervaringen die sommige deelnemers in de imaginaire wereld van Second Life hebben moeten meemaken. AR is nog indringender dan een compleet imaginaire of virtuele wereld (Keidar et al., 2017).

Kennis van technologie

Kennis van toepassingen

De kennis van de technologie is wereldwijd aanwezig, maar nog maar beperkt verspreid onder mogelijke gebruikers en ontwikkelaars. Hetzelfde geldt voor kennis van de technologie. De technologie moet verder worden verbeterd en daarnaast is een grote verzameling van voorbeeldtoepassingen nodig ter illustratie van alle mogelijkheden (Buntinx, 2017).

Werknemers en grondstoffen

Er zijn te weinig AR-programmeurs en dat drijft de prijs op en vertraagt de ontwikkeling van nieuwe AR-toepassingen.

Financiële middelen

Financiële middelen vormen geen beperking.

Macro-economische en strategische aspecten

Alhoewel militaire toepassingen vanaf het begin onderzocht zijn, bijvoorbeeld in vliegtuigen (head-up displays) en andere systemen, is AR niet direct van groot strategisch belang voor een land. Misschien dat het strategisch belang ook onderschat wordt totdat we inzien wat alle toepassingen zijn.

Sociaal-culturele aspecten

Er zijn serieuze zorgen over persoonlijke privacy. De werkelijkheid wordt opgenomen en vervolgens wordt er van alles aan toegevoegd. Dat geheel kan, indien het openbaar beschikbaar komt, heel belastend zijn voor gebruikers. Dit aspect geldt echter voor zo veel mediagebruik dat het nauwelijks een belemmering lijkt voor AR.

Ongelukken en onverwachte gebeurtenissen

Ongelukken kunnen eenvoudig gebeuren in een half reële wereld. Er zijn duizenden ongelukken gebeurd wereldwijd en al enkele Pokémon-doden gevallen omdat mensen in het verkeer achter een Pokémon aanrennen (Beall, 2016). Feit is wel dat AR ook ingezet kan worden voor de veiligheid en voor het trainen van mensen om de veiligheid te vergroten (Sybenga, 2010).

Tabel 6.2: Overzicht van de condities voor Augmented Reality

Beïnvloedende factoren	Kernfactoren
8 Kennis van technologie	1 Productprestaties
9 Kennis van toepassingen	2 Productprijs
10 Werknemers en grondstoffen	3 Productiesysteem
11 Financiële middelen	4 Complementaire producten en diensten
12 Macro-economische en strategische aspecten	5 Actoren en netwerkvorming
13 Sociaal-culturele aspecten	6 Klanten
14 Ongelukken en onverwachte gebeurtenissen	7 Normen, regels en wetten

7. Conclusies

In dit hoofdstuk worden de uitkomsten voor de vier technologische doorbraken, 3D printen, blockchain, zelfrijdende auto's en 'Augmented Reality', naast elkaar gezet. Het is daarbij belangrijk om terug te grijpen op de drie onderzoeksvragen: 1 Wat zijn technologische doorbraken waarvan verwacht kan worden dat zij tot fundamentele verandering zullen leiden in de maatschappij? 2 Hoe staat het op dit moment met de ontwikkeling en verspreiding van dergelijke potentiële technologische doorbraken? 3 Wat zijn de condities die bepalend zijn voor het doorbreken van de technologie? Daarnaast zijn de achtereenvolgende toepassingen van de technologieën in kaart gebracht.

In de tweede paragraaf wordt gekeken naar de praktische implicaties van de resultaten in dit rapport. Wat zijn de management implicaties van deze resultaten, wat betekenen de bevindingen voor de vier technologische doorbraken voor bedrijven? Wat zijn de maatschappelijke implicaties van deze resultaten, wat kunnen de bevindingen betekenen voor verschillende groepen stakeholders, en wat betekenen ze voor de overheid?

In de derde paragraaf kijken we naar de modellen en manieren om de onderzoeksvragen te beantwoorden: Wat zijn de aannames van de modellen? Wat zijn de mogelijke verbeteringen? Praktisch gezien: kunnen deze modellen de basis vormen voor een regelmatig te gebruiken instrument van verkenning door STT, ook wel de 'Technologiemonitor' genoemd? Wat kan STT daarmee doen, of hoe kunnen de uitkomsten van een dergelijk instrument binnen STT bij andere verkenningen worden gebruikt? Wat kunnen de leden of klanten van STT met de uitkomsten doen?

7.1 Vergelijkingen van de technologieën

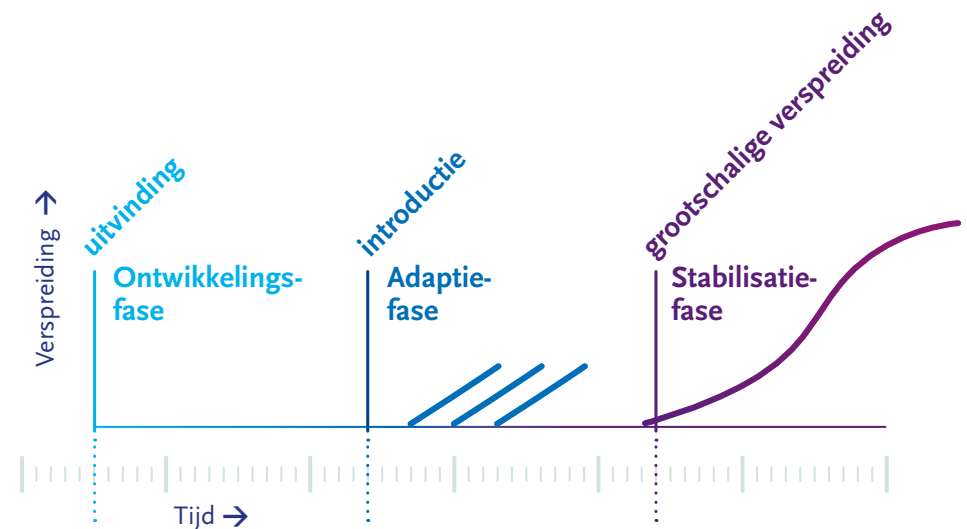
De onderzoeksvragen

De definitie van een technologische doorbraak is van belang om te voorkomen dat in de analyse over verschillende technologieën wordt gesproken. Elk van de gekozen technologieën kan verschillend worden gezien. Blockchain is bijvoorbeeld niet alleen een platform voor cryptovaluta. We hebben gekozen voor een definitie waarin voor elke technologie zowel

het technologisch principe, de functionaliteit en de belangrijkste componenten worden gegeven.

Hoe ontwikkelen en verspreiden de technologieën zich? Deze ontwikkeling is weergegeven in een model dat het patroon van ontwikkeling en verspreiding verdeelt in drie fasen. De eerste fase (ontwikkeling) loopt van uitvinding tot de eerste introductie van de technologische doorbraak in een specifieke toepassing. De tweede fase (adaptatie) loopt van de eerste introductie tot de start van grootschalige verspreiding en de derde fase (stabilisatie) loopt van de start van grootschalige verspreiding tot de technologie niet of nauwelijks meer gebruikt wordt.

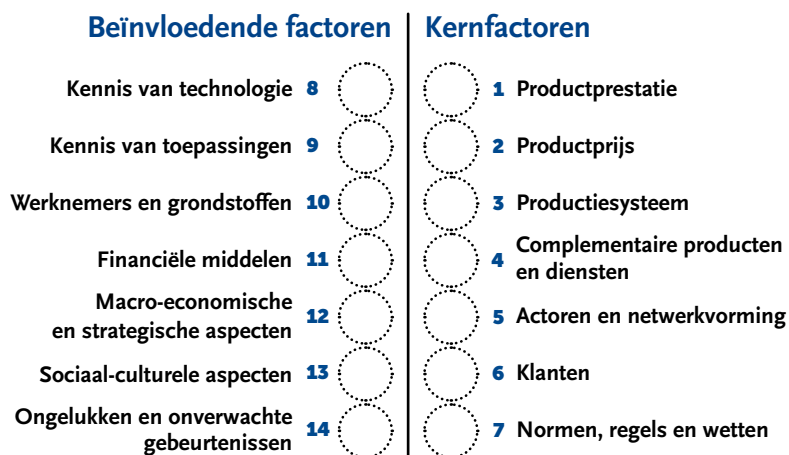
Figuur 7.1: Model van de ontwikkeling en verspreiding van technologische doorbraken



Wat zijn de condities die bepalen of een technologie ook echt doorbreekt en hoe staat het daarmee voor de geselecteerde technologieën? De factoren zijn ingedeeld in veertien groepen, waarvan er zeven het socio-technische en economische systeem rond een technologie vormen, deze noemen we de kernfactoren. De resterende zeven factoren beïnvloeden dat systeem,

deze noemen we de beïnvloedende factoren. De indeling van veertien groepen factoren vormt een dashboard dat wordt gehanteerd om aan te geven hoe het nu staat met de technologie.

Figuur 7.2: Dashboard van de factoren die grootschalige diffusie kunnen blokkeren



De definities

In de hoofdstukken worden de vier doorbraken zorgvuldig gedefinieerd. Een aantal aspecten van deze definities worden onderstaand kort weergegeven.

3D printen is in feite een familie van verschillende technologieën die in plaats van slijpen, zagen, knippen of branden van materiaal tot componenten, die componenten stapsgewijs opbouwt door het materiaal laag voor laag aan te brengen. Deze technologie is een doorbraak omdat nu op maat en lokaal in kleine series kan worden geproduceerd. Aanvankelijk was dat een goedkopere en snellere manier om prototypes van complexe producten of systemen te produceren. Met de verlaging van de kosten van 3D printen, wordt deze technologie ook een serieus alternatief voor traditionele technologieën voor massaproductie, zoals spuitgieten ('injection moulding'). Dit leidt tot een structurele verandering in de maakindustrie.

Blockchain is een platform waarop transacties van heel veel verschillende soorten informatie veilig op kunnen worden geslagen op een permanente en verifieerbare manier. Dat is handig voor het vastleggen van transacties, identiteiten, bezit en ook voor geld. Ook dit is een doorbraak: er is geen autoriteit of overheid meer nodig die alles waarborgt, zoals een centrale bank die de waarde van geld waarborgt of een door de overheid benoemde notaris die een testament of samenlevingscontract vastlegt. Het is niet verwonderlijk dat diezelfde autoriteiten erg zenuwachtig worden van blockchain.

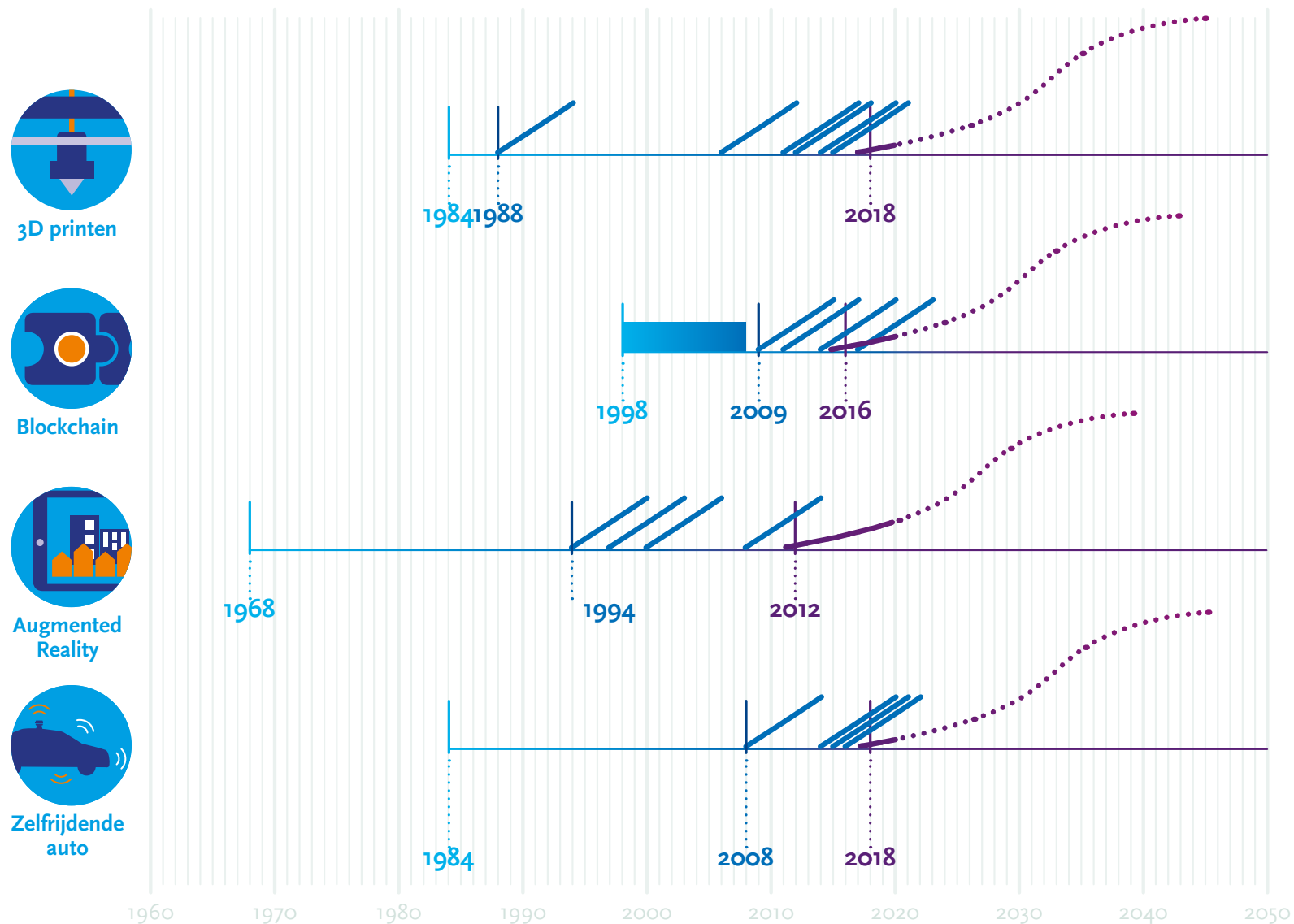
De zelfrijdende auto is een complexe machine die uit vele verschillende technologieën is opgebouwd. Elk van die technologieën is al afzonderlijk in de markt gezet: Lane assist (automatisch in je baan blijven rijden), automatisch inparkeren, automatisch afstand bewaren of remmen, het is allemaal al ingevoerd in verschillende modellen van bekende automerken. Toch blijft de zelfrijdende auto een grote doorbraak omdat de bestuurder niet meer volledig verantwoordelijk is, en die eigen verantwoordelijkheid is een belangrijk uitgangspunt voor onze verkeerswetgeving.

'Augmented Reality' is een verzameling van verschillende manieren om de werkelijkheid aan te vullen met extra informatie. Het is een technologische doorbraak die in vele toepassingen kan worden gebruikt, net als bij blockchain, 3D printen en de zelfrijdende auto, zijn de gevolgen nog lang niet ten volle zichtbaar.

De patronen van ontwikkeling en verspreiding

Figuur 7.3: Patroon van ontwikkeling en verspreiding voor vier technologische doorbraken

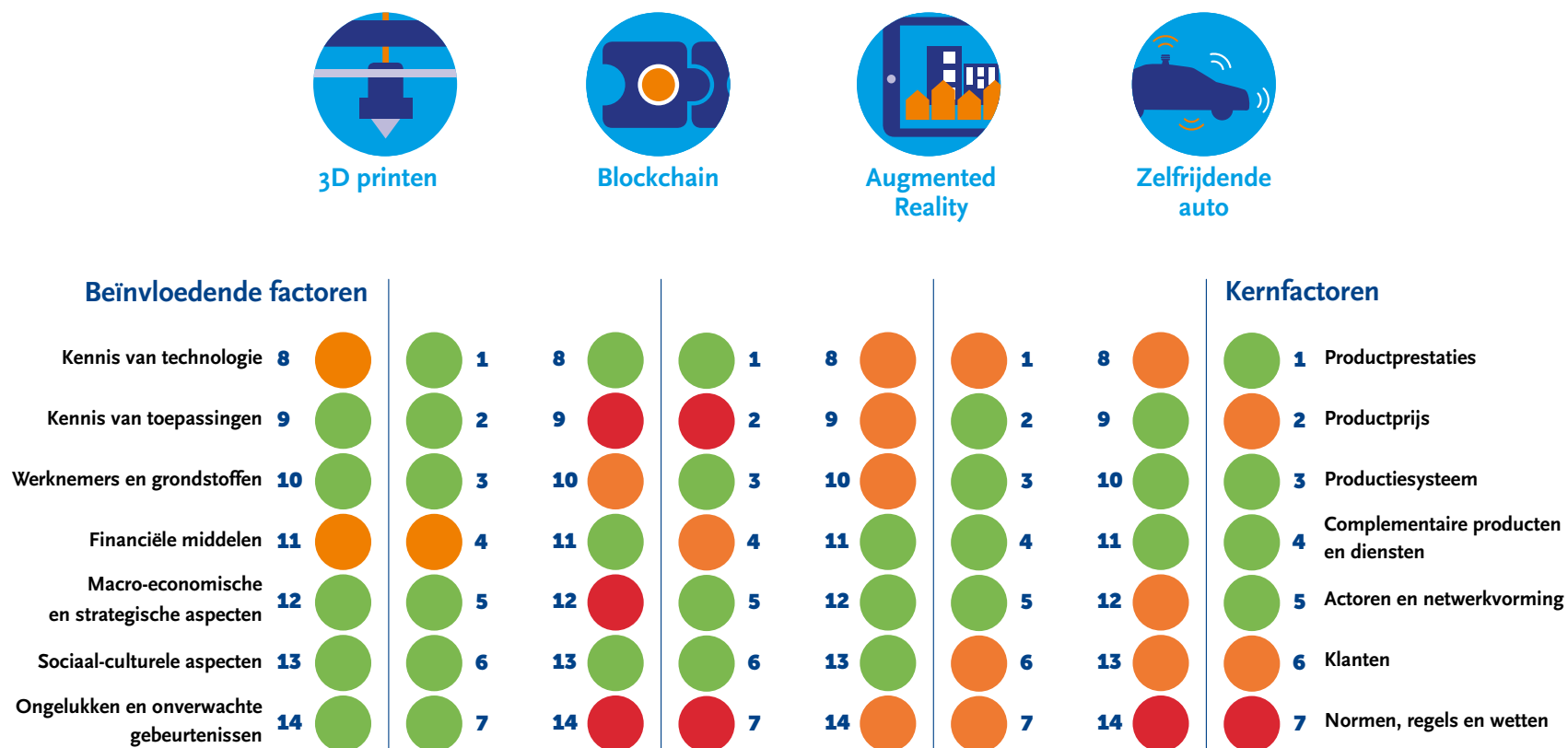
Er zijn een paar overeenkomsten tussen de dashboards voor de vier technologieën. Ten eerste: normen, regels en wetten zijn een belangrijke achterblijvende factor voor meerdere technologieën. Ten tweede: kennis van de technologie is nog steeds beperkend in drie gevallen. Op andere factoren laten de dashboards grote verschillen zien.



De condities voor grootschalige verspreiding

Figuur 7.4: Dashboard van vier technologische doorbraken

De dashboards voor de vier technologieën verschillen sterk. Er zijn een paar overeenkomsten. Ten eerste: normen regels en wetten zijn een belangrijke achterblijvende factor voor meerdere technologieën. Ten tweede: kennis van de technologie is nog steeds beperkend in drie gevallen. Verder verschillen de dashboards sterk.



7.2 De toepassingen op een rij

Tabel 7.2: Achtereenvolgende niche-toepassingen van vier technologische doorbraken

Technologie	3D printen	Blockchain	Zelfrijdende auto	Augmented Reality
1ste toepassing	1988 Rapid Prototyping	2009 Cryptovaluta	2008/11 Vrachtwagens in mijnbouw	1994 Experimentele toepassing bij Boeing
2de toepassing	2006 Thuis printen	2011 Illegale activiteiten, witwassen	2014 Shuttle voor passagier transport	1994 Theater met AR
3de toepassing	2010 Auto carrosserie printen	2014 Afsluiten en vastleggen van contracten (Blockchain 2.0)	2016 Taxi service	1997 Introductie van een AR-headset bedoeld voor de consumentenmarkt
4de toepassing	2013 Kleding printen	2015 Nationale cryptovaluta (in Tunesië)	2016/17 Tesla (potentieel) zelfrijdende auto	2000 Introductie van een AR-spel
5de toepassing	2013 Printen in de bouw	2017 Vastgoed verkopen	2017 Volvo pilot met leasing van zelfrijdende auto's	2008 Reisgids met AR
6de toepassing	2013 Medische toepassingen		2017 Audi's eerste zelfrijdende auto in productie	
7de toepassing	2014 Voedsel printen			
8ste toepassing	2014 Printen cultureel erfgoed			
9de toepassing	2015 Printen van vliegtuigonderdelen			

Elke technologie is toegepast in meerdere marktniches alvorens grootschalige verspreiding startte. 3D printen is aanvankelijk vooral gebruikt voor het vervaardigen van prototypes en de technologie is veel gebruikt door consumenten die hun eigen producent wilden worden, zogenaamde lead-users. Blockchain is toch vooral bekend geworden door de toepassing van cryptovaluta, en daar is de technologie ook vrij snel grootschalig mee verspreid. De zelfrijdende auto bestaat uit vele deeltechnologieën die stap voor stap afzonderlijk zijn ingevoerd in de auto-industrie of daarbuiten in industriële en logistieke processen. Augmented Reality is al grootschalig toegepast in de reclame als een aandachttrekkende gadget. Maar ondertussen werd er ook vanaf het begin gewerkt aan militaire toepassingen.

7.3 Praktische implicaties van de resultaten

Implicaties van de aard van de technologische doorbraken

Elk van de technologische doorbraken bestaat uit een familie van gerelateerde technologieën. Daarnaast zijn de technologische doorbraken complexe systemen met vele componenten en deelsystemen die elk apart ook weer als technologie kunnen worden gezien. In dit rapport is er voor gekozen de doorbraken eenduidig te definiëren, in de praktijk volgt de ontwikkeling en verspreiding geen vooraf geformuleerde definities. De complexiteit en diversiteit van technologische doorbraken heeft vergaande implicaties voor bedrijven die actief zijn in de markt. Behalve concurrentie van de nieuwe technologie met bestaande (oude) technologieën vindt er ook een concurrentie plaats tussen verschillende versies van de nieuwe technologie en alternatieve nieuwe technologieën. Dat geldt voor de technologieën zoals we die onderzocht hebben, maar ook voor componenten binnen die technologieën. In het begin van het patroon is de onzekerheid groot. Juist in het begin, wanneer standaarden en afspraken tussen verschillende partijen in de markt de onzekerheid zouden kunnen beperken, is het heel moeilijk om die standaarden vast te leggen omdat onduidelijk is hoe verschillende technologische varianten zich zullen ontwikkelen. De onzekerheid heeft ook vergaande implicaties voor de overheid: zij wil technologieontwikkeling stimuleren maar wil daarbij het marktproces niet verstoren zodat bepaalde marktpartijen en hun technologische varianten geen voordeel verkrijgen. De overheid kiest vaak voor een rol waarbij verschillende partijen een technologie in een pre-competitief stadium met subsidie verder kunnen ontwikkelen. Daarbij wordt vaak onbedoeld ingegrepen in de concurrentie tussen technologieën.

Implicaties van het patroon van ontwikkeling en verspreiding

Het patroon van ontwikkeling en verspreiding van de vier technologische doorbraken laat duidelijk zien hoe lang het duurt van de uitvinding van een technologie tot de start van grootschalige verspreiding: gemiddeld duurt dat ongeveer 20 jaar of meer (Ortt, 2010). Dat heeft vergaande implicaties voor bedrijven. Patenten verlopen in die periode zodat ze niet meer bruikbaar zijn wanneer je de patenten het meest nodig hebt: bij de start van de grootschalige verspreiding. De bescherming van technologie die in een dergelijk langdurig patroon ontwikkeld is, vormt een probleem. De lengte van de aanloop betekent verder dat vroege investeringen pas laat kunnen worden terugverdiend en dat de onzekerheid relatief groot is. Dit verklaart de afwachtende houding van veel bedrijven.

Het is opvallend dat tussen uitvinding en eerste introductie veel meer gebeurt dan het doorlopen van een enkel ontwikkelingsproject. Die periode duurt ook veel langer dan een enkel project. Er zijn vaak meerdere partijen naast elkaar bezig met losse projecten en activiteiten. Zelfs binnen bedrijven is de activiteit rond een technologische doorbraak vaak gefragmenteerd. Daarnaast blijkt dat de adaptatiefase, na eerste introductie, meer behelst dan een kleinschalige start van een technologie die daarna snel op grote schaal verder verspreidt. Er volgt een periode van wel tien jaar of meer waarin de technologie in verschillende varianten wordt toegepast in een groot aantal verschillende niche toepassingen. Omdat het gehele socio-technische systeem van actoren en factoren dat nodig is voor grootschalige toepassingen van een technologie nog niet aanwezig is in het begin van de adaptatiefase, wijken de eerste niche toepassingen vaak enorm af van de latere grootschalige toepassingen. Die afwijking zit hem niet in de technologie zelf (het technologisch principe, de functionaliteit en de belangrijkste componenten blijven hetzelfde) maar met name in het ontwerp van productversies op basis van de technologie en in de consumentengroepen in de markt niches. De afwijkende eerste niche toepassingen hebben implicaties voor bedrijven: ze blijven langdurig kleinschalig experimenteren met verschillende product varianten van de nieuwe technologie in de markt. Grote bedrijven hebben vaak moeite om zich aan te passen aan snel wisselende kleinschalige toepassingen met verschillende product varianten en consumenten. Dergelijke bedrijven besluiten dan vaak te investeren in start-ups en spin-offs of kiezen voor grote allianties om risico's te beperken. In die situatie kan de overheid een belangrijke rol vervullen: het stimuleren van allianties en het ondersteunen van start-ups. Dat levert niet direct nieuwe uitvindingen of grootschalige toepassing van nieuwe technologie op, maar helpt marktpartijen de adaptatiefase te benutten en te overbruggen.

Het patroon van ontwikkeling en verspreiding van technologische doorbraken laat een langdurige periode zien van ontwikkeling en experimenten met verschillende technologische varianten, verbeteringen en kleinschalige toepassingen. In die periode gaan ook zaken mis: er gebeuren ongelukken. De eerste zelfrijdende auto's maken ongelukken door softwarebeperkingen, blockchain wordt misbruikt door criminelen, 3D geprinte onderdelen blijken minder sterk dan gewenst, enzovoorts. Ontwikkeling van doorbraken zonder ongelukken, misbruik of onvoorziene neveneffecten, is ondenkbaar. De geschiedenis van technologie bevestigt dit beeld. De implicatie van dit gegeven is dat zowel de overheid als de marktpartijen afspraken moeten maken om die effecten op een verantwoorde manier te beperken of in de hand te houden.

Implicaties van de condities voor grootschalige verspreiding

Het dashboard met actoren en factoren die belangrijk zijn voor grootschalige verspreiding heeft vergaande implicaties voor bedrijven en voor de overheid. Het model is een verklaring voor de lange aanloop naar grootschalige verspreiding en het beschrijft aan welke condities moet worden voldaan voor grootschalige verspreiding bereikt kan worden.

Dat model vormt een analytische basis voor het formuleren van (overheids)beleid gericht op het creëren van die condities. Normen, regels en wetten vormen vaak een beperking voor het experimenteren met en ontwikkelen van nieuwe technologieën. Dat kan heel nuttig zijn om ongelukken te voorkomen, maar als een nieuwe technologie risico's verlaagt en praktische processen verbetert, dan is blokkerende regelgeving een maatschappelijk probleem. Het dashboard geeft aan hoe de overheid condities kan scheppen voor grootschalige verspreiding van nieuwe technologie.

Dat model vormt eveneens een analytische basis voor het formuleren van bedrijfsstrategieën gedurende het patroon. Die strategieën kunnen rekening houden met de condities, door barrières te omzeilen of juist af te breken of door stimulerende factoren te benutten.

7.4 De Technologiemonitor van STT

Naast de zorgvuldige domeinverkenningen is het belangrijk voor STT om ook een visie te hebben op technologieontwikkelingen die van belang zijn voor meerdere domeinen in de maatschappij. STT heeft in het verleden ook grote technologische veranderingen onderzocht. Het voordeel van de Technologiemonitor is dat het een reguliere, regelmatig uitgevoerde en gepubliceerde studie is die behalve door STT ook door haar leden kan worden gebruikt. STT kan technologie-studies gebruiken om uitspraken te doen over het effect van een technologie in een specifiek domein, de leden kunnen kijken naar het effect van een technologie op hun organisatie.

Om zo gebruikt te worden dient de monitor verstandig te laveren tussen gevaarlijke simplificatie en onnodige complexiteit. Het is als een medicijn: het werkt prima maar je moet de bijsluiter wel even doornemen. De bijsluiter van de Technologiemonitor is verwoord in aannames en beperkingen zoals beschreven in de appendix. Zullen we het medicijn gaan voorschrijven?

Referenties

- 3D Print Canal House. (2016). Frequently Asked Questions. [online] beschikbaar op: <http://3dprintcanalhouse.com/frequently-asked-questions-2>.
- Accenture. (2017). Using Distributed Ledgers: Blockchain moves to Early Adoption.
- Alkhamisi, A. O. en M. M. Monowar (2013). 'Rise of augmented reality: Current and future application areas.' International journal of internet and distributed systems 1(04): 25.
- AngelList. (2018). Blockchains Startups. [online] beschikbaar op: <https://angel.co/blockchains>.
- Architect Magazine. (2015). China's WinSun Unveils Two New 3D Printed Buildings. [online] beschikbaar op: http://www.architectmagazine.com/technology/chinas-winsun-unveils-two-new-3d-printed-buildings_o.
- Arth, C., et al. (2015). 'The history of mobile augmented reality.' arXiv preprint arXiv:1505.01319.
- Arthur, W. B. (2009). The nature of technology: What it is and how it evolves, Simon and Schuster.
- ASTM. (2015). Additive manufacturing — General principles — Terminology. [online] beschikbaar op: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-astm:52900:ed-1:v1:en>.
- Bayer, D., Haber, S., & Stornetta, W. S. (1992). Improving the efficiency and reliability of digital time-stamping Sequences II (pp. 329-334): Springer.
- Beall, A. (2016). Could Pokémon Go kill you? Experts warn the augmented reality game is increasing distraction-related deaths. [online] beschikbaar op: <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3823318/Could-Pok-mon-kill-Experts-warn-augmented-reality-game-increasing-distraction-related-deaths.html>. Geraadpleegd op: 20 februari 2018.
- Bensch, A. M. (2015). Toward Real-Time Video-Enhanced Augmented Reality for Medical Visualization and Simulation, Rochester Institute of Technology.
- Bijker, W. E. (1995). Of Bicycles, Bakelites, and Bulbs; Toward a Theory of Sociotechnical Change. Cambridge, The MIT Press.
- Bimbraw, K. (2015). Autonomous cars: Past, present and future a review of the developments in the last century, the present scenario and the expected future of autonomous vehicle technology. Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO), 2015 12th International Conference on, IEEE.
- Biss, K., Chien, R.T., Stahl, F.A., Weissman, S. (1976). 'Semantic Modeling for Deductive Question-Answering Systems', IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTERS, C-25(4):358-366.
- Bourell, D. L. (2016) Perspectives on Additive Manufacturing. Vol. 46. Annual Review of Materials Research (pp. 1-18).
- Buntinx, J.P. (2017). Top 4 Challenges for Augmented Reality Right Now. [online] beschikbaar op: <https://themerke.com/top-4-challenges-for-augmented-reality-right-now/>. Geraadpleegd op: 20 februari 2018.
- Cannucciari, C. (2016). Banking on Bitcoin.
- Capterra (2018). Augmented Reality Software. [online] beschikbaar op: <https://www.capterra.com/augmented-reality-software/>. Geraadpleegd op: 13 april 2018.
- CoinMarketCap. (2018). All Cryptocurrencies. [online] beschikbaar op: <https://coinmarketcap.com/all/views/all/>.
- Cooper, R. G. (1990). Stage-Gate Systems: A New Tool for Managing New Products. Business Horizons (May-June): 44-54.
- Eden, T. (2010). Augmented Reality Games - How Far Have We Come In 7 Years?. [online] beschikbaar op: <https://shkspr.mobi/blog/2010/11/augmented-reality-games-how-far-have-we-come-in-7-years/>. Geraadpleegd op: 17 april 2018.
- Friedlmaier, M., Tumasjan, A., & Welp, I. M. (2016). Disrupting industries with blockchain: The industry, venture capital funding, and regional distribution of blockchain ventures.
- Gautham. (2017). Three Million Active Cryptocurrency Users Says Cambridge Center for Alternative Finance. [online] beschikbaar op: <https://www.newsbtc.com/2017/05/07/three-million-cryptocurrency-users/>.
- Guadamuz, A., & Marsden, C. (2015). Blockchains and Bitcoin: Regulatory responses to cryptocurrencies. First Monday, 20(12).
- Gupta, V. (2017). A brief history of blockchain. Harvard Business Review. [online] beschikbaar op: <https://hbr.org/2017/02/a-brief-history-of-blockchain>.
- Haber, S., & Stornetta, W. S. (1991). How to time-stamp a digital document. Journal of Cryptology, 3(2), 99-111. doi:10.1007/BF00196791.
- Hu, C., & Yin, G. (2014). 3D printing, a new digital manufacturing mode. Paper presented at the Advances in Transdisciplinary Engineering.
- Keidar, R., Vromen, N. en Goldstand, A. (2017). Enhanced Legality With Augmented and Virtual Reality. [online] beschikbaar op: <http://www.lawtechnologytoday.org/2017/02/augmented-and-virtual-reality/>. Geraadpleegd op: 20 februari 2018.
- iafrikans. (2016). Senegal To Introduce A New Blockchain-Based National Digital Currency, The Second Such Currency In The World. [online] beschikbaar op: <https://www.iafrikans.com/2016/11/24/senegal-to-introduce-a-new-blockchain-based-national-digital-currency-making-it-only-the-second-country-to-have-a-national-digital-currency/>.
- Iansiti, M., & Lakhani, K. R. (2017). The truth about blockchain. Harvard Business Review, 2017(January-February).
- Joos2322 (2008). Wikitude AR Travel Guide (Part 1). [online] beschikbaar op: <https://www.youtube.com/watch?v=8EA&list=T8>. Geraadpleegd op: 12 april 2018.

- Kodama, H. (1981). Automatic method for fabricating a three-dimensional plastic model with photo-hardening polymer. *Review of Scientific Instruments*, 52(11), 1770-1773. doi:10.1063/1.1136492.
- Lu, B. L., Dichen; Tian, Xiaoyong. (2015). Development Trends in Additive Manufacturing and 3D Printing. *Engineering*, 1(1), 85-89. doi:10.15302/j-eng-2015012.
- MakerBot Industries. (2018). About Thingiverse. [online] beschikbaar op: <https://www.thingiverse.com/about/>.
- Milgram, P. en F. Kishino (1994). 'A taxonomy of mixed reality visual displays.' *IEICE TRANS ACTIONS on Information and Systems* 77(12): 1321-1329.
- Mixed Reality Lab (2018). Human Pacman. [online] beschikbaar op: <http://mixedrealitylab.org/projects/all-projects/human-pacman/>. Geraadpleegd op: 17 april 2018.
- Moore, M. M., & Lu, B. (2011). Autonomous vehicles for personal transport: A technology assessment. [online] beschikbaar op: <http://www.pickar.caltech.edu/e103/Final%20Exams/Autonomous%20Vehicles%20for%20Personal%20Transport.pdf>. Geraadpleegd op: 5 juni 2018.
- Morozova, A. (2018). How much does it cost to build an Augmented Reality app like IKEA Place?. [online] beschikbaar op: <https://jasoren.com/how-much-does-it-cost-to-build-an-augmented-reality-app-like-ikea-place/>. Geraadpleegd op: 20 februari 2018.
- Ortt, J. R. (2010). Understanding the Pre-diffusion Phases. Gaining Momentum Managing the Diffusion of Innovations. J. Tidd. London, Imperial College Press: 47-80.
- Ortt, J. R. (2017). Guest editorial. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(1), 2-9. doi:10.1108/JMTM-01-2017-0010.
- Pisa, M., & Juden, M. (2017). Blockchain and Economic Development: Hype vs. Reality. Center for Global Development Policy Paper, 107.
- Resins Online. (2013). 3D Printed Clothing Becoming a Reality. [online] beschikbaar op: <http://www.resins-online.com/blog/3d-printed-clothing/>.
- Reynolds, J. (26 May 2001). 'Cruising into the future'. London: telegraph.co.uk.
- Sandner, P. (2017). Identifying Leading Blockchain Startups on a Worldwide Level. [online] beschikbaar op: <https://medium.com/@philippsandner/analysis-of-leading-blockchain-startups-worldwide-8ecee1a7d670>.
- Sedgwick, K. (2017). Bitcoin by Numbers: 21 Statistics That Reveal Growing Demand for the Cryptocurrency. [online] beschikbaar op: <https://news.bitcoin.com/bitcoin-numbers-21-statistics-reveal-growing-demand-cryptocurrency/>.
- Steenhuis, H. J., & Pretorius, L. (2015). Additive manufacturing or 3D printing and its adoption. Paper presented at the IAMOT 2015 - 24th International Association for Management of Technology Conference: Technology, Innovation and Management for Sustainable Growth, Proceedings.
- Stratasys. (2010). Stratasys is Development Partner on Urbee Hybrid - the First Car to Have Entire Body 3D Printed. [online] beschikbaar op: <http://investors.stratasys.com/news-releases/news-release-details/stratasys-development-partner-urbee-hybrid-first-car-have-entire>.
- Sybenga, S. (2010). How augmented reality can help safety. *dalam Study Tour Pixel*, 4. [online] beschikbaar op: <http://www.vudream.com/wayray-can-augmented-reality-ar-prevent-car-accidents-safety/>. Geraadpleegd op: 20 februari 2018.
- Szabo, N. (2011). Bitcoin, what took ye so long? [online] beschikbaar op: <http://unenumerated.blogspot.nl/2011/05/bitcoin-what-took-ye-so-long.html>
- TechRepublic (2016). Updated: Autonomous driving levels 0 to 5: Understanding the differences. [online] available at: <https://www.techrepublic.com/article/autonomous-driving-levels-0-to-5-understanding-the-differences/>.
- The Drum (2018). TOP 30 Augmented Reality Companies for 2018. [online] beschikbaar op: <http://www.thedrum.com/profile/news/284263/top-30-augmented-reality-companies-2018>. Geraadpleegd op: 13 april 2018.
- Van Krevelen, D. en R. Poelman (2010). 'A survey of augmented reality technologies, applications and limitations.' *International Journal of Virtual Reality* 9(2): 1.
- Vincent, J. (2014). British Museum releases scans of artefacts to let you 3D print your own museum at home. [online] beschikbaar op: <https://www.independent.co.uk/life-style/gadgets-and-tech/british-museum-releases-scans-of-artefacts-to-let-you-3d-print-your-own-museum-at-home-9837654.html>.
- Volokh, E. (2017). Law, virtual reality, and augmented reality. [online] beschikbaar op: https://www.washingtonpost.com/news/volokh-conspiracy/wp/2017/03/17/law-virtual-reality-and-augmented-reality/?noredirect=on&utm_term=.c5d4d43f9d3e. Geraadpleegd op: 20 februari 2018.
- Von Hippel, E. (2001). 'PERSPECTIVE: User toolkits for innovation.' *Journal of Product Innovation Management* 18(4, July): 247-257.
- Wikitude (2017). Augmented Reality 101: all about the technology behind ARCore and ARKit. [online] beschikbaar op: <https://www.wikitude.com/blog-augmented-reality-google-arcore-arkit-apple/>. Geraadpleegd op: 13 april 2018.
- Wilkinson, S., & Cope, N. (2015). 3D Printing and Sustainable Product Development. *Green Information Technology: A Sustainable Approach* (pp. 161-183).
- Williams, D. (2016). The History of Augmented Reality (Infographic). [online] beschikbaar op: https://www.huffingtonpost.com/dennis-williams-ii/the-history-of-augmented-_b_9955048.html. Geraadpleegd op 14 februari 2018.
- Wong, V. (2014). A Guide to All the Food That's Fit to 3D Print (So Far). *Bloomberg Businessweek*. [online] beschikbaar op: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2014-01-28/all-the-food-thats-fit-to-3d-print-from-chocolates-to-pizza>.

Appendix

Discussie: de Technologiemonitor van STT Algemeen

De methodes: aannames en beperkingen

In dit rapport zijn drie methodes beschreven die gezamenlijk de basis vormen voor de Technologiemonitor. De Technologiemonitor is een instrument om regulier (ieder jaar) te kijken hoe het staat met technologieën die op doorbreken lijken te staan. Tevens kan het aantal technologieën dat wordt geanalyseerd gestaag worden uitgebreid. Daarvoor is het belangrijk om strak te definiëren wat de technologie omvat, hoe de ontwikkeling en verspreiding in kaart gebracht kan worden (model 1), en hoe kan worden vastgesteld welke condities verdere ontwikkeling of (grootschalige) verspreiding bepalen (model 2). Tenslotte is het belangrijk voor domeinstudies van STT om een beeld te hebben hoe een bepaalde technologie in de loop van de tijd in opeenvolgende domeinen wordt toegepast.

De definitie

De wijze van definiëren van technologische doorbraken bestaat uit twee delen. Het eerste deel geeft aan wat een technologie nu een doorbraak maakt: dat is het geval als een technologie breed (en dus potentieel in meerdere domeinen) toepasbaar is en daar potentieel tot structurele verandering leidt. De andere delen specificeren de technologie zelf door precies aan te geven wat het werkende principe is, wat de functionaliteit is, en wat de belangrijkste componenten zijn. Deze methode heeft goed gewerkt voor de vier in dit rapport geselecteerde technologieën. Er zijn een paar opmerkingen.

Ten eerste, de definitie beperkt de omvang van een technologie. Dat is zorgvuldig want technologie wordt vaak breed of smal gezien en die gevallen gaan over compleet verschillende zaken. In de praktijk is die definitie nodig, maar ook beperkend. Immers, 3D printen is een familie van verschillende technologieën, hetzelfde geldt voor Augmented Reality, want ook daarvan bestaan fundamenteel verschillende varianten. Blockchain is een platform dat breed toepasbaar is voor meerdere functionaliteiten, namelijk het vastleggen van transacties die veilig en door velen bevestigd en gecontroleerd zijn. Dat is zinvol voor een scala aan toepassingen: het vastleggen van identiteiten van mensen en dingen, het vastleggen van transacties, en het definiëren van geldeenheden (cryptovaluta). De zelfrijdende auto is een complexe combinatie van heel veel verschillende technologieën. Ons voorstel is om voor de monitor

de definitie te handhaven omdat anders geen patroon, condities en toepassingen op een rij kunnen worden gezet.

Tabel 7.3: Aannames en beperkingen van de definitie (principe, functionaliteit en componenten)

Definitie	Commentaar
Beperking	De scope van de technologie (de eenheid) wordt vastgelegd en dus beperkt.
Aanname	De eenheid van onderzoek (de technologie) blijft ondanks vele veranderingen in de kern gelijk gedurende het patroon van ontwikkeling en verspreiding.
Mogelijke uitbreiding	Analyse op meerdere niveaus bijvoorbeeld op een hoger niveau, het niveau van een familie van technologieën, elk met hun eigen patroon en condities. Of op een lager niveau, het niveau van een bepaalde variant van een technologie.

Model 1: het patroon van ontwikkeling en verspreiding

Het patroon van ontwikkeling en verspreiding is een model dat een aanzienlijke verbetering vormt, in termen van realiteitsgehalte, op het verreweg meest gebruikte model, het innovatie-diffusie model. Het is een stap van een wel erg simpel 'life-cycle' model naar een iets realistischer 'evolutionair' model.

Het realisme neemt verder toe als bedacht wordt dat de lengte van iedere fase kan variëren van kort tot lang. Er ontstaan dan scenario's, zoals een scenario met een lange fase van uitvinding tot eerste introductie en daarna een hele korte aanpassingsfase van eerste introductie tot grootschalige verspreiding (typisch voor medicijnen) of een scenario met een hele korte eerste fase en een lange aanpassingsfase (typisch voor elektronische componenten). De technologieën in dit rapport verschillen behoorlijk in termen van de lengtes van de opeenvolgende fasen.

De aanname van ons model, het patroon, is dat de faseovergangen (uitvinding, eerste introductie, en start van grootschalige productie en verspreiding) goed en eenduidig vast te stellen zijn. Dat is niet altijd het geval: soms zijn de stappen zo incrementeel en gradueel dat de uitvinding niet eenduidig vast te stellen is. Soms zijn de faseovergangen zo onzeker dat de onzekerheid groter is dan de lengte tussen de faseovergangen. Het gehele model is dan instabiel en niet toepasbaar.

In dit rapport merken we dat het patroon voor blockchain lijkt op dat van software of materialen: de eerste toepassingen vinden niet separaat plaats maar tellen op (cumulatief) zodat de overgang tussen de aanpassingsfase en de latere fase van grootschalige productie en verspreiding niet te vinden is. Dit lijkt zich voor te doen bij technologieën die in vele toepassingen kunnen worden gebruikt, of bij technologieën die een platform vormen waarop vele andere toepassingen mogelijk zijn.

Tabel 7.4: Aannames en beperkingen van het patroon (ontwikkeling, adaptatie en stabilisatie)

Patroon	Commentaar
Beperking	Hindsight bias
Aanname	De fasen zijn eenduidig vast te stellen
Uitbreiding	De analyse van een technologie in de loop van de tijd updaten en daarmee de hindsight bias beperken. Eventueel varianten van het patroon toevoegen.

Methode 3: de condities

De condities geven aan welke factoren van belang zijn voor verdere ontwikkeling en verspreiding. De factoren kunnen blokkeren of niet blokkeren, afhankelijk van hun waarde. De conditielijst geeft een versimpeld beeld van de onderlinge complexe beïnvloeding van al deze factoren op elkaar. Het dashboard model neemt aan dat beïnvloedende factoren effect hebben op kernfactoren. In de praktijk hebben kernfactoren ook invloed op elkaar en kunnen kernfactoren in een feedback loop ook effect hebben op de beïnvloedende factoren.

Tabel 7.5: Aannames en beperkingen van het dashboard (factoren voor grootschalige verspreiding)

Conditie	Commentaar
Beperking	Beïnvloeding van factoren onderling
Aanname	Beïnvloedende factoren werken primair op kernfactoren
Uitbreiding	Dynamisch model

Over STT

Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT) is een onafhankelijke non-profit kennisinstelling. Het bestuur bestaat uit ruim 60 leden uit de top van de Nederlandse overheid, het bedrijfsleven, de onderzoekswereld en de maatschappelijke organisaties. Sinds 1968 is de kernactiviteit van STT het organiseren van langetermijn toekomstverkenningen op het snijvlak van technologie en samenleving. De verkenningen dragen bij aan visievorming, agenda's voor de toekomst, onderzoeksprogramma's, netwerken, instituten en projecten. De verkenningen zijn altijd interdisciplinair en proberen bij te dragen aan oplossingen voor *grand societal challenges*.

Hiernaast houdt de STT Academy zich bezig met methodiekontwikkeling en sponsort leerstoelen, organiseert masterclasses, en onderhoudt het Netwerk Toekomstverkenningen (NTV) en het jongerenennetwerk Young STT.

Informatie over STT, haar activiteiten en haar publicaties is te vinden op de website www.stt.nl.

Publicaties

Een aantal recente verkenningen van STT:

STT 84 Nationale Toekomstmonitor 2016

Dhoya Sniijders, 2016

STT 85 Wie wij worden. Toekomstbeelden van mensen in 2050

Ellen Willemse, 2016

STT 86 Data is macht. Over Big Data en de Toekomst

Dhoya Sniijders, 2017

STT 87 En toen ging het licht aan. Transitie naar een emissievrij energiesysteem

Soledad van Eijk, 2017

STT 88 Het eeuwige leren. Over leen, Technologie en de Toekomst.

Dhoya Sniijders, 2018



Auteurs

Roland Ortt, Bram Dees (TU Delft)

Met medewerking van

Patrick van der Duin, Dhoya Snijders, Silke den Hartog, Carlijn Naber (STT)

Tekst- en taalredactie

Japke Schreuders

Vormgeving en illustraties

IM VormCommunicatie

NUR 950

Trefwoorden: toekomst, monitor, technologische doorbraken, blockchain, virtual reality, 3D printen, zelfrijdende auto, Nederland

© 2018, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, Den Haag



Publicaties van Stichting Toekomstbeeld der Techniek wordt auteursrechtelijk beschermd zoals vastgelegd onder de Creative Commons Naamsvermelding Niet Commercieel-Geen Afgeleide Werken 3.0 Unported licentie. U kunt dit werk toeschrijven aan Stichting Toekomstbeeld der Techniek (www.stt.nl), 2018. Bezoek <http://www.creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/nl/> voor de volledige tekst van de licentie.