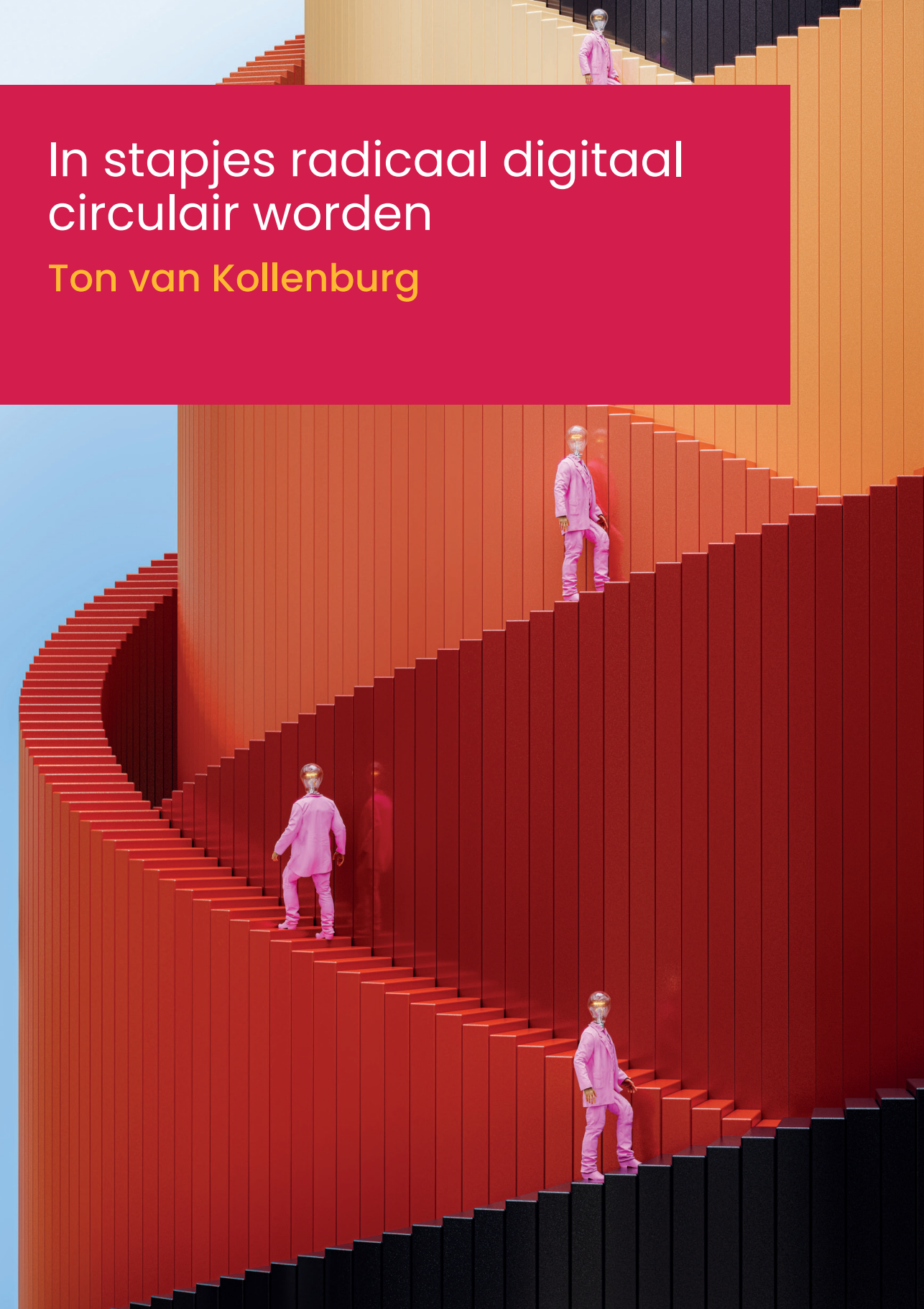




In stapjes radicaal digitaal  
circulair worden

**Ton van Kollenburg**

# In stapjes radicaal digitaal circulair worden

**Ton van Kollenburg**

Lector Slimme Circulaire Systemen

Rotterdam, 30 november 2023



Hogeschool Rotterdam Uitgeverij

**1e druk, november 2023**

Dit boek is een uitgave van Hogeschool Rotterdam Uitgeverij  
Postbus 25035  
3001 HA Rotterdam

©Ton van Kollenburg

Omslagfoto: Unsplash+in collaboration with Alex Shuper  
Afbeeldingen: Quick Brown Fox/Doreen van den Broek

ISBN: 9789493012462



9 789493 012462 >

Deze publicatie valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel-GelijkDelen 4.0 Internationaal-licentie.







# Inhoudsopgave

|                                                                      |            |
|----------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1. Inleiding</b>                                                  | <b>7</b>   |
| <b>2. Circulaire uitdaging</b>                                       | <b>11</b>  |
| 2.1. Achtergrond en definitie van een circulaire economie            | 11         |
| 2.2. Toepassing van circulariteit                                    | 17         |
| 2.3. Aandachtspunten                                                 | 25         |
| 2.4. In het kort                                                     | 30         |
| <b>3. Digitale oplossing</b>                                         | <b>33</b>  |
| 3.1. Definitie en doel van digitalisering                            | 33         |
| 3.2. Toepassing van digitalisering                                   | 35         |
| 3.3. Aandachtspunten bij digitalisering                              | 40         |
| 3.4. In het kort                                                     | 45         |
| <b>4. Naar een digitale circulaire economie</b>                      | <b>47</b>  |
| 4.1. Achtergrond en definitie                                        | 47         |
| 4.2. Toepassing van digitalisering ten behoeve van circulariteit     | 52         |
| 4.3. Aandachtspunten                                                 | 60         |
| 4.4. In het kort                                                     | 69         |
| <b>5. Digitale circulaire paradox</b>                                | <b>71</b>  |
| 5.1. Systemen en systeemdenken                                       | 71         |
| 5.2. Adaptieve versus radicale verandering                           | 74         |
| 5.3. Uitwerking in de digitale circulaire paradox                    | 82         |
| 5.4. Naar een mogelijkheid om incrementeel radicaal te veranderen    | 84         |
| <b>6. Op weg naar slimme circulaire systemen</b>                     | <b>89</b>  |
| 6.1. Wat is er in de praktijk nodig?                                 | 89         |
| 6.2. Welke kennis ontbreekt?                                         | 92         |
| 6.3. Wat zijn de onderzoeksvragen en wat doet het lectoraat daarmee? | 94         |
| 6.4. Met studenten aan de slag bij bedrijven                         | 98         |
| <b>7. Dankwoord</b>                                                  | <b>101</b> |
| <b>8. Geraadpleegde bronnen</b>                                      | <b>103</b> |
| <b>Eerdere uitgaven Hogeschool Rotterdam Uitgeverij</b>              | <b>110</b> |



# Inleiding

In mijn bijna negen jaar als lector bij Avans Hogeschool ontdekte ik dat er grofweg twee soorten lectoren zijn: de meer academische en de meer praktijkgerichte. Waar de eerste groep meer aandacht heeft voor wetenschap, theorie en papers, is de focus van de tweede meer gericht op het betrekken van stakeholders en de toepassing in de praktijk en vakbladen of andere praktische vormen. Ik hoor bij die tweede groep, maar ik weet dat een gedegen benadering vanuit de theorie voor een nieuw vakgebied als de digitale circulaire economie essentieel is om goed beslagen ten ijs te kunnen komen. Dat neemt niet weg dat mij nogal eens het gevoel bekruipt dat de theorievorming is losgezongen van de praktijk en daar ook op achterloopt, door te blijven hangen in bijvoorbeeld modellen en definities. Daarbij heb ik opgemerkt dat digitaal en circulair in de theorie nog twee los van elkaar staande fenomenen zijn. Zo draait het bijvoorbeeld in wetenschappelijke publicaties over de circulaire economie vaak om circulaire businessmodellen, circulaire ecosystemen en haast filosofische discussies over resource-efficiëntie en -sufficiëntie. De digitale wereld kent daarentegen tech-optimisme, waar snelle computers het mogelijk maken om heel veel data te verzamelen, om deze vervolgens te gebruiken om oplossingen aan te dragen; in veel publicaties spelen digitale technologieën daarin een centrale rol.

Hoofdstuk 2 en 3 gaan in op circulariteit respectievelijk digitalisering als afzonderlijke begrippen en zijn vooral bedoeld om de leek aan de hand te nemen en de meest relevante onderdelen van circulariteit en digitalisering uit te leggen. Het is me namelijk opgevallen dat veel mensen òf wat weten en vinden over circulariteit òf over digitalisering, maar bijna nooit een combinatie van de twee. Maar als deze informatie jou al bekend is: sla deze hoofdstukken dan vooral over!

In het vierde hoofdstuk komen digitalisering en circulariteit samen in de beschrijving van de digitale circulaire economie, waarin data en digitalisering zorgen voor de noodzakelijke informatie om een circulair systeem te kunnen ontwikkelen. De ontwikkeling van een digitale circulaire economie staat nog in de kinderschoenen, er is nog niet veel onderzoek naar gedaan en nog weinig kennis over aanwezig. En wat er is, is sterk theoretiserend. Er bestaan wel praktijkvoorbeelden van circulaire systemen, maar die verkeren veelal nog in de *startup-fase* of borduren voort op al langer bestaande werkwijzen. Een voorbeeld van dat laatste is het opwaarderen van al bestaand onderhoud van producten met gebruik van sensoren om de technische staat te bewaken, nu met het circulaire label 'levensduurverlenging'. Hoewel dit mogelijk wat cynisch klinkt, wil ik er vooral mee aangeven dat er nog veel te doen is om te zorgen dat materialen en producten opnieuw worden gebruikt en het milieu daar niet achteloos mee wordt

verontreinigd. Data en digitale middelen spelen daarin wat mij betreft een cruciale rol. Hoofdstuk 5 gaat over de digitale circulaire paradox: enerzijds is digitalisering cruciaal voor een succesvolle ontwikkeling van circulariteit, anderzijds vraagt het verzamelen en verwerken van data veel energie en materiaal, wat haaks staat op het circulaire streven om minder materialen te gebruiken. Ik laat in het hoofdstuk de noodzaak zien om slim de weg naar een digitale circulaire economie te zoeken.

Een van de grote tekortkomingen in de ontwikkeling van kennis over een digitale circulaire economie is het ontbreken van empirisch onderzoek. Lectoraten staan echter bekend om het praktijkgerichte onderzoek dat ze uitvoeren en daar geef ik in het laatste hoofdstuk invulling aan: wat zijn de kennisvragen waar het lectoraat Slimme Circulaire Systemen aan werkt en gaat werken, en wat zou dat moeten opleveren voor onderwijs en beroepspraktijk?

Tot slot nog twee dingen. Ik heb de hoofdstukken zo geschreven dat je ze los van elkaar redelijk kunt lezen. Maar er zit wel een zodanige opbouw in dat je altijd even terug kunt naar een eerder hoofdstuk als je ergens kennis blijkt te missen. Weet je al veel over de digitale circulaire economie? Begin dan gerust direct in hoofdstuk 5. Ben je alleen benieuwd naar wat er vanuit het lectoraat wordt onderzocht? Lees dan hoofdstuk 6. Maar merk je dat hoofdstuk 5 toch informatie bevat over de digitale circulaire economie die je niet helemaal beheerst, pak dan hoofdstuk 4 er nog even bij.

Daarnaast staan sommige stukken tekst in een kader, deze zijn bedoeld ter verlevendiging van de lopende tekst.

## Oude circulaire ideeën

Ik ben geboren in Son en Breugel, vlak bij Eindhoven, boven de supermarkt van



Afbeelding 1: Supermarkt eind jaren vijftig

mijn opa. Een jaar na mijn geboorte werd dat pand gedwongen verkocht, omdat er een grotere weg moest worden aangelegd van Eindhoven naar Nijmegen. Het was de tijd van de vooruitgang en het welvaartsstreven. Mijn moeder heeft haar herinneringen op papier gezet en schrijft dat die vooruitgang meteen na de Tweede Wereldoorlog al begon: "Alles ging te voet, naar de stad met de tram of per fiets... Dit is allemaal na de oorlog veranderd" (Van Kollenburg-Vriens, persoonlijke communicatie).

Er kwamen veel verbeteringen, denk maar aan elektriciteit en apparaten als

wasmachines, aan de riolering, aan het feit dat vaders en zonen niet meer met één paar zondagse schoenen hoefden te doen of aan de centrale verwarming in plaats van kolenkachels vol roet. Kijk ik door een duurzaamheidsbril, dan lees ik dat mijn moeder schrijft dat in de lokale supermarkt van de jaren vijftig (zoals in afbeelding 1) nauwelijks voorverpakte artikelen waren. Alles werd los verkocht en moest worden afgewogen, zoals thee, boter, zout, bloem, zuurkool en hagelslag. Voor groene zeep brachten mensen zelf een bakje mee, en olie en azijn werden uit een ton in een meegebrachte fles getapt. En de koffie werd gemalen in de winkel: "Wij hadden in de winkel een koffiemolen, dus werden alle bonen bij ons gemalen, met als gevolg dat de winkel altijd heerlijk naar gemalen koffie rook" (Van Kollenburg-Vriens, persoonlijke communicatie). Alles was onverpakt, behalve het zeepoeder van Persil. Kleding werd hersteld als die kapot was en ging van de ouders via de oudste naar de jongste kinderen, waarbij de jongsten vaker wat nieuws kregen. Keukenrollen bestonden niet, daarvoor werden geruite doeken gebruikt. Ook toiletpapier bestond niet, met als nadeel dat de gebruikte kranten het toilet vaak verstopten (als er al een toilet aanwezig was en niet een kist met een gat erin). Groenten kwamen direct van de boeren. Nu is de noviteit in de supermarkt waar ik kom dat je zelf een zakje mee moet brengen voor de groenten en zijn er apps zoals Vinted om kleding door te geven, of wordt er gegrapt dat alles in de digitale wereld papierloos wordt, behalve het toilet...



# Circulaire uitdaging

Dit hoofdstuk belicht het voorkomen van de uitputting van (de voorraad) grondstoffen, door een circulaire economie te ontwikkelen. Hoewel er al diverse (business)modellen en tal van voorbeelden zijn, gaat de circulaire transitie in de praktijk niet snel en effectief genoeg. Er zijn nog tal van hindernissen te overwinnen. Daarom gaan de volgende paragrafen over:

- de achtergrond en definitie van een circulaire economie;
- de toepassingen van circulariteit, met aandacht voor circulaire bedrijven, businessmodellen en ecosystemen;
- een aantal aandachtspunten.

Het hoofdstuk wordt afgesloten met een korte samenvatting en de link naar hoofdstuk 3: over de digitale oplossing.

## 2.1. Achtergrond en definitie van een circulaire economie

### Toenemend materiaalgebruik en het terugdringen daarvan

In de loop van de twintigste eeuw is de groeiende wereldbevolking een factor 34 keer meer materialen gaan gebruiken, en nog steeds stijgt het niveau waarop de mensheid natuurlijke hulpbronnen zoals water, energie, grondstoffen en vruchtbaar land consumeert (Bastein & Willems, 2019). Eurostat meldt in haar *Monitoring Framework* (2023) dat de *raw material consumption indicator* in de EU in 2020 veertien ton per hoofd van de bevolking bedroeg. Dat wil zeggen dat een inwoner gemiddeld 14.000 kilogram per jaar aan biomassa, metaalertsen, mineralen en fossiele energiematerialen en -dragers verbruikte. Bastein en Willems stellen in 2019 dat het reëel is om te verwachten dat het mondiale materiaalgebruik in 2050 verviervoudigd zal zijn.

Het materiaalgebruik zorgt wereldwijd jaarlijks voor 32.600 miljard kilo afval (Circle Economy, 2023), in de EU was dat de laatste jaren ongeveer 5.000 kilogram per hoofd van de bevolking (Eurostat, 2023). Dat afval is niet alleen 'verloren grondstof', maar verdwijnt vaak ook in ongewenste vorm in het milieu. Na het gebruiken van een product wordt het restant vaak immers achteloos weggegooid. Als je 's ochtends na het tandenpoetsen je mond spoelt, dan verdwijnen de micro-plastics uit de tandpasta in het riool, net als de restanten van gebruikte medicijnen als je naar het toilet bent geweest. En wat te denken van het verwarmen van je huis of jezelf (laten) vervoeren: hoeveel mensen maken zich er echt druk over dat ze de resterende CO<sub>2</sub> naar de atmosfeer uitstoten? En zelfs bij de elektrificatie van bijvoorbeeld auto's en fietsen komt die achteloosheid voor. Tijdens het gebruik wordt weliswaar geen CO<sub>2</sub> uitgestoten, maar de zware metalen, die zijn gebruikt bij de winning van de grondstoffen voor de batterijen, worden wel gedumpt.

Het *recyclen* van gebruikte materialen gaat traag. Dittrich stelt (2019) sceptisch vast dat bedrijven al vinden dat ze duurzaam denken en doen als ze een manier verzinnen voor het *recyclen* van hun afval, ook als het op een laagwaardigere manier wordt hergebruikt. Terwijl ook de *recyclingcijfers* niet om over naar huis te schrijven zijn. De Ellen MacArthur Foundation rapporteerde in 2017 dat minder dan één procent van de gebruikte materialen in kleding wordt *gerecycled*. Met betrekking tot het elektronisch afval in de EU geven Bär en Schrems (2021) aan dat slechts 40 procent wordt *gerecycled* en dat van papier weliswaar 80 procent wordt teruggewonnen, maar dat slechts twee derde daadwerkelijk wordt *gerecycled*.

Door al dit gebruik en verbruik van materialen worden de zogenoemde ‘planetaire grenzen’, dus wat de aarde aankan, substantieel overschreden. Zo had Nederland op 12 april haar consumptiedeel voor heel 2023 al verbruikt, voor de hele aarde was dit op 2 augustus. Dus alles wat na die datum is verbruikt, is een vorm van debet. Daarom zijn drastische maatregelen nodig, die zorgen voor een betere en zuinigere omgang met de hulpbronnen, materialen en goederen. Die maatregelen richten zich ten eerste op het beperken van het gebruik van de schaarse hulpbronnen. Daarbij speelt ook de energietransitie een belangrijke rol. Dat laatste klinkt misschien vreemd, omdat de energietransitie zich primair richt op het beperken van de opwarming van de aarde (SER, 2022), maar voor het opwekken van hernieuwbare energie zijn ook veel materialen, zoals metaal voor de windmolens, nodig (Bastein & Willems, 2019). Onbeperkt hernieuwbare energie opwekken en gebruiken leidt daarom tot een uitputting van grondstoffen. Daarover stelt Korevaar (2023, p. 9):

Er bestaat een onlosmakelijke relatie tussen het succes van de energietransitie en de beschikbaarheid van materialen voor die energietransitie. Als de energietransitie alleen focust op de afbouw van de inzet van fossiele brandstoffen bij het opwekken van energie, is er over een aantal jaren een grote schaarste aan meerdere soorten grondstoffen te verwachten, zoals metalen of kunststoffen. Daarbij komt dat niemand zit te wachten op het vervangen van autokerkhoven door windmolenkerkhoven, of stapels zonnepanelen bij het chemisch afval.

Volgens Den Hollander (2023) hebben vrijwel alle verschillende oplossingsrichtingen voor het voorkomen van uitputting van de grondstoffen, twee overeenkomende kenmerken. Ten eerste het dringende advies om slimmer, efficiënter en bewuster om te gaan met de natuurlijke hulpbronnen. Ten tweede het belangrijke inzicht dat economie en ecologie nooit los van elkaar kunnen worden gezien. Hij stelt (p. 25): “De steeds terugkerende kernvraag en uitdaging in al deze beschouwingen over onze toekomst zou geformuleerd kunnen worden als: ‘Hoe brengen we het materiaal- en energieverbruik van ons economisch systeem tijdig terug naar een niveau dat – in principe – eindelijk in stand gehouden kan worden door onze aarde en behouden of vergroten we tegelijkertijd

het vermogen van ons economisch systeem om welvaart en welzijn voor allen te creëren?” Dat sluit aan bij de stelling van Bocken et al. (2016) dat de erkenning van de grenzen aan het planetaire gebruik van hulpbronnen en energie en het belang om de wereld te zien als een ‘systeem’ waar vervuiling en afval als een nederlaag worden gezien, aan de basis lag van het denken over de circulaire economie. In dit verband citeren ze Bruce Commoner (1971, p. 300): “*We must learn how to restore to nature the wealth that we borrow from it.*”

Om de natuur te laten herstellen en de aarde niet te overbelasten, is een grondstoffentransitie nodig, die zich richt op een circulaire economie. Dit moet zijn een transitie waarin radicaal efficiënter wordt omgegaan met grondstoffen, materialen en producten om het gebruik van natuurlijke hulpbronnen te beperken, evenals de milieudruk, die ontstaat tijdens productie, gebruik en afvalverwerking van een product (SER, 2022). Een dergelijke transitie past ook in het wereldomvattende streven van de Verenigde Naties dat ze hebben samengevat in zeventien *sustainable development goals*, SDG’s (United Nations, 2023). Zo is er een sterk verband tussen de circulaire transitie en SDG 12, dat zich richt op een verantwoorde consumptie en productie. En er zijn diverse SDG’s waarop circulariteit een positieve invloed heeft, zoals SDG 6 (schoon water en sanitaire voorzieningen), SDG 7 (betaalbare en schone energie) en SDG 15 (leven op land) (Schroeder et al., 2019).

In het *Circularity Gap Report 2023* (Circle Economy, 2023) wordt aangegeven dat het globale niveau van circulariteit – dat wil zeggen: het aandeel materialen en grondstoffen dat opnieuw wordt gebruikt – tussen 2018 en 2023 is gedaald van 9,1 procent naar 7,2 procent. Voor Nederland wordt het circulaire niveau geschat op 24,5 procent. Dat lijkt misschien acceptabel, maar deze verandering gaat te langzaam om de door de Nederlandse overheid gestelde doelen van 50 procent circulair in 2030 en 100 procent circulair in 2050 te halen.

Niettemin is ook in Nederland steeds meer aandacht voor een circulaire economie. Dat blijkt bijvoorbeeld uit de ondertekening van het Grondstoffenakkoord (intentieovereenkomst tussen de overheid en andere partijen over maatregelen om de transitie naar de circulaire economie te versnellen) in 2017, waarin transitieagenda’s zijn opgesteld voor vijf prioritaire ketens van grondstoffen: biomassa & voedsel, kunststoffen, maakindustrie, bouw en consumptiegoederen. Een ander voorbeeld is de totstandkoming van het uitvoeringsprogramma Circulaire Maakindustrie, van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) waarin de voorzieningszekerheid van grondstoffen, het vergroten van waardebehoud en het verlagen van milieudruk van de maakindustrie centraal staan (Ministerie I&W, 2020). Ook zet bijvoorbeeld Rotterdam op haar website met betrekking tot haar omgevingsvisie: “Rotterdam ontwikkelt zich als een stad, haven en regio, die vooroploopt in de transitie naar duurzame energie en circulaire processen” (Gemeente Rotterdam, 2023).

# Definitie

Het formuleren van een eenduidige definitie van een circulaire economie blijkt lastig. Volgens Geissdoerfer et al. (2017) is een circulaire economie “een regeneratief systeem waarin de input van hulpbronnen en verspilling, emissie en energielekage worden geminimaliseerd door materiaal- en energiekringlopen te vertragen, te sluiten en te verkleinen. Dit kan worden bereikt door duurzaam ontwerp, onderhoud, reparatie, hergebruik, herfabricage, renovatie en *recycling*” (Geissdoerfer et al., 2017, p. 579).

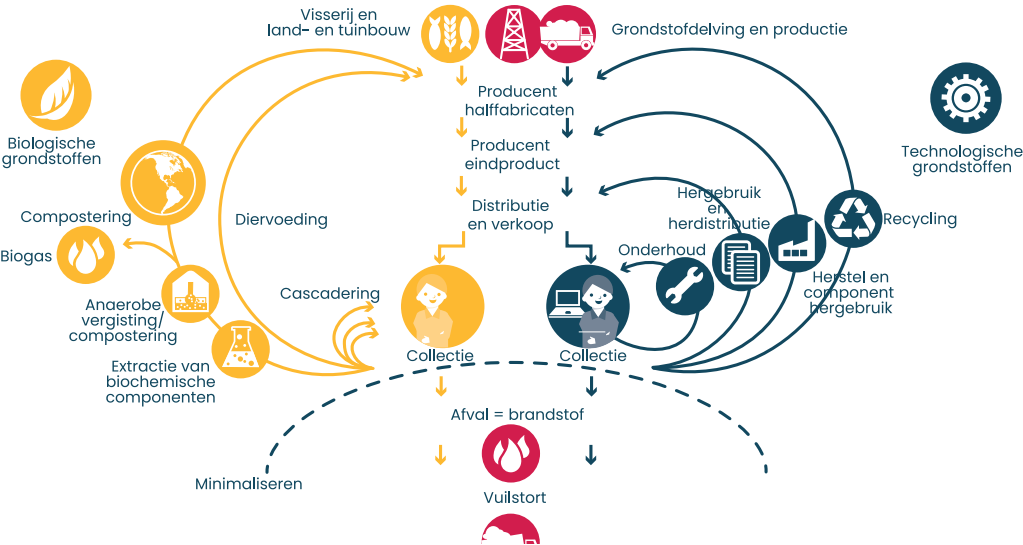
Ondanks deze definitie constateren Nobre en Tavares (2020) dat een van de uitdagingen voor wetenschappers is om het eens te worden over een gemeenschappelijke theoretisch-wetenschappelijke definitie van een circulaire economie en de verschillende vertakkingen ervan. In tabel 1 staan enkele voorbeelden van definities van circulaire economie, te beginnen met de poging van Kirchherr et al. (2017) om, aan de hand van 114 definities van circulaire economie, te komen tot één definitie. Uit de tabel blijkt dat dit anderen er niet van heeft weerhouden om te komen met nieuwe definities, waarin product- en systeemontwerp en het loskoppelen van groei en beperkte hulpbronnen worden aangevuld. ‘Science in motion’ zeg maar, terwijl de vraag is: in welke mate dragen deze voortschrijdende inzichten bij aan het daadwerkelijk realiseren van een circulaire economie, aangezien “de meeste succesvolle initiatieven bijna uitsluitend door beoefenaars werden geleid” (Nobre & Tavares, 2020, p. 22)?

Tabel 1. Voorbeelden van definities van circulaire economie

| Bron                   | Definitie circulaire economie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kirchherr et al., 2017 | Een economisch systeem dat is gebaseerd op businessmodellen die het end-of-life-concept vervangen door het verminderen, alternatief hergebruiken, <i>recyclen</i> en terugwinnen van materialen in productie- / distributie- en consumptieprocessen, dus werkend op microniveau (producten, bedrijven, consumenten), mesoniveau (eco-industriële parken) en macroniveau (stad, regio, land en daarbuiten), met als doel duurzame ontwikkeling te bewerkstelligen, wat inhoudt dat milieukwaliteit, economische welvaart en sociale rechtvaardigheid worden gecreëerd ten voordele van huidige en toekomstige generaties. |
| Heyes et al., 2018     | Een gesloten toeleveringsketen die zich richt op de restauratieve en regeneratieve aspecten. Het stelt het industriële systeem in staat om het end-of-life-concept aan te passen met restauratie, elimineert het gebruik van giftige materialen, streeft naar hergebruik en elimineert verspilling door de expliciete implementatie in de ontwerpmodellen, de productsystemen en het ontwerp van de materialen. Het doel van de circulaire economie is om de hulpbronnenefficiëntie en milieuprestaties op verschillende niveaus van de toeleveringsketen te verbeteren.                                                 |

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hedberg et al., 2019 | Een economisch systeem dat tot doel heeft de waarde van producten en materialen zo lang mogelijk te behouden en het gebruik van hulpbronnen en afval te minimaliseren door reparatie, terugwinning, hergebruik en <i>recycling</i> van materialen en producten te vergroten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Rosa et al., 2019    | Een industrieel systeem dat door intentie en ontwerp restauratief of regeneratief is. Dit concept vervangt het end-of-life-concept door restauratie, verschuift naar het gebruik van hernieuwbare energie, elimineert het gebruik van giftige chemicaliën (die hergebruik in de weg staan) en streeft naar de eliminatie van afval door het superieure ontwerp van materialen, producten en systemen. De circulaire economie maakt het mogelijk om economische groei los te koppelen van beperkte hulpbronnen, door kansen te bieden aan bedrijven met betrekking tot nieuwe manieren om waarde te creëren, inkomsten te genereren, kosten te verlagen, veerkrachtig te zijn en legitimiteit te creëren. |

Ondanks de moeizame definiëring in de wetenschap, is de praktijk flink aan de slag. Zo presenteert de Ellen MacArthur Foundation in haar rapport *Towards the circular economy* (2012) een inspirerend en aansprekend beeld van een circulaire economie. Daarin maakt ze onderscheid tussen biotische en technische nutriënten, omdat de waarde die een product heeft voor deze beide stromen, op verschillende wijzen vorm kan worden gegeven. In figuur 1 zijn deze twee stromen als aparte circulaties

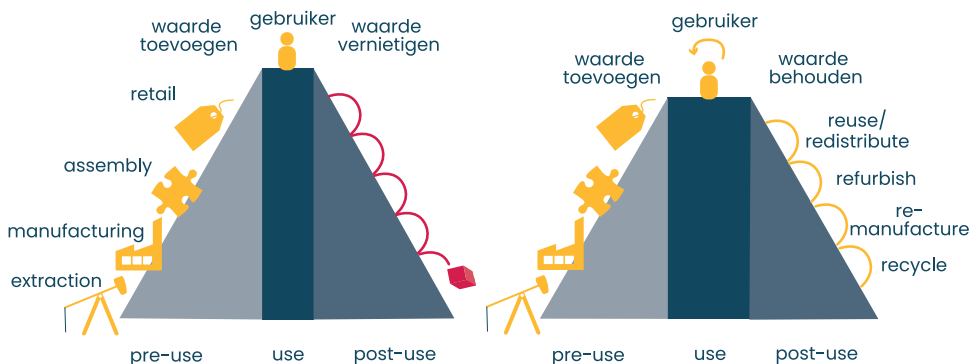


Figuur 1. Vlindermodel van de circulaire economie (bron: Ellen MacArthur Foundation, 2012)

weergegeven. Vanwege de vorm van de twee stromen heet dit model het 'vlindermodel'. In het midden staat de waardeketen vanuit de lineaire economie, waarin grondstoffen worden gewonnen of geoogst en vervolgens worden verwerkt in producten. In een lineaire economie worden deze producten na gebruik weggegooid of verbrand, maar in de circulaire economie worden ze op verschillende manieren opnieuw gebruikt: de links en rechts gebogen pijlen naar boven.

### Waarde speelt een centrale rol

Net als bleek uit het vlindermodel, speelt ook volgens Den Hollander (2023) waarde een centrale rol in de circulaire economie. Daarbij onderscheidt hij "twee vormen van waarde: waarde als subjectieve perceptie en (economische) waarde als financiële grootte. In een gezond economisch systeem is elke actie gericht op het creëren, behouden en het tussen partijen uitruilen van deze twee verschijningsvormen van waarde" (p. 35). Dit waardebegrip is van belang, omdat producten en materialen zolang zij als waardevol worden gezien, niet als 'afval' uit het economisch systeem zullen verdwijnen. Niet alle vormen van hergebruik hebben echter dezelfde waarde, wat goed is te zien in een concept dat Achterberg et al. (2016) ontwikkelden: de *value hill*. Deze *value hill* is in figuur 2 weergegeven voor de lineaire economie en de circulaire economie. De versie voor de lineaire economie toont voor en tijdens het gebruik van het product de toename van de waarde in opeenvolgende bewerkingen, terwijl de waarde na gebruik wordt vernietigd. In de versie voor de circulaire economie vindt herwaardering plaats van gebruikte producten door bijvoorbeeld *reuse*, *refurbishment*, *remanufacturing* en *recycling*. Het idee hierachter is dat de waarde met zo min mogelijk energie- en materiaalverbruik moet worden hersteld. Dus eerst kijken of een product opnieuw kan worden gebruikt (*reuse*), bijvoorbeeld door iemand anders, zoals bij tweedehandskleding via Vinted. Als dat niet lukt, kunnen bepaalde delen worden vervangen, zoals de batterij van een mobiele telefoon (*refurbish*). En zo verder met als laatste mogelijkheid het uit elkaar halen van een product tot op het niveau van de grondstoffen, zodat deze opnieuw worden gebruikt (*recycle*).



Figuur 2. Value hill in de lineaire (links) en de circulaire (rechts) economie (bron: Achterberg et al., 2016)

In de *value hill* is sprake van vier R-en, maar er zijn veel meer varianten. Potting et al. (2017) geven bijvoorbeeld een overzicht van tien mogelijke manieren ('R-strategieën') om in een circulaire economie te komen tot een herwaardering van producten en hun onderdelen of grondstoffen. Deze strategieën zijn weergegeven in tabel 2, in volgorde van prioriteit, lopende van meest circulair tot minst.

Tabel 2. R-strategieën (bron: naar Potting et al., 2017)

| R-strategie              | Beschrijving                                                                                                                                                              |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| R0, <i>Refuse</i>        | Maak een product overbodig door de functie te elimineren of door de functie met een radicaal ander product aan te bieden, en voorkom daarmee het gebruik van grondstoffen |
| R1, <i>Rethink</i>       | Intensiveer het gebruik van een product, bijvoorbeeld door gebruikers het product te laten delen of door het multifunctioneel te maken                                    |
| R2, <i>Reduce</i>        | Gebruik minder van een product of materiaal in een product, waardoor het grondstoffengebruik afneemt                                                                      |
| R3, <i>Reuse</i>         | Hergebruik een product dat nog van goede kwaliteit is en de oorspronkelijke functie heeft                                                                                 |
| R4, <i>Repair</i>        | Onderhoud en repareer een product zodat deze zijn originele functie behoudt en daardoor de levensduur toeneemt                                                            |
| R5, <i>Refurbish</i>     | Knap een product op, door defecte delen of onderdelen met een verminderde of verouderde functionaliteit te vervangen                                                      |
| R6, <i>Remanufacture</i> | Maak nieuwe producten (met dezelfde functie) van (onderdelen van) oude producten                                                                                          |
| R7, <i>Repurpose</i>     | Gebruik delen van een product in een nieuw product dat een andere functie biedt                                                                                           |
| R8, <i>Recycle</i>       | Verwerk en hergebruik de materialen van een product                                                                                                                       |
| R9, <i>Recover</i>       | Win door verbranding de energie uit materialen terug                                                                                                                      |

## 2.2. Toepassing van circulariteit

### Circulaire bedrijven

Sommige bedrijven handelen van oudsher al circulair, bijvoorbeeld door modulaair te ontwerpen, waarbij componenten in verschillende configuraties kunnen worden

samengevoegd tot complexe systemen. Of door zich te richten op effectief onderhoud en reparatie, met als gevolg een langere levensduur van producten. Andere bedrijven handelen circulair vanuit eigen motivatie en/of worden gestimuleerd door vragen van bijvoorbeeld klanten, aandeelhouders, eigen personeel en sollicitanten.

Een mooi voorbeeld van circulair werken betreft het efficiënter gebruiken van grondstoffen met behulp van 3D-printen. Bij 3D-metaalprinten vindt tijdens het printproces (bijna) geen verlies van materiaal meer plaats en gaat poeder dat is overgebleven na het maken van de producten, terug naar de leverancier, die het hergebruikt. De reductie van materiaalgebruik wordt versterkt doordat er geen voorraadvorming meer nodig is, het vraaggestuurd is en er op locatie wordt geproduceerd. Een ander voorbeeld betreft *wire arc additive manufacturing* (WAAM). WAAM is in Nederland vooral op de kaart gezet in de Rotterdamse pilot RAMLAB in de RDM Makerspace, die vooral was gericht op applicaties in de maritieme industrie voor gebruik bij een bedrijf als Huisman, leverancier van onder andere kranen en partner voor speciale projecten voor met name de offshore-industrie, in samenwerking met Valk Welding, de leverancier van de lasrobots (Bastein et al., 2021). Een ander voorbeeld van een bestaande circulaire activiteit in Rotterdam is de levensduurverlenging van componenten en producten door onderhoud en reparatie, zoals met behulp van predictief onderhoud dat SEW Eurodrive toepast voor haar aandrijfunits (Bastein et al., 2021).

Volgens het rapport *Circulaire economie in kaart* van het Planbureau voor de Leefomgeving (Rood et al., 2019) zijn er veel van dergelijke circulaire voorbeelden:

Er zijn al veel activiteiten die bijdragen aan de circulaire economie in Nederland. Onze inventarisatie brengt zo'n 85.000 activiteiten in beeld. Hierbij zijn naar schatting minstens 420.000 banen betrokken. Er blijken veel meer activiteiten te zijn dan eerdere inventarisaties lieten zien, daarin ging het om enkele tientallen tot honderden activiteiten (p. 29).

Deze activiteiten lopen sterk uiteen, van bijvoorbeeld vergisten en *recyclen*, tot het maken van chemicaliën op basis van biomassa, het oprichten van deelplatformen voor bijvoorbeeld campers en boeken, het maken van brood met reststromen van bierbrouwers, het voorkomen van voedselverspilling en het maken van laptoptassen van oude autobanden. Meestal zijn bedrijven de initiatiefnemer, waarbij grote bedrijven zich bijvoorbeeld richten op het *recyclen* van plastics of het internationaal leasen van chemicaliën (zoals zwavelzuur bij de productie van pvc) en kleinere bedrijven bijvoorbeeld tassen maken van afgedankte reclameposters of groente telen op daken van flats (Rood et al., 2019).

Bedrijven hebben individueel diverse mogelijkheden om met circulariteit aan de slag te gaan. Dat kunnen ze bijvoorbeeld doen door de levensduur van hun apparatuur te

verlengen. Daarnaast kunnen ze hun *operational excellence* verbeteren, door onder meer (Bastein et al., 2021):

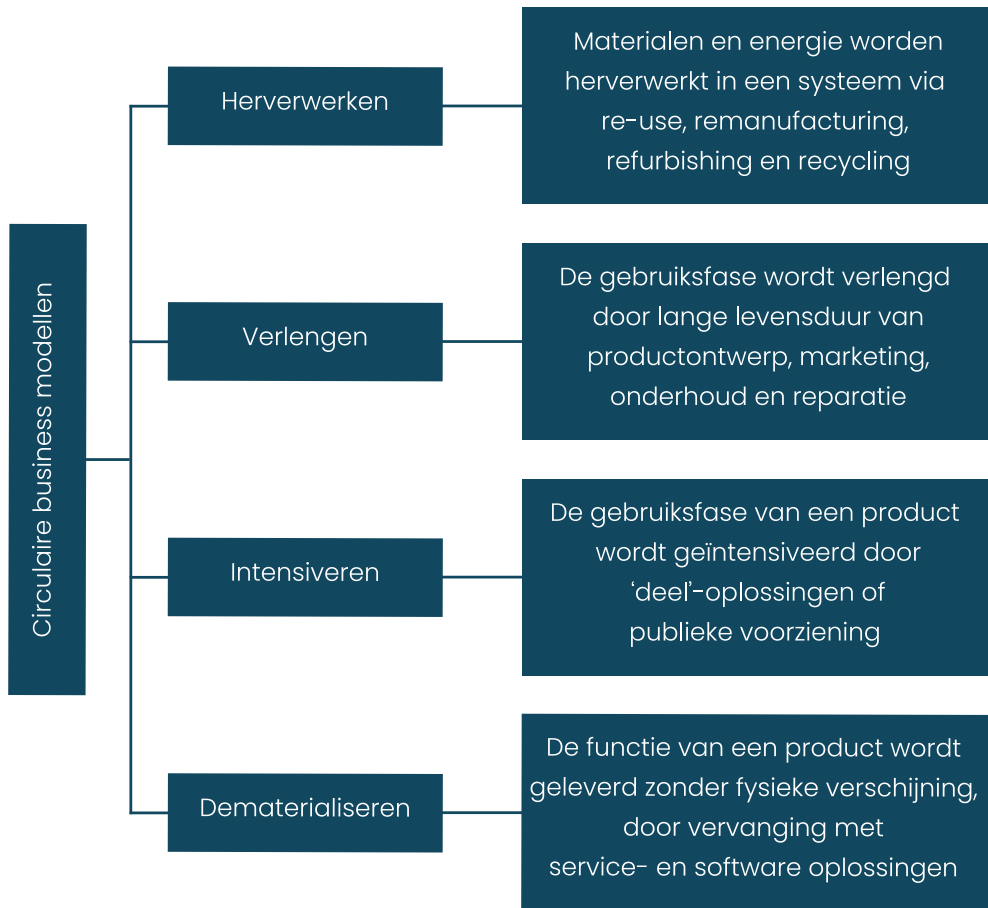
- het zo intensief mogelijk inzetten van productiemiddelen;
- het optimaliseren van de bezettingsgraad van productiemiddelen door het delen van apparatuur;
- het verbeteren van energie- en materiaalefficiency van de eigen operatie, door bijvoorbeeld optimaliseren van energie-intensieve operaties en *reducen* van het productie-afval;
- het inzetten op *refurbishment* en intensief onderhoud (zoals preventief of predictief onderhoud) van hun productieapparatuur.

### Circulaire businessmodellen

Bedrijven moeten in hun streven naar circulair opereren niet alleen intern hun zaken op orde krijgen, maar ook meer circulair naar buiten treden. Dat betekent dat ze gaan werken met een circulair businessmodel. Volgens Jonker et al. (2021) is een businessmodel opgebouwd uit een waardepropositie, een organisatiemodel (inclusief de betrokken partijen) en een verdienmodel. Een circulair businessmodel is een businessmodel met specifieke kenmerken, die apart van elkaar maar ook tegelijkertijd aanwezig kunnen zijn; dit zijn (Jonker et al., 2021):

1. horizontale en verticale ketenintegratie, zoals het gebruiken van eigen afval voor nieuwe verpakkingen;
2. één of meerdere kringlopen; in een individueel bedrijf of in een cluster van bedrijven of organisaties;
3. op strategisch niveau verminderde impact ten opzichte van lineaire alternatieven;
4. waardebehoud van (bewerkte) grondstoffen, componenten en producten, zodat deze keer op keer in meerdere kringlopen worden gebruikt;
5. verdienstelijking, wat inhoudt: de levering van producten is aangevuld met of vervangen door dienstverlening;
6. één of meerdere verdienmodellen die op het streven naar circulariteit aansluiten.

Deze kenmerken sluiten aan bij de definitie van een circulaire economie van Geissdoerfer et al. (2020). Volgens hen kunnen circulaire businessmodellen worden gedefinieerd als businessmodellen die materiaal- en energielussen doorlopen, uitbreiden, intensiveren en/of dematerialiseren om het gebruiken van hulpbronnen en het weglekken van afval en emissies uit een organisatiesysteem te verminderen. Volgens hen omvat dit herverwerkingsmaatregelen, gebruiksfase-verlenging, een intensievere gebruiksfase en dematerialisatie via service- en softwareoplossingen. Dit betreft de eerste helft van de definitie. De tweede helft van de definitie beschrijft vier generieke strategieën voor circulaire businessmodellen die in de literatuur zijn



Figuur 3. Strategieën voor circulaire businessmodellen (bron: Geissdoerfer et al., 2020)

geïdentificeerd: herverwerken (*closing the loop*), verlengen (*slowing the loop*), intensiveren (*intensifying the loop*) en dematerialiseren (*dematerializing the loop*). In figuur 3 zijn deze strategieën schematisch weergegeven.

Antikainen et al. (2018) benoemen daarnaast nog een andere strategie, namelijk: beperken (*narrowing the loop*), waarbij de gebruikte hoeveelheid materialen (of energie) voor de voortbrenging van een product wordt beperkt. Op basis van deze vijf strategieën komen Colombo et al. (2021) tot vijftien circulaire businessmodellen, die in tabel 3 zijn weergegeven.

Tabel 3. Overzicht van circulaire businessmodellen (bron: Colombo et al, 2021)

| Circulaire strategie                                               | Circulair businessmodel       | Beschrijving                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Closing</i><br>(materialen opnieuw gebruiken)                   | <i>Recycling</i>              | Afval gebruiken als grondstoffen                                                                |
|                                                                    | <i>Organic feedstock</i>      | Biomassa gebruiken (bijv. als energie) in het productieproces                                   |
|                                                                    | <i>Industrial symbiosis</i>   | Waste van het ene bedrijf gebruiken in een ander bedrijf                                        |
| <i>Narrowing</i><br>(minder materialen gebruiken in productie)     | <i>Resource efficiency</i>    | Gebruik van <i>virgin</i> materiaal en verbruik van bijvoorbeeld water en energie optimaliseren |
|                                                                    | <i>Produce on demand</i>      | Alleen maken wat is besteld                                                                     |
|                                                                    | <i>Renewable sources</i>      | Bronnen opnieuw gebruiken (waardoor minder uitstoot)                                            |
| <i>Slowing</i><br>(levensduur verlengen)                           | <i>Long-life products</i>     | Zorgen voor minder schade en slijtage door functionele en esthetische verbeteringen             |
|                                                                    | <i>Repair and maintenance</i> | Het product met onderhoudscontract verkopen                                                     |
|                                                                    | <i>Remanufacturing</i>        | Niet-functionerende onderdelen van het product vervangen                                        |
|                                                                    | <i>Reuse</i>                  | Gebruikte (schoongemaakte of licht herstellde) producten aanbieden                              |
| <i>Intensifying</i><br>(gebruik tijdens gebruiksfase intensiveren) | <i>Sharing economy</i>        | Het product als service ter beschikking stellen en zelf eigenaar blijven                        |
|                                                                    | <i>Access model</i>           | De klant tijdelijke toegang tot het product bieden (abonnement of huur)                         |
|                                                                    | <i>Performance model</i>      | De prestatie of output van het product verkopen i.p.v. het product zelf                         |
|                                                                    | <i>Sufficiency economy</i>    | De consumptie door eindgebruikers beperken                                                      |
| <i>Dematerializing</i>                                             | <i>Digitalization</i>         | Tastbare producten virtualiseren                                                                |

Of deze modellen allemaal echte circulaire businessmodellen zijn, valt te betwisten. Volgens Den Hollander (2023) hebben alle archetypen van écht circulaire businessmodellen een gemeenschappelijk element en dat is dat (in principe) alle producten uiteindelijk altijd weer terugkomen bij de producent. Daarmee zouden bijvoorbeeld het gebruik van biomassa en het optimaliseren van het gebruik van *virgin* materialen (niet eerder gebruikte en bewerkte grondstoffen) niet als circulair mogen worden beschouwd. Aan het begin van dit hoofdstuk heb ik betoogd dat bedrijven niet moeten denken dat ze circulair bezig zijn als ze halfslachtig *recyclen*. Niettemin nopen de staat van en het tempo naar circulariteit ertoe om elke beweging in de juiste richting te koesteren. Voor nu is het dus prima om ook deze strategieën te omarmen op de weg naar een circulaire economie.

Waarschijnlijk is het meest genoemde circulaire businessmodel het product-service-systeem, zoals product-as-a-service (PaaS). Dit past bij de *sharing economy* in tabel 3. Bij PaaS blijft de eigendom van het product bij de producent en neemt de gebruiker alleen de dienst af via het gebruiken van het product; de gebruiker koopt bijvoorbeeld niet het product 'lamp' maar de service 'verlichting'. Volgens Den Hollander (2023) is dit een belangrijk model, omdat de producent als eigenaar een direct financieel belang heeft bij het behouden van de waarde van zo'n product. Door de overdracht van eigendomsrechten is het voor de producent anders moeilijk om tijdig onderhoud, reparaties en eventuele upgrades af te dwingen.

Circulaire strategieën gaan over *closing, narrowing, slowing, intensifying & dematerialising the loop*.

### Circulaire ecosystemen

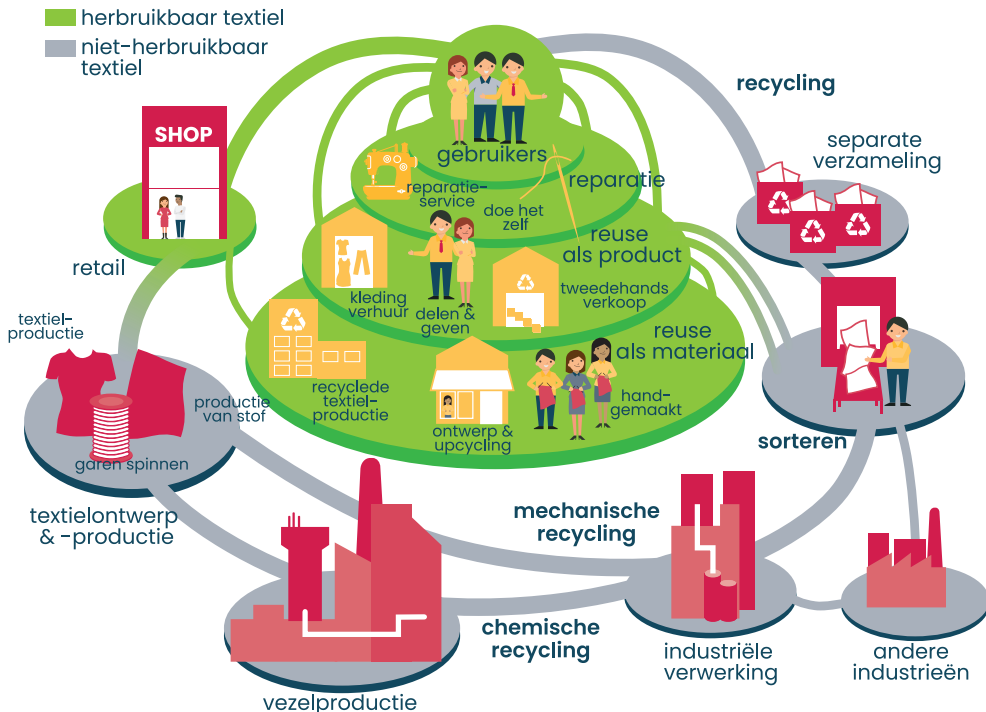
Een circulaire economie vraagt van alle deelnemers dat ze (meer) circulair opereren. Daarvoor moeten ketens van samenwerkende actoren ontstaan. Verondersteld wordt dat die samenwerking een min of meer blijvend karakter moet krijgen en dat betekent dat netwerken van producenten en consumenten of hybride 'prosumenten' moeten ontstaan. Dergelijke netwerken heten circulaire ecosystemen. Voor een circulaire economie met bijbehorende duurzame consumptie- en productiepatronen is, volgens Schöggli et al. (2023), betrokkenheid nodig van alle actoren. Van zowel overheid als niet-overheid, met speciale nadruk op de particuliere sector in het algemeen en productiebedrijven in het bijzonder. Organisaties kunnen in meer of mindere mate in de waardeketen met circulariteit bezig zijn. Daarom is het zinvol vijf fasen van circulariteit te onderscheiden, van relatief simpel op het niveau van één of enkele organisatie(s) naar een grote complexiteit op systeemniveau (Jonker et al., 2018):

1. In-huis circulariteit. Hierbij zorgt een organisatie ervoor dat kringlopen die geheel binnen haar scope plaatsvinden, worden gesloten, zodat grondstoffen, materialen en componenten opnieuw worden gebruikt.
2. Gedeeltelijke ketenintegratie. Dit is een deels gesloten kringloop voor een bepaald gedeelte van een productieproces, waar meerdere organisaties bij betrokken zijn. Dat vraagt om aandacht voor de verdeling van kosten en baten tussen de partijen.
3. Gesloten 'simpele' kringloop. Dit is een kringloop op basis van één specifiek materiaal, met als ambitie het organiseren van bijna volledig hergebruik en *recycling* daarvan. Daarvoor moeten alle partijen samen zorgen voor het sluiten van de kringloop en daar samen de regie over hebben. Dat vraagt om samen organiseren, met behorende nieuwe verdienmodellen en nieuwe vormen van bestuur.
4. Organisatie-ecologie. Hierbij werken verschillende bedrijven en partijen samen aan onderling afhankelijke kringlopen, met meerdere mono-materiële kringlopen die onderling van elkaar afhankelijk zijn. Er is sprake van complementaire organisatie-, business- en verdienmodellen.
5. Vervlochten systeem. Hierin is een verdere vervlechting van in elkaar grijpende, complexe kringlopen en subsystemen te zien, die uitmondt in een organisatorisch-economisch systeem. In deze fase gaat het om het anders samenwerken van alle betrokkenen, om dat systeem te organiseren met inbegrip van de institutionele context.

Veel van de circulaire systemen die eerder aan bod zijn gekomen, bevinden zich in fase 1, waar een organisatie nog zelf aan de slag kan met circulariteit. Aangezien een bedrijf niet alleen verantwoordelijk kan zijn voor het sluiten van de circulaire waardeketen (Nham en Ha, 2022), moet het bedrijf zich vanaf fase 2 in toenemende mate openstellen voor andere actoren in de waardeketen. Dat betekent dat het gesloten systeem van een bedrijf niet meer leidend is, maar steeds meer het ecosysteem waarin het bedrijf zich bevindt. Het ecosysteem van de circulaire economie kan worden gedefinieerd als een entiteit met meerdere onderling afhankelijke actoren die complementaire rollen spelen. De actoren kunnen bedrijven, industrieën, publieke en gouvernementele organisaties zoals gemeenten, ministeries, universiteiten, non-profitorganisaties en burger-consumenten zijn. Een circulair ecosysteem ontstaat, of wordt gecreëerd, rond een gemeenschappelijk doel op systeemniveau met betrekking tot de circulariteit van hulpbronnen, de kennis van de circulaire economie of het businessmodel van de circulaire economie (Aarikka-Stenroos et al., 2021). Uit deze definitie leiden Berghuis et al. (2022) de volgende kenmerken af:

- De deelnemers zijn zelfstandige bedrijven of organisaties.
- Er is sprake van diversiteit, complementariteit en interactie tussen de deelnemers.
- De deelnemers hebben een gemeenschappelijke mindset en doel.

Daarbij wordt ervan uitgegaan dat er een basis van circulaire principes onder het ecosysteem ligt en dat circulaire businessmodellen worden gebruikt voor de manier van werken en zakendoen (Ghoreishi et al., 2020). Een voorbeeld van een dergelijk ecosysteem voor textiel staat in figuur 4. Daarin is te zien dat er sprake is van een waardeketen in dit systeem, die bestaat uit meerdere cycli, zoals een reparatiecyclus en een reuse-cyclus.



*Figuur 4. Voorbeeld van een circulair ecosysteem voor textiel (bron: Ghoreishi et al., 2020)*

In circulaire ecosystemen moeten er (naast cycli) verschillende zaken aanwezig zijn (Dittrich, 2019), te weten:

- een sterke netwerkstructuur, zodat circulariteit niet vanuit één bedrijf of organisatie wordt gerealiseerd, maar door een netwerk van spelers wordt ingevuld. Het gaat dan niet alleen om samenwerking in de keten, want dat leidt vaak tot sub-optimalisatie en kostenverhoging per schakel, maar ook om doelgericht en bewust delen van resources, middelen en risico's door betrokken partners. Daarbij spelen vertrouwen en transparantie een belangrijke rol;
- marktmechanismen die het gebruik van een ecosysteem stimuleren, waarbij de verantwoordelijkheid voor de omgang met end-of-life-producten niet meer vooral bij de consument wordt gelegd;

- nieuwe wet- en regelgeving, aangezien bestaande regelgeving het voor bedrijven vaak ingewikkeld of soms onmogelijk maakt om bruikbare afvalstromen in te zetten als grondstof voor producten;
- andere criteria en voorwaarden voor financiering door geldverstrekkers, in samenhang met een noodzakelijke verandering van de interne financiële verslaglegging wat betreft de waardering van assets, materialen en vastgoed in een circulaire economie.

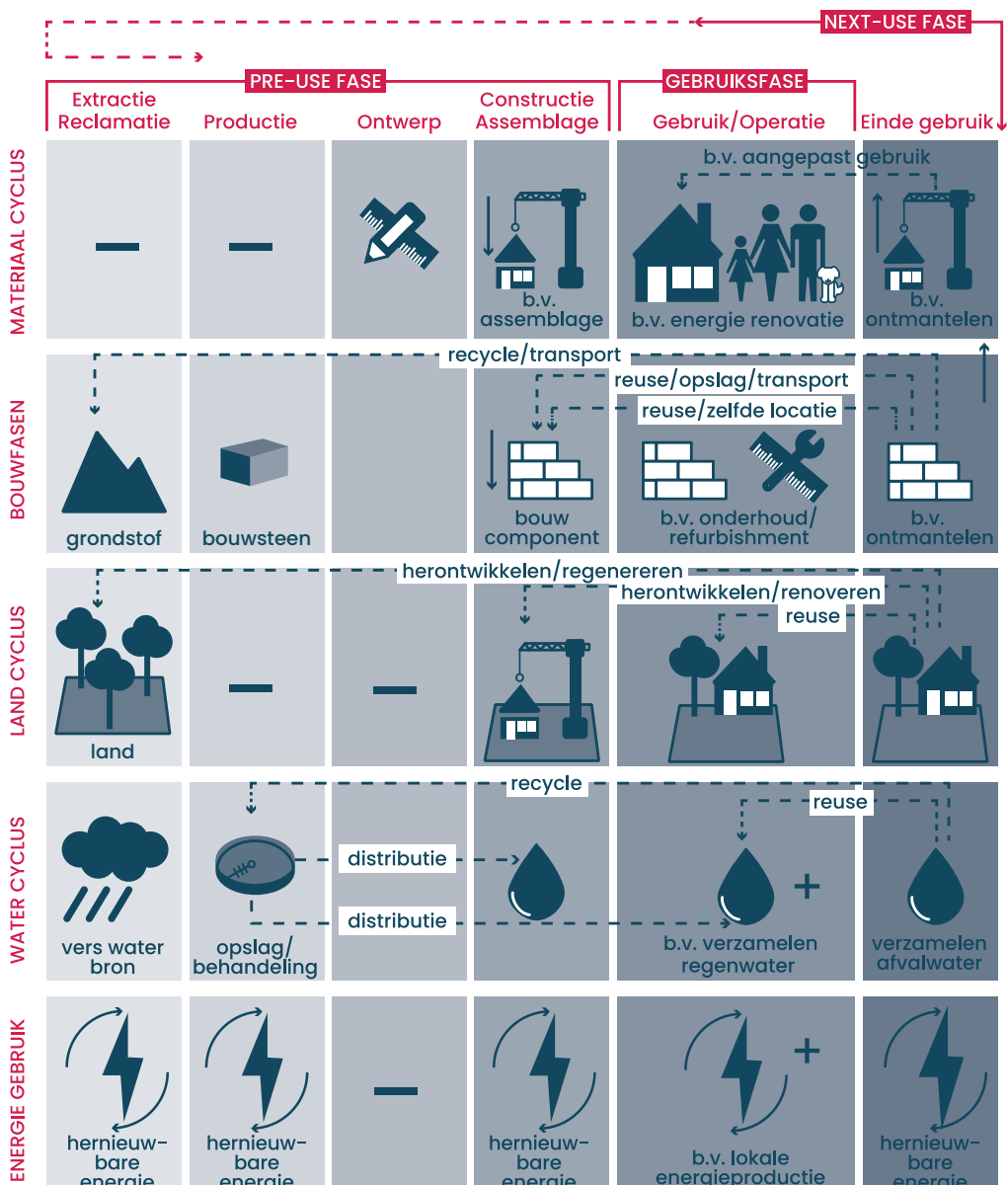
Het eerste punt sluit aan bij wat Magrini et al. (2021) stellen: alleen het opzetten van toeleveringsketens met een gesloten kringloop is niet toereikend, bedrijven moeten ook bepalen hoe ze waarde kunnen creëren met dergelijke toeleveringsketens. Dat vraagt om een holistische kijk op en ontwerp van circulaire ecosystemen. Deze systemen bestaan uit complementaire actoren, die niet alleen een visie op circulariteit delen, maar ook bereid zijn om de winsten te delen op een manier die inzet van bijdragende actoren op de lange termijn waarborgt. Dan is wel de vraag hoe de macht in zo'n systeem is verdeeld: is er sprake van een collaboratief systeem met gelijke rechten (verdiensten) en plichten voor alle deelnemers, of is er een ketenpartner met veel macht, invloed en geld, die iets voor zijn investeringen en inspanningen wil terugzien? Deze machtsverdeling betekent dat de plaats die bedrijven hebben in de keten, medebepalend is voor hun ambities en mogelijkheden wat betreft circulariteit (Bastein et al., 2021). Zo zal een transitie naar een circulair businessmodel of een op hergebruik gericht ontwerp alleen mogelijk zijn voor zogenaamde '*original equipment manufacturers*', dat zijn degenen die het product hebben ontwikkeld en op de markt hebben gebracht. Zij bepalen welk eindproduct uiteindelijk in de markt wordt gezet en met welk businessmodel. De producenten van halffabricaten kunnen alleen inzetten op materiaal-efficiëntie of het hergebruik van productie-afval (Bastein & Willems, 2019).

### 2.3. Aandachtspunten

Natuurlijk zijn de besproken modellen, ideeën en concepten vereenvoudigingen van de werkelijkheid. Om in de praktijk te komen tot meer circulariteit, is inzicht in de volgende vier aandachtspunten belangrijk: complexiteit door samenhangende cycli, hergebruik dat duurzaamheid in de weg zit, de rol van de consument in een circulair systeem en de mens in een circulaire economie.

#### Aandachtspunt 1: Complexiteit door samenhangende cycli

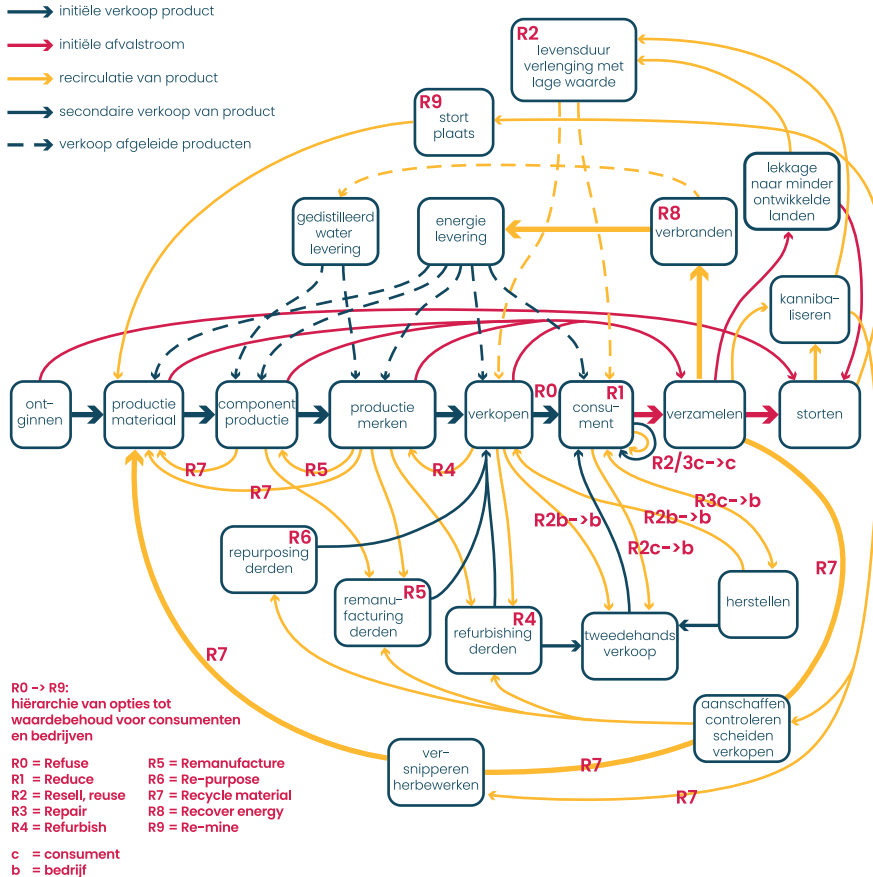
Afhankelijk van de complexiteit en samenstelling van een product kan sprake zijn van meerdere, deels samenhangende cycli. Çetin et al. (2021) geven hiervan een mooi voorbeeld vanuit de bouw. Dit is weergegeven in figuur 5. Daarin is te zien dat gelijktijdig sprake is van vijf cycli: een gebouw-, materiaal-, land-, water- en energiecyclus, die in onderlinge samenhang verlopen. Dat betekent dat in de praktijk niet één cyclus moet worden beschouwd, maar meerdere cycli tegelijkertijd, wat complicerend werkt.



Figuur 5. Voorbeeld van meerdere cycli in een product (bron: Çetin et al, 2021)

Hiermee samenhangend leiden cycli ook op een andere manier tot complexiteit. Een voorbeeld van complexiteit door verschillende circulaire herwaarderingsstromen geven Reike et al. (2018), zie figuur 6. Dan blijken ook retourstromen te kunnen ontstaan vóór de gebruiksfase van het product, bijvoorbeeld uit afval dat moet worden herverwerkt. Mijn indruk is dat ook dit complexe beeld nog niet compleet is. Zo kan ik me ook voorstellen dat er een stroom ontstaat van gerepareerde spullen die weer

teruggaan naar de consument, en dat er zich tussenpersonen en verzamelpunten in de diverse pijlen bevinden, waarmee een complexe situatie van processen en systemen ontstaat, die nog het meeste lijkt op een bord spaghetti.

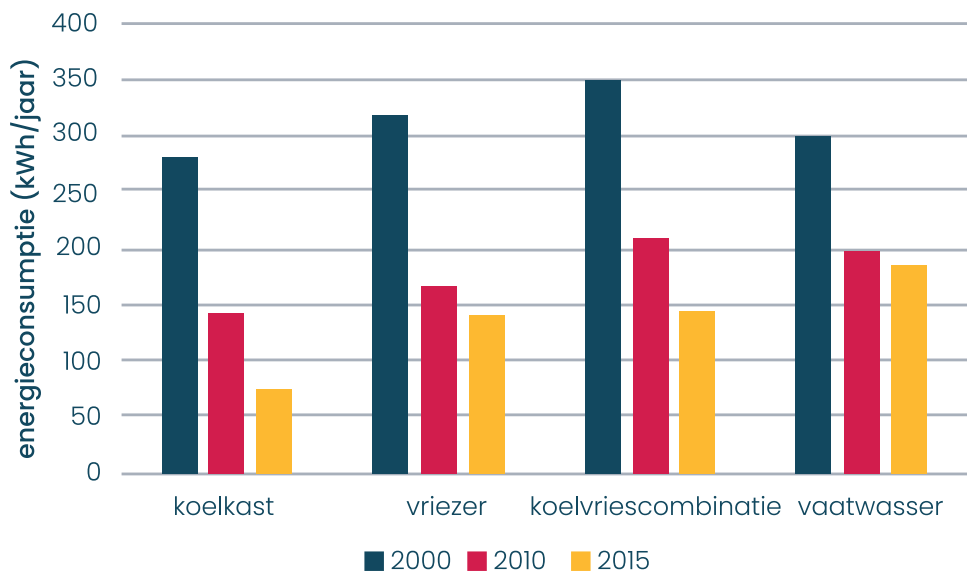


Figuur 6. Opties van stromen in een circulaire keten (bron: Reike et al., 2018).

## Aandachtspunt 2: Hergebruik dat duurzaamheid in de weg zit

Door de hergebruikopties ontstaan nieuwe markten waarop naast nieuwe grondstoffen en producten ook gebruikte spullen en grondstoffen worden aangeboden. Volgens de Jevons' paradox – uit de negentiende eeuw, vernoemd naar de bedenker, de Britse econoom William Jevons – leidt verbetering van de efficiëntie niet tot een afname in het gebruik van producten, maar juist tot een toename. Binnen de circulaire economie wordt dat een *circular rebound effect* genoemd: doordat voor meer mensen de mogelijkheid ontstaat om een product aan te schaffen, neemt het gebruik daarvan toe. Een voorbeeld hiervan betreft de markten voor opgeknapte of tweedehandsspullen

die tot voor kort nog niet bestonden, waardoor deze spullen vaak geen vervanging zijn voor de originele producten. Zo concurreert de markt van opgeknapte mobieltjes slechts beperkt met die van nieuwe toestellen. Het zijn vooral andere, minder koopkrachtige klanten die deze tweedehandsmobieltjes kopen. Per saldo een grotere markt dus, waar uiteindelijk meer producten worden verkocht (Stegeman, 2018) en waar dus meer grondstoffen voor nodig zijn. Daar komt bij dat het circulaire effect ongunstiger kan zijn, doordat de relatieve energieconsumptie van deze opgeknapte apparatuur ten opzichte van nieuwe producten, in de loop van de tijd afneemt door voortschrijdende technologieontwikkeling. Dit gebeurde, volgens een onderzoek in opdracht van het HIER Klimaatbureau, in het verleden bijvoorbeeld bij huishoudelijke apparatuur (Bastein et al., 2021), zie figuur 7. Nieuwere apparaten blijken aanmerkelijk energiezuiniger dan oude. Om hier goed mee om te gaan, moeten actoren in het circulaire ecosysteem zich hiervan bewust zijn en de relevante informatie hebben.



Figuur 7. Ontwikkeling van energieverbruik van huishoudelijke apparatuur (bron: Bastein et al., 2021)

### Aandachtspunt 3: Rol van de consument in een circulair systeem

De rol van de consument in de circulaire economie is nog onderbelicht. Mylan et al. (2016) merken op dat er met betrekking tot de circulaire economie in het bijzonder "gebrek aan aandacht is voor de thuisomgeving, een belangrijke plaats en ruimte voor de invoering van praktijken die bepalen hoe en waarom consumenten bepaalde producten en diensten gebruiken, hoe 'afval' wordt gegenereerd en uiteindelijk hoe dit kan worden veranderd" (Mylan et al., 2016, p. 2). Consumenten zijn gewend dat nieuwe producten een betere oplossing bieden voor hun problemen c.q. beter bestaande of nieuwe behoeften kunnen vervullen (Womack & Jones, 2013). Zolang consumenten het

opraken van grondstoffen (en andere problemen als klimaatverandering) niet als een persoonlijk probleem ervaren, zullen ze ook de geboden oplossingen niet als noodzakelijk of gewenst ervaren. Hierin kan met een andere manier van beprijsen verandering worden gebracht. Het zien van de noodzaak van circulaire oplossingen kan wellicht worden versterkt door vergaande informatieverstrekking over de daadwerkelijke circulaire impact van producten en diensten.

#### Aandachtspunt 4: De mens in een circulaire economie

Misschien op de laatste alinea en nog enkele punten na, ontbreekt de mens in dit hoofdstuk, net als in de literatuur over circulariteit (Purvis et al., 2019). Het gaat over systemen, modellen en waardeketens, maar niet over de betekenis van de circulaire economie voor de mens. Zo zullen volgens Beumer et al. (2020) activiteiten als reparatie en onderhoud voor nieuwe banen kunnen zorgen, maar halveert de hoeveelheid arbeid in de productie. Betekent dat voor arbeiders in die nieuwe situatie dat ze kortere werkdagen gaan maken tegen hetzelfde loon? Of trekt de factor kapitaal de toegevoegde waarde naar zich toe met een verschuiving van macht en waarde van arbeider naar ondernemer tot gevolg (Beumer et al., 2020)? Bij product-as-a-service-modellen blijven bedrijven eigenaar van hun producten, waardoor ze in theorie een prikkel hebben om langer werkende, beter repareerbare en beter *recycle*bare producten te ontwikkelen. In een dergelijke situatie komt eigendom van grondstoffen, al dan niet in de vorm van producten, veel meer bij bepaalde bedrijven te liggen en minder bij eindgebruikers, omdat zij een dienst en niet het product afnemen. Dat kan leiden tot een concentratie van eigendom en dus macht, waarvan al sprake is in de platformeconomie, denk aan *Über*, *AirBnB* en *Thuisbezorgd.nl*. Coöperatieve eigendomsvormen kunnen een goed alternatief bieden voor dergelijke situaties en ervoor zorgen dat gebruikers voldoende macht behouden. Eigendom biedt namelijk niet alleen status en aanzien, maar ook bescherming en zekerheid, dus consumenten zonder eigendom zijn afhankelijk en daardoor mogelijk kwetsbaarder. In de praktijk worden coöperatieve eigendomsvormen echter nauwelijks toegepast, waardoor de circulaire economie een bestaande trend richting vermogensconcentratie kan versterken (Beumer et al., 2020).

Het idee van duurzaamheid omvat vaak economische, ecologische en sociale elementen (Roberts et al., 2022). De focus op sociaal goede resultaten, zoals het verbeteren van het individuele welzijn en sociale gelijkheid, ontbreekt over het algemeen in circulaire literatuur. Zelfs als de circulaire economie sociaal gezien voordelig is en bijdraagt aan goede sociale omstandigheden en inclusiviteit, blijft onduidelijk hoe deze inclusieve aspecten te waarborgen of zelfs te vergemakkelijken. Daarbij wordt de macht tussen bijvoorbeeld grote transnationale ondernemingen en gebruikers niet per se evenwichtiger verdeeld. Grote bedrijven leiden het discours over en investeringen in circulaire initiatieven en creëren het risico van coöptatie, waarin ze zelf bepalen wie mag meedoen. Terwijl ze al floreren dankzij het huidige economische model, zorgt coöptatie ervoor dat ze de

normen voor de circulaire economie bepalen en hun kapitaal zekerstellen. Dit kan de concurrentie op de markt en de keuzemogelijkheden van de consument ondermijnen (Roberts et al., 2022).

## 2.4. In het kort

Met het oog op de volgende hoofdstukken, wil ik hier afsluiten met het samenbrengen van de meest relevante onderdelen uit dit hoofdstuk over de circulaire uitdaging. Het uitgangspunt is dat materiaal- en energiegebruik moet worden beperkt met behulp van een circulaire economie, om het uitputten van grondstoffen en het weggooien of uitstoten van afval in het milieu te voorkomen. Hoewel er tal van voorbeelden zijn van circulaire toepassingen, moet de circulaire transitie sneller en effectiever gaan verlopen, waarbij complicaties, die veelal tot uiting komen in de toenemende complexiteit, worden geëlimineerd.

Bedrijven en organisaties kunnen zelfstandig al stappen zetten naar meer circulair opereren. Echt effectief wordt dat pas als samenwerking plaatsvindt in ecosystemen met andere organisaties, consumenten, et cetera. Dan kunnen gesloten kringlopen ontstaan, mits sprake is van onderling vertrouwen en transparantie in de waardeketen. Ook informatie tussen partners over een evenwichtige beloning in de keten draagt bij aan het onderlinge vertrouwen. Daarnaast draagt informatie over de circulaire impact van producten en diensten mogelijk bij aan het besef bij organisaties en consumenten van de noodzaak van een circulaire economie, zodat ze bijvoorbeeld voor een alternatieve oplossing voor hun behoeften kiezen of er helemaal van afzien. Dat kan ook bijdragen aan gunstige sociale uitkomsten van de circulaire economie.

De genoemde toenemende complexiteit, in combinatie met ecosystemen waarin evenwichtig moet worden samengewerkt en informatie over de impact kan helpen, kan mogelijk met digitalisering worden ingevuld. Daarover gaat het volgende hoofdstuk.





# Digitale oplossing

In het vorige hoofdstuk kwam de toenemende complexiteit naar voren als de belangrijkste complicatie bij het realiseren van een circulaire economie. Barteková en Börkey (2022) noemen marktinefficiënties als een van de belangrijkste belemmeringen voor het verbeteren van de schaalbaarheid van circulaire activiteiten. Een voorbeeld van een marktinefficiëntie is onvolledige informatie over de samenstelling van een product. Met digitale technologieën is het mogelijk om een aantal marktinefficiënties weg te nemen, doordat met deze technologieën objecten in de fysieke wereld elektronisch kunnen worden bewaakt, onderling worden verbonden en beheerd. Dat gebeurt door gegevens en informatie te verzamelen, beheren en verwerken en door kennis over materialen, producten en processen te creëren. Dit hoofdstuk is een algemene inleiding op de digitalisering, waarbij ik me beperk tot zaken die relevant zijn met het oog op de digitale circulaire economie. Concrete onderwerpen in de volgende paragrafen zijn:

- definitie en doel van digitalisering;
- toepassingen van digitalisering, verdeeld over vijf aspecten: dataverzameling, data-integratie, dataverspreiding, data-analyse en fysieke vormen van digitalisering;
- aandachtspunten.

Dit hoofdstuk wordt, net als het vorige en volgende hoofdstuk, afgesloten met een korte samenvatting en legt de link naar het volgende hoofdstuk, waarin digitalisering wordt gekoppeld aan circulariteit.

## 3.1. Definitie en doel van digitalisering

### Digitaliseren in een industriële omgeving: Industrie 4.0

Veel kennisontwikkeling rondom digitalisering betreft het digitaliseren in een industriële omgeving en heet dan Industrie 4.0. De term is ontstaan uit het idee dat er intussen drie industriële revoluties zijn geweest, en digitalisering de vierde industriële revolutie is. Bij de (eerste) industriële revolutie werden aan het einde van de achttiende eeuw processen gemechaniseerd met behulp van stoomkracht, die werd opgewekt met vooral (steen) kool. Een eeuw later was bij de tweede industriële revolutie sprake van een versnelde industriële ontwikkeling door het gebruik van elektriciteit en aardolie. Met de intrede van computers en nieuwe communicatiemiddelen wordt vanaf de jaren vijftig van de twintigste eeuw gesproken van een derde industriële revolutie. De term Industrie 4.0 (of I4.0), in Nederland ook vaak *smart industry* genoemd, slaat op de vierde industriële revolutie. Industrie 4.0 omvat een brede groep concepten, die – net als bij digitalisering – niet te classificeren of te onderscheiden zijn (Rosa et al., 2019; Lasi et al., 2014).

Rajput en Singh (2019) gaan uit van de volgende definitie van Industrie 4.0: *"Industry 4.0 is a combination of Cyber-physical systems (CPS), Internet of Things (IoT), and Cognitive Computing. This technological innovation from IS/IT to smart devices utilizes ubiquitous systems, advance automation systems and cloud computing."* In de meeste definities van Industrie 4.0 zijn geavanceerde digitale technologieën de aanjager van de industrie.

De Boston Consulting Group identificeert negen technologieën van Industrie 4.0: *big data & analytics*, autonome robots & voertuigen, *additive manufacturing* (bijvoorbeeld 3D-printers), simulatie, *augmented & virtual reality*, horizontale & verticale systeemintegratie, *Internet of Things (IoT)*, cloud, *fog & edge technologies*, blockchain en *cyber-security* (Rosa et al., 2019; Rüßmann et al., 2015). Ik kom verderop in dit hoofdstuk terug op de genoemde technologieën.

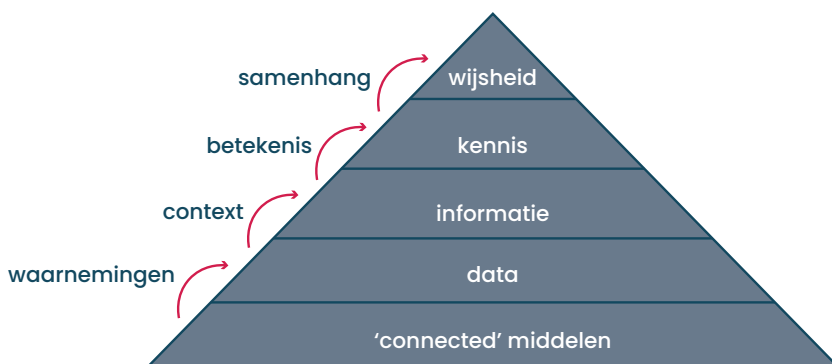
### Data moet leiden tot wijsheid

Het doel van digitalisering in Industrie 4.0 is om gegevens te verzamelen en te bewerken, en daarmee uiteindelijk te komen tot betere producten en diensten. Ackoff (1989) ontwikkelde de DIKW-piramide, met vier stappen om via computerprocessen de ruwe verzamelde gegevens om te zetten naar inzichten. Die stappen zijn: van data, informatie en kennis naar wijsheid (DIKW). Kristoffersen et al. (2020) hebben daar aan de onderkant een vijfde laag aan toegevoegd, namelijk de *connected resources* ofwel onderling verbonden middelen (zie figuur 8). *Connected* middelen zijn producten, componenten en materialen die zijn verbonden via bijvoorbeeld een IoT-apparaat; op die manier kunnen allerlei data verzameld worden over de verschillende stadia van de levenscyclus van deze middelen.

Data betreffen slechts ruw elementair materiaal dat is verkregen vanuit de observatie van objecten, gebeurtenissen en/of hun omgeving; het materiaal is nog niet geïnterpreteerd en heeft context nodig om waarde of bruikbaarheid te bieden. Daarvoor moeten de data worden vertaald naar informatie door middel van verschillende technieken, zoals aggregatie, interpretatie, selectie en sortering. De informatie geeft antwoord op vragen als wie, wat, waar en wanneer. De transformatie van informatie naar kennis, door betekenis te geven aan de informatie, leidt vervolgens tot bruikbare instructies, knowhow en waardevolle inzichten, waarmee vragen worden beantwoord als hoe en waarom. Kennis is dus een verfijning van informatie met inferentieregels en meer begrip. Ten slotte kunnen de bruikbare instructies worden omgezet in autonome beslissingen en acties: wijsheid. Wijsheid combineert de kennis met interactieve processen en een adaptief oordeel: de interactieve processen omvatten de opeenvolgende acties en reacties, terwijl het adaptieve oordeel de daadwerkelijke beslissing is die wordt genomen op basis van de evaluatie van interactieve processen en hun huidige status.

Ik geef een voorbeeld om dit proces te verduidelijken. Een IoT-apparaat meet de temperatuur in een machine met als doel de levensduur te verlengen. De waargenomen

temperatuurmetingen vormen data. Informatie ontstaat vanuit een contextuele interpretatie van deze data, en betreft bijvoorbeeld een beschrijving van de momenten van oververhitting van de machine. Dit kan een indicatie zijn van een dreigende storing, waardoor betekenis ontstaat. Aan de hand van de gegenereerde kennis kan een reactief onderhoudsschema worden opgesteld. De kennis kan ook inzicht geven in de oorzaken van abnormale temperatuurmetingen, waarna met toestandsafhankelijk onderhoud de actuele toestand van de machine kan worden bepaald en maatregelen kunnen worden gepland. Ten slotte kan met die wijsheid een specifieke trend in de temperatuurmetingen worden geïdentificeerd, die kan worden gerelateerd aan de toekomstige operationele planning, om zodoende te voorspellen hoe een optimaal servicevenster eruitziet dat het probleem oplost (Kristoffersen et al., 2020).



Figuur 8. Uitgebreide DIKW-piramide (bron: Kristoffersen et al., 2020)

Professor Koos Verhoeff: “Overal zie je heel veel informatie die niet interessant is. Bij Philips bijvoorbeeld. Daar is men enthousiast over de mogelijkheden tot voorraadbeheer. Maar al die informatie daarover helpt geen zier, als je niets verkoopt” (ontleend aan Hylkema, 1988).

### 3.2. Toepassing van digitalisering

Digitalisering wordt toegepast met behulp van digitale technologieën. In de vorige paragraaf kwamen al wat technologieën voorbij, zoals *additive manufacturing*, *Internet of Things* en *blockchain*. In deze paragraaf licht ik ze toe. Daarbij maak ik gebruik van de vier bouwstenen van een digitaal systeem van Berg et al. (2020) en Pagoropoulos et al. (2017): dataverzameling, data-integratie, dataverspreiding en data-analyse. Ik benadruk hier de onderlinge verbondenheid tussen de bouwstenen. Worden de bouwstenen los van elkaar gezien, dan betekent dat bijvoorbeeld dat data worden verzameld maar er verder niets mee wordt gedaan. Of dat ze niet op de juiste plaats terechtkomen of niet tot informatie, kennis of wijsheid leiden. Logischerwijs moeten ook de gebruikte digitale technologieën met elkaar verbonden zijn om effectief te zijn.

Hieronder volgen per bouwsteen de relevante technologieën, aan de hand van de uitwerkingen van Çetin et al. (2021), Hedberg et al. (2019), Rajput en Singh (2019) en Pagoropoulos et al. (2017).

### Bouwsteen 1: Dataverzameling

Ik beschrijf hier twee technologieën voor het digitaal verzamelen van data: *cyber-physical system* (CPS) en *Internet of Things* (IoT).

Een CPS is een apparaat dat de communicatie tussen de fysieke wereld en de digitale wereld verzorgt: het zet informatie om in een fysiek verschijnsel, of andersom. Voorbeelden van een CPS zijn de sensor en de actuator. Een sensor neemt veranderingen in de fysieke omgeving (zoals licht, warmte, beweging of druk) waar en geeft de gegevens die het verzamelt door aan een ander elektronische middel (zoals een computer) voor verdere verwerking. Een voorbeeld van een sensor is de microfoon in een smartphone. Een specifieke vorm van sensortechnologie is de *radio frequency identification* (RFID), waarvoor ook veel aandacht is vanuit de circulaire economie. RFID gebruikt elektromagnetische velden om tags die aan een product zijn bevestigd, automatisch te identificeren en te traceren. De actuator doet het tegenovergestelde van een sensor: het ontvangt een virtueel signaal en zet daarmee iets in de fysieke wereld in beweging. Een voorbeeld van een actuator is de luidspreker in een smartphone, die digitale informatie uit de smartphone omzet in luchttrillingen en zo hoorbaar geluid maakt.

IoT is het hart van de huidige digitalisering c.q. Industrie 4.0, omdat IoT het verzamelen, opslaan en verzenden van informatie mogelijk maakt tussen apparaten die zijn voorzien van tags, sensoren en/of actuatoren. Feitelijk is IoT het netwerk dat sensoren en actuatoren met elkaar verbindt. In de praktijk communiceren bijvoorbeeld smartphones, elektronische apparaten en machines in een IoT-omgeving met elkaar en met gebruikers, waardoor een interoperabel netwerk wordt gevormd. Dat betekent dat IoT ook kan worden ingezet om mensen of middelen in organisaties of waardeketens met elkaar te verbinden en (bijvoorbeeld real-time) gegevens uit te wisselen. Zo kan bijvoorbeeld een machine op afstand worden bewaakt, waardoor afwijkingen worden signaleerd en het benodigde onderhoud op tijd kan plaatsvinden.

### Bouwsteen 2: Data-integratie

Alleen het verzamelen van data heeft geen zin; om tot informatie, kennis of wijsheid te komen, moeten de gegevens worden samengevoegd, gecombineerd en opgeslagen. Dat heet data-integratie. Door de mogelijkheden die hedendaagse computers en digitale opslagmogelijkheden bieden, gebeurt dat niet in een database met een paar duizend datapunten, maar een enorme hoeveelheid datapunten: *big data*. *Big data* worden gekarakteriseerd met (in het Engels) vier V's:

- 1 *Volume*. Dit betreft de enorme hoeveelheid data; denk bij *big data* niet meer in MB's, maar in TB's (terrabbytes, ofwel een miljoen MB's).
- 2 *Velocity*. Dit slaat op de snelheid waarmee de gegevens kunnen worden gecreëerd of veranderd.
- 3 *Variety*. Dit omvat de verschillende formaten en soorten gegevens in *big data*, evenals de verschillende soorten gebruik, het betreft dus niet alleen getallen of teksten, maar ook foto's, geluiden, et cetera.
- 4 *Veracity*. Dit slaat op het gegeven dat *big data* waarheidsgetrouw moeten zijn, dat is niet altijd het geval omdat data snel verouderen en informatie niet per se juist hoeft te zijn.

### Bouwsteen 3: Dataverspreiding

Een voorbeeld van technologie voor dataverspreiding is *data ledger technology*, vooral bekend als *blockchain technology* (BT) met de bitcoin als bekendste toepassing. Het BT-concept is gebaseerd op een gedistribueerd *peer-to-peer*-systeem dat cryptografisch is beveiligd en waarmee transparante waardetransacties mogelijk worden zonder dat daar centrale autoriteiten of intermediairs, zoals banken of overheidsinstellingen, voor nodig zijn. Met BT kan een bedrijf dus op een veilige manier informatie vastleggen en delen, zodat *online* transacties mogelijk worden. Daarbij leggen de deelnemers aan de blockchain elk voor zich de transactie vast en wordt de informatie decentraal bewaakt en is deze toegankelijk voor iedereen met permissie.

BT is een gedecentraliseerde technologie, terwijl er bij digitale of *online* platformen, zoals Über en AirBNB, sprake is van centraal georganiseerde dataverspreiding. Op dergelijke platformen kunnen verschillende dingen plaatsvinden, zoals informatie-uitwisseling, handel en prijsvergelijking. Technisch gezien is een digitaal platform een op software gebaseerd systeem dat kernfunctionaliteiten biedt waarop afgeleide toepassingen kunnen worden ontwikkeld. Sociaaleconomisch gezien is een digitaal platform een veelzijdig netwerk dat verschillende groepen gebruikers bij elkaar brengt om bijvoorbeeld goederen en diensten uit te wisselen.

Waar het doel van de decentrale BT het vastleggen van gegevens of transacties is, kan een platform, vanwege het centrale karakter, ook als doel hebben om de belangen van de eigenaar te behartigen. Een voorbeeld van een belang bij sociale media is ervoor zorgen dat deelnemers lang op het platform blijven, waarmee ze inkomsten genereren voor de eigenaar. Bij platformen zoals Vliegtickets.nl of Booking.com streeft de eigenaar naar transacties, dus proberen ze de deelnemer over te halen om iets te kopen (zoals een hotelovernachting) en liefst daarna nog iets extra's aan te schaffen (zoals een annuleringsverzekering).

## Bouwsteen 4: Data-analyse

Gezien de grootte van de hoeveelheid data worden *big data* geanalyseerd met nieuwe analysevormen: de *big data analytics* (BDA). Hiermee kunnen de data van grote hoeveelheden sensoren en IoT worden gebruikt om informatie te creëren en betere beslissingen te nemen. Dat vraagt om *magnetic*, *agile* en *deep* (MAD) analyseren. Daarom gelden de volgende eisen voor big-dataopslag (Elgendy et al., 2014):

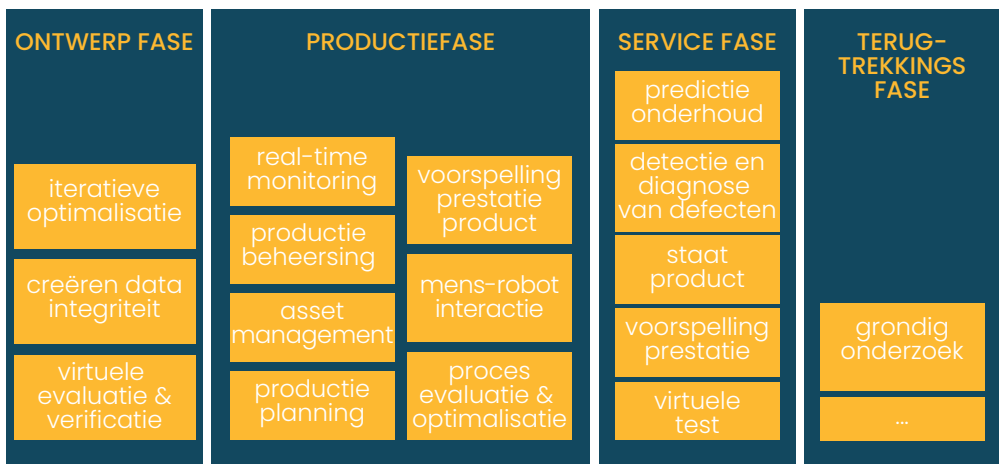
- Alle databronnen worden gebruikt, ongeacht de datakwaliteit (*magnetic*).
- Analisten moeten, vanwege het toenemende aantal databronnen en de verfijning van de analysemethoden, gegevens snel kunnen produceren en aanpassen (*agile*).
- Er is sprake van een geavanceerde algoritmische *runtime engine*, dat is software die zorgt dat computerprogramma's goed draait, waardoor met gebruik van complexe statistische analysemethoden heen en weer kan worden gesprongen tussen enorme datasets (*deep*).

BDA gebruikt een veelheid aan technieken zoals statistiek, *data mining*, predictieve analyse, artificial intelligence en *machine learning* (waarin *data mining* en predictieve analyse kunnen terugkomen). Wellicht tot opluchting van de lezer zal ik hier niet diep ingaan op de statistiek, die bestaat uit bijvoorbeeld regressieanalyse of factoranalyse. Ik focus op artificial intelligence (AI) en *machine learning* (ML), en eindig met een digitale technologie die ook veel potentie heeft: de *digital twin*.

AI wordt gezien als het vermogen van een apparaat om taken uit te voeren waar normaliter menselijke intelligentie voor nodig is. Daarbij ontstaat de mogelijkheid voor de apparaten om via hun software te 'leren' en hun handelen aan te passen aan eerdere 'ervaringen'. AI bestaat uit verschillende technieken, zoals ML. Bij ML leren algoritmen, zonder geprogrammeerde regels vooraf, verbanden en patronen te zien in de grote hoeveelheden data die ze voorgeschiedt krijgen. Op basis van deze uitkomsten zijn ze in staat zelfstandig voorspellingen te doen en een beslissing te nemen. Daar komt statistiek bij kijken, want uiteindelijk gaat het om de meest waarschijnlijke uitkomst, gebaseerd op data en de feedback van mensen die het model hebben getraind. Deze manier van werken komt ook terug in andere toepassingen van AI, zoals *anomaly detection* (ontdekken van afwijkingen of fouten), *computer vision* (interpreteren van beelden van camera's, etc.) en *natural language processing* (interpreteren van en reageren op taal). Iedereen heeft dagelijks te maken met AI, het zit in sociale media, zoekmachines, Office-pakketten, Netflix en natuurlijk ChatGPT.

Het tijdperk van AI startte met het beschikbaar komen van *big data*. Als er grote hoeveelheden data zijn vastgelegd – of dat nu gaat om het aantal keren dat op een product is geklikt in een webshop, de tijd die is besteed op een bepaalde webpagina, de vakantiefoto's op Instagram of het percentage tijdige betalingen bij een bank – dan

kunnen *data scientists* met AI aan de slag en bijvoorbeeld een model bouwen dat een berekening maakt van de kans dat een lening bij een bank zal worden terugbetaald, of dat voor de Belastingdienst inschat of iemand recht heeft op bepaalde toeslagen. Dan tot slot de *digital twin*. Dit is een virtueel model of digitale replica van een systeem dat in de fysieke wereld bestaat. Een voorbeeld is de *digital twin* die aan de TU Delft is gemaakt van het elektriciteitsnet in Nederland in het kader van het onderzoeksprogramma Electrical Power Grids; daarmee kunnen allerlei situaties worden gesimuleerd, zoals een cyberaanval of toekomstscenario's, zonder dat onderzoekers de balans in het echte elektriciteitsnet verstoren. *Digital twins* gebruiken data uit de realiteit, liefst real time, zodat de simulatie zo waarheidsgetrouw mogelijk is (Van de Weijer, 2023). Hoewel de gebruikte modellen zeer complex zijn met heel veel variabelen, is het basisidee van de *digital twin* simpel, namelijk het bouwen van een digitale toepassing die een fysiek object op een accurate en real-time manier virtueel weergeeft (Liu et al., 2021). *Digital twins* worden vooral gebruikt om een werkelijke situatie te modelleren en daarop simulaties uit te voeren en dat kan in veel fasen in de levenscyclus van een product. In de ontwerpfase kan bijvoorbeeld het productontwerp worden verbeterd met behulp van een *digital twin*; die kan, rekening houdend met bijvoorbeeld klantwensen, producteisen en materiaalbeperkingen, met een geschikt ontwerp komen (Liu et al., 2021). In figuur 9 zijn enkele industriële toepassingen van de *digital twin* in verschillende levensfasen van een product weergegeven.



Figuur 9. Industriële toepassingen van de *digital twin* in verschillende fasen van de levenscyclus (bron: Liu et al., 2021)

### Fysieke vormen van digitalisering

Naast de bovengenoemde technologieën zijn er nog twee meer fysieke vormen van digitalisering. Deze passen niet in de indeling in bouwstenen, maar worden wel genoemd met het oog op de digitale circulaire economie. Ten eerste is dat *additive manufacturing*

(AM), vooral bekend als 3D-printen. Dit is een productietechnologie waarmee complexe 3D-objecten kunnen worden gemaakt door materiaal laag voor laag op te bouwen. Dat kan zijn om snel een prototype te maken bij het ontwerpen van producten, maar ook voor meer reguliere productie van onderdelen in bijvoorbeeld de luchtvaart- en auto-industrie. Vaak is bij het gebruik van AM minder materiaal nodig dan bij traditionele productiemethoden.

De tweede fysieke vormen van digitalisering is *robotic manufacturing* (RM), waarbij robots werkzaamheden van mensen overnemen, en dan vooral herhalende, gevaarlijke of nauwkeurige taken, zoals assembleren, tillen of lassen. Zo kan RM in de bouw worden gebruikt voor het maken van complexe samenstellingen van hout en/of metaal en het gieten van beton. Robotisering hoort niet alleen thuis in fysieke processen, ook herhalende taken in administratieve processen kunnen worden gerobotiseerd, dat heet dan *robotic process automatisation*. Dan wordt bijvoorbeeld een factuur met behulp van *computer vision* 'gelezen', waarna het systeem zelfstandig aan de slag gaat met het beoordelen ervan (staat er een inkooporder tegenover, is er extra autorisatie nodig, et cetera?), om vervolgens de factuur te verwerken, zoals de betaling uitvoeren, aan de juiste kostenplaats toewijzen, enzovoort.

### 3.3. Aandachtspunten bij digitalisering

Digitalisering heeft onmiskenbaar voordelen. Zo noemen Hedberg et al. (2019) als een van de grootste voordelen het vermogen om met complexe situaties om te gaan. Mijn collega-lector Shengyun Yang (2020) noemt verbeterde *capabilities*, processen, klantervaringen en -betrokkenheid, gestroomlijnde operaties, nieuwe businesslijnen of -modellen en blijvende concurrentiekracht als voorbeelden van de kracht van digitalisering. Ghobakhloo (2020) heeft het over verbetering van efficiëntie en productiviteit en over verlaging van kosten bij het produceren van producten, door bijvoorbeeld betere procesbesturing en tijdig onderhoud. Uit onderzoek van Brynjolfsson en McElheran (2016) blijkt bijvoorbeeld dat in fabrieken in de VS tussen 2005 en 2010 het aantal besluiten dat datagedreven werd genomen, verdrievoudigde, waardoor met name de productiviteit significant verbeterde, met minstens 3 procent.

Daarnaast kan digitalisering volgens hen leiden tot meer wendbaarheid en flexibiliteit. Belangrijk daarbij is de digitale nabijheid van en de cloud-gebaseerde verbinding tussen waardeketens, slimme productielijnen en decentralisatie in de context van Industrie 4.0. Daardoor kan een flexibel productie-ecosysteem worden gecreëerd, dat snelle reacties en aanpassingen mogelijk maakt bij veranderingen en onzekerheden in de omgeving. Ook kan virtuele productontwikkeling de modulariteit van producten sterk verbeteren, waardoor voordelen ontstaan zoals kortere *time-to-market*, eenvoudigere productieketens, langere levensduur van producten en een hogere materiaalefficiëntie. Volgens Ghoreishi et al. (2020) kunnen digitale technologieën de zichtbaarheid van producten ondersteunen,

door via intelligente sensoren waardevolle informatie en gegevens te verstrekken over de toestand, locatie en beschikbaarheid van producten. Daarvoor moeten I4.0-technologieën, door databundeling, het mogelijk maken om een ecosysteem van 'slimme fabrieken', 'slimme netwerken' en 'slimme producten' te creëren.

Met het oog op een digitale circulaire economie behoeven vier punten bij digitalisering aandacht, zodat de voordelen van digitalisering effectief kunnen worden ingezet en ongewenste neveneffecten zo veel mogelijk worden voorkomen. Deze vier gebieden zijn: kwaliteit van data(analyse) & besluitvorming, duurzaamheid, privacy en inclusiviteit.

### Aandachtspunt 1: Kwaliteit van data, data-analyse en besluitvorming

Volgens Yang (2020) wordt de zakelijke omgeving dynamischer, waardoor het belangrijker wordt om beslissingen weloverwogen, gebaseerd op data, te nemen. Deze data moeten worden bewerkt tot informatie, waardoor kennis en inzicht ontstaan. Daarmee kan met behulp van AI de toekomst beter worden voorspeld en leidt het tot betere beslissingen. Bressanelli et al. (2018) sluiten hierbij aan en stellen dat de combinatie van *big data* en de juiste 'analytics' in de literatuur doorgaans wordt gezien als een valide aanpak om te komen tot betere besluitvorming. Mogelijkheden hiervoor zijn er te over. Zo heeft een Noorse studie laten zien dat er nog veel potentieel met betrekking tot datagebruik in productiebedrijven niet wordt benut (Mogos et al., 2019). Belangrijk is dat kwalitatief goede data worden gebruikt. 'Garbage in - garbage out' is volgens Kilkenny en Robinson (2018) van toepassing op de invoer van gegevens van slechte kwaliteit, wat leidt tot uitvoer van onbetrouwbare gegevens. De verzamelde gegevens moeten dus nauwkeurig zijn, anders zullen data-analyse, applicaties of bedrijfsprocessen onbetrouwbaar zijn. Hierop aansluitend heeft Van Dijck (2014) het over *big data* als *rich data*, in de zin van: gegevens vol met ruis. Van Dijck stelt bijvoorbeeld dat cijfers over armoede geen feiten zijn, maar gegevens die vragen om duiding. Ook het soortelijk gewicht van de gegevens speelt daarin een rol. Als voorbeeld noemt Van Dijck het tellen van woorden zonder het verschil te weten in soortelijk gewicht tussen een opinieartikel uit 1972 en een reclametekst uit 2008. Ook kunnen beelden of teksten ironisch zijn of dubbelzinnig, spreken databestanden niet voor zichzelf en vormen ze geen afspiegelingen of thermometers van de samenleving.

Zoals elke archivaris weet, is kennis over de herkomst van elke verzameling essentieel voor het wegen en begrijpen van de content – helemaal als die data *born digital* zijn [...] De instrumenten waarmee je je dataset vergaart en gebruiksklaar maakt, zijn allesbehalve waardevrij; je moet weten wat er voorafgaat aan bronselectie en -ontsluiting" (Van Dijck, 2014, p. 98).

Ook de European Union Agency for Fundamental Rights (2022) onderkent dat de kwaliteit van de gegevens bij het bouwen van algoritmen en AI-gerelateerde technologieën een

van de zorgen is, omdat een algoritme in zijn toepassing slechts zo goed kan zijn als de gegevens die het gebruikt. Ook hier geldt '*Garbage in – garbage out*': gegevens van lage kwaliteit leiden tot door algoritmen geproduceerde resultaten van lage kwaliteit, wat dan weer kan leiden tot een schending van fundamentele rechten van de mens. Dat dit een reëel standpunt is, blijkt wel uit de toeslagenaffaire, waar het proces te geautomatiseerd en geheimzinnig was en AI in staat zou zijn geweest gegevens van burgers te gebruiken die wettelijk gezien niet relevant zijn bij besluitvorming, zoals geslacht, religie, etniciteit en adres (Kuzniacki, 2023). En zo zijn er meer voorbeelden waarin het gebruik van slechte data leidt tot ongewenste uitkomsten: vrouwen die worden beoordeeld als huisvrouwen, zwarte mannen die worden bestempeld als criminelen en vrouwen die door Amazon bij sollicitaties worden achtergesteld. Zo stelt Sean McGregor, oprichter van het Responsible AI-collectief:

Je kunt je best doen om een instrument te filteren en een betere dataset te maken en je kunt dat verbeteren, maar het probleem is dat het nog steeds een weerspiegeling is van de wereld waarin we leven en die is erg bevooroordeeld. De gegevens die voor deze systemen worden gebruikt, zijn daarmee ook bevooroordeeld (Getahun, 2023).

## Aandachtspunt 2: Duurzaamheid

Internet is de grootste door fossiele brandstoffen aangedreven machine ter wereld, die tegen 2040 14 procent van de wereldwijde uitstoot genereert (European Commission, 2023).

Door digitalisering komen tal van nieuwe producten en diensten op de markt en veel daarvan maken het leven beter en plezieriger. Voorbeelden van dergelijke innovatieve toepassingen zijn zelfrijdende auto's, algoritmes waarmee (zeldzame) medische diagnoses nauwkeuriger kunnen worden gesteld en slimme meters die mensen helpen om hun energieverbruik optimaal te regelen (SER, 2021). Bressanelli et al. (2018) voegen daaraan toe dat als producten slim worden, het voor bedrijven mogelijk is om alleen het digitale gedeelte te upgraden, zoals een app die in een product is verwerkt. Daardoor gaan producten langer mee en is er per saldo een lager materiaalgebruik. Ghobakloo (2020) is het daar niet mee eens, met name niet als producten daarmee zijn gepersonaliseerd. Dan kan weliswaar sprake zijn van een hogere productkwaliteit en lagere voorraadkosten voor bedrijven, maar ook van een versnelling van productcycli en van een snellere veroudering van producten. Vanuit duurzaamheidsperspectief is dat onwenselijk, omdat het leidt tot meer gebruik van energie en hulpbronnen en uiteindelijk tot meer vervuiling en afval.

Digitalisering kan helpen bij het beperken van energieverbruik. Ghobakloo (2020) noemt bijvoorbeeld het verminderen van energiegebruik met behulp van *smart grids*, waarmee elektriciteitsnetten en duurzame energiebronnen met elkaar worden verbonden. Daardoor kan een optimale afstemming plaatsvinden tussen vraag en aanbod van energie, waardoor energie niet verloren gaat, gebruik van niet-hernieuwbare energie-opties (zoals het bijschakelen van een fossiel gestookte elektriciteitscentrale) wordt voorkomen of grootschalige storingen in de energievoorziening uitblijven.

Digitalisering brengt echter ook een enorme toename van energieverbruik met zich mee (SER, 2021). Ook Ghobakloo (2020) onderkent dit risico: "Vanwege de vooruitgang van digitale technologieën, hebben de algehele verbeterde levenskwaliteit en de snelgroeiende wereldbevolking geleid tot een steeds groter wordende wereldwijde vraag naar grondstoffen en energie, waardoor de efficiëntie-impact van digitalisering mogelijk wordt onderdrukt." Dit is de Jevons' paradox uit hoofdstuk 2.

### Aandachtspunt 3: Privacy

Volgens Ghobakhloo (2020, p. 16) is het voordeel van de toepassing van onder andere IoT, *cloud data* en BDA dat informatiesilo's verdwijnen, waardoor een gestroomlijnde informatiestroom ontstaat. Door het ontstaan van integrale (*end-to-end*) zichtbaarheid, kunnen productierisico's worden *gereduceerd*, de stabiliteit worden verbeterd en mogelijke risico's real-time worden geïdentificeerd en verholpen, voordat ze een echt gevaar worden. Met name tools als intelligente camera's, slimme sensoren, slimme veiligheids-*wearables* en een op AI gebaseerd locatiebepalingssysteem kunnen elk menselijk of machinegedrag rapporteren dat een veiligheidsrisico kan opleveren. Dat is mooi, maar stel, jij werkt in zo'n proces, hoe zou dat voelen als je gedrag zo wordt gemonitord? In figuur 10 staat als voorbeeld de terugkoppeling van het rijgedrag van een boodschappenbezorger van een supermarkt. *Big brother is watching you!*

Ook tijdens het gebruik van een product kunnen er veel gegevens verzameld worden. IoT-technologie voorziet in apparaten met sensoren, die kunnen communiceren en actieve deelnemers kunnen worden in een informatienetwerk. Dat biedt bedrijven de mogelijkheid om gegevens van producten, zoals het gebruik, de status en de locatie, real-time te monitoren, waardoor ze veel kennis kunnen opdoen over hoe klanten de producten gebruiken (Bressanelli et al., 2018). Het gaat nog verder als producenten direct met de gebruiker kunnen communiceren en interacteren en zodoende nog grotere hoeveelheden data ophalen over voorkeuren en consumptiepatronen (Ghobakloo, 2020). Daarbij worden niet alleen data verzameld die gebruikers verstrekken, maar ook passieve data, zoals IP-adressen of welke apps iemand op zijn of haar mobiel heeft (Van Dijk et al., 2016). Naast dergelijke praktijken vormen ook datalekken een potentiële bedreiging voor de privacy.

|                                   |                                                                      |                                              |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 133                               |                                                                      |                                              |
| 6:59 Hard door de bocht 17.01.22  | A59, Drunen, Netherlands                                             |                                              |
| 7:00 Hard door de bocht 17.01.22  | Spoorlaan 11, 5151 DO Drunen, Netherlands                            |                                              |
| 7:03 Snelheidsovertreding         | De Omloop 10, 5154 BD Elshout, Netherlands                           | Max Speed: 46 km/h (Max road speed: 30 km/h) |
| 7:03 Hard door de bocht 17.01.22  | Monseigneur Muskenstraat 1, 5154 BJ Elshout, Netherlands             |                                              |
| 7:24 Hard door de bocht 17.01.22  | Monseigneur Muskenstraat 5, 5154 BJ Elshout, Netherlands             |                                              |
| 7:24 Snelheidsovertreding         | Mayweg 47, 5154 PC Elshout, Netherlands                              | Max Speed: 42 km/h (Max road speed: 30 km/h) |
| 7:24 Hard door de bocht 17.01.22  | Naulandseweg 5, 5154 PB Elshout, Netherlands                         |                                              |
| 7:30 Hard door de bocht 17.01.22  | Laagstraat 4a, 5156 NH Heusden, Netherlands                          |                                              |
| 7:50 Hard door de bocht 17.01.22  | Groeneweg 8, 4261 RG Wijk en Aalburg, Netherlands                    |                                              |
| 7:51 Hard door de bocht 17.01.22  | Provincialeweg-Oost, 4261 TZ Veen, Netherlands                       |                                              |
| 8:09 Hard door de bocht 17.01.22  | Dorpsstraat 42, 4284 EJ Rijswijk, Netherlands                        |                                              |
| 8:09 Hard door de bocht 17.01.22  | Almweg 4, 4284 VG Rijswijk, Netherlands                              |                                              |
| 8:12 Hard door de bocht 17.01.22  | Giessen, Randweg-Tankstation, 4283 GS Giessen, Netherlands           |                                              |
| 8:32 Achteruitrijden bij vertrek  | Korenschoof 30, 4283 HH Giessen, Netherlands                         |                                              |
| 9:06 Snelheidsovertreding         | Veensteeg 15, 4264 KG Veen, Netherlands                              | Max Speed: 68 km/h (Max road speed: 50 km/h) |
| 9:27 Hard door de bocht 17.01.22  | Provincialeweg-Oost, 4261 TZ Veen, Netherlands                       |                                              |
| 9:28 Hard door de bocht 17.01.22  | Groeneweg 8, 4261 RG Wijk en Aalburg, Netherlands                    |                                              |
| 9:30 Hard door de bocht 17.01.22  | Parallelweg 2, 4261 GA Wijk en Aalburg, Netherlands                  |                                              |
| 9:34 Snelheidsovertreding         | Hazeпад 4, 5156CW Heusden, Netherlands                               | Max Speed: 39 km/h (Max road speed: 30 km/h) |
| 10:01 Hard remmen 17.01.22        | Hoefstraat 2b, 5256 NE Heusden, Netherlands                          |                                              |
| 10:20 Achteruitrijden bij vertrek | Inlaagdijk 37, 5254 KC Haarsteeg, Netherlands                        |                                              |
| 10:21 Hard remmen 17.01.22        | 723, 5254 KD Haarsteeg, Netherlands                                  |                                              |
| 10:35 Hard door de bocht 17.01.22 | Haarsteeg, Hoeve, 5254 JT Haarsteeg, Netherlands                     |                                              |
| 10:41 Hard remmen 17.01.22        | Haarsteegsstraat 3A, 5254 JN Haarsteeg, Netherlands                  |                                              |
| 10:42 Hard door de bocht 17.01.22 | Mommersteeg 94, 5254 VN Haarsteeg, Netherlands                       |                                              |
| 10:57 Hard door de bocht 17.01.22 | Hoogpoort 1, 5253 Nieuwkuijk, Netherlands                            |                                              |
| 11:06 Snelheidsovertreding        | Kelderstraat 15, 4265 HG Gendersen, Netherlands                      | Max Speed: 39 km/h (Max road speed: 30 km/h) |
| 11:25 Snelheidsovertreding        | Gendersenedijk 5, 4265 JJ Gendersen, Netherlands                     | Max Speed: 42 km/h (Max road speed: 30 km/h) |
| 11:26 Hard door de bocht 17.01.22 | Provincialeweg-Zuid, 4265 TD Gendersen, Netherlands                  |                                              |
| 11:28 Hard door de bocht 17.01.22 | Poelstraat 94, 4261 BV Wijk en Aalburg, Netherlands                  |                                              |
| 11:47 Snelheidsovertreding        | Meester S. Naaijenstraat 32, 4281 NL Andel, Netherlands              | Max Speed: 41 km/h (Max road speed: 30 km/h) |
| 11:55 Achteruitrijden bij vertrek | Beatrixstraat 11, 4281 LP Andel, Netherlands                         |                                              |
| 12:03 Hard door de bocht 17.01.22 | Afsluitdijk, 5307 Poederloijen, Netherlands                          |                                              |
| 12:23 Hard door de bocht 17.01.22 | Capreton, 5308 NT Aalst, Netherlands                                 |                                              |
| 12:24 Hard door de bocht 17.01.22 | Maas Waalweg 6, 5308 NS Aalst, Netherlands                           |                                              |
| 12:24 Hard door de bocht 17.01.22 | Aalst, E.P. van Ooljenstraat, 5308 KD Aalst, Netherlands             |                                              |
| 12:37 Achteruitrijden bij vertrek | Goudenregenlaan 43, 5308 LJ Aalst, Netherlands                       |                                              |
| 12:39 Snelheidsovertreding        | Hamblokestraat 50A, 5308 KP Aalst, Netherlands                       | Max Speed: 44 km/h (Max road speed: 30 km/h) |
| 12:39 Hard door de bocht 17.01.22 | Aalst, E.P. van Ooljenstraat, 5308 KD Aalst, Netherlands             |                                              |
| 12:40 Hard door de bocht 17.01.22 | Aalst, E.P. van Ooljenstraat, 5308 KD Aalst, Netherlands             |                                              |
| 12:41 Hard door de bocht 17.01.22 | Maas Waalweg, 5305 TC Zuilichem, Netherlands                         |                                              |
| 12:42 Hard door de bocht 17.01.22 | Mesdijk 17, 5305 VJ Zuilichem, Netherlands                           |                                              |
| 13:40 Hard door de bocht 17.01.22 | Prins Willem-Alexanderstraat 2A, 5311 CB Gameren, Netherlands        |                                              |
| 13:41 Hard door de bocht 17.01.22 | Prins Willem-Alexanderstraat 19, 5311 CB Gameren, Netherlands        |                                              |
| 13:44 Hard accelereren 17.01.22   | Hogeweg 95, 5301 LK Zaltbommel, Netherlands                          |                                              |
| 14:04 Hard remmen 17.01.22        | s Hertogenbosch, De Harendonkweg, 5233 's-Hertogenbosch, Netherlands |                                              |
| 14:06 Snelheidsovertreding        | Balkweg 2, 5232 BV 's-Hertogenbosch, Netherlands                     | Max Speed: 26 km/h (Max road speed: 15 km/h) |
| 14:22 Achteruitrijden bij vertrek | Balkweg 2b, 5232 BR 's-Hertogenbosch, Netherlands                    |                                              |

Figuur 10. Voorbeeld van terugkoppeling van gedrag

Digitalisering leidt zo tot nieuwe vragen op het gebied van privacy, digitale veiligheid en intellectueel eigendomsrecht (SER, 2021). Ook in een circulaire economie is privacy een relevant punt, zeker in geval van product-as-a-service-modellen: de eigenaar van het product verzamelt daarbij informatie over de staat en het gebruik van het product en daarmee over de gebruiker.

#### Aandachtspunt 4: Versterking van sociale en machtsverschillen

Voor consumenten en burgers kan digitalisering volgens de SER (2021) en Ghobakhloo (2020) bijdragen aan een inclusievere samenleving met minder economische ongelijkheid. Digitalisering leidt echter tot banen die vragen om sterke vaardigheden. En digitalisering maakt goederen wereldwijd toegankelijker en betaalbaarder, onder andere door een product-as-a-service-businessmodel toe te passen: een gebruiker koopt dan het product niet, maar gebruikt dit tegen een vergoeding, waardoor aanschaffen makkelijk is. Tegelijkertijd weet de SER (2021) echter niet zeker of digitalisering leidt tot een inclusievere samenleving en waarschuwt de Raad van State ervoor dat digitalisering niet voor iedereen automatisch vooruitgang betekent en er genoeg mensen zijn die digitaal niet vaardig genoeg zijn om te kunnen omgaan met de voortgaande digitalisering van de overheid (Thelosen, 2018). Mensen met weinig of geen digitale vaardigheden, zoals

ouderen, laaggeletterden en sommige werkenden, komen op achterstand te staan, waardoor de sociale verschillen groter worden. Dat geldt niet alleen op nationaal niveau, ook wereldwijd kunnen gemeenschappen met een beperkte toegang tot onderwijs en met minder vaardigheden, zoals in ontwikkelingslanden, verder op achterstand komen te staan (Ghobakloo, 2020).

De technologie zal door zaken als de kosten van digitalisering en problemen met cybersecurity en toegankelijkheid vooral beschikbaar zijn voor grote dominante bedrijven in ontwikkelde landen, waardoor ongelijkheid tussen landen kan toenemen (Ghobakloo, 2020). Mijn collega-lector Shengyun Yang onderschrijft dit:

De meeste verhalen over 'digitale winnaars' betreffen snel bewegende *startups* zoals Pinterest, *high tech* bedrijven zoals Amazon of grote bedrijven zoals Nike, met voldoende middelen en aanwezige vaardigheden. Helaas zijn deze verhalen over innovatieve bedrijven niet toepasbaar op veel bedrijven die traditioneel, ouder en kleiner zijn, zoals mkb-organisaties (Yang, 2020, p. 13-14).

Dit wordt ook onderschreven door Schöggli et al. (2023), die een verband leggen tussen de grootte van een bedrijf en de mate van implementatie van digitale technologie. In haar rapport over de digitaliseringsstrategie van de overheid stelt de staatssecretaris van EZK (Keijzer, 2021) dat digitalisering het voor het mkb moeilijker maakt om mee te komen met economische veranderingen en het hoofd te bieden aan de groeiende concurrentie.

### 3.4. In het kort

Door de integratie van dataverzameling, data-integratie, dataverspreiding en data-analyse met behulp van krachtige tools biedt digitalisering grote mogelijkheden om (eco)systemen te verbeteren. Door het verzamelen van grote hoeveelheden data, deze op te slaan en te verwerken, kunnen organisaties en ecosystemen worden gestroomlijnd, kunnen nieuwe businessmodellen worden ontwikkeld en prestaties ten aanzien van bijvoorbeeld wendbaarheid, flexibiliteit en klantbetrokkenheid worden verbeterd. Allemaal zaken die ook van belang zijn in de circulaire economie. Daarbij is belangrijk dat de kwaliteit van de data hoog is, dat digitalisering ten dienste staat van verduurzaming, dat de privacy van mensen wordt beschermd en dat er oog is voor machtsverschillen die door digitalisering kunnen ontstaan of toenemen met als gevolg *privacy issues* en uitsluiting van mensen, bedrijven en landen. Ten slotte moet worden gezorgd dat het verzamelen van data bijdraagt aan de uiteindelijke besluitvorming, waarbij data en informatie nut moeten hebben.

Digitalisering kan dus een circulaire economie mogelijk ondersteunen, dat wordt in het volgende hoofdstuk verder uitgewerkt.



# Naar een digitale circulaire economie

Digitalisering moet ten dienste staan van circulariteit. Tegelijkertijd is digitalisering een voorwaarde voor het succes van een circulaire economie, omdat circulaire ketens alleen kunnen draaien als er voldoende informatie beschikbaar is. Voor dit tweede punt moet nog veel gebeuren. Ook ontbreekt het nog aan een definitie van een digitale circulaire economie. Niettemin zijn er al toepassingen van digitale circulariteit en is kennis ontwikkeld over welke vormen van digitalisering passen bij welke vormen van circulariteit. Naast deze zaken komen in dit hoofdstuk enkele aandachtspunten aan bod, zoals het spanningsveld tussen digitalisering en circulariteit. Dit hoofdstuk kent een soortgelijke indeling als de vorige hoofdstukken, namelijk:

- achtergrond en definitie van een digitale circulaire economie;
- toepassingen van digitale technologieën ten behoeve van een circulaire economie;
- aandachtspunten.

Het hoofdstuk wordt ook hier afgesloten met een korte samenvatting en de link naar het volgende hoofdstuk.

## 4.1. Achtergrond en definitie

### Digitalisering is een voorwaarde

Koppeling van de digitale en de circulaire economie ondersteunt hergebruik door het gebruik van informatie in de waardeketen. Daarbij is het delen van informatie een van de grootste obstakels voor het bereiken van een circulaire economie en digitalisering kan hierbij een centrale rol spelen. Op de blockchain gebaseerde oplossingen kunnen bijvoorbeeld gegevens op een veilige en efficiënte manier opslaan en delen. Ze kunnen de informatiestromen tussen waardeketens en de monitoring- en verificatieprocessen verbeteren. Bovendien kunnen specifieke algoritmen worden gebruikt om de gegevens die met een product worden verzonden, te verifiëren en ervoor te zorgen dat de benodigde informatie wordt geregistreerd in de waardeketen (Hedberg et al., 2019).

In hoofdstuk 2 kwam de sceptische constatering van Dittrich (2019) ter sprake, dat bedrijven al vinden dat ze duurzaam denken en doen als ze een oplossing verzinnen om hun afval te *recyclen*. *Recyclen* is echter een laagwaardige manier van hergebruiken, terwijl er ook nog maar weinig wordt *gerecycled*. Volgens mij ligt dat niet alleen aan die bedrijven. Ze weten vaak weinig over de conditie van een product en dan is het lastig, zo niet onmogelijk, om het product of delen ervan opnieuw te gebruiken. Om producten

of delen ervan te kunnen hergebruiken, is het logisch dat bekend moet zijn waar die producten zich bevinden (met andere woorden: ze moeten traceerbaar zijn), wat de kwaliteit van de producten (of delen ervan) is en wanneer ze beschikbaar komen. Volgens Antikainen et al. (2018) kan digitalisering bijdragen aan circulariteit doordat de technologie het mogelijk maakt om zichtbaarheid en intelligentie, zoals kennis van de locatie, conditie en beschikbaarheid, in producten en middelen in te bouwen. Die kennis brengt het volgende:

- Kennis van de locatie waar producten zich in de waardeketen bevinden, bevordert de toegankelijkheid van deze producten en de mogelijkheden tot verzameling, *refurbishment*, *remanufacturing* en *recycling*.
- Kennis van de conditie waarin producten verkeren, maakt het mogelijk om bijvoorbeeld predictief en toestandsafhankelijk onderhoud in te zetten, waardoor de betrouwbaarheid en levensduur van producten kunnen worden verhoogd.
- Kennis van de beschikbaarheid van producten maakt bijvoorbeeld deelgebruik ervan mogelijk.

Om gebruik te kunnen maken van de informatie, is het noodzakelijk dat deze verbonden blijft met de betreffende producten, componenten of materialen (Bahnaru, 2020). Dat betekent dat voor de overgang naar een circulaire economie een betere en ketenbrede coördinatie van materiaal- en informatiestromen een vereiste is (Berg et al., 2020; Magrini et al., 2021), zodat de voorwaartse materiaalstromen (van winning van grondstoffen, via productie naar gebruik van producten) worden geoptimaliseerd en de terugwaartse materiaalstromen (waarbij gebruikte producten terugkomen bij de producent) mogelijk worden gemaakt (Pagoropoulos et al., 2017). Belangrijk daarbij is dat in een circulair businessmodel niet één bedrijf de kringloop sluit, maar dat dit in een ecosysteem van producenten en consumenten gebeurt, waarvoor netwerken en samenwerken met belanghebbenden en met nieuwe partners nodig is. In een digitale circulaire economie zijn radicaal nieuwe producten en diensten nodig, waarbij digitalisering de kans biedt om te komen tot co-creatie met belanghebbenden en klanten (Antikainen et al., 2018; Nham en Ha, 2022).

Digitalisering en digitale technologieën spelen dus een voorwaardenscheppende rol in een circulaire economie, wat in de wetenschap breed wordt erkend (zie bijvoorbeeld Kristoffersen et al., 2021; Magrini et al., 2021; Pagoropoulos et al., 2017; Piscicelli, 2023; Rosa et al., 2019; Schöggel et al., 2023). Sommigen gaan een stap verder en vinden digitalisering zelfs de *missing link* voor de circulaire transitie (Wilts & Berg, 2017), constateren dat landen die voortdurend werken aan digitalisering, beter in staat zijn te transformeren naar een circulaire economie (Nham & Ha., 2022) of roemen de potentie van digitalisering tot circulaire disruptie (Neligan et al., 2022).

Digitalisering kan die voorwaardenscheppende rol in de circulaire economie vervullen door circulaire businessmodellen te operationaliseren, de ontwikkeling van nieuwe activiteiten mogelijk te maken en de businesscase voor bestaande activiteiten in de circulaire economie te verbeteren. Digitale technologieën helpen bijvoorbeeld interacties te vergemakkelijken, productservicesystemen te faciliteren door real-time monitoring van productprestaties en fysieke producten te vervangen door virtuele *online content* (Barteková & Börkey, 2022). Zodoende kan digitalisering zorgen voor kostenreductie, minder materiaalverbruik, volgen van producten, betere beschikbaarheid en kwaliteit van data en inter- en intra-organisatorische samenwerking en kennisdeling (Nham & Ha, 2022; Schöggli et al., 2023). Ook kan digitalisering de positie van burgers en consumenten versterken door ze te informeren, ze op te leiden en actieve participanten van ze te maken (Piscicelli, 2023).

### **Data-driven solutions (door Alfons Looman)**

Binnen de minor 'Datadriven solutions' ontwerpen studenten oplossingen met behulp van *business intelligence* (BI), *data science* en AI. Studenten leren hoe zakelijke gegevens (data) kunnen worden omgezet in bruikbare inzichten met behulp van verschillende BI-tools en -technieken. Dit omvat de vaardigheid om dashboards, rapporten en visualisaties te ontwerpen, waarmee op effectieve wijze bedrijfsprestaties en trends kunnen worden gecommuniceerd. Ook leren ze hoe met behulp van *data science* voorspellingen kunnen worden gedaan over toekomstige scenario's en hoe processen met behulp van AI vergaand kunnen worden geautomatiseerd. Daarbij passen de studenten het geleerde toe en voeren ze opdrachten uit, soms met een relatie tot circulariteit. De afgelopen jaren betrof de opdracht voor dat laatste bijvoorbeeld het ontwerpen van een dashboard voor camperadditieven om het verbruik van chemicaliën te minimaliseren en hergebruik van water te optimaliseren en een dashboard voor de visualisatie en optimalisatie van goederenstromen in circulair restaurant Hotspot. Ook was er een opdracht gerelateerd aan *life cycle analysis* in de vorm van het ontwikkelen van visualisaties voor het bedrijf RentaBattery, om de milieueffecten van batterijen ten opzichte van dieselgeneratoren inzichtelijk te maken. Ook was er in dat bedrijf de opdracht om een matching-tool te maken, waarmee klanten of evenementen beter kunnen worden gekoppeld aan specifieke types batterijen.

### **Belang van betere en meer informatie**

Ondanks het geschetste belang van digitalisering voor circulariteit, is er veelal overeenstemming onder onderzoekers dat de praktijk daar nog ver van af staat (o.a. Bahnaru, 2020; Berg et al., 2020; Kristoffersen et al., 2021; Nham & Ha, 2022; Wilts & Berg, 2017). Barteková en Börkey (2022) constateren dat sprake is van een gebrek aan

vertrouwen in de mogelijkheden voor hergebruik en onvoldoende traceerbaarheid van producten en componenten. Dat wordt volgens hen veroorzaakt door een onevenwichtige of onvoldoende informatie-uitwisseling tussen ketenpartners of een totaal gebrek aan of onvoldoende informatie over de echtheid, oorsprong en kwaliteit van producten en over de aanwezigheid van contaminerende of gevaarlijke materialen.

### **Gebruik van informatie bij aankoopbeslissingen**

De Nobelprijs-winnende econoom George Akerlof merkte al in 1970 op dat er minder gebruikte auto's worden verhandeld dan mogelijk is. Volgens hem komt dit doordat potentiële kopers niet weten of een voertuig nog een paar jaar mee kan of dat het schrootwaardig is. Als klanten beter worden geïnformeerd en redelijk zeker weten wat de kwaliteit van de auto is, dan is de aankoopprijs groter en het gebruik van bestaande producten intensiever (Wilts & Berg, 2017).

Magrini et al. (2021) omzeilen het gebrek aan vertrouwen en willen het informatietekort aanpakken door gegevens te onttrekken aan heel verschillende bronnen. Op basis van hun voorstel kom ik tot de volgende manieren van gegevens verkrijgen:

- gegenereerd door de verschillende actoren die actief zijn in de waardeketen, onder wie de producent, transporteur, klanten, serviceproviders en recyclagebedrijf;
- verzameld op een traditionele gecentraliseerde manier, bijvoorbeeld door een bedrijfsvertegenwoordiger die klanten bezoekt en informatie rechtstreeks vanuit het product downloadt of de gebruiksomstandigheden en bevindingen rapporteert;
- samengebracht via IoT, dus autonoom gegenereerd door de apparaten die op het internet zijn aangesloten en die relevante informatie verschaffen, waaronder informatie over de geolocatie;
- verzameld via *crowdsourcing*, met gegevens van en door mensen die persoonlijke apparaten gebruiken. Dit is met name interessant voor het lokaliseren van professionele apparaten die zich bevinden op plaatsen die veel door klanten worden bezocht, zoals koelers of koffiemachines in cafés.

Daarmee samenhangend moeten digitale technologieën meer worden ingezet met het oog op circulariteit en duurzaamheid (Bressanelli et al., 2018; Schöggl et al., 2023). Zo constateren Schöggl et al. (2023) dat digitale technologieën zelden worden ingezet voor nieuwe businessmodellen, dat geldt ook in een duurzame en circulaire context. Verbetering van de businessmodellen zou volgens hen kunnen worden bevorderd door de samenwerking tussen IT- en duurzaamheidsafdelingen te verbeteren en/of door duurzaamheidspersoneel met meer IT-specifieke vaardigheden te verwerven. Dat sluit aan bij de constatering van Kristoffersen et al. (2021) dat de belangrijkste oorzaken van het uitblijven van het realiseren van waarde uit data niet technologisch van aard zijn, maar organisatorisch.

### Definitie: juiste informatie, juiste moment, juiste plaats

Wellicht komt het door de beperkte hoeveelheid onderzoek die tot op heden heeft plaatsgevonden naar de digitale circulaire economie, of wellicht doordat het bij zowel digitaal als bij circulair al niet lukte om tot één definitie te komen, maar in de gevonden literatuur kwam geen definitie van een digitale circulaire economie naar voren. Rosa et al. (2019) geven aan dat de meest gebruikelijke manier om de relatie tussen I4.0 en de circulaire economie te beschrijven, gaat over digitalisering van de circulaire economie (en niet andersom). Hierbij worden I4.0-technologieën gezien als een scala aan mogelijkheden voor bedrijven voor het verbeteren van hun circulaire prestaties door het toepassen van digitale technologieën. Een ander perspectief op de relatie tussen digitaal en circulair heeft volgens Rosa et al. (2019) betrekking op de rol die I4.0-technologieën kunnen spelen bij het mogelijk maken van circulaire businessmodellen. In dit perspectief krijgen I4.0-technologieën een strategische rol in het betrekken van klanten en co-providers (en belanghebbenden in het algemeen) binnen de waardeketen, om een circulaire economie te realiseren.

Bressanelli et al. (2022) hebben het over een *smart circular economy*-paradigma, dat ze definiëren als een industrieel systeem dat digitale technologieën gebruikt tijdens de levensfasen van een product om circulaire strategieën en praktijken te implementeren, die zijn gericht op waardecreatie door te zorgen voor betere ecologische, sociale en economische prestaties. Of om het eenvoudiger te verwoorden: een slimme circulaire economie laat informatie voor zich werken en brengt relevante informatie op het juiste moment bij de juiste actor, waardoor materialen beter kunnen worden benut. Daarbij zijn digitale technologieën geen doel op zich, maar het middel waarmee het systemische herontwerp van producten, businessmodellen en toeleveringsketens mogelijk wordt gemaakt voor de circulaire economie (Bressanelli et al., 2022).

Ten slotte constateren Voulgaridis et al. (2022) dat zowel de digitale als niet-digitale benaderingen van de circulaire economie zich over het algemeen richten op de implementatie van mogelijkheden tot hergebruik in de productie- en toeleveringsketens. Daarin is de traditionele benadering van de circulaire economie beperkt tot het gebruik van fysieke hulpbronnen, productonderdelen en materialen om daarmee milieuvriendelijke producten te maken van gerecyclede onderdelen. De digitale circulaire economie wordt daarentegen beschouwd als een verbetering, doordat deze aanvullende mogelijkheden biedt om de creatie van producten te optimaliseren met gebruik van digitale technologieën voor het verzamelen, analyseren en delen van de gegevens die door partijen in circulaire ketens worden aangeleverd.

Deze beschrijvingen blijven vrij algemeen en er ontbreken volgens mij diverse aspecten. Hoewel wordt gesproken over waardecreatie en betere prestaties, ontbreekt een streven naar een zo effectief en efficiënt mogelijk inzetten van digitale technologieën. Ook

ontbreekt een streven naar het inzetten op de gewenste (eventueel hoogst mogelijke) R-strategie, zoals weergegeven bij de bespreking van de *value hill* in hoofdstuk 2. Bij het inzetten van digitale technologieën wordt ook geen rekening gehouden met andere duurzaamheidsaspecten, zoals welzijn van mens en natuur. Verder ontbreekt nog het streven om te regenereren, dus niet alleen 'geen kwaad' te doen, maar een positieve bijdrage te leveren aan de omgeving. Ten slotte ontbreekt ook het streven om goed te doen voor de huidige en toekomstige generaties, en niet alleen hier, maar overal op de wereld.

Daarom is mijn voorstel om de digitale circulaire economie als volgt te definiëren:

*De digitale circulaire economie betreft het effectief en efficiënt inzetten van digitale technologieën en strategieën om de juiste informatie op het juiste moment en op de juiste plaats in een circulaire waardeketen of ecosysteem te krijgen, zodat producten en materialen zo efficiënt mogelijk worden hergebruikt, zonder negatieve en met positieve effecten voor mens en natuur, nu en later, in de waardeketen en erbuiten.*

## 4.2. Toepassing van digitalisering ten behoeve van circulariteit

### **Onderzoek met studenten naar herverwerkingsmogelijkheden (door Mirella Soyer)**

Nederland importeert per jaar 900 miljoen kledingstukken, waarvan (volgens Ffact) ongeveer 45 procent in de gemeentelijke textielcontainers belandt. Een deel hiervan wordt verkocht aan Nederlandse kledingretailers, een deel wordt geëxporteerd naar landen in Oost-Europa en Afrika, een deel wordt gedowncycled tot poetsdoek, terwijl sterk chemisch bevulde kleding wordt verbrand. Slechts drie procent van de kleding wordt van vezel tot vezel *gerecycled*.

Omdat de productie van kleding verantwoordelijk is voor een groot deel van de emissies van ongewenste stoffen, is er veel te winnen met investeren in textielrecycling van vezel naar vezel. Hiervoor is meer kennis nodig over de samenstelling van de kleding en de hoeveelheid van de afzonderlijke materialen, dat zijn immers de grondstoffen voor textielrecycling.

In het voorjaar en najaar van 2022 hebben ongeveer 30 studenten en zes collega's van Hogeschool Rotterdam meegewerkt aan een Europees onderzoek van Circle Economy and Fashion4Good naar de samenstelling van kleding en de hoeveelheid afzonderlijke materialen. Het onderzoek richtte zich op niet-herbruikbare, laagwaardige kleding. Na een training op de sorteerlocatie van Boergroep in Dordrecht, over de soorten kleding, de aspecten waarop

moest worden gelet en de werking van het Near Infrared-scanapparaat, werd 10.000 kilo aan verschillende soorten laagwaardige textiel gescand, met aan sommige stukken nog een prijskaartje. Data werden verzameld en geregistreerd met een app, zoals gegevens over de samenstelling van het kledingstuk, het gewicht, de kleur en het gebruik van andere materialen (zie afbeelding 2). Uit de resultaten bleek dat 21 procent van de laagwaardige kleding geschikt is voor mechanische *recycling* en 53 procent voor chemische *recycling*. Verder onderzoek is nog nodig om deze cijfers te toetsen.



Afbeelding 2. Registratie samenstelling kledingstuk

### Welke vorm van digitalisering past bij welke circulaire situatie?

Digitalisering maakt het mogelijk om middelen efficiënter in te zetten. Door slimme digitale oplossingen kan het energieverbruik worden verminderd en kunnen logistieke routes en capaciteit efficiënter worden benut. Ook kan digitalisering transparantie creëren in de hoeveelheid middelen die producten verbruiken en kan de levenscyclus van producten worden geoptimaliseerd. Dit alles bevordert de overgang naar een circulaire economie (Antikainen et al., 2018). Om deze voordelen te realiseren, is de vraag: welke vorm van digitalisering past in welke circulaire situatie? Voordat ik met deze vraag aan de slag ga, wil ik eerst twee opmerkingen plaatsen.

Ten eerste geven experts aan dat sprake is van interactie tussen de meeste digitale technologieën en dat ze van elkaar afhankelijk zijn bij het uitvoeren van een bepaalde taak. Dat betekent dat niet eenduidig is te bepalen welke technologie waar kan worden gebruikt en waar niet. Hierbij moet bijvoorbeeld rekening worden gehouden met de fase in de ontwikkeling van circulariteit van Jonker et al. (2018), waarin de onderneming zich bevindt: van in-huis circulariteit tot een vervlochten systeem; zie hoofdstuk 2. Het is altijd belangrijk te kijken welke combinatie van digitale mogelijkheden het beste past bij de gegeven vraagstelling. Ten tweede zal een overzicht van de circulaire en digitale relaties nooit volledig zijn, aangezien in veel onderzoek hiernaar slechts een beperkt deel van de circulaire businessmodellen is meegenomen en ook vaak slechts een of enkele digitale technologieën.

Met het voorgaande in het achterhoofd zijn er enkele circulaire businessmodellen met mogelijke digitale technologieën te benoemen; deze staan in tabel 4 met een beknopte toelichting.

*Tabel 4. Relatie tussen circulaire businessmodellen en digitale mogelijkheden (bron: Barteková & Börkey, 2022; Nobre & Tavares, 2020; Çetin et al., 2021; Magrini et al., 2021; Centobelli et al., 2020; Ghoreishi et al., 2020; Roberts et al., 2022)*

| Circulair businessmodel | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                             | Mogelijke digitale technologieën*                   |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Deelmodellen            | Koppelen van producenten en consumenten door gepersonaliseerd zoeken, aanbevelingssystemen, slimme prijsstelling en veilige uitwisseling van waarde m.b.v. gegevens over locatie, toestand en beschikbaarheid van gedeelde activa, evenals kennis over consumentengedrag en -voorkeuren | IoT, cloud computing, ML, AI, BT, online platformen |

|                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                          |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Verlenging levensduur<br>(met dekking tot einde levensduur) | Vereisen gegevens over de toestand en het einde van de levensduur van producten, onderdelen en apparatuur, evenals informatie over de duurzaamheid van het materiaal en uitgevoerde reparaties; op basis van gegevens worden ook ontwerpbeslissingen verbeterd; tevens moet onderhoud en reparatie makkelijk en dichtbij kunnen plaatsvinden | IoT, BDA, AI, AM en <i>digital twins</i> |
| Circulaire leveringsmodellen                                | Gedreven door gegevens over herkomst en samenstelling van producten en materialen, vergezeld van informatie over verwerking, reparatie-instructies en <i>recycling</i> voorwaarden, als basis voor ketenoptimalisatie                                                                                                                        | BT, AM, RM, IoT, BDA AI                  |
| Resource <i>recovery</i> -modellen                          | Middelen opnieuw bruikbaar maken vraagt om gegevens over ingezamelde en gesorteerde hoeveelheden, over beschikbaarheid en herbruikbaarheid van materialen, evenals informatie over componenten en hun <i>recycleerbaarheid</i>                                                                                                               | IoT, AI, ML en <i>online platforms</i>   |
| Productservicesystemen                                      | Vraagt gegevens over locatie, toestand en beschikbaarheid van producten, informatie over hun gebruik en onderhoudsbehoeften, evenals kennis over de voorkeuren van consumenten en gedrag                                                                                                                                                     | IoT, AI, BDA en <i>online platforms</i>  |
| Circulair ontwerpen                                         | Inbouwen van digitale mogelijkheden in producten, waardoor informatie uit bestaande producten kan worden gebruikt bij het ontwerp van nieuwe producten                                                                                                                                                                                       | AI, ML, BDA, IoT, en AM                  |

|                                                             |                                                                                                                                           |                                                |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Verlagen middelenverbruik (resource-efficiëntie)            | Slim laten handelen van producten zelf of door gebruikers, met als gevolg minder energieverbruik, emissies en consumptie van hulpmiddelen | AM, RM, IoT, BDA, AI, <i>online</i> platformen |
| Hergebruiken van producten (inclusief industriële symbiose) | Verzamelen en uitwisselen van informatie met als doel dat producten langer meegaan en een andere gebruiker vinden                         | IoT, BDA, AI, <i>online</i> platformen         |
| Herverwerken van producten                                  | Optimaal sorteren en herverwerken van producten die hiervoor ook geschikt zijn (fysiek en/of qua beschikbare informatie)                  | AI, BDA, IoT, AM, RM, BT                       |

\*AI = artificial intelligence, AM = additive manufacturing, BDA = big data analytics, BT = blockchain technology, IoT = Internet of things, LM = machine learning, RM = robotic manufacturing

In tabel 4 zijn een paar zaken niet meegenomen. Zo komen materialenpaspoorten als voorbeeld in de literatuur voor. Ik heb deze onder *big data* geschaard, omdat ik die paspoorten meer als voorbeeld zie, niet als technologie. Daarnaast valt wellicht op dat de hier genoemde circulaire businessmodellen niet dezelfde zijn als die ik in hoofdstuk 2 heb genoemd. Oorzaak daarvan is de versnippering in de literatuur ten aanzien van de benadering van de circulaire economie, getuige onder andere ook de verschillende definities die worden gebruikt. Daardoor verschillen de genoemde circulaire businessmodellen per paper.

Ook in Nederland wordt gewerkt aan de inzet van digitale technologieën voor circulaire oplossingen en werkt het ministerie I&W nauw samen met de provincies Zuid-Holland, Gelderland, Overijssel, Noord-Brabant, brancheorganisaties FME (metaal en elektrotechniek), KMU (metaal) en VNO-NCW (ondernemers) en het ministerie van Economische Zaken en Klimaat aan een programmatische aanpak om *smart industry*-technologieën circulair in te zetten, onder andere in het fieldlab Circulaire Economie *Smart Industry* (Ministerie I&W, 2020). Volgens Bastein en Willems (2019) laat ook de Gelderse smart maakindustrie op tal van manieren zien dat het circulair handelt, leidend tot efficiënter materiaalgebruik en het stimuleren van circulariteit bij klanten. Volgens hen spelen innovaties op het gebied van ICT, zoals de inzet van op afstand uitleesbare sensoren en 3D-metaalprinten, een grote rol, overigens zonder dat een van de bezochte bedrijven zich bewust was van een mogelijke rol in de circulaire economie.

### Digitale circulariteit in de textielsector

Ook in de textielindustrie wordt digitale technologie ingezet voor een digitale circulaire economie. Jolanda Kooi van het Amsterdamse textielbedrijf *tex.tracer* vertelt in een interview, dat ik met haar had, dat ze in de *tex.tracer web-app* een private blockchain (die is energiezuiniger en veiliger dan een publieke) gebruiken om de hele textielketen in kaart te brengen. Elke ketenpartner uploadt productgegevens, foto's en documenten in de *tex.tracer web-app*. Met behulp van een gecodeerde tijdstempel en geolocatiegegevens verifieert *tex.tracer* of alle geüploade informatie op de geclaimde tijd en locatie wordt geproduceerd. *Peer-to-peer*-reviews van de volgende partner in de keten zorgen voor een extra garantie dat de geüploade gegevens juist zijn. De gebruiker kan vervolgens deze informatie gebruiken bij de aanschaf van een kledingstuk of bij de herverwerking ervan.

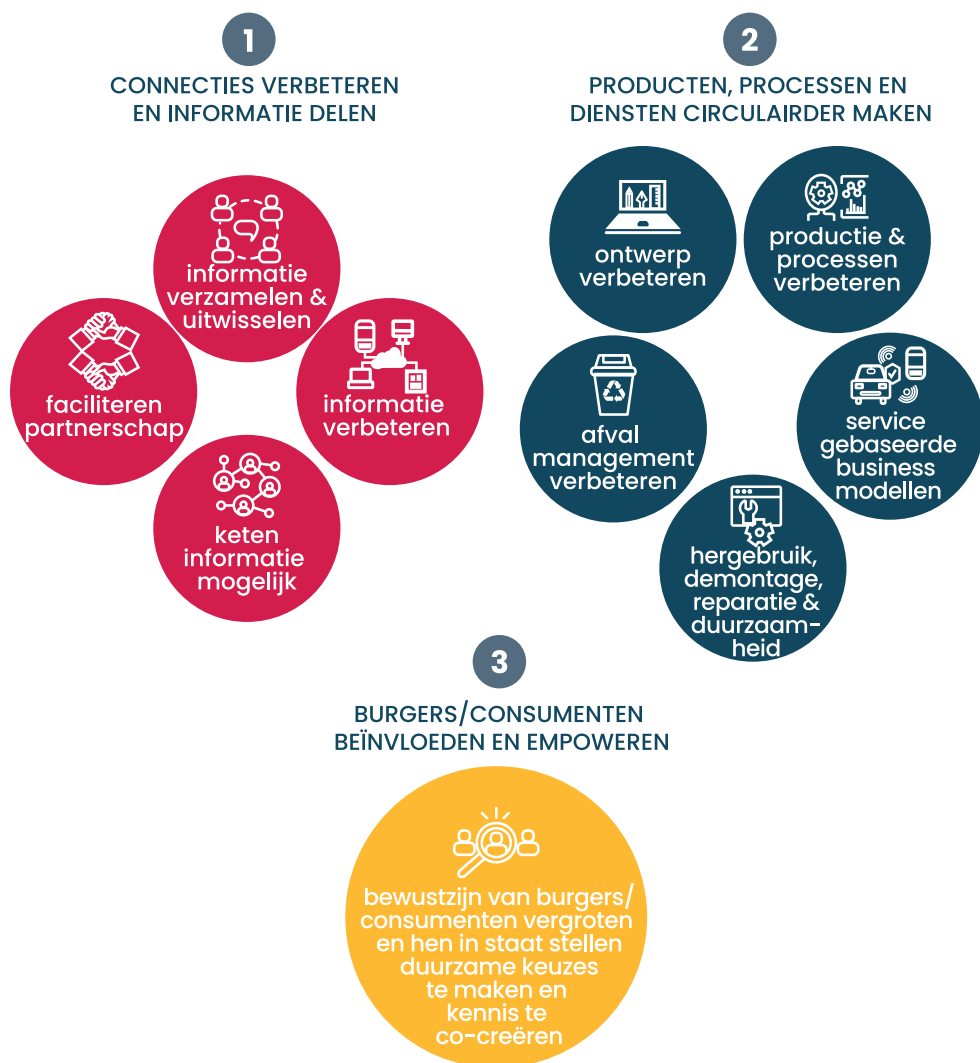
### Samenwerking tussen digitale technologieën

In het voorgaande zijn de technologieën die een digitale circulaire economie mogelijk maken als afzonderlijke tools beschouwd. Zoals blijkt uit onderstaande voorbeelden, vormen digitale technologieën echter een samenhangend en samenwerkend geheel, wat digitalisering zo krachtig maakt.

Digitalisering begint met het verzamelen van data. Een voorbeeld daarvan geeft het verlichtingssysteem *Interact* dat, met behulp van de IoT-sensoren, gegevens verzamelt over het binnenklimaat. Met de *big data* die op die manier worden verkregen, kunnen ML-algoritmes worden getraind, die architecten ondersteunen om gebouwen met een lagere CO<sub>2</sub>-voetafdruk te ontwerpen (Çetin et al., 2021). Ook de Utrechtse *startup* *Orbisk* combineert digitale technologieën, in hun geval om een van de grootste huidige uitdagingen aan te pakken, namelijk voedselverspilling. Daarbij registreert een slimme camera boven op de afvalbakken van horecaorganisaties, die gebruik maakt van *computer vision* en is gekoppeld aan een weegschaal, tot op ingrediënteniveau automatisch al het voedsel dat wordt weggegooid. Na verwerking van die data met AI hebben de organisaties een compleet inzicht in hun voedselverspilling en dat helpt hen de verspilling te halveren (Orbisk, 2023). Een ander Nederlands voorbeeld betreft *Lely* in Maassluis, leverancier van melkrobots, die een *web-based* markt voor gebruikte robots heeft opgezet. De kwaliteit van de robots wordt gegarandeerd op basis van een continue monitoring van hun prestaties gedurende hun functionele leven (Berg et al., 2020).

### **Voorbeeld van de integratie van digitale technologieën in een circulair model bij Alpha (Bressanelli et al., 2018)**

Alpha levert grote huishoudelijke apparaten, zoals wasmachines, aan huishoudens in Noord-Europa, waarbij Alpha in veel gevallen eigenaar blijft van het apparaat. In die gevallen levert Alpha ook een in huis ontwikkelde IoT-kit die de apparaten met het internet verbindt, waardoor stand-alone apparaten veranderen in slimme en verbonden producten. Daardoor kan het apparaat tijdens het gebruik worden gemonitord en beheerd, terwijl tegelijk grote hoeveelheden data worden verzameld en geanalyseerd. Door monitoring van de activiteiten van gebruikers via IoT worden met name de operationele risico's, vaak ten gevolge van onzorgvuldig gebruik, beperkt. Een digitaal logboek van elke productactiviteit wordt op een *online* platform opgeslagen. Door de voortdurende monitoring wordt opportunistisch gedrag van de gebruikers voorkomen. Aangezien Alpha-gebruikers niet de eigendom van het apparaat hebben, kan een gevoel van 'verlies van eigendom' ontstaan. Daarom biedt het bedrijf de gebruikers als tegenhanger geavanceerde diensten aan die waarde voor hen genereren, zoals het optimaliseren van de gebruiksfase en het uitvoeren van preventief en predictief onderhoud, beide inbegrepen in de abonnementsprijs. Op basis van de analyse van de *big data* die via de IoT-tool zijn verzameld, geeft Alpha de klanten gepersonaliseerde adviezen. In het geval van een wasmachine-abonnement betreft dat bijvoorbeeld de optimalere duur van de wascyclus of een betere wastemperatuur om het energie- en waterverbruik te verminderen. Gebaseerd op IoT-monitoring van onder meer het elektriciteits-, water- en wasmiddelverbruik, de waslading en het aantal cycli, geeft een mobiele app tips om minder wasmiddel te gebruiken en water en energie te besparen. Dat stimuleert gebruikers weer om hun impact op het milieu te verminderen. Ook worden degenen die deze op maat gemaakte adviezen opvolgen, beloond met een verlaging van de maandelijkse vergoeding. Bovendien kan Alpha de verwachte levensduur van componenten bepalen door de verzamelde gegevens via de IoT-kit op te halen en deze met BDA te analyseren, en de informatie gebruiken voor het voeden van de algoritmen voor preventief en predictief onderhoud dat het bedrijf aan zijn gebruikers aanbiedt. Door middel van digitale upgrades zorgt Alpha ervoor dat het product technologisch up-to-date blijft: aangezien het apparaat een slim en verbonden product is, is het mogelijk om alleen het digitale gedeelte te upgraden. Hierdoor zijn minder verbruiksgoederen nodig en is de levensduur van het product langer. Aangezien aspecten als het aantal uitgevoerde wascycli of de fysieke status van de componenten worden gecontroleerd en op elk moment bekend zijn en geanalyseerd worden, kan Alpha voorspellen wanneer een apparaat moet worden vervangen. Zo worden onzekerheden in de retourstroom verminderd en wordt de organisatie van verzamelactiviteiten verbeterd.



Figuur 11. Benaderingen van digitalisering ten behoeve van circulariteit (bron: Hedberg et al., 2019)

### Benaderingen van digitalisering bij circulariteit

Er zijn diverse methodes ontwikkeld in het kader van digitalisering bij circulariteit. Bijvoorbeeld Kristoffersen et al. (2020) hebben een digitaal raamwerk voor circulaire strategieën ontwikkeld waarin ze niveaus van digitalisering koppelen aan verschillende circulaire strategieën. Ook Versluys en Vandenhoute (2018) beschrijven een aanpak voor het creëren van circulaire meerwaarde met digitale technologieën. Daarbij benoemen ze welke circulaire businessmodellen welke informatiebehoefte creëren. Ze gaan hierbij uit van vier mogelijke informatiegebieden rondom een circulair product, namelijk: samenstelling, staat & gebruik, locatie en beschikbaarheid.

Ten slotte hebben Hedberg et al. (2019) verschillende benaderingen voor digitalisering bij de transitie naar een circulaire economie op een rij gezet. Deze verdelen ze in drie categorieën, namelijk:

- 1 het verbeteren van de connecties en het delen van informatie;
- 2 het meer circulair maken van producten, processen en diensten;
- 3 het beïnvloeden en empoweren van burgers en consumenten.

Elk van deze drie categorieën is vervolgens weer verder onderverdeeld. In figuur 11 is dat schematisch weergegeven.

Deze benaderingen geven een mooi overzicht voor bedrijven om te kijken waar voor hen de mogelijkheden liggen.

### 4.3. Aandachtspunten

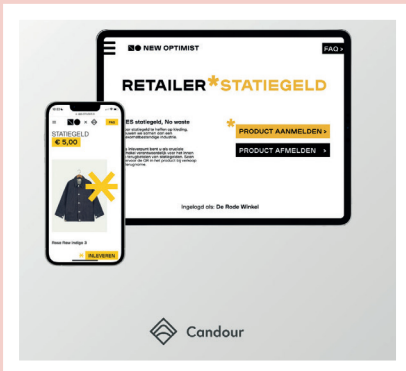
Met het gebruik van digitale technologieën blijken bedrijven meer circulair te werken (Schöggli et al., 2023). De positieve effecten betreffen (Antikainen et al., 2018; Ghoreishi et al., 2020; Magrini et al., 2021; Nham & Ha., 2022; Rajput & Singh, 2019; Trevisan et al., 2021):

- betere benutting en efficiëntie van middelen;
- langer gebruik van producten;
- meer duurzaamheid, zoals lagere CO<sub>2</sub>-emissie en minder energieverbruik;
- betere herverwerking en terugwinning van waardevolle materialen;
- optimalisering van het logistieke proces en creëren van een flexibele, duurzame, veilige, transparante *supply chain*;
- nauwere en langdurigere relaties met klanten;
- voorkoming van lekken van materiaal naar het illegale circuit;
- lagere kosten.

Ondanks deze positieve aspecten laat bijvoorbeeld een enquête van onderzoeks- en adviesbureau Gartner onder 1374 *supply chain*-leiders zien dat 70 procent van de respondenten van plan is te investeren in circulariteit, terwijl slechts twaalf procent van de respondenten hun digitale en circulaire strategieën heeft gekoppeld (Kristoffersen et al., 2020). Blijkbaar hebben ondernemingen redenen om nog eens goed na te denken voordat ze overgaan tot het gebruik van digitalisering ten behoeve van circulariteit. Hieronder volgen vijf van die overdenkingen en aandachtspunten bij de combinatie van digitaal en circulair.

## Zoektocht van Candour.Digital

De weg naar een digitale circulaire economie is vaak een zoektocht. Haiko Huvenaars, eigenaar van Candour.Digital, vertelt in een interview dat ik in december 2022 met hem had, dat zijn bedrijf enkele jaren geleden was gestart met het maken van circulaire T-shirts, waarbij technologie en circulariteit samenkwamen. Daarvoor hadden ze een T-shirt ontwikkeld met een print die met gebruik van augmented reality in beeld bracht wat de materiaalcompositie van het T-shirt was. Aangezien echter het hart niet helemaal lag bij het ontwikkelen van T-shirts, verschoven ze de aandacht naar technologie en



Afbeelding 3. Circulair statiegeld systeem (bron: Haiko Huvenaars)

ontwikkelden ze een applicatie die de herkomst en impact van een kledingstuk weergaf. Het bedrijf had ook de wens om het statiegeldconcept te integreren, maar dat sloot niet aan bij standaarden op het gebied van productpaspoorten.

Uit gesprekken werd duidelijk dat designers en merken behoefte hadden om duurzame producten te ontwikkelen, maar daarvoor bleken de volumes te klein te zijn, vooral ook omdat een circulaire aanpak vereist dat de hele keten wordt bekeken, terwijl ze daar niet de kennis en middelen voor hebben.

Reden voor Candour.Digital om zich te richten op het creëren van een infrastructuur voor kleinere brands, waarbij de producten van die brands worden gekoppeld aan platformen voor resale (zoals Vinted), reparatie of recycling. Daarvoor wilde Candour.Digital een productpaspoort ontwerpen; er was steeds meer interesse in productpaspoorten, maar er waren geen aanbieders, dus pakte Candour.Digital dat op. In een productpaspoort kunnen consumenten een unieke identifier van een product claimen, en daarmee gebruik maken van circulaire diensten. Zo hebben consumenten de mogelijkheid om feedback te geven aan de producent, waar deze op kan reageren. Daarnaast kunnen zij aangeven dat zij het product willen laten repareren, verkopen, et cetera, waarna zij in contact worden gebracht met een geschikte (circulaire) partij. Dit kan de producent zijn van het betreffende product als deze, naast nieuwe producten, ook resale, herstel of recycling aanbiedt, maar het kan ook een andere partij zijn. Momenteel neemt Candour.Digital deel aan acceleratorprogramma's, waarin onder andere een proof of concept en een businessplan worden uitgewerkt, wat uiteindelijk moet leiden tot de levering van productpaspoorten.

Voor Candour.Digital zijn er drie gebieden waar zich knelpunten bevinden in de ontwikkeling naar circulair ondernemen. Het eerste is het economische gebied, omdat circulair ondernemen betekent dat het bedrijf focust op sociale en ecologische aspecten, naast de financiële. In veel bestaande businessmodellen, klantcontacten en financieringsmogelijkheden is daarvoor weinig ruimte doordat daar andere principes en idealen worden gehanteerd. Zo willen potentiële klanten praten over het voldoen aan wettelijke verplichtingen, het voorkomen van reputatieschade en het creëren van mogelijkheden in plaats van het oplossen van circulaire problemen. Een voorbeeld hiervan is dat klanten een productpaspoort willen gebruiken om reputatierisico's te voorkomen. Het tweede knelpunt is technisch van aard. Candour.Digital neemt een stukje van het leven van een product voor haar rekening, namelijk de daadwerkelijke gebruiksfase. Voor een echt circulaire oplossing moet ook de herkomst van bijvoorbeeld de materialen en onderdelen van het product in kaart worden gebracht. Ook moeten er data worden verzameld over de impact na het gebruik. Dat vraagt om een koppeling van verschillende datasystemen, wat door het ontbreken van standaarden nog lastig is. En ten slotte is er een politiek knelpunt, dat voortkomt uit het ontbreken van standaarden. Op Europees niveau werken met name de grotere merken, retailers en de Europese Commissie aan ecodesign-standaarden. Dat leidt tot veel eisen aan de datastructuur van een productpaspoort. Hierop heeft Candour.Digital als kleine speler geen invloed, zij kunnen alleen de ontwikkelingen volgen en proberen daarin mee te komen.

In september 2023 heb ik weer contact gehad met Haiko. Hij liet weten dat het acceleratorprogramma in maart is afgelopen, ze hebben aan het eind van het traject een *proof-of-recycling* tool gepitcht voor de jury. Ook zijn ze daarmee naar kledingmerk New Optimist gestapt. Die speelden al sinds begin 2023 met het idee van een concept met statiegeld, dat goed aansloot op de tool van Candour.Digital. De volgende stap was de lancering deze maand van de eerste versie van het digitale statiegeldsysteem met de naam Circulaid, waarbij ze productpaspoorten gebruiken om te coördineren waar en wanneer kledingstukken worden verkocht en worden ingeleverd om *gerecycled* te worden (zie afbeelding 3).

Candour.Digital wil met Circulaid het statiegeldconcept breed toegankelijk maken voor de gehele modebranche. Maar om hier een verdienmodel op te plakken, is een uitdaging. Ze zijn er dus nog (net) niet, maar wel dichterbij dan ooit. Daarom gaan ze zich na de lancering richten op opschaling en doorontwikkeling, waarvoor ze subsidies en andere fondsen aan het werven zijn. Wordt vervolgd...

## Aandachtspunt 1: Gevoeligheden en technische problemen bij het verzamelen, verwerken en uitwisselen van data

Opvallend is dat in de literatuur met name de digitale technologieën worden besproken en niet welke informatie waar in een circulair systeem nodig is. De primaire vraag is welke informatie vereist is en welke data daarvoor moeten worden verzameld en vastgelegd. Het delen van informatie in een circulaire keten is cruciaal. Maar voordat partijen hun informatie met elkaar delen, moeten er hindernissen worden genomen. Zo moet er vertrouwen tussen belanghebbenden in de hele waardeketen worden gecreëerd (Hedberg et al., 2019). Dat vraagt om het goed regelen van de eigendom van de gegevens en van de manier van delen en integreren van de gegevens. Ook het waarborgen van de toegang tot gegevens en vragen over de eigendom zijn cruciaal. Met het oog op concurrentie liggen de uitdagingen bij het delen van gegevens, het waarborgen van privacy en eigendomsrechten en het creëren van vertrouwen. Verder kunnen de integratie van *big data* die eigendom zijn van meerdere actoren in de waardeketen en het beheer van informatiestromen in dit rijtje van uitdagingen worden geschaard (Antikainen et al., 2018). Hier komt bij dat er bij het verzamelen, uitwisselen en gebruiken van informatie wettelijke en organisatorische vereisten gelden betreffende gegevensbescherming en gegevensbeveiliging. Ook zijn actoren vaak niet bereid om informatie te delen met andere stakeholders. Al deze factoren maken dat informatie die nodig is voor de succesvolle circulatie van materialen en producten vaak niet beschikbaar is (ontleend aan Preut et al., 2021).

Behalve de problemen rondom de gegevens, moeten er ook technologische vraagstukken worden opgelost. Zo maken diverse kenmerken van de huidige informatiesystemen het beheren van informatie over de productlevenscyclus moeilijk. Het verzamelen en uitwisselen van informatie werkt relatief goed bij de productontwikkeling en de productie (dus aan het begin van de levenscyclus van een product). Wanneer vervolgens een product wordt overgedragen aan de eindgebruiker, hapert de informatiestroom: bestaande informatie over het materiaal en het product wordt slechts beperkt samen met het product doorgegeven aan de gebruiker. De gebruiker legt zelf meestal geen informatie over het product vast. De combinatie van een verscheidenheid aan actoren in een circulaire keten en een verscheidenheid aan informatiesystemen die betrokken zijn tijdens de levenscyclus van een product, maakt het moeilijk om informatie uit te wisselen; daarvoor zijn geschikte interfaces en transformatie van informatie in uitwisselbare gegevensformaten nodig. Zo kunnen verschillende structuren voor de opslag van dezelfde feiten (structurele heterogeniteit), verschillende interpretaties van dezelfde termen (semantische heterogeniteit) en verschillende kennisachtergronden leiden tot begripsproblemen tussen de verschillende actoren. Dat sluit aan bij de bevinding in een workshop over circulariteit die ik heb gehouden met medewerkers van een fietsenfabrikant. Daaruit kwam naar voren dat er, behalve enige informatie uit

marktonderzoek dat door de afdeling Marketing werd gedaan, geen gegevens waren over het gebruik van hun fietsen. Zo kon het gebeuren dat de fabrikant ervan uitging dat de studenten bepaalde eisen aan een fiets zouden stellen, maar studenten in de praktijk andere wensen hadden.

## Aandachtspunt 2: Hoger energieverbruik

Net als vele andere onderzoekers zien Nham en Ha (2022) voordelen in het gebruik van digitalisering ten behoeve van circulariteit. Een van de conclusies die ze trekken luidt: *"The use of smart solutions can result in a decline in energy usage"* (p. 4). Natuurlijk kan slim gebruik van data leiden tot energiesparing, want dan kan een product, of de componenten en materialen daarvan, slim worden teruggewonnen, en dat scheelt energie. Maar dat geldt niet altijd: zo is voor het weer verhandelbaar maken van een product bij *reuse* of *refurbishment* weinig energie nodig, maar voor *recycling* veel (Den Hollander, 2023). Er zijn twee zaken die vermindering van energieverbruik bij circulariteit in de weg staan. Ten eerste vraagt een circulaire economie meer energie dan een lineaire, doordat in een circulaire economie extra transportstappen nodig zijn, namelijk voor het terugbrengen van grondstoffen naar het beginpunt van de keten, en doordat het opwerken van afval naar een goede grondstof energie vraagt (Korevaar, 2023). Ten tweede is meer informatie nodig in een circulaire keten dan in een lineaire. Verzamelen, opslaan en interpreteren van de bijbehorende data kost immers extra energie, en ook moeten er materialen worden gewonnen voor zowel de dataverwerking en -opslag als de energieopwekking. Die energie kan hernieuwbaar zijn, wat gunstig is in het kader van het klimaatprobleem maar vermindert niet de vraag naar materialen, want ook voor het opwekken van hernieuwbare energie zijn middelen (bijvoorbeeld zonnepanelen) nodig. Daarbij levert een energietransitie zónder grondstoffentransitie volgens de SER (2022) spanningen en risico's op, terwijl een energietransitie mét aandacht voor de grondstoffentransitie kansen oplevert. De SER constateert dat de transitie met en zonder aandacht voor de grondstoffentransitie onlosmakelijk met elkaar zijn verbonden, maar momenteel niet in balans zijn.

Het ontbreken van samenhang en evenwichtige focus op de energietransitie, resulteert onder andere in een enorme toename van de vraag naar primaire grondstoffen en materialen. Met name de verwachte toenemende vraag naar kritieke en zeldzame aardmetalen kan problemen opleveren. Daarmee heeft digitalisering enorme implicaties voor de duurzaamheid. Daar komt nog bij dat de digitale/ICT-industrie een aanzienlijke ecologische voetafdruk heeft. Datacenters, digitale apparaten en digitale infrastructuren vragen veel energie en materialen, waarbij ICT goed is voor vijf tot negen procent van de totale elektriciteitsvraag, met een potentiële toename van dertien tot twintig procent tegen 2030, afhankelijk van de toename in de vraag naar datacenters en *cloud computing*, blockchain en andere energie-intensieve technologieën (Berg et al., 2020,

Roberts et al., 2022; Santamaria, 2020). Aangezien de vraag naar hernieuwbare energie nu al onder druk staat, onder andere door de beperkingen in het elektriciteitsnet (Van de Weijer, 2023), komt de vraag op hoe die energievraag kan worden beperkt. Mogelijk kan de opslag en verwerking van data efficiënter, zoals onlangs de reductie van het stroomverbruik met 85 procent van een datacenter van internetknooppunt AMS-IX door vervanging met nieuwe apparatuur (Wijkman-van Aalst, 2023). Het kan ook zijn dat nadenken over het beperken van het dataverbruik is vereist.

Ten slotte valt me op dat bij de digitale technologieën de centrale aanpak het uitgangspunt lijkt. Dat valt natuurlijk op bij *online* platformen, maar ook de zogenaamde decentrale blockchain werkt in de centrale cloud. Hetzelfde tref ik aan in de literatuur met betrekking tot IoT, BDA, AI enzovoorts. Als energieverbruik een probleem is of wordt, zou meer aandacht moeten komen voor *edge computing*. Dat wil zeggen dat berekeningen en gegevensopslag dicht bij de bronnen van gegevens plaatsvinden (bijvoorbeeld sensoren sturen gegevens naar een apparaat dat dichtbij staat, dat de gegevens lokaal verwerkt en analyseert en een beslissing neemt); dat gaat sneller en kost minder stroom, doordat dan niet voortdurend de signalen uit de sensor naar de cloud worden gestuurd, maar in het apparaat blijven. En lokaal verwerken, waarbij de data niet worden verstuurd, heeft natuurlijk privacy- en dataveiligheidsvoordelen.

### Aandachtspunt 3: Meer digitaal afval

In het verlengde van de zorg over de materialen die nodig zijn voor de digitalisering zijn ook de digitale middelen zelf een bron van zorg. De wereld produceert jaarlijks meer dan 50 miljoen ton elektronisch afval (*e-waste*), en die hoeveelheid neemt met bijna twee miljoen ton per jaar toe. Redenen zijn de dalende prijzen van die digitale apparaten, het bezit van meerdere apparaten, de geplande veroudering van digitale eindapparaten en de snelle technische ontwikkeling in de vorm van bijvoorbeeld *cloud computing*-diensten, AI en mobiele, draadloze en verbonden producten (waardoor bestaande apparaten hun waarde verliezen en worden weggegooid). Veel van dit materiaal is direct gekoppeld aan de digitale transformatie, aangezien bijna alle elektrische apparaten digitale functionaliteiten hebben. Daarbij komt dat *recycling* van digitale apparatuur duur, complex en onderontwikkeld is. Zo vormen correcte terugwinings- en behandlungsprocessen (zoals zuivering, demontage, hergebruik, versnippering, enzovoort) van elektronisch afval een uitdaging voor afvalbeheersystemen, niet alleen vanwege de hoeveelheid, maar ook vanwege de variëteit en samenstelling, met veel kostbare en gevaarlijke materialen. Enerzijds kunnen daardoor veel componenten en bruikbare materialen worden teruggewonnen, anderzijds worden giftige additieven of gevaarlijke stoffen (denk aan kwik, lood, gebromeerde vlamvertragers, enzovoort) gestort of verbrand, terwijl ze ook als zwerfvuil nadelige gevolgen kunnen hebben voor het milieu en de gezondheid (Hedberg et al., 2019; Magrini et al., 2021). In afbeelding 4 staat een

voorbeeld van een li-ion batterij uit een schroefmachine, die aan het einde van zijn levensduur was. Nieuwe batterijen waren niet meer verkrijgbaar en demontage bleek niet mogelijk. Daardoor moest ook de schroefmachine worden weggegooid.



*Afbeelding 4. Elektronisch afval: door een kapotte batterij moet het hele apparaat weg*

Tot nu toe heb ik het gehad over gebruikte digitale middelen, maar sommige digitale middelen worden bewust zelfs niet gebruikt, zoals blijkt uit een voorbeeld dat Den Hollander (2023) aanhaalt. Op basis van een nieuwsbericht van RTL Nieuws in 2022 beschrijft hij dat autofabrikanten een nieuw verdienmodel hebben ontwikkeld. Kopers van een nieuwe auto kunnen niet alleen betaalde abonnementen afsluiten om gebruik te maken van aanvullende diensten, zoals real-time verkeersinformatie, maar ze kunnen ook de functionaliteiten van diverse accessoires, zoals stoel- en stuurverwarming, voor een bepaalde periode op afstand laten ontsluiten:

Het gaat hier om accessoires die, nota bene, vanaf de fabriek al aanwezig zijn. De grondstoffen en energie om de hardware voorzieningen te produceren zijn dus al gebruikt en door de klant betaald, waardoor de klanten eigenlijk dubbel betalen voor de voorzieningen die ze willen gebruiken. En de klanten die die voorzieningen niet willen gebruiken hebben eigenlijk te veel betaald voor hun auto en rijden rond met hardware voorzieningen die nooit worden gebruikt en dus gemaakt zijn uit grondstoffen en energie die eigenlijk verspild zijn (Den Hollander, 2023, p. 46).

#### **Aandachtspunt 4: Te eenvoudige modellen**

Maaht de huidige, relevante, wetenschappelijke kennis het gebruik van digitalisering, en

wellicht meer specifiek AI, in een circulaire economie inherent riskant? De natuur is immers een complex en uitgebalanceerd ecosysteem, en het risico is dat digitale modellen het ecosysteem te simpel voorstellen doordat ze een reductionistische benadering hanteren, formaliseren wat niet ze niet kunnen herleiden tot formules en wiskundige modellen gebruiken waaruit cruciale variabelen worden verwijderd. Zo is hergebruik van water bijvoorbeeld een uitgelezen kans om circulaire principes toe te passen (Roberts et al., 2022). Er zijn echter veel zorgen en hiaten in kennis over de impact van de kwaliteit van gerecycled water, met name op de menselijke gezondheid (Voulvoulis, 2018). Meer in het algemeen is er veel niet bekend over het milieuaspect van de circulaire economie, waarbij wetenschappers erop wijzen dat biodiversiteit vaak een vergeten element is in (de modellen over) het circulaire domein (Geissdoerfer et al., 2017).

### Aandachtspunt 5: Spanningsveld tussen digitalisering en circulariteit

Er is een spanningsveld tussen digitale technologie en circulariteit. Bijvoorbeeld Berkhout (2002) ziet technologie als de hoofdoorzaak van veel milieuproblemen, maar tegelijkertijd als mogelijk middel om de ecologische voetafdruk van menselijke activiteiten te verkleinen. Mogelijk hangt dat samen met de vrees onder bijvoorbeeld geesteswetenschappers dat hun vakgebied wordt overgenomen door de bèta's als de weg wordt ingeslagen naar *digital humanities*. "Het computationele denken – het denken in code, programmeertalen en algoritmisch redeneren – is immers onverenigbaar met het kritisch analytische denken en het laatste dreigt overheerst te worden door het eerste" (Van Dijk, 2014, p. 99). Hoe dan ook, tal van voorbeelden laten zien dat er een behoorlijk gat zit tussen de digitale wereld en de circulaire wereld. Zo beschouwen circulaire modellen zelden de digitale component (Kristoffersen et al., 2020; Nobre & Tavares, 2020), ontbreekt een gedeelde visie (Wilts & Berg, 2017) en zijn digitalisering en circulariteit vaak niet met elkaar verbonden (Bastein & Willems, 2019). Daarnaast wordt het combineren van digitale en circulariteitscompetenties in organisaties een uitdaging, vanwege het ontbreken van begrip van het belang van digitalisering en een gebrek aan kennis van de basisconcepten van de circulaire economie (Antikainen, et al., 2018). Dit laatste sluit aan bij de constatering van Yang (2020) dat meer dan de helft van de *big data* projecten niet succesvol wordt gerealiseerd, onder meer door vraagstukken rondom de samenwerking tussen business- en IT-afdelingen. *Data scientists* beheersen de technieken, maar de meeste hebben geen idee van de gevolgen voor de business, terwijl data de business vooruit zouden moeten helpen. Daardoor focussen bedrijven met name op de technologie en kiezen daarmee het verkeerde uitgangspunt (Machado et al., 2019). Hier is dus sprake van een *technology push*, waarbij een aanbodgestuurd en voornamelijk lineair proces van onderzoek naar en ontwikkeling van een product naar verspreiding op de markt verloopt; dit in tegenstelling tot *demand pull*, waarbij de verwachte marktvraag leidend is bij technologische vernieuwing (Peters et al., 2012). Dat betekent dat niet de circulaire behoeftes en noodzaak voorop staan maar de technologische mogelijkheden. Een oplossing op zoek naar een probleem...

De Europese Commissie (European Commission, 2023) heeft (terwijl veel bedrijven nog worstelen met de digitalisering uit Industrie 4.0) Industrie 5.0 aangekondigd, vanwege het spanningsveld tussen digitale technologieën en circulariteit. In Industrie 5.0 wordt onderkend dat het een verkeerde reactie is om te proberen om een vroegere situatie, waarin de duurzaamheidsproblemen nog niet in hun huidige omvang aan de orde waren, te herstellen. Daarmee blijven namelijk de substantiële tekortkomingen en materieel negatieve gevolgen voor kritieke onderdelen van de economie (zoals natuurlijke systemen) bestaan, wat ook als oorzaak wordt gezien van 'de dramatische impact van COVID-19'. Daarbij constateert de Europese Commissie dat een op groei gericht paradigma, gebaseerd op waardeonttrekkend, energie-intensief, verspillend en vervuilend materiaal- en hulpbronnengebruik, evenals een kortetermijnbenadering van kapitalisme, de wereld niet zal helpen om een duurzame ontwikkeling door te maken. Hiervoor missen de vereiste systemische transformatie van businessmodellen en de vereiste verandering van de mentaliteit en de economische benaderingen van beleid, financiële investeringen en corporate governance. Meer specifiek is een fundamenteel herontwerp van waardeketens vereist voor het omarmen van nieuwe technologische mogelijkheden, duurzaamheid, toepassing van circulaire economische ontwerpprincipes en regeneratieve benaderingen (European Commission, 2023).

Industrie 4.0 houdt onvoldoende rekening met zaken als klimaat, planetaire noodzaak tot actie en sociale gevolgen. Het is te veel gericht op het optimaliseren van businessmodellen en op economische principes die de oorzaken zijn van de huidige problemen. Industrie 5.0 plaatst Industrie 4.0 daarvoor in een bredere context, biedt een regeneratief doel en geeft richting aan de technologische transformatie van de industriële productie voor het creëren van welvaart voor alle mensen in plaats van een waarde-extractie ten voordele van alleen de aandeelhouders (European Commission, 2023). Kraaijenbrink (2022) ziet met Industrie 5.0 een verschuiving in focus op drie vlakken:

- 1 *human centric*: een verschuiving van het zien van mensen als middel (zoals bij *human resources*) naar het zien van mensen als doel. Of anders gezegd: een verschuiving in perspectief van mensen in dienst van organisaties, naar organisaties in dienst van mensen;
- 2 *resilient*: een verschuiving van de focus op efficiëntie om bedrijven wendbaarder en flexibeler te maken (maar waardoor ze minder veerkrachtig worden), naar een focus op robuustheid, zodat ze ook bij onverwachte uitdagingen en disrupties veerkrachtig zijn;
- 3 *sustainable*: een verschuiving van de focus bij duurzaamheid op het verminderen of minimaliseren van schade naar een focus op het vergroten van de positieve impact.

Industrie 5.0 moet daarmee fundamenteel en structureel anders worden en niet alleen een software-update zijn van Industrie 4.0, maar een innovatieve industriële revolutie gebaseerd op menselijke en planetaire behoeften versus alleen innovatie voor winst. Ik wil hierbij opmerken dat dit nog maar de eerste beleidsvoornemens zijn, waaraan flink en programmatisch wordt gewerkt. Momenteel ziet de ene persoon Industrie 5.0 als *“the next revolution is already well on its way”* (Kraaijenbrink, 2022), terwijl andere mensen het afdoen als ‘een hoax’, ‘slechts een beleidsstuk’ en ‘oplossen van de belemmeringen van Industrie 4.0’ (zoals verwoord in een discussie die ik onlangs voorzat).

#### 4.4 In het kort

Een circulaire keten vraagt om meer en betere informatie dan een lineaire keten, wat digitalisering tot een noodzakelijk ingrediënt maakt. Daarvoor moet nog wel een en ander gebeuren, want de noodzakelijke informatie-uitwisseling (waarbij gezorgd wordt voor precies de juiste informatie op het juiste moment bij de juiste actor in de waardeketen) staat nog in de kinderschoenen. Daardoor kan niet worden zeker gesteld dat producten en materialen efficiënt en effectief worden hergebruikt, zonder negatieve, maar mét positieve effecten voor mens en natuur, nu en later, binnen en buiten de waardeketen.

De inzet van vele digitale technologieën is mogelijk, maar de effectiviteit daarvan is wel afhankelijk van de bedoeling en de context. Daarbij worden digitale technologieën niet afzonderlijk gebruikt, maar zorgt koppeling van deze technologieën juist voor effectiviteit. Aandachtspunten met betrekking tot een digitale circulaire economie zijn onder andere het enorme gebruik van relevante data en issues met dataveiligheid, het hoge energieverbruik en te grove simplificatie in de gebruikte modellen. Daarbij kan sprake zijn van een spanningsveld tussen het gebruik van digitale technologieën en circulariteit, die verder wordt besproken in het volgende hoofdstuk.



# Digitale circulaire paradox

In het vorige hoofdstuk is al ter sprake gekomen dat een digitale en een circulaire economie niet per se fijn samengaan. In dit hoofdstuk laat ik zien dat ze elkaar nodig hebben en tegelijkertijd elkaar ook kunnen uitsluiten: de digitale circulaire paradox. Daarin past digitalisering ideaaltypisch bij een adaptieve verandering (dus een verandering waarin steeds kan worden ingespeeld op veranderende omstandigheden) met een streven naar *resource*-efficiëntie met behoud van economische groei. Circulariteit past ideaaltypisch meer bij een radicale aanpak, met een streven naar *resource*-sufficiëntie leidend tot *degrowth*, waarin economische groei wordt beperkt. Deze tegenstelling komt in dit hoofdstuk aan bod. Er zijn – gezien de complexiteit van digitale circulaire systemen – geen *quick fixes* mogelijk waarmee de twee systemen samengebracht kunnen worden. Het vraagt om het doorgronden van waar de stimulansen en hindernissen in deze systemen zitten. Daarom start ik dit hoofdstuk met een beschouwing over systemen en systeemdenken. Het eindigt met een praktische aanpak die zowel radicaal veranderen en stapsgewijs verbeteren als systeemdenken omvat. Het hoofdstuk bestaat uit de volgende onderdelen:

- systemen en systeemdenken;
- adaptief veranderen versus radicaal veranderen;
- uitwerking in de digitale circulaire paradox;
- incrementeel radicaal veranderen.

## 5.1. Systemen en systeemdenken

Systemisch denken of systeemdenken (dus kijken naar het systeem als geheel) neemt een systeem als uitgangspunt, wat bij circulaire ketens en digitale informatiestromen logisch is.

De definitie van een systeem luidt: een onderling verbonden verzameling elementen, zodanig georganiseerd dat die samenhangen en iets bereiken (ontleend aan Meadows, 2022). Een systeem bestaat volgens Meadows uit ten minste drie onderdelen: elementen, onderlinge relaties en een functie of doel. Informatie houdt de elementen van het systeem bij elkaar en speelt een grote rol in het functioneren van het systeem, omdat veel van de onderlinge relaties daarbinnen zijn gebaseerd op informatiestromen. Dat maakt de relaties moeilijk te zien. Dat geldt nog sterker voor de functie van een systeem, aangezien niet per se wordt uitgesproken, opgeschreven of anderszins expliciet gemaakt wat die

functie is; vaak moet deze worden afgeleid uit de werking van het systeem (Meadows, 2022).

Iacovidou et al. (2020) hebben het in hun onderzoek naar het begrijpen van de uitdagingen van een circulaire economie over drie onderling verbonden 'subsystemen': de processen, de actoren en de waarden, die als één geheel functioneren (dit komt overeen met de 'onderdelen van een systeem' bij Meadows). Het gedrag van deze subsystemen beïnvloedt het gehele systeem voor het terugwinnen van hulpbronnen (materialen, componenten en producten). Zo kunnen actoren als consumenten en herverwerkers van producten samen zorgen dat producten hun waarde behouden door processen te ontwikkelen voor het verzamelen en herverwerken van die producten.

De subsystemen kunnen gezamenlijk een systeem (zoals het systeem voor het terugwinnen van hulpbronnen) veranderen. Maar geen van de subsystemen kan op zichzelf, onafhankelijk, het systeem veranderen, dat kan alleen in verbondenheid met de andere subsystemen. Dit komt hierna nog uitgebreider ter sprake.

De processen (of onderlinge relaties bij Meadows) omvatten alle stadia van de stroom van een hulpbron in zijn verschillende vormen: van het stadium van productie tot consumptie en einde-levensduur-beheer. Deze stadia kennen op zichzelf weer de drie subsystemen, dus processen, actoren en waarden. Volgens de natuurkundige wet van behoud van materie kunnen materialen en stoffen niet worden gecreëerd of vernietigd. Ze kunnen alleen van de ene vorm in de andere worden omgezet (bijvoorbeeld ruwe olie in plastic, en plastic in energie en emissies). Om een geïntegreerd beeld te krijgen van de hulpbronnenstromen in een systeem moeten daarom alle input, output, voorraden, lekkages en verborgen stromen in beeld worden gebracht. Daarvoor moet naar het systeem als geheel worden gekeken en niet naar de afzonderlijke delen, zoals productie en consumptie.

De actoren (of elementen bij Meadows) zijn alle betrokkenen bij het circulaire systeem, zowel de directe (bijvoorbeeld de fabrikanten, detailhandelaren en afvalverwerkers) als indirecte (bijvoorbeeld de overheid, NGO's) betrokkenen. Processen en actoren zijn niet altijd tastbaar, ze betreffen ook zaken als hoop en macht (die inherent zijn aan menselijke interactie), de sociale organisatie en het vormgeven van maatschappelijke veranderingen. Het is bijvoorbeeld van cruciaal belang de machtsdynamiek te begrijpen, om te weten wat de productie- en consumptiepatronen drijft en wat barrières opwerpt tegen pogingen om deze patronen duurzaam te maken.

Waarden (of functie van een systeem bij Meadows) in een circulaire keten zijn de (externe) positieve en negatieve gevolgen van het circulaire systeem op milieu-, economisch, sociaal en technisch gebied en op de waargenomen behoeften, zorgen en andere overwegingen van belanghebbenden, inclusief de samenleving.

Een systeem omvat ten minste drie dingen (Meadows/Iacovidou): elementen/actoren, onderlinge relaties/processen en waarden/functie of doel.

Meadows (2022) stelt dat als de onderlinge relaties en de functie van het systeem gelijk blijven, het systeem niet kan worden veranderd door de elementen te vervangen. Pas als ook de relaties en/of de functie veranderen, kan het systeem drastisch anders worden. Als anekdotisch voorbeeld van het belang van de relaties noemt Meadows (2022) de relaties in een boom. Verander je deze relaties door in plaats van koolstofdioxide op te laten nemen en zuurstof uit te laten stoten, het tegenovergestelde te doen (koolstofdioxide uitstoten en zuurstof opnemen), dan is het geen boom meer, maar een dier.

Volgens Ebbinghaus (2005) zijn er grofweg drie manieren om bestaande (technologische) systemen in de tijd te veranderen:

- 1 Padstabilisatie. Daarbij is sprake van een marginale aanpassing aan veranderingen in de omgeving, zonder dat de kernprincipes, die in het systeem worden gebruikt, hoeven te veranderen.
- 2 Padwijziging. Daarbij is sprake van een geleidelijke aanpassing door gedeeltelijke vernieuwing van de inrichting van het systeem, met een beperkte verandering in de kernprincipes.
- 3 Padomslag. Daarbij is sprake van een interventie die een einde maakt aan de zelfversterking van een gevestigde inrichting, waardoor plaats wordt gemaakt voor een nieuwe inrichting.

Systeemdenken is van grote waarde, omdat bijvoorbeeld verslavingen en oorlog, ondanks de analytische denkracht en het technische vernuft, blijven bestaan. Niemand brengt die problemen moedwillig in de wereld en niemand wil dat ze blijven bestaan, maar toch zijn ze er nog steeds. Dat komt doordat het systeemproblemen zijn: de ongewenste uitkomsten van de systeemstructuren waaruit ze voortkomen (Meadows, 2022). Die ongewenste uitkomsten zijn aan te pakken door te stoppen met focussen op de gevolgen (zoals de schuldigen aanwijzen) en in plaats daarvan te focussen op de oorzaken (begrijpen van het systeem als de bron van zijn eigen problemen). Er is moed en wijsheid nodig om het systeem te hervormen.

Een circulaire keten kent talloze hindernissen, waarvan de meeste niet gemakkelijk te nemen zijn, omdat ze diep verankerd zijn in de manier waarop de huidige systemen opereren. Al zijn er op veel gebieden talloze pogingen gedaan en is er vooruitgang geboekt in het bevorderen van een efficiënt gebruik van hulpbronnen, de overblijfselen van de systemen uit lineaire praktijken uit het verleden en heden werken dat tegen. Die achtervolgen en verhinderen de pogingen om de conventionele processen, structuren en instituties te veranderen (Iacovidou et al., 2020). Die systemen zijn complex en ze moeten (via systemisch denken) worden afgepeld om te achterhalen waar welke

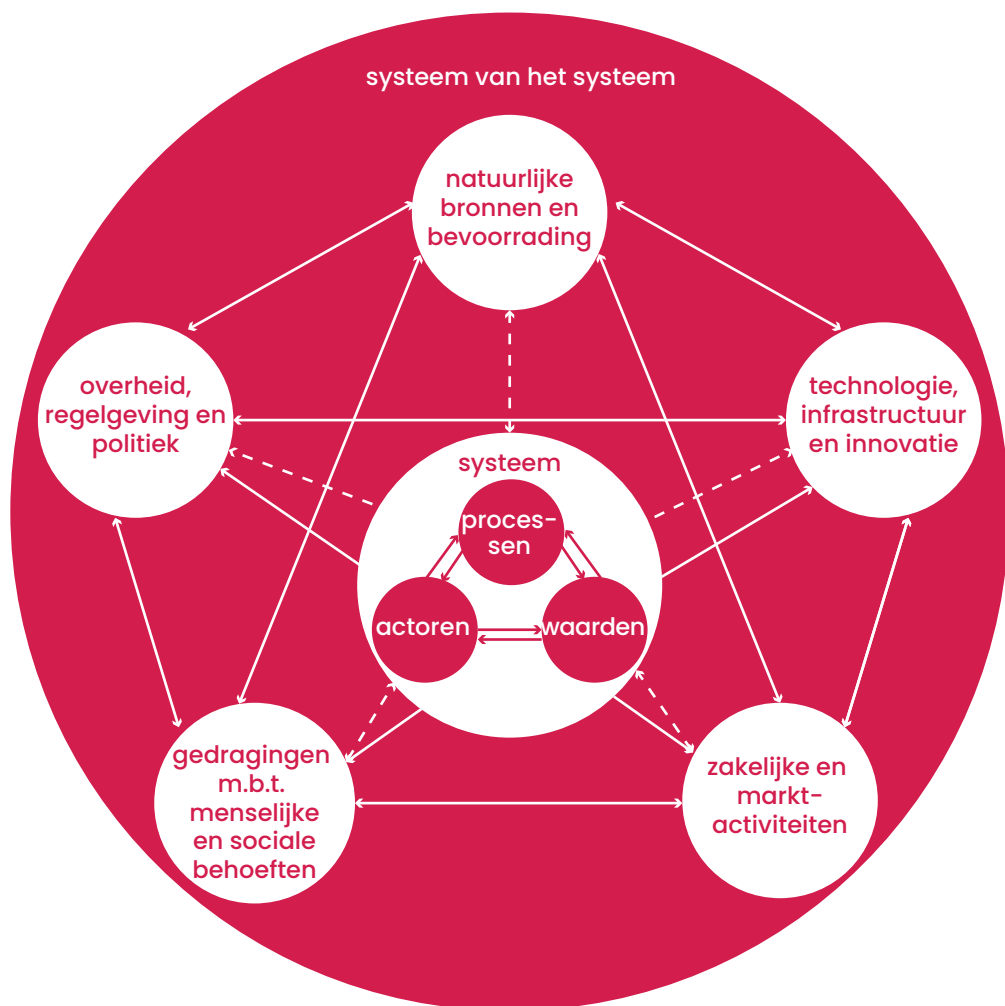
mechanismen (*feedbackloops*, zie ook paragraaf 5.2) zitten, die werken als belemmeringen of aanjagers. Dat geldt voor zowel circulaire systemen als digitale systemen.

Gecompleceerde problemen kunnen vaak worden opgelost door een reductionistische methode te gebruiken, waarbij het probleem in kleinere delen wordt opgesplitst. Bij digitale systemen faalt deze benadering, omdat deze systemen complex zijn. Zo zijn bijvoorbeeld moderne, complexe *cyber physical systems* (CPS) erg ingewikkeld en interactief complex. Daardoor is een CPS meer dan de som der delen en vereist een oplossing een systematische holistische aanpak (Span et al., 2022).

Hindernissen kunnen ook de omgeving van het systeem betreffen. Daarom wordt in een holistische benadering niet alleen het systeem of de digitale en circulaire keten zelf beschouwd, maar ook de eromheen liggende entiteiten. Iacovidou et al. (2020) onderscheiden als eromheen liggende entiteiten: (natuurlijke) ecosystemen, technologieën, zakelijke strategieën, gebruikerspraktijken en instituties. Deze entiteiten beïnvloeden niet alleen het circulaire systeem maar ook elkaar. In figuur 12 is dit weergegeven, waarbij de doorgetrokken pijlen de subsystemen met elkaar verbinden en de onderbroken pijlen het circulaire systeem met de subsystemen uit de omgeving verbinden. Een holistische benadering van een dergelijke complexiteit zorgt ervoor dat oplossingen in het ene systeem (of op een bepaald punt in het systeem) geen problemen zullen veroorzaken in een ander systeem (of op een ander punt in datzelfde systeem). Komen tot effectieve oplossingen in plaats van schijnoplossingen vereist een aanpak die de problemen bij de wortels aanpakt en daarmee voorkomt dat te eenvoudige modellen worden gebruikt, zoals in hoofdstuk 4 als aandachtspunt 4 is genoemd.

## 5.2. Adaptieve versus radicale verandering

In systemen spelen *feedbackloops* een belangrijke rol. Een *feedbackloop* is een deel van een systeem waarin (een deel van) de output van het systeem wordt gebruikt als input voor volgende handelingen. Een voorbeeld is de temperatuur in een ruimte: als de thermostaat waarneemt dat die te laag is, wordt de verwarmingsketel ingeschakeld, waardoor de temperatuur stijgt. Is de temperatuur vervolgens weer boven de ingestelde waarde, dan slaat de ketel af. Er wordt onderscheid gemaakt tussen balancerende *feedbackloops*, die de bestaande situatie vasthouden (de temperatuur blijft op de gewenste waarde, doordat de ruimte wordt verwarmd als deze afkoelt) en versterkende *feedbackloops*, die de balans in het systeem verstoren (de temperatuur in de kamer daalt als er een raam open wordt gezet en er komt koude lucht binnen). Systemen veranderen als versterkende *feedbackloops* sterker worden dan balancerende *feedbackloops* (Meadows, 2022). In het voorbeeld van de temperatuur zorgt het open raam ervoor dat de verwarming niet meer in staat is de temperatuur in de kamer gelijk te houden. Ook in het wetenschapssysteem treedt dit fenomeen op, bijvoorbeeld als een balancerende *feedbackloop* ervoor zorgt dat alternatieve theorieën die het heersende paradigma (mogelijk) bedreigen, onschadelijk worden gemaakt door ze te assimileren.



Figuur 12. Systeem voor het terugwinnen van hulpbronnen met zijn interne subsystemen, gesitueerd binnen de externe subsystemen (bron: Iacovidou et al., 2020)

Een modern voorbeeld van deze assimilatie is het omvormen van 'duurzaamheid' naar 'groene groei', waardoor het nieuwe idee van duurzaamheid de status quo niet langer in gevaar brengt maar juist versterkt (Dagevos & De Lauwere, 2021). De circulaire economie wordt daarmee in de eerste plaats benaderd vanuit *resource*-efficiëntie ('meer met minder'), winst, competitiviteit, werkgelegenheid, inkomen, economische groei en welvaart. De circulaire economie wordt zodoende compatibel met de standaard neoklassieke economie en dient de traditionele doelstellingen. Deze adaptieve en incrementele benadering van de circulaire economie en ook van circulaire businessmodellen, komt grotendeels neer op 'hetzelfde blijven doen, alleen op een andere manier', ongeacht of de benadering wordt gepresenteerd als fundamenteel anders. Er verandert alleen iets

aan de elementen, terwijl de onderlinge relaties en de waarden van het systeem ongewijzigd blijven. Daarbij leunt deze adaptieve aanpak van de circulaire economie sterk op technologische innovatie als oplossing voor duurzaamheidsproblemen en aanjager van de transitie naar een circulaire economie (Dagevos & De Lauwere, 2021). Uit onderzoek blijkt dat deze adaptieve benadering dominant is in de hedendaagse literatuur, en definities van het circulaire concept stoppen meestal bij hergebruik en *recycling* zonder de circulaire economie te beschouwen als een systeemverandering in de duurzame ontwikkeling van economie en samenleving. Het gevolg hiervan is dat het circulaire concept de belofte van fundamentele verandering niet waarmaakt (Kirchherr et al., 2017).

De adaptieve benadering is dominant in de literatuur en ook uit een recente verkenning van de circulaire economie in Nederland door het Planbureau voor de Leefomgeving blijkt dat de ontwikkeling van de circulaire economie tot nu toe vooral draait om *recycling* en ver verwijderd blijft van *refuse*, *reduce* en *reuse* (Rood et al., 2019), waardoor de circulaire transitie eerder in een fase van voorzichtige verandering dan van disruptieve verandering lijkt te zitten (Dagevos & De Lauwere, 2021).

Zoals gezegd leunt de adaptieve aanpak van de circulaire economie sterk op technologische innovatie, waarbij digitale toepassingen zorgen voor het implementeren van circulaire businessmodellen met een 'noodzaak van groene groei'. Dat versterkt het veelvoorkomende bedrijfssparadigma dat streeft naar het overwinnen van schaarste aan hulpbronnen en milieucrisis zonder af te wijken van financiële ratio's. Dat maakt circulaire businessmodellen gewoon weer een groene zakelijke benadering die het neoliberalisme versterkt door zijn oriëntatie op aandeelhouderswaarde. Daarmee leidt circulariteit volgens Hofmann (2019) slechts tot schijnoplossingen die de echte oorzaak niet aanpakken.

### **Radicaal toepassen van digitalisering?**

Het radicaliteitsdenken komt, naast de circulaire economie, ook voor binnen de digitalisering. Geavanceerde digitale technologieën worden gezien als aanjager van Industrie 4.0 c.q. digitalisering. Vanuit tech-optimisme wordt van digitale technologieën verwacht dat ze op korte termijn een revolutie gaan veroorzaken. In lijn hiermee geldt die verwachting ook voor digitale platformen. Van Dijck et al. (2016) stellen echter in *De platformsamenleving*:

"Platformen veroorzaken volgens ons geen revolutie; alle beloften over disruptie ten spijt is er nog lang geen bewijs dat platformen hele sectoren, laat staan de samenleving radicaal zullen veranderen. Wel is er een overvloed aan *weak signals* die voortdurend opduiken in discussies en beleidsstukken. *Weak signals* zijn voorbeelden van veranderende praktijken die een voorbode kunnen zijn van

grotere veranderingen en als zodanig kunnen ze niet zozeer worden gebruikt om de toekomst te voorspellen, maar om de gevolgen van maatschappelijke of economische veranderingen te doordenken” (Van Dijck et al., 2016, p. 15).

Vanuit het tech-optimisme lijkt bij digitalisering wel sprake van een strategie die uitgaat van een *technology push*, dat wil zeggen: een strategie waarbij technologische ontwikkelingen leiden tot een zoektocht naar een geschikte toepassing (ontleend aan Verhage & Visser, 2022). Een mogelijk hoogtepunt van deze benadering, dat ik afgelopen jaar tegenkwam, was misschien wel het voorstel om zo snel mogelijk gebruik te kunnen maken van *quantum computers*, zodat meer berekeningen sneller kunnen verlopen (De Felice & Petrillo, 2021). Een oplossing op zoek naar een probleem...

De radicale aanpak van de circulaire economie pleit daarentegen voor vertragende grondstofstromen en substantiële vermindering van zowel productie als consumptie. Deze radicale benadering gaat over efficiëntie of toereikendheid, dus: minder productie en minder verbruik in plaats van meer efficiëntie (door slimmer meer te gebruiken). Deze benadering van de circulaire economie concentreert zich niet alleen op productieprocessen en de bijbehorende economische principes, maar omvat ook patronen van overconsumptie en de daaraan ten grondslag liggende normen en waarden voor een waardige levensstijl en 'het goede leven' (Dagevos & De Lauwere, 2021).

Volgens Reike et al. (2018) zijn er ten minste drie aan elkaar gerelateerde elementen waarover de circulaire literatuur fundamenteel verdeeld is, terwijl die essentieel zijn voor een heldere conceptualisering, namelijk behoefte aan: 1) absolute reductie van input van resources, 2) aanpassing van de economische orde (het kapitalistische systeem) en 3) balanceren tussen duurzaamheidsdimensies. Deze zijn weergegeven in tabel 5.

Tabel 5. Drie sleutelementen in de conceptualisering van circulaire economie waarover geen overeenstemming is (bron: Reike et al., 2018)

| De drie aan elkaar gerelateerde elementen                                  | Adaptieve school | Radicale school |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|
| 1. Absolute reductie van input van resources                               | Nee              | Ja              |
| 2. Modificatie van de economische orde, d.w.z. het kapitalistische systeem | Nee              | Ja              |
| 3. Balanceren tussen duurzaamheidsdimensies                                | Nee              | Ja              |

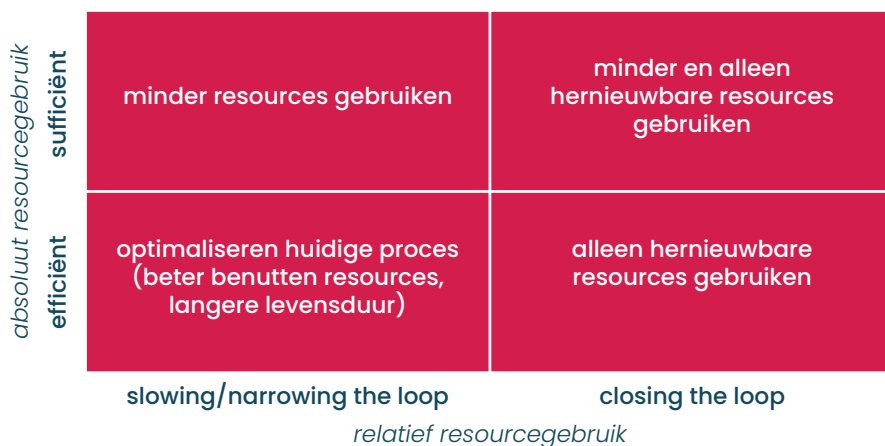
Gekoppeld aan deze drie behoeftes onderscheiden Reike et al. (2018) twee stromingen: de reformistische school en de transformationistische school, maar voor de eenduidigheid spreek ik over respectievelijk de adaptieve school en de radicale school. In de radicale school staat het 'weigeren' en 'verminderen' van absolute input van middelen centraal (element 1), terwijl met name eco-efficiëntie centraal staat bij de adaptieve school. Met het oog op element 1 en element 2 (aanpassing van het kapitalistische systeem) rijst de vraag in welke mate een circulaire economie echt een alternatief economisch systeem is. Enerzijds is de dominante (egocentrische) logica in de kapitalistische economie dat je zoekt naar een positie waarin anderen jouw kapitaal niet kunnen benutten, terwijl je er zelf voor zorgt dat je de kapitalen van anderen wel zoveel mogelijk benut. Anderzijds moet binnen de circulaire economie integraal systeemdenken centraal staan, waarbij het juist niet gaat over optimalisatie van alleen het eigen kapitaal. Dat betekent dat in een circulaire economie de logica uit de kapitalistische economie niet opgaat. Voor een succesvolle circulaire economie is optimalisatie van het geheel nodig. Dat sluit aan bij element 3 (balanceren tussen de duurzaamheidsdimensies), dat vooral de vraag betreft of een circulaire economie ook sociale waarde, zoals gezonde werkomstandigheden in de gehele waardeketen, moet creëren.

#### **Zwakke en sterke duurzaamheid (Dagevos & De Lauwere, 2021)**

Het onderscheid in de adaptieve en de radicale benadering van de circulaire economie vertoont een opvallende gelijkenis met het onderscheid in zwakke en sterke duurzaamheid. De zwakke-duurzaamheidsbenadering past bij de adaptieve benadering, omdat in beide benaderingen de oplossing wordt gezocht in slimmere technologische innovaties, in het gebruik van meer hernieuwbare bronnen en in het verkopen van meer 'groene' producten. De sterke-duurzaamheidsbenadering valt samen met de radicale benadering, omdat beide benaderingen gaan over het vertragen, verminderen en heroverwegen van productieprocessen en consumptiecycli. Terwijl eenvoud en efficiëntie, kwalitatieve (post)groei en *degrowth* taboewoorden zijn in de zwakke-duurzaamheidsbenadering, zijn dit de sleutelwoorden in de sterke-duurzaamheidsbenadering.

Ranta et al. (2021) hanteren een andere indeling voor incrementeel (of adaptief) en radicaal. Een incrementele aanpak van de stroom van resources houdt voor hen in het verkleinen of vertragen van de keten (*narrowing the loop* en *slowing the loop*, en de radicale aanpak het sluiten van de keten (*closing the loop*). Daarmee ontstaan twee opties met betrekking tot een adaptieve dan wel een radicale aanpak:

- a. efficiënt versus efficiënt;
- b. *slowing of narrowing the loop* versus *closing the loop*.



Figuur 13. Model van de integratie van twee adaptief/radicaal circulaire benaderingen

Als gedachte-experiment heb ik die opties uitgezet op twee dimensies. Daaruit ontstaat het model in figuur 13. Op de ene as staat het absolute middelengebruik, verdeeld in een streven naar resource-efficiëntie dan wel resource-sufficiëntie. Op de andere as staat het relatieve middelengebruik rondom de vraag of de keten wordt gesloten. In het kwadrant linksonder vindt incrementele verandering plaats, waarbij de bestaande situatie wordt geoptimaliseerd door bijvoorbeeld betere benutting van middelen en een langere levensduur door beter (eventueel predictief) onderhoud. In het kwadrant rechtsonder is de keten radicaal gesloten; door onder andere technologische vernieuwing kunnen de resources blijven rondgaan in een groeiende economie. In het kwadrant linksboven worden minder middelen geproduceerd en geconsumeerd (sufficiënt), die deels nog wel in de laagste categorieën van de R-strategieën (zie tabel 2) terechtkomen (incrementeel). In het kwadrant rechtsboven wordt de economie (radicaal) ingericht naar twee opeenvolgende vragen:

1. Waar en hoe kunnen minder materialen en energie worden gebruikt?
2. Hoe wordt maximaal gebruik gemaakt van circulaire materialen en hernieuwbare energie?

Het centraal zetten van deze twee vragen in een organisatie (of bij een individu) vraagt een andere dan de huidige benadering van het sturen van de waardeketen, namelijk niet meer op output (producten, afval, emissies, etc.), maar op input. Wat dat betreft lijkt sturen op input meer te horen bij sufficiëntie, aangezien op het moment van de input de materialen en energie nog moeten worden gebruikt en er dus nog sturing mogelijk is. Bij sturing op output zou je dus te laat zijn. In de situatie van *resource*-efficiëntie vindt sturing meer plaats op output, zoals bij 'prestatiesturing' in de leidende economische systemen als het neoliberalisme (Koppenjan et al., 2018). Sturing vindt dan bijvoorbeeld

plaats op tonnen CO<sub>2</sub>-uitstoot (dat is althans het idee) en niet op de hoeveelheid fossiele grondstof die het land inkomt. Behalve als je als land geen gas meer wilt inkopen uit Rusland, maar dat is om andere (output)redenen...

Dit leidt tot de stelling dat een sufficiënte aanpak waarbij de keten (circulair) wordt gesloten, het meest optimaal is. Voor organisaties (of individuen) en ketens betekent dit sturen op een zo laag mogelijk materiaal- en energiegebruik en waar dat toch nodig is, het gebruik van circulaire varianten. Dat vraagt een radicale omslag in de besturing van systemen en processen: minder op output en meer op input.

### Past investeren in minder data bij de radicale benadering?

Eerder gaf ik aan dat digitalisering mooi aansluit op de adaptieve, efficiëntiegerichte benadering, maar hoe past digitalisering bij een (meer) radicale benadering? Kan ook bij digitalisering sprake zijn van sufficiëntie? Dat zou gevolgen hebben voor bijvoorbeeld het toepassen van de wet van Moore. Hij stelt dat het aantal elektronische onderdelen dat op een chip past, elke twee jaar verdubbelt. Een chip kan dus elke twee jaar het dubbele en daardoor worden computers steeds sneller. In een radicalere situatie wordt die prestatieverbetering niet meer ingezet voor complexere software en meer data, maar voor dezelfde (of minder) complexe software en dezelfde hoeveelheid data (die dan wel veilig blijven!). Om dit voor de digibeten onder ons wat concreter te maken haal ik Albert Heller aan die in mei 2023 in dagblad BN De Stem schreef:

Vanwege de stikstofcrisis kan een boer in principe niet uitbreiden. Als hij echter bepaalde staltechnieken aanschaft, gaat zijn stikstofuitstoot op papier flink naar beneden. En dus kan hij extra dieren houden, met de papieren belofte dat dit geen negatieve impact heeft op de natuur.

Heller geeft hiermee de huidige, adaptieve manier van denken weer. De radicale manier luidt: 'Ook boeren dragen bij aan het oplossen van de stikstofcrisis. Als zij bepaalde staltechnieken aanschaffen, gaat hun stikstofuitstoot flink naar beneden en verminderen zij de negatieve impact op de natuur.' De oproep hier is dus om technologische verbeteringen en investeringen niet alleen te gebruiken voor het verbeteren van economische resultaten, maar juist sociale en ecologische verbeteringen centraal te zetten. Dat vraagt om een andere mindset en tegelijkertijd moet er wel de mogelijkheid zijn om die investering op een gezonde manier te bekostigen.

Wat mij betreft is minder data gebruiken een prima optie. Dat betekent dan ook stoppen met bijvoorbeeld elektrische scooters: die gebruiken zeldzame metalen die niet duurzaam worden gewonnen, duur zijn en volgens mij bijdragen aan een 'obees' Nederland. Tegelijkertijd betrap ik me er 's avonds soms op verveeld wat te scrollen op het internet of LinkedIn en daarmee onnodig energie te verbruiken. Natuurlijk zijn er mogelijkheden

om elektrische scooters te verbannen en internetgebruik te minderen, maar die overwegingen daarbij zullen voor iedereen anders zijn. Wellicht vindt iemand anders die elektrische scooter echt nodig, terwijl diegene mijn benzineauto verafschuwt. Hoewel deze aanpak niet direct leidt tot een systeemverandering, is het wel interessant om eens te kijken wat je als individu zelf kunt doen en hoe je daarmee je consumptie vermindert en een stap(je) zet naar een andere mindset.

Behalve individueel stappen zetten, is minstens zo belangrijk in gezamenlijkheid af te spreken waarover wel of geen data en informatie worden verzameld. Soms lijkt dat eenvoudig; zo laten Preut et al. (2021) zien dat helder kan worden wie, vanuit welke rol (zoals producent, gebruiker, hergebruiker of herverwerker), welke informatie nodig heeft, zodat diegene dan alleen die informatie kan verzamelen. Dat is echter niet eenvoudig, omdat niet vooraf in beton is gegoten welk traject een product gaat afleggen in zijn levensloop, net zoals ook niet vastligt aan welke (wettelijke) eisen een product de komende jaren moet gaan voldoen. Dat maakt het moeilijk vooraf precies te bepalen welke informatie wanneer en waar beschikbaar moet zijn. Niettemin kan een zorgvuldige afweging zinvol zijn, waardoor ook ethische dilemma's worden geadresseerd. Zo'n ethisch dilemma kan de vraag zijn waarover wel of geen data verzameld zouden moeten worden. Bijvoorbeeld de *blockchain* kan helpen ervoor te zorgen en de gebruikers te verzekeren dat bij het maken en toeleveren van een product geen sprake is van kinderarbeid of dat mensenrechten niet zijn geschonden (Magrini et al., 2021). Dat is zinvol, maar daarvoor zijn data en energie nodig. Kunnen dergelijke waarborgen dan niet beter op een andere manier worden geregeld, bijvoorbeeld met verdragen en wetgeving (hoe lastig dat ook is)? Want minder dataverbruik leidt tot minder gebruik van energie (al dan niet hernieuwbaar), leidend tot minder materiaalverbruik in het algemeen, wat nog sterker speelt bij zeldzame aardmetalen als tantalium en indium. Daarvan is niet alleen de tijdsduur dat ze nog kunnen worden gewonnen eindig, ze kunnen vooralsnog ook niet goed worden teruggewonnen (Wilts & Berg, 2017).

### Industrie 5.0: digitalisering aan banden

Volgens de Europese Commissie (2022) moet Industrie 5.0 een grote rol gaan spelen; ze stelt zelfs dat de Europese industrie zal moeten digitaliseren of zal ophouden te bestaan (Dixon-Declève et al., 2022). Daarbij wordt de verantwoordelijkheid voor het internet vooral gelegd bij de voortdurende concentratie van economische macht, waarbij de accumulatie van waarde (en gegevens) in de handen is van een paar (niet-Europese) technologiebedrijven. Hierbij is tevens sprake van een transformatie naar en snelle groei van *online* businessmodellen, die aan banden moet worden gelegd met een duidelijke richting aan de digitale transformatie. Dan wordt bijvoorbeeld AI ontworpen en ingezet voor duurzaamheid in plaats van onafhankelijk of onwetend te zijn. Bijvoorbeeld *distributed ledger* technology (blockchain), slimme contracten en NFT's worden daarin gecodeerd voor radicale transparantie, gedeeld eigendom van de *commons* en automatisering

op basis van de principes van veerkracht, regeneratie en duurzaamheid (European Commission, 2023). Dat lijkt een duidelijke stap te zijn naar het inzetten van digitalisering om te komen tot een duurzamere wereld, zowel ecologisch als sociaal.

### **Adaptieve en radicale benadering bij circulaire landbouw (Dagevos & De Lauwere, 2021)**

Als proxy om de rol van kleine en middelgrote ondernemers in de circulaire transitie te begrijpen, zijn de percepties en motieven van Nederlandse boeren om bij te dragen aan circulaire landbouw, onderzocht. In het onderzoek zijn de adaptieve en radicale benaderingen als uitgangspunt genomen, met Nederlandse boeren als praktijkvoorbeeld. Sommige ondernemers zijn adaptief en blijken in de eerste plaats te rekenen op technologische oplossingen om circulaire uitdagingen aan te gaan. Andere hebben een breder perspectief, door te beweren dat het niet langer vanzelfsprekend is dat het maken van winst, ongeacht de kosten, onvoorwaardelijk waar is, of door te laten doorschemeren dat axiomatiche productiegroei, ongeacht de benodigde input, niet langer onbetwist is. Bij zo'n perspectief is zeker aandacht voor het vergroten van de efficiëntie (minder emissies, beter voer- en bodembeheer, verwerken van reststromen, precisielandbouw, etc.), maar er is ook ruimte voor andere, controversiële onderwerpen, zoals het uitsluiten van geschikte gronden voor de teelt van veevoer, het terugdringen van de veestapel, het verlagen van de consumptie van dierlijke producten of het heroverwegen van de focus op economische groei. Dat radicale perspectief lijkt er ook toe te leiden dat die boeren meer prestatie-indicatoren gaan bijhouden, zoals: bodembehoud, afsluiten van nutriëntenkringlopen, behoud van biodiversiteit, natuurbehoud, benutting van reststromen uit de voedingsmiddelenindustrie, bijdrage aan de regionale economie en vitaliteit van het landelijk gebied (Dagevos & De Lauwere, 2021).

### **5.3. Uitwerking in de digitale circulaire paradox**

Ik zet een paar zaken op een rijtje die aan de orde zijn gekomen, om van daaruit te komen tot de digitale circulaire paradox en hoe daar invulling aan te geven. Zo kwam aan de orde:

- dat het belangrijk is om, vanwege het huidige magere circulaire niveau, elke beweging in de richting van circulariteit te koesteren;
- dat de bedoeling van digitalisering is om data te verzamelen en hier informatie van te maken die kan worden gebruikt om verstandige beslissingen te nemen;
- dat van de drie kurken waarop digitalisering drijft, een toenemende hoeveelheid data (SER, 2021) is, wat bijdraagt aan een strategie die uitgaat van *technology push*. Een oplossing op zoek naar een probleem, noemde ik dat eerder;

- dat informatie en daarmee digitalisering een voorwaarde is voor een circulaire keten en dat er een spanningsveld is tussen het inzetten van digitale technologie en circulariteit, onder andere voortkomend uit gebrek aan kennis over en weer;
- dat een slimme circulaire economie informatie laat werken en relevante informatie op het juiste moment bij de juiste actor brengt, zonder onnodig veel data te verzamelen;
- dat digitalisering energie gebruikt en dus meebrengt dat er materiaal nodig is voor middelen om die energie op te wekken;
- dat digitalisering vooral aansluit op de adaptieve, efficiëntiegerichte, benadering van de circulaire economie, maar dat niet duidelijk is hoe die past bij een (meer) radicale benadering;
- dat bij zowel digitalisering als circulariteit sprake is van een transitie: bij digitalisering van analoog naar digitaal en bij circulariteit van een lineaire naar een circulaire economie;
- dat geen sprake is van enige overeenstemming of gelijkvormigheid van ideeën over de weg naar een digitale circulaire economie.

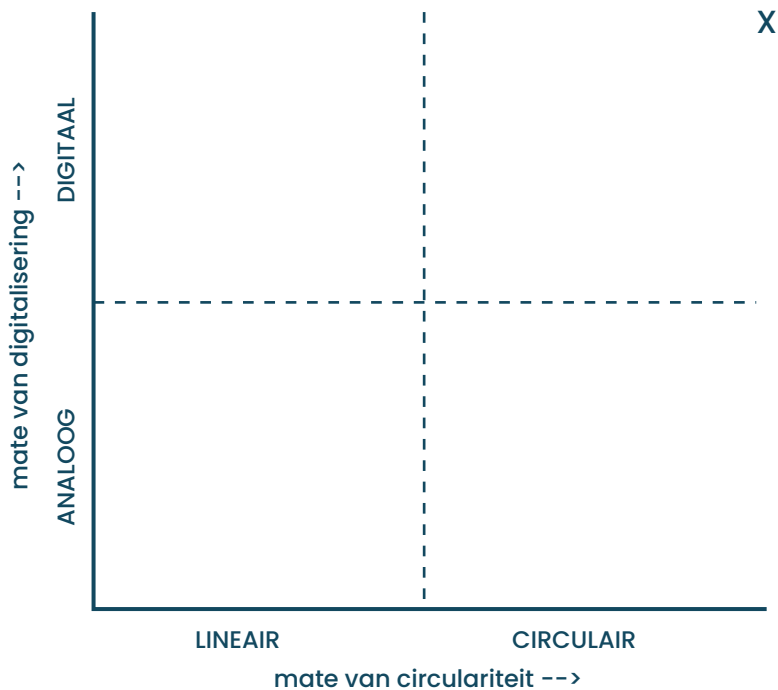
Het voorgaande leidt tot de digitale circulaire paradox, waar ik in mijn lectoraat mee aan de slag wil. Deze paradox luidt:

*Er moet tegelijkertijd meer data worden verzameld als voorwaarde voor circulariteit en minder data worden verzameld als voorwaarde voor circulariteit, terwijl de toekomst ongewis is. Deze strijdigheid staat haaks op de hiervoor aangehaalde situatie waarin digitalisering een oplossing is die op zoek is naar een probleem.*

Om te komen tot een aanpak rondom deze paradox, definieer ik twee ideaaltypen, waarin ik de tweedeling tussen de adaptieve en de radicale benadering gelijktrek met respectievelijk de digitale en circulaire transitie. Daarin vraagt de digitale benadering, gezien het *push*-karakter ervan, energie en materiaal, met netto hopelijk wel minder dan nu. Daarentegen streeft de circulaire benadering in absolute zin naar minimalisering van materiaalgebruik. Aansluitend hierop draagt digitaal bij aan efficiënte systemen door middel van investeringen, terwijl circulair streeft naar efficiëntie en beperking van investeringen. Ook draagt digitaal bij aan de instandhouding van het huidige economische systeem met economische groei, terwijl circulair streeft naar een nieuw economisch systeem gebaseerd op *degrowth*.

Circulariteit ontkomt echter niet aan digitaliseren, dus hoe is dat te combineren? Hoe vorm te geven aan de onlosmakelijke verbinding tussen *techné* (technologie) en *epistémè* (kennis)? Dat is een vraag die al speelde lang voordat Plato bezwaar maakte tegen de opkomst van het schrift als vervanging van het geheugen (Van Dijck, 2014). In figuur 14 is de confrontatie tussen digitaal en circulair weergegeven: hoe van analoog naar

digitaal gaan en van efficiënt lineair naar efficiënt circulair? Aangezien digitalisering nodig is ter ondersteuning van circulariteit, zal het te volgen pad lopen van grofweg linksonder naar rechtsboven. Maar, gezien het streven naar slim en efficiënt datagebruik, zal het ideaalplaatje zich niet helemaal rechtsboven bij de 'X' bevinden. Bij voorkeur wel ergens aan de rechterkant, zodat tenminste de materiaalstroom wordt aangepakt. Deze manier van redeneren sluit aan bij de aanpak vanuit het risicomanagement, waarbij de kosten van maatregelen wordt afgezet tegen de schadeverwachting, waarin het optimum wordt bepaald met zoveel mogelijk beperking van schade tegen acceptabele kosten (Spruit, 2010). Als de schadeverwachting wordt vervangen door het omgekeerde van de mate van circulariteit en de kosten van maatregelen door de mate van digitalisering, dan ontstaat het streven naar zoveel mogelijk circulariteit tegen een acceptabel niveau van digitalisering.



Figuur 14. Confrontatiematrix van een digitale en een circulaire transitie

### 5.4. Naar een mogelijkheid om incrementeel radicaal te veranderen

Met de onzekerheid over het toekomstige doel van de digitale circulaire economie en de complexiteit van (digitale) circulaire systemen zijn de risico's van het zetten van radicale stappen naar een digitale circulaire economie (zeker voor gevestigde organisaties) erg groot, waardoor mislukken het einde van het bedrijf kan betekenen. Eerder kwamen drie vormen van verandering ter sprake: padstabilisatie, padwijziging

en padomslag. Padstabilisatie is te vergelijken met de adaptieve benadering en padomslag met de radicale benadering. De adaptieve benadering of padstabilisatie leidt niet tot de echte verandering, die wel gewenst is. Ook de padomslag is niet geschikt, omdat het risico te groot is. De verandering vraagt om een padwijziging, waarmee in stapjes wordt gewerkt aan een radicale verandering. Om dat in de praktijk toepasbaar te maken, kom ik terecht bij een benadering die op toegankelijke wijze aan de slag gaat met systeemdenken en streeft naar continue verbetering van de flow (van het proces en dus van onderlinge relaties tussen elementen) en waardecreatie (optimalisatie van de functie), namelijk: *lean management*. *Lean management* wordt aanbeden en verguisd, omdat de een ervaart dat het welvaart en welzijn brengt, terwijl de ander de jacht op efficiëntie en kostenverlaging, ten koste van mensen en omgeving, benadrukt. Net als circulariteit en digitalisering kent *lean management* daarom vele definities. Mijn definitie luidt:

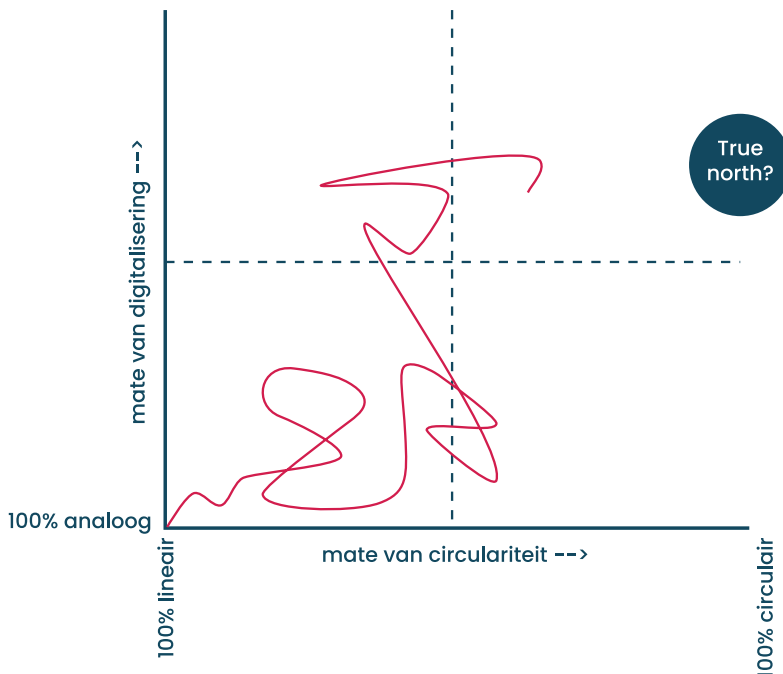
*Lean management betreft het continue leren en verbeteren door mensen in en om een organisatie, waarbij ze flow creëren, om waarde te leveren voor alle (directe en indirecte) stakeholders op korte en lange termijn.*

Bij dat continue leren in en om een organisatie, hanteert *lean management* een aanpak die (net als alle wetenschappelijke onderzoeksmethoden) is gebaseerd op *plan-do-check-act*, en gaat het uit van een gedefinieerd uitgangspunt, de *true north*. De *true north* bepaalt de verbeterrichting in redelijk abstracte termen (Van Kollenburg, 2019), waarna in vele kleine cycli de situatie incrementeel en adaptief wordt verbeterd. Zo'n *true north* kan radicaal zijn en daarom wordt vaak gesproken over een *lean* transformatie in een organisatie, waarbij fundamenteel andere (dan bestaande) uitgangspunten worden gehanteerd. Een voorbeeld daarvan is de benadering van kwaliteit. Een fundamenteel uitgangspunt in de bedrijfskunde in de jaren tachtig van de vorige eeuw, was dat een betere kwaliteit een hogere prijs inhoudt. Met het kwaliteitsdenken van onder anderen Crosby (1987) werd die vanzelfsprekendheid losgelaten, met als redenering dat veel kwaliteitsproblemen worden veroorzaakt door slechte, dure processen. De relatie tussen kwaliteit en kosten werd daarmee in benaderingen als *lean management* omgedraaid ten opzichte van wat gangbaar was (en vaak nog is). Een fundamenteel andere denkwijze betrof die van continu verbeteren. Ten eerste zoeken Westerse verbeterbenaderingen vooral naar een optimum van twee strijdige variabelen, zoals kosten van preventie en kosten van curatie: meer preventie betekent immers minder curatie en andersom. Ten tweede wordt er in Westerse verbeterbenaderingen naar gestreefd om met een project meteen een perfecte situatie te creëren. Ook daar brachten benaderingen als *lean management* een fundamentele verandering tot stand: je gaat voortdurend op zoek naar de perfectie, wetende dat je dat niveau niet kunt bereiken. Een *true north* is dan ook een beschrijving van een situatie die een dergelijke perfectie benadert en die staat dus in beginsel ver af van de bestaande situatie.

Het gevaar bestaat dat, als iedereen in de eigen silo blijft, verbeteren alleen lokaal effect heeft. Dan ontstaat er geen flow in het systeem, wordt de functie niet (goed) vervuld of het doel niet bereikt en wordt de radicale *true north* dus nooit bereikt. Daarom kent *lean management* een procesbenadering waarin met bijvoorbeeld *value stream mapping* het systeem of proces van een bedrijf of een keten in beeld wordt gebracht, zodat verbeteringen ook ten goede komen aan het hele systeem.

Om deze redenen is de *lean*-benadering volgens mij heel geschikt om de weg te zoeken in en naar de digitale circulaire economie. Dat sluit aan bij de ervaring van Versluys en Vandenhaute (2018) die de van *lean* denken afgeleide *lean* start-up-methode gebruiken: "De *lean* start-up-methode is een goede manier om met circulair en digitaal ondernemen te beginnen, ook voor gevestigde ondernemingen. Hoe sterker het nieuwe businessmodel afwijkt van het bestaande, hoe interessanter deze methode" (Versluys & Vandenhaute, 2018, p. 27).

Dus: een radicale *true north* met een incrementele en adaptieve weg ernaartoe. In figuur 15 is een voorbeeld van een pad daarnaartoe afgebeeld: stapsgewijs moet de weg, afhankelijk van wijzigende omstandigheden, worden gezocht. Soms lukt het om de juiste richting in te gaan, op andere momenten niet. In beide gevallen leer je wat wel of niet werkt!



Figuur 15. Verbeelding van een pad naar een radicale digitale circulaire *true north*





# Op weg naar slimme circulaire systemen

In dit hoofdstuk werk ik op basis van de theorie en praktijkvoorbeelden uit de vorige hoofdstukken het onderzoeksplan uit van het lectoraat Slimme Circulaire Systemen. Daarvoor sta ik nog eens stil bij de vraag waar het in de praktijk eigenlijk aan schort. Aangezien het de bedoeling van het lectoraat is om kennis en hulpmiddelen te ontwikkelen om een digitale circulaire economie een stap dichterbij te brengen, is de vraag welke kennis ontbreekt voor het kunnen zetten van die stap. Dat brengt me vervolgens op de onderzoeksvragen.

In het praktijkgerichte onderzoek binnen het hbo is van belang dat zowel studenten als bedrijven worden betrokken, zodat praktijkproblemen worden opgelost en het geleerde in de toekomst kan worden gebruikt. Daarom sluit ik dit hoofdstuk af met een voorbeeld van een onderzoek met studenten dat vanuit het lectoraat Slimme Circulaire Systemen is gestart.

Achtereenvolgens komt in dit hoofdstuk aan bod:

- Wat is er in de praktijk nodig?
- Welke kennis ontbreekt?
- Wat zijn de onderzoeksvragen?
- Hoe kunnen we met studenten aan de slag bij bedrijven?

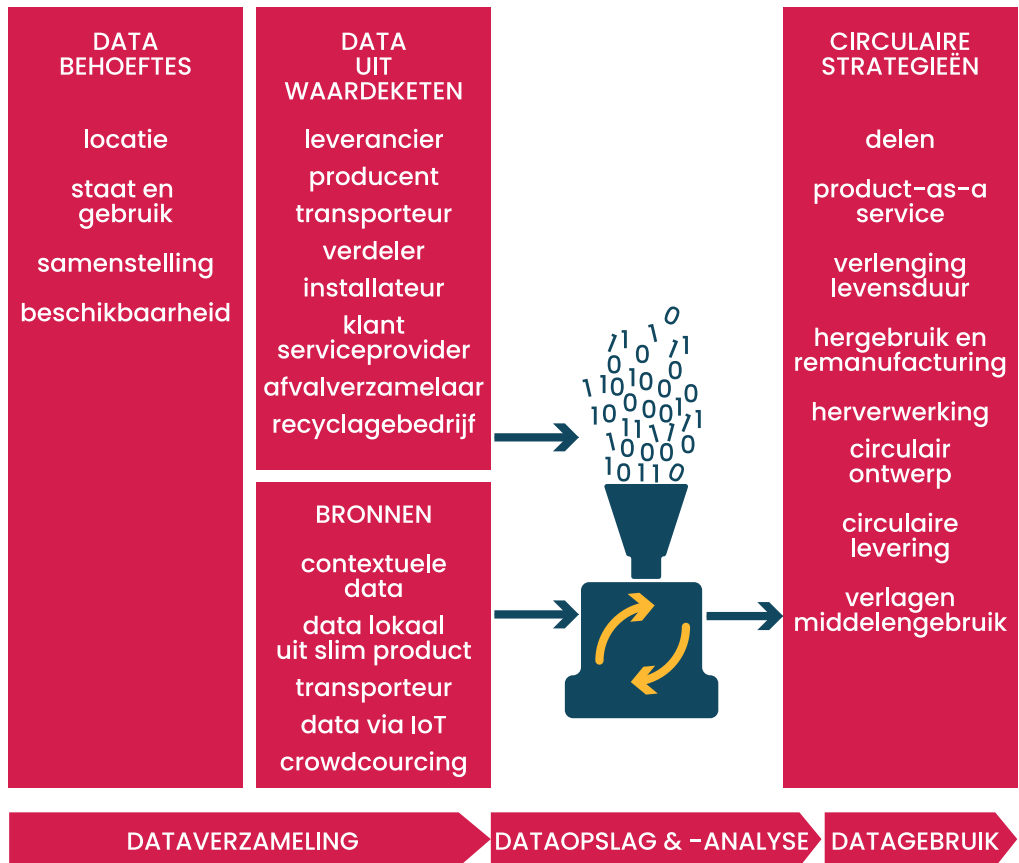
## 6.1. Wat is er in de praktijk nodig?

De eindigheid aan de beschikbaarheid van materialen en de gevolgen van de schade die wordt aangericht door gebruikte producten achteloos weg te gooien of te verbranden, dwingen tot een meer circulaire benadering. Zoals eerder aan bod is gekomen, is in circulaire ketens meer informatie nodig dan in lineaire. In de lineaire economie kan een producent een product maken en verkopen, en daarna niet meer weten wat er wanneer of waar met het product gebeurt. Dat staat een succesvolle bedrijfsvoering niet in de weg. De gebruiker doet met het product wat hij of zij wil en daarna wordt het wellicht, als (veelal inferieur) tweedehandsproduct, nog een keer gebruikt of er worden waardevolle materialen (zoals metalen) uit gehaald, waarna het restant wordt weggegooid of verbrand. In zo'n situatie kan de verwerker vaak met een globale inspectie van het product te weten komen hoe het product eruitziet en welke materialen erin verwerkt zitten (eventueel met andere middelen dan ogen, zoals magneten). Weet de verwerker zelfs dat niet, dan wordt het product vernietigd.

In een circulaire economie ligt dat een stuk complexer. Als een onderneming een product efficiënt wil hergebruiken en zorgen dat het zijn waarde behoudt, dan blijft het zo hoog mogelijk op de zogenaamde 'R-ladder' (dat zijn de R-strategieën uit tabel 2 met de hoogste prioriteit). Daarvoor moet meer bekend zijn over het product en is informatie nodig over de locatie, de staat van het product, hoe het wordt gebruikt en uit welke componenten en materialen het product bestaat. Om het rendabel te doen, moet daarnaast bekend zijn wanneer het beschikbaar is voor hergebruik. Dat betekent een behoefte aan meer informatie en ook eerder beschikbare informatie, zodat de verwerking van het product kan worden gepland. Een organisatie zal in de regel niet in haar eentje een circulaire keten kunnen creëren, daarvoor zijn ook andere bedrijven nodig, bijvoorbeeld leveranciers van digitale oplossingen of verwerkers van gebruikte producten. Dat vereist samenwerking met anderen en daarbij is uitwisseling van informatie nodig. In de praktijk is die informatie er echter vaak niet of moeilijk te ontsluiten. Om die informatie met elkaar te delen, is er allereerst vertrouwen nodig, en ook de zekerheid dat het delen op een goede en veilige manier gebeurt (Hedberg et al., 2019). Ook moet informatie worden gecreëerd en onderhouden door alle actoren in de levenscyclus of de waardeketen van een product, zoals producenten, logistieke dienstverleners, retailers, gebruikers, serviceproviders en herverwerkers. Die data kunnen in het product zelf worden vastgelegd, bijvoorbeeld met een QR-code of een chip, en vervolgens automatisch worden uitgelezen en verstuurd naar de cloud of (bij *edge computing*) lokaal worden bewaard en daar uitgelezen. Ook kan data handmatig door medewerkers of partners worden verzameld vanuit de context van een product of via derden. Na verwerking van die data kan deze worden gebruikt om een circulaire oplossing in de praktijk te laten werken. In figuur 16 is de samenhang tussen dataverzameling, dataopslag en -analyse en datagebruik samengevat.

Dat is echter de theorie. In de praktijk zijn voorbeelden van het gebruik van digitalisering om te komen tot circulaire oplossingen nog schaars en zijn er belemmeringen door allerlei problemen, vanwege de manier waarop informatiesystemen zijn vormgegeven en mensen ermee omgaan. Daarbij valt me op dat de voorbeelden vooral betrekking hebben op de digitale technologieën en minder stilstaan bij het verzamelen en verwerken van data om kennis en wijsheid te verwerven.

Vanwege de *circular rebound*, dat wil zeggen dat circulaire oplossingen er niet toe leiden dat hun primaire lineaire alternatieven daardoor worden vervangen, neemt het (materiaal)verbruik toe. Dus door het toepassen van circulaire oplossingen ontstaat in plaats van verbruik van minder materialen juist een verbruik van meer materialen. Bij het voorkomen van een *circular rebound* kan digitalisering een rol spelen, als middel om bedrijven en individuen te informeren over hoe circulair ze bezig zijn. Daarbij is van belang te beseffen dat de informatie nodig is op het moment van de keuze om materiaal of energie te gebruiken en dat moment ligt aan de inputzijde van een proces, ongeacht



Figuur 16. Van databehoeftes naar inzetbare kennis (ontwikkeld op basis van inhoud van hoofdstuk 3 en van Versluys en Vandenhaute [2018])

of dat gaat over ontwerp, productie of gebruik; op het moment dat een proces een product levert (outputzijde) heeft die informatie geen nut meer, want dan heeft het verbruik immers al plaatsgevonden.

De focus op het ingaande materiaal vraagt een andere vorm van besturing en besluitvorming dan nu gebruikelijk is: in plaats van achteraf kijken wat had gemoeten, gaat het dan om vooraf bedenken wat gedaan moet worden. Bedrijven kunnen met digitalisering informatie genereren rondom de hoeveelheid materiaal en energie die wordt gebruikt en de mate van circulariteit of hernieuwbaarheid daarvan. Het is voor de praktijk derhalve nodig om methodes te ontwikkelen waarmee bedrijven aan de inputzijde op materiaal- en energiegebruik kunnen sturen. In beginsel geldt dat niet alleen voor bedrijven maar ook voor consumenten, ook zij kunnen zich afvragen of ze iets willen gaan gebruiken.

## 6.2. Welke kennis ontbreekt?

### Werken theorieën in de praktijk?

Het onderzoeksgebied 'digitaal circulair' is nog jong en er heeft nog weinig onderzoek plaatsgevonden. Bestaand onderzoek naar de implementatie van digitale technologieën ten behoeve van circulariteit binnen bedrijven blijft conceptueel en is nog aftastend. Zo betreft het vooral de rol van digitale technologieën als katalysator voor circulaire strategieën, het identificeren van toepassingen, de effecten van digitalisering op circulariteit en het implementeren van digitalisering (Piscicelli, 2023; Rajput & Singh, 2019; Ranta et al., 2021). Er ontbreekt dus empirisch bewijs, bijvoorbeeld via casestudies (Pagoropoulos et al., 2017), en daarmee de bevestiging dat de bestaande digitale circulaire concepten in de praktijk echt werken (Rajput & Singh, 2019). Verder moet toekomstig onderzoek volgens Piscicelli (2023) meer aandacht besteden aan economische en sociale voordelen, naast de risico's die verbonden zijn aan het gebruik van data en digitale technologieën.

### Hoe verhouden bedrijven zich tot digitaal circulair werken?

Door het ontbreken van empirisch bewijs wordt de werking van bestaande digitale circulaire concepten niet bevestigd in de praktijk. Daar komt bij dat juist de combinatie van digitaal en circulair mijns inziens vraagt om een praktijkgerichte benadering. De praktijk betreft vaak een specifieke situatie waarin algemene belemmeringen of aanjagers niet vanzelfsprekend aanwezig zijn. Het lijkt soms ook wel, ook getuige de voorbeelden die er al zijn, of bedrijven in de praktijk zich niets aantrekken van mogelijke concepten en theoretische bespiegelingen, maar simpelweg aan de slag gaan, en de vraag is hoe die bedrijven dat doen. Stel, een bedrijf zet een stap op het circulaire pad; dat is, zeker voor bijvoorbeeld mkb-organisaties, een flinke stap. Het bedrijf vraagt zich af hoe ze dit zo slim mogelijk kan doen. Op welke manieren kan dat bedrijf daarin worden geholpen? Om een antwoord te vinden op die vraag, moet er meer kennis worden ontwikkeld over hoe bedrijven zich verhouden tot circulariteit en digitalisering.

### Hoe kunnen bedrijven zich ontwikkelen?

Er is al een flink aantal bedrijven aan de slag met digitale circulariteit in een of andere vorm, maar veel meer bedrijven nog niet. Dat geldt ook voor digitalisering, waarbij de digitale middelen worden ingezet om processen beter te besturen en te optimaliseren. Wat zijn de werkelijke belemmeringen? Vaak komen onvoldoende financiële middelen en kennis naar voren, maar zit het daar echt in, of zit het dieper?

Mijn uitgangspunt is dat bedrijven niet in één slag circulair zullen worden (en ook niet digitaal). Bij de digitale circulaire ontwikkeling gaat het niet om een momentopname, maar over een ontwikkelpad gericht op de padwijziging uit hoofdstuk 5. Een incrementele aanpak moet daarbij leiden tot radicaal andere uitkomsten. In die ontwikkeling start een bedrijf mogelijk intern met het zetten van stappen naar een circulaire keten. Dit is in lijn met de fasen van Jonker et al. (2018), te weten: in-huis circulariteit, gedeeltelijke

ketenintegratie, gesloten ‘simpele’ kringloop, onderling afhankelijke kringlopen met mono-materiële kringlopen en het vervlochten systeem. De circulaire ontwikkeling vraagt om inzicht in welke nieuwe informatie bedrijven in de waardeketen nodig zullen hebben, hoe die in een vroeger stadium beschikbaar kan komen en of c.q. hoe die informatie met technologie moet worden vormgegeven. Aan deze ontwikkeling kan de ontwikkeling van de digitale capaciteiten van bedrijven en ecosystemen worden gekoppeld, zodat ze zowel hun interne processen als hun waardepropositie kunnen verbeteren (Kokkinou et al., 2023).

Tevens is het sociale veranderkundige aspect essentieel, wat in het onderzoek tot nu toe onderbelicht blijft (Çetin et al., 2021). Dat is een essentieel aspect, omdat een digitale circulaire ontwikkeling – in lijn met het systeemdenken uit hoofdstuk 5 – meebrengt dat bedrijven moeten veranderen: ze moeten afscheid nemen van bestaande (lineaire en analoge) werkwijzes, houdingen en systemen. Ook moeten ze wellicht afscheid nemen van informatie waarop ze misschien jarenlang hebben gestuurd en van data die ze hebben verzameld. Kennis over de veranderingen die nodig zijn in een organisatie om digitaal circulair te worden, zowel intern als in de samenwerking met anderen, vraagt nader onderzoek.

### Hoe kunnen ecosystemen zich ontwikkelen?

Kijken we niet naar individuele bedrijven, maar breder naar het ontwikkelen van een circulair ecosysteem, dan moet veranderkundige kennis worden ontwikkeld over de manier waarop individuele mensen en organisaties omgaan met machtsverhoudingen, eigendomsverhoudingen, transparantie, privacy en vertrouwen in de keten en met ondersteunende dienstverleners, zoals platformeigenaren. Daar komen zaken bij kijken als de bereidheid tot het delen van informatie en dataveiligheid. Hoe ziet dat er in de praktijk uit en hoe verhoudt zich dat tot de ontwikkeling van een circulaire keten? Zijn ze bereid daar transparanter in te worden en informatie te delen op basis van vertrouwen? Ook hier ga ik ervan uit dat ecosystemen of ketens niet van de ene dag op de andere zullen transformeren van lineair naar circulair, dus is de vraag hoe zij in stapjes naar die omslag toe kunnen werken.

Bij de ontwikkeling van een circulaire keten of ecosysteem dient ook aandacht te gaan naar de bereidheid van organisaties en individuele mensen om minder materiaal en energie te gebruiken, omdat *refuse* de meest krachtige vorm van circulariteit is (zie hoofdstuk 2). Informatie en digitalisering kunnen hen mogelijk helpen om bewuster te besluiten of en hoe ze materiaal en energie willen gebruiken.

### 6.3. Wat zijn de onderzoeksvragen en wat doet het lectoraat daarmee?

Op grond van de vorige paragrafen komt als hoofdvraag voor het lectoraat naar voren:

*Hoe kan digitalisering in de praktijk effectief, efficiënt en sufficiënt helpen bij het creëren van circulariteit in organisaties en ecosystemen?*

Daarbij is de vraag hoe een incrementele aanpak en een radicale visie kunnen worden gecombineerd voor een effectievere uitkomst. Dat betekent dat ik mij in de aankomende vijf jaar op de volgende twee onderzoeksvragen ga richten:

1. *Hoe kunnen organisaties en ecosystemen op basis van de aanwezige data, digitalisering, competenties en systemen experimenterend stappen zetten naar meer circulair opereren?*
2. *Hoe kunnen organisaties en ecosystemen vanuit een radicale digitale circulaire visie (true north) stappen zetten naar circulariteit realiseren met digitale middelen, en heeft zo'n visie meerwaarde?*

#### Onderzoeksvraag 1: Hoe circulariteit ontwikkelen met aanwezige middelen?

De eerste vraag gaat over hoe bedrijven en ecosystemen circulariteit kunnen ontwikkelen met behulp van de middelen die ze al hebben, zoals data, digitale middelen, competenties en systemen. Ze hebben van tevoren niet een uitgewerkte circulaire visie, maar ze zoeken naar circulaire mogelijkheden, die ze vervolgens invullen met ondersteuning van (wellicht aanwezige) digitale en eventueel andere middelen. Bij deze vraag kan het gaan over het creëren van complete circulaire businessmodellen, maar ook over het (beter) realiseren van 'losse' circulaire initiatieven met behulp van verbetering of aanpassing van bestaande (digitale) middelen. Een voorbeeld hiervan is dat een bedrijf afval wil herverwerken en al afval scheidt en daar iets over vastlegt, en gaat kijken of met informatie vooraf betere classificering mogelijk is.

De onderzoeksvraag kan worden uitgewerkt in vele deelvragen, zoals:

- vragen rondom de bestaande situatie in organisaties, waaronder:
  - Welke producten en processen kent het bedrijf en waar is sprake van waardeverlies?
  - Waar staan bedrijven en ecosystemen nu ten aanzien van data, digitalisering, (digitale) competenties en systemen?
  - Hoe ziet de veranderbereidheid eruit ten aanzien van circulariteit?
  - Welke uitgangspunten, normen, waarden en principes hanteert de organisatie?
- vragen ten aanzien van de relatie tussen digitalisering en circulariteit, zoals:
  - Welke digitale middelen en *capabilities* heeft de organisatie en hoe kunnen die worden ingezet ten behoeve van circulariteit?

- Welke data en informatie zijn nodig in het bedrijf of ecosysteem om meer circulair te worden (en welke niet meer)?
  - Hoe kan de informatie eerder beschikbaar komen, zodat plannen mogelijk is?
  - Hoe kunnen welke digitale technologieën daaraan bijdragen?
  - Wat is de impact van digitalisering op circulariteit (Rosa et al., 2019)?
  - Als digitalisering leidt tot prestatieverbetering (Yang, 2020), geldt dat dan ook voor de circulaire prestaties?
  - Hoe moet de besturing worden aangepast?
- vragen rondom het ontwikkelpad, waarbij kan worden gedacht aan:
- Wat zijn de *quick wins* (Schögl et al., 2023)?
  - Krijgen kansrijke thema's, zoals predictief onderhoud (Bastein & Willems, 2019), voorrang?
  - Hoe ziet het pad eruit, ofwel wat is de route in het model van de digitale circulaire paradox en hoe verhoudt dat zich tot bestaande machtsstructuren en werkpatronen?
  - Welke rol kan *lean management* spelen in de ontwikkeling?
  - Waar lopen bedrijven en ecosystemen tegenaan, zowel wat betreft (digitale) middelen als wat betreft veranderkundige aspecten?
  - Hoe kunnen bedrijven en ecosystemen tot interdisciplinaire oplossingen komen?

## Onderzoeksvraag 2: Hoe een radicaal digitale circulaire visie ontwikkelen en incrementeel implementeren?

De tweede vraag bouwt voort op de eerste en betreft feitelijk de vraag of organisaties (bedrijven of ecosystemen) beter in staat zijn om digitaal circulair te worden als ze eerst een visie daarop ontwikkelen. Deze vraag betreft daarom een organisatie als geheel: hoe kan ze een radicale digitale circulaire visie ontwikkelen en vanuit deze visie de eerste stappen zetten en met digitale middelen circulariteit realiseren? Deelvragen hierbij betreffen bijvoorbeeld:

- Hoe ziet een radicaal digitale circulaire visie eruit?
- Hoe kan deze worden gebruikt om stappen te zetten naar meer circulariteit en welke rol speelt digitalisering daarbij?
- Helpt het hebben van een visie bij de digitale circulaire ontwikkeling en is sprake van meerwaarde ten opzichte van de aanpak bij onderzoeksvraag 1?
- Hoe kunnen bedrijven en ecosystemen tot transdisciplinaire oplossingen komen?
- Welke mogelijkheden biedt het gebruik van *lean management*, zoals in hoofdstuk 5 besproken?
- Welke leidraad kan hieruit worden ontwikkeld voor andere bedrijven?

### **Wat maakt een digitale circulaire visie radicaal?**

Zonder te vervallen in definities van radicaliteit en dergelijke, noem ik de vragen die uit de voorgaande hoofdstukken naar voren komen en die een radicale visie kunnen helpen duiden. Dat zijn:

1. Wat is de ambitie van de visie van het bedrijf op circulariteit: betreft het in-huis circulariteit, gedeeltelijke ketenintegratie, gesloten 'simpele' kringloop, onderling afhankelijke kringlopen met meerdere mono-materiële kringlopen of een vervlochten systeem (Jonker et al., 2018)?
2. In welke mate streeft het bedrijf naar minder gebruiken van materialen en energie en waar dat onmogelijk is, naar gebruiken van circulaire of hernieuwbare vormen?
3. Welke mate van digitale volwassenheid heeft het bedrijf, dus: heeft het bedrijf SAP omdat de burens dat hebben of streeft het 'wijsheid' na bij het verzamelen van data en het inzetten van digitale technologieën (zoals bedoeld in het DIKW-model van Ackoff [1989], zie hoofdstuk 3) en het zuinig omgaan met data en daarmee energie en materialen?
4. Staan mensen en planeet voorop en staat de organisatie ten dienste van bijvoorbeeld de mensen (of worden mensen gezien als *human resources* die de organisatie dienen)?
5. Hoe concreet en dwingend is de visie (denk hierbij bijvoorbeeld aan de definitie van SMART-doelen en de inrichting van een adequaat verbeterstelsel)?

Deze lijst is een eerste idee van het bepalen van de mate van vernieuwing van de bedrijfsvisie, maar moet in de praktijk verder worden aangescherpt en verbeterd.

### **Aanpak bij de het beantwoorden van de twee onderzoeksvragen**

De aanpak bij het beantwoorden van onderzoeksvraag 2 staat schematisch weergegeven in figuur 17. Daarin wordt allereerst de radicale visie benoemd. Vervolgens wordt de huidige situatie goed in beeld gebracht, bijvoorbeeld ten aanzien van digitale middelen, veranderbereidheid en circulaire waardeverliezen. Daarna wordt een eerstvolgend realistisch doel op niet al te lange termijn bepaald en vinden experimenten en verbeteracties plaats om dat doel te bereiken. In de figuur is te zien dat sommige acties wel en sommige niet in de richting van de visie gaan. Als de acties het bedrijf wel in de gewenste richting helpen, dan worden ze vastgehouden; is dat niet het geval, dan wordt er afscheid van genomen. Als het realistische doel is bereikt, kunnen volgende realistische doelen worden bepaald in de richting van de circulaire visie.

In de aanpak bij het beantwoorden van onderzoeksvraag 1 vindt geen expliciete visie- en daarmee doelbepaling vooraf plaats; eigenlijk wordt hier dus de bestaande situatie

in kaart gebracht en worden daaruit opkomende circulaire verbetermogelijkheden als uitgangspunt genomen. Zie het kleine kader in figuur 17.

Door de expliciete visie- en doelbepaling vooraf bij onderzoeksvraag 2 is sprake van een doelgerichtere benadering dan bij onderzoeksvraag 1. Mijn verwachting is dat de uitkomsten met deze aanpak, zeker bij toepassing van *lean management*, sterker en meer blijvend zullen zijn, om twee redenen. Ten eerste omdat het makkelijker is om opeenvolgende, op elkaar aansluitende, acties te ondernemen. Daarnaast verwacht ik dat deze aanpak meer uitdaagt tot grondig te werk gaan en goed nadenken. Daar staat tegenover dat deze aanpak meer tijd kan kosten en geduld vraagt om niet direct in de actiemodus te schieten, maar eerst de mogelijkheden te verkennen. Mogelijk levert het onderzoek de duidelijkheid op of de aanpak uit onderzoeksvraag 2 in de praktijk kan worden toegepast en daadwerkelijk leidt tot betere resultaten. De uitkomsten hiervan sluiten aan bij bestaande onderzoek in het Kenniscentrum Business Innovation naar transitie en sociale innovatie.



Figuur 17. Schematische opzet voor de beantwoording van de onderzoeksvragen (bron: gebaseerd op Rother, 2009)

### Uitkomsten van het onderzoek

Bij het beantwoorden van de onderzoeksvragen moet rekening worden gehouden met de aandachtspunten uit paragraaf 2.3, 3.3 en 4.3. Dat betekent dat in de uitkomsten:

- digitalisering ervoor zorgt dat met de complexiteit van een circulair ecosysteem kan worden omgegaan, waarbij (alleen) data van voldoende kwaliteit worden verzameld die daadwerkelijk bijdragen aan het nemen van betere beslissingen;

- waar mogelijk de *circular rebound* wordt voorkomen, bijvoorbeeld door aan de inputzijde van een systeem (van individu tot ecosysteem) te sturen op minimaal en circulair materiaal- en energiegebruik, zoals het voorkomen van elektronisch afval;
- gelijktijdig wordt bijgedragen aan verbetering van zowel ecologische en sociale als economische aspecten van een systeem;
- er aandacht is voor privacy en veiligheid, terwijl het ontstaan of vergroten van sociale en machtsverschillen wordt voorkomen;
- systeemdenken wordt toegepast, zodat schijnoplossingen ten aanzien van bijvoorbeeld de digitale circulaire paradox worden voorkomen.

Met het beantwoorden van de onderzoeksvragen streef ik ernaar om met mkb-organisaties daadwerkelijk stappen te zetten op het digitale circulaire pad. De bedoeling is dat de uitkomsten leiden tot een tool waarmee (mkb-)organisaties, studenten en onderzoekers in afzonderlijke bedrijven of in een ecosysteem de bestaande digitaal circulaire toestand in kaart kunnen brengen. Daarbij wordt ook gekeken naar aandachtspunten vanuit veranderkundig perspectief. Verder wordt vanuit het lectoraat een tool ontwikkeld die bedrijven, studenten en onderzoekers ondersteunt bij het ontwikkelen van een radicale digitale circulaire visie en het omzetten daarvan naar een realisatieplan dat uitgaat van incrementele veranderingen. Minimaal één keer per jaar wordt over de resultaten uit dit onderzoek gepubliceerd. De inzichten uit alle vier de vragen worden gedeeld via de daarvoor geëigende kanalen, zoals papers in wetenschappelijke bladen en op symposia, artikelen in vakbladen, colleges en curriculumontwikkeling.

#### 6.4. Met studenten aan de slag bij bedrijven

Naast het professionaliseren van bedrijven en hun management, wordt vanuit het lectoraat bijgedragen aan het ontwikkelen van kennis bij studenten. In dat kader is een onderzoek gestart met twaalf studenten van de deeltijdopleiding Technische Bedrijfskunde in de minor 'Life cycle management: duurzaamheid realiseren door digitaliseren', waarin ze een verkennend onderzoek doen naar de eerste onderzoeksvraag. In het kader beschrijft docent-onderzoeker Robert Zunderdorp de wisselwerking tussen het onderwijs en het lectoraatsonderzoek.

##### **De (niet zo) groene weide van studenten Technische Bedrijfskunde (door Robert Zunderdorp)**

De westerse wereld is al lang het punt voorbij dat meer (economische) welvaart ook meer (maatschappelijk) welzijn brengt. Sterker nog: het heeft er alle schijn van dat meer maatschappelijk welzijn, waaronder begrepen de zorg voor een leefbare wereld, vraagt om het (ver)minderen van economische welvaart, in ieder geval van de negatieve consequenties daarvan op het milieu. Wat betekent dat voor studenten aan de deeltijdopleiding Technische Bedrijfskunde?

De deeltijdopleiding Technische Bedrijfskunde leidt studenten van oudsher op om vanuit een brede multidisciplinaire optiek de bestaande productieprocessen zodanig te herontwerpen dat efficiëntie-, capaciteits- en kwaliteitsproblemen worden herkend, aangepakt en opgelost. Daaraan zijn recent de thema's duurzaamheid en circulariteit toegevoegd. Docenten van de deeltijdopleiding Technische Bedrijfskunde hebben samen met lectoraat Slimme Circulaire Systemen de minor 'Duurzaamheid realiseren door digitaliseren' ontwikkeld. In deze minor onderzoeken de studenten in de bedrijven en organisaties waar zij werken, waar de mogelijkheden liggen om met digitale technologieën duurzaamheidswinst te realiseren. Uitgangspunt in deze onderzoeken vormen de bestaande productiesystemen voor producten en diensten en niet een groene-weide-situatie waarin voor nieuwe (en dus duurzame) ontworpen producten ook nieuwe productiesystemen worden ontwikkeld. De uitkomsten van de onderzoeken van de studenten vormen de input voor het onderzoeksprogramma van het lectoraat Slimme Circulaire Systemen, met als doel om voorbeelden en mogelijk generieke methodieken te ontwikkelen, die de weg wijzen naar het verduurzamen van bestaande productiesystemen met behulp van digitalisering.

De studenten worden op het onderzoek voorbereid in een aantal lessen over onderzoeken en tools zoals diverse circulaire, digitale en veranderbaarheidsscans en over de CIRCO-methodiek, waarmee een waardeketen in kaart wordt gebracht (CIRCO is een organisatie die het circulaire gedachtegoed uitrolt [Den Hollander, 2023]). Vervolgens voeren de studenten de volgende stappen uit:

- inventariseren van de context van het bedrijf, met gegevens zoals type bedrijf, grootte en missie;
- uitvoeren van een circulaire analyse om de bestaande status vast te stellen. Daarvoor zijn meerdere scans beschikbaar, waarbij de studenten de scan kiezen die het beste bij de context van het bedrijf past. Hierdoor ontstaat ook informatie over wat waar mogelijk is of waarom bepaalde scans worden gekozen;
- uitwerken van de uitkomsten uit de circulaire scan in een circulair businessmodel voor het bedrijf of een deel ervan (bijvoorbeeld een bepaald product);
- uitvoeren van een digitale scan, ook hier zijn meerdere scans beschikbaar waaruit de studenten kiezen;
- uitvoeren van een scan naar de veranderbereidheid van de organisatie en beoordelen wat de invloed van de veranderbereidheid is op digitalisering en circulariteit;
- ontwikkelen van een roadmap naar een digitaal circulair model, met als ingrediënten: circulair businessmodel, digitalisering, veranderbereidheid en invloed van de

bestaande kosten-batenanalyse in vergelijking met een berekening volgens de principes van *true pricing*, waarin ook externaliteiten worden meegenomen;

- maken van een rapportage over de uitkomsten en bevindingen van het onderzoek volgens de reflecties op het uitgevoerde werk.

Om circulariteit en digitalisering bijeen te brengen, maken de studenten gebruik van onder andere een confrontatiematrix met de mate van digitalisering en de mate van circulariteit op de twee assen. Daarvan is een eenvoudig voorbeeld weergegeven in figuur 14. Ook gebruiken de studenten de aanpak van Versluys en Vandenhaute (2018), die aansluit bij het model in figuur 16, aan het begin van dit hoofdstuk.

Er vinden momenteel gesprekken plaats om te komen tot een soortgelijke samenwerking met andere opleidingen. Het creëren van die samenwerking is een uitdaging, aangezien digitalisering en circulariteit in opleidingen vaak separaat worden beschouwd en deze aspecten de grenzen van specifieke onderwijsdomeinen of disciplines vaak overschrijden. Dat geldt nog sterker als ook verandermanagement als kennisgebied in het onderzoek wordt meegenomen, wat bij het onderzoeken van ontwikkelpaden een vereiste is. Daardoor kan onderzoek naar en samenwerking rondom slimme circulaire systemen bijdragen aan multi- en interdisciplinair leren werken aan relevante thema's. Daarom verheug ik me op de samenwerkingen tussen de economische, technische, logistieke en zorgdomeinen, die ik al heb ervaren rondom de circulaire hackathon bij Technische Bedrijfskunde en de gesprekken met lectoren en onderzoekers van verschillende kenniscentra rondom vraagstukken in de gezondheidszorg. Alleen samen zorgen we ervoor dat bedrijven en andere organisaties – met door ons opgeleide professionals – de technologische en andere middelen op de juiste manier inzetten, zodat de menselijke belasting van het ecosysteem van de planeet en de manier waarop mensen met elkaar omgaan, in stapjes radicaal veranderen.

# Dankwoord

Isaac Newton zei al in 1675: *"If I have seen further, it is by standing on ye shoulders of Giants."* Ik wil nog een stap verder gaan, omdat in een circulaire economie, meer dan in een lineaire, alles met alles samenhangt en elkaar beïnvloedt. Daardoor is iedereen in je directe en indirecte omgeving belangrijk. Dat werpt meteen de vraag op of je er dan toch wat mensen uit moet lichten, zoals mijn familie, de collega's van het Kenniscentrum Business Innovation, het College van Bestuur dat me heeft aangesteld, collega-lectoren en anderen die me (net als eerder al collega's van Avans Hogeschool) hielpen mijn weg te vinden, mensen die ik de loop van de jaren sprak of met wie ik samenwerkte.

Ik twijfel daarover, want dat hoor je in een dankwoord natuurlijk wel te doen. Maar in een tijd waarin bestaande zaken moeten worden losgelaten en met nieuwe wegen moet worden geëxperimenteerd, wil ik een klein stapje zetten naar een radicale toekomst waarin we iedereen waarderen. Met het risico dat mijn stapje een verkeerd aflopend experiment zal blijken te zijn, zeg ik:

*Wat je ook voor me hebt gedaan: koffie halen, feedback geven op mijn werk, zorgen dat ik mijn werk losliet, helpen met dit boekje en de openbare les, vertrouwen hebben in mij, mijn salaris overmaken, me uit mijn evenwicht halen of juist aan het lachen maken of er gewoon zijn: DANKJEWEL!*



# Geraadpleegde bronnen

- Aarikka-Stenroos, L., Ritala, P., & Thomas, L. (2021). *Circular economy ecosystems: a typology, definitions, and implications*. In S. Teerikangas, T. Onkila, K. Koistinen & M. Mäkelä (Eds.), *Research handbook of sustainability agency* (pp. 260–276).
- Achterberg, E., Hinfelaar, J., & Bocken, N. (2016). *Master circular business with the value hill*. Circle Economy.
- Antikainen, M., Uusitalo, T., & Kivikytö-Reponen, P. (2018). Digitalisation as an enabler of circular economy. *Procedia CIRP*, 73, 45–49.
- Bär, H., & Schrems, I. (2021). *Introduction to the EU taxonomy for a circular economy: Sustainable finance*. (Report on behalf of Naturschutz-Bund Deutschland e.V.). Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft.
- Bahnaru, R. (2020) *Digital circular economy: review and recommendations*. CSEI Working Papers Series, issue 16, 105–112. Center for Studies in European Integration.
- Barteková, E., & Börkey, P. (2022). *Digitalisation for the transition to a resource efficient and circular economy*. OECD Environment Working Papers, no. 192. OECD Publishing.
- Bastein, T., & Willems, M. (2019). *Slim èn circulair: hoe de smart industry circulaire economie in de praktijk brengt. Een verkenning onder Brabantse maakbedrijven*. (TNO-rapport TNO 2019, R11623). TNO.
- Bastein, T., Van Harmelen, T., Hauck, M., Godoi Bizarro, D., & Wieclawska, S. (2021). *De impact van slim èn circulair: hoe innovaties in de maakindustrie bijdragen aan een lagere footprint*. (TNO-rapport TNO 2020 R12210). TNO.
- Berg, H., Le Blévennec, K., Kristoffersen, E., Strée, B., Witomski, A., Stein, N., Bastein, T., Ramesohl, S., & Vrancken, K. (2020). *Digital circular economy as a cornerstone of a sustainable European industry transformation*. (White paper). European Circular Economy Research Alliance.
- Berghuis, E., Bodingius, S., Van Orden, C., Van Vulpen, A., & Verkuil, M. (2022). *Handreiking circulaire ecosystemen*. Hogeschool Windesheim.
- Berkhout, F. (2002). Technological regimes, path dependency and the environment. *Global Environmental Change*, 12(1), 1–4.
- Beumer, M., Heideveld, A., Akkerman, R., Nederstigt, J., Quist, G., Rebergen, G., Vrijhoef, R., Withagen, C., & Tukker, A. (2020). Verdeling macht en waarde maakt of breekt circulaire economie. *Milieu*, 26(6), 6–8.
- Bocken, N., De Pauw, I., Bakker, C., & Van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320.
- Bressanelli, G., Adrodegari, F., Perona, M., & Saccani, N. (2018). Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies. *Sustainability*, 10(3), 639.
- Bressanelli, G., Adrodegari, F., Pigosso, D. C. A., & Parida, V. (2022). Towards the smart circular economy paradigm: a definition, conceptualization, and research agenda. *Sustainability*, 14(9), 4960.

- Brynjolfsson, E., & McElheran, K. (2016). The rapid adoption of data-driven decision-making. *American Economic Review*, 106(5), 133–139.
- Centobelli, P., Cerchione, R., Chiaroni, D., Del Vecchio, P., & Urbinati A. (2020). Designing businessmodels in circular economy: a systematic literature review and research agenda. *Business Strategy and the Environment*, 29(4), 1734–1749.
- Çetin, S., DeWolf, C., & Bocken, N. (2021). Circular digital built environment: an emerging framework. *Sustainability*, 13(11), art. 6348.
- Circle Economy (2023). *Circularity gap report 2023*. Geraadpleegd op 4 september 2023, van <https://www.circularity-gap.world/2023>
- Colombo, B., Gaiardelli, P., Dotti, S., & Boffelli, A. (2021). *Business models in circular economy: a systematic literature review*. In A. Dolgui, A. Bernard, D. Lemoine, G. Von Cieminski, & D. Romero (Eds.). *Advances in production management systems: Artificial intelligence for sustainable and resilient production systems*. IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2021, Nantes, France, September 5–9, 2021, Proceedings, Part III (pp. 386 – 393). Springer International Publishing.
- Commoner, B. (2017). *The closing circle: Nature, man and technology*. Alfred A. Knopf.
- Crosby, P. (1987) *De weg naar kwaliteit*. M&P.
- Dagevos, H., & De Lauwere, C. (2021). Circular business models and circular agriculture: perceptions and practices of Dutch farmers. *Sustainability*, 13(3), art. 1282.
- De Felice, F. & Petrillo, A. (2021). Green transition: the frontier of the digicircular economy evidenced from a systematic literature review. *Sustainability*, 13(9), art. 11068.
- Den Hollander, M. (2023). *Ontwerpen en produceren voor waardebehoud in een circulaire economie: Over de rol van het lectoraat Circular Design & Manufacturing in het versnellen van de transitie naar een circulaire economie*. Hogeschool Rotterdam Uitgeverij.
- Dittrich, K. (2019). *Circulaire waarde(n)modellen: Een multidisciplinaire benadering voor het verduurzamen van mkb-bedrijven in de maak- en voedingsindustrie*. Hogeschool Rotterdam Uitgeverij.
- Ebbinghaus, B. (2005). *Can path dependence explain institutional change? Two approaches applied to welfare state reform*. (Discussion paper, No. 05/2). Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung.
- Ellen MacArthur Foundation (2012). *Towards the circular economy*.
- European Commission (2023). *Industry 5.0: a transformative vision for Europe: Governing systemic transformations towards a sustainable industry*. (ESIR Policy Brief No. 3).
- Eurostat (2023). *Monitoring framework: circular economy*. European Commission. Geraadpleegd op 14 juni 2023, van <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/monitoring-framework>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., & Hultink, E. (2017). The circular economy – a new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production* 143(6), 757–768.
- Geissdoerfer, M., Pieroni, M., Pigosso, D., & Soufani, K. (2020). Circular businessmodels: a review. *Journal of Cleaner Production*, 277, art. 123741.
- Gemeente Rotterdam (2023). *Omgevingsvisie circulair*. Geraadpleegd op 10 augustus 2023, van <https://www.rotterdam.nl/omgevingsvisie-circulair>

- Getahun, H. (2023, 17 januari). *ChatGPT is net als andere software op basis van artificial intelligence kwetsbaar voor vooroordelen: discriminatie en racisme liggen op de loer*. Business Insider. Geraadpleegd op 5 mei 2023, van <https://www.businessinsider.nl/chatgpt-ai-bias-racisme-discriminatie-computermodel-risico-kunstmatige-intelligentie/>
- Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 252, art. 119869.
- Ghoreishi, M., Happonen, A., & Pynnönen, M. (2020). *Exploring Industry 4.0 technologies to enhance circularity in textile industry: role of Internet of Things*. In *Twenty-first international working seminar on production economics, February 24-28, 2020, Innsbruck, Austria* (pp. 1–16).
- Hedberg, A., Šipka, S., & Bjerkem, J. (2019). *Creating a digital roadmap for a circular economy*. (Discussion paper, *Sustainable prosperity for Europe programme*, 5 July 2019). European Policy Centre.
- Heller, A. (2023, 12 mei). Onderzoekers: álle dure nieuwe stallen met toervloeren doen niet wat ze beloven. *BN De Stem*. Geraadpleegd op 16 augustus 2023, van [https://www.bndestem.nl/brabant/onderzoekers-alle-dure-nieuwe-stallen-met-toervloeren-doen-niet-wat-ze-beloven-alde3abe/?cb=34044baf2ba2de801c220b06c0804d1e&auth\\_rd=1](https://www.bndestem.nl/brabant/onderzoekers-alle-dure-nieuwe-stallen-met-toervloeren-doen-niet-wat-ze-beloven-alde3abe/?cb=34044baf2ba2de801c220b06c0804d1e&auth_rd=1)
- Heyes, G., Sharmina, M., Mendoza, J. M. F., Schmid, A., & Azapagic, A. (2018). Developing and implementing circular economy business models in service-oriented technology companies. *Journal of Cleaner Production*, 177, 621–632.
- Hofmann, F. (2019). Circular business models: Business approach as driver or obstructer of sustainability transitions? *Journal of Cleaner Production*, 224(7), 361–374.
- Hylkema, N. (1988,15 oktober). De computer zal wel veelbelovend blijven. *Leeuwarder Courant*, S&S 14.
- Iacovidou, E., Hahladakis, J. N., & Purnell, J. (2020). A systems thinking approach to understanding the challenges of achieving the circular economy. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(24), 24785–24806.
- Jonker, J., Stegeman, H., & Faber, N. (2018). *De circulaire economie: Denkbeelden, ontwikkelingen en business modellen*. (Whitepaper). Radboud Universiteit.
- Jonker, J., Faber, N., & Haaker, T. (2021). *QuickScan circulaire businessmodellen: Inspiratie voor het organiseren van waardebehoud*. (Whitepaper). Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 127, 221–232.
- Kokkinou, A., Van Kollenburg, T., Mandemakers, A., Hopstaken, E., & Van Elderen, J. (2023). *The data analytic capability wheel: An implementation framework for digitalization*. In A. Pucihar, M. Kljajić Borštnar, R. Bons, G. Ongena, M. Heikkilä, & D. Vidmar (Eds.), *Proceedings of the 36th Bled eConference Digital Economy and Society: Balancing act for digital innovation in times of instability, June 25–28, Bled, Slovenia* (pp. 67–84). University of Maribor, University Press.
- Koppenjan, J., Termeer, K., & Karré, P. (2018). Wat maakt slimme sturing slim? *Bestuurskunde*, (27)2, 3–13.
- Korevaar, G. (2023). *Energietransitie en circulariteit onlosmakelijk met elkaar verbonden*. Hogeschool Rotterdam Uitgeverij.

- Kraaijenbrink, J. (2022, 24 mei). *What is Industry 5.0 and how it will radically change your business strategy?* Forbes. Geraadpleegd op 18 augustus 2023, van <https://www.forbes.com/sites/jeroenkraaijenbrink/2022/05/24/what-is-industry-50-and-how-it-will-radically-change-your-business-strategy/>
- Kristoffersen, E., Blomsma, F., & Mikalef, P., Li, J. (2020). The smart circular economy: a digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. *Journal of Business Research*, 120(4), 241–261.
- Kristoffersen, E., Mikalef, P., Blomsma, F., & Li, J. (2021). The effects of business analytics capability on circular economy implementation, resource orchestration capability, and firm performance. *International Journal of Production Economics*, 239, art. 108205.
- Kuzniacki, B. (2023, 13 februari). *De toeslagenaffaire toont aan dat we uitlegbare AI-regels nodig hebben*. Geraadpleegd op 5 mei 2023, van <https://www.uva.nl/shared-content/faculteiten/nl/faculteit-der-rechtsgeleerdheid/nieuws/2023/02/de-onthulling-van-het-kinderopvang-toeslagschandaal-kan-betekenen-dat-nederland-vooroploopt.html>
- Machado, C., Winroth, M., Carlsson, D., Almström, P., Centerholt, V., & Hallin, M. (2019). Industry 4.0 readiness in manufacturing companies: challenges and enablers towards increased digitalization. *Procedia CIRP*, 81, 1113–1118.
- Magrini, C., Nicolas, J., Berg, H., Bellini, A., Paolini, E., Vincenti, N., Campadello, L., & Bonoli, A. (2021). Using Internet of Things and distributed ledger technology for digital circular economy enablement: the case of electronic equipment. *Sustainability*, 13(9), art. 4982.
- Meadows, D. (2022). *Denken in systemen: Een handleiding*. Ten Have.
- Ministerie I&W (2020). *Uitvoeringsprogramma circulaire economie 2020–2023*.
- Mylan, J., Holmes, H., & Paddock, J. (2016). Re-introducing consumption to the ‘circular economy’: a sociotechnical analysis of domestic food provisioning. *Sustainability* (8), art. 794.
- Neligan, A., Geissdoerfer, M., Baumgartner, R., & Schöggel, J. (2022). Circular disruption: digitalisation as a driver of circular economy business models. *Business Strategy and the Environment*, 32(3), 1175–1188.
- Nham, N., & Ha, L. (2022). Making the circular economy digital or the digital economy circular? Empirical evidence from the European region. *Technology in Society*, 70(1), art. 102023.
- Nobre, G., & Tavares, E. (2020). Assessing the role of big data and the Internet of Things on the transition to circular economy: part I. *Johnson Matthey Technology Review*, 64(1), 19–31.
- Orbisk (2023). *Reduce your food waste*. Geraadpleegd op 9 augustus 2023, van <https://orbisk.com/>
- Pagoropoulos, A., Pigosso, D., & McAloone, T. (2017). The emergent role of digital technologies in the circular economy: a review. *Procedia CIRP*, 64, 19–24.
- Peters, M., Schneider, M., Griesshaber, T., & Hoffmann, V. (2012). The impact of technology-push and demand-pull policies on technical change: Does the locus of policies matter? *Research Policy*, 41(8), 1296–1308.
- Piscicelli, L. (2023). The sustainability impact of a digital circular economy. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 61, art. 101251.
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). *Circular economy: Measuring innovation in the product chain*. (Policy report). PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

- Preut, A., Kopka, J. P., & Clausen, U. (2021). Digital twins for the circular economy. *Sustainability*, 13(18), art. 10467.
- Purvis, B., Mao, Y., & Robinson, D. (2019). Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. *Sustainability Science*, 14(3), 681–695.
- Rajput, S., & Singh, S. P. (2019). Connecting circular economy and industry 4.0. *International Journal of Information Management* 49, 98–113.
- Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L., Väisänen, J. (2021). Digital technologies catalyzing business model innovation for circular economy: Multiple case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, art. 105155.
- Reike, D., Vermeulen, W., Witjes, S. (2018). The circular economy: new or refurbished as CE 3.0? Exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. *Resources, Conservation and Recycling* 2018, 135, 246–264.
- Rijksoverheid (2021) *Nederlandse digitaliseringsstrategie 2021*. Geraadpleegd op 13 maart 2023, van <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-f22bf801-e7f1-4561-ae63-8c9708a31e84/pdf>
- Roberts, H., Zhang, J., Bariach, B., Cowls, J., Gilburt, B., Juneja, P., Tsamados, A., Ziosi, M., Taddeo, M., & Floridi, L. (2022). Artificial intelligence in support of the circular economy: ethical considerations and a path forward. *AI & Society*.
- Rood, T., Kisha, M., Dassen, T., Dignum, M., Hanemaaijer, A., Prins, A., & Reudink, M. (2019). *Circulaire economie in kaart*. Planbureau voor de Leefomgeving.
- Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2019). Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1662–1687.
- Rother, M. (2009). *Toyota kata: Managing people for improvement, adaptiveness and superior results*. McGraw-Hill.
- Santamaria, C. (2020). *Data benutten voor circulaire consumptiegoederen: Hoe digitaliseringstechnologieën en data de overgang naar circulaire consumptiegoederen kunnen versnellen*. [Rapport]. Duurzaamheid.nl. Geraadpleegd op 29 mei 2023, van [https://duurzaamheid.nl/upload/artikelen/TAC/Data-benutten-voor-circulaire-consumptiegoederen\\_duurzaamheid.nl\\_maa-2021.pdf](https://duurzaamheid.nl/upload/artikelen/TAC/Data-benutten-voor-circulaire-consumptiegoederen_duurzaamheid.nl_maa-2021.pdf)
- Schöggel, J., Rusch, M., Stumpf, L., & Baumgartner, R. (2023). Implementation of digital technologies for a circular economy and sustainability management in the manufacturing sector. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 401–420.
- Schroeder, P., Anggraeni, K., & Weber, U. (2019). The relevance of circular economy practices to the Sustainable Development Goals. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 77–95.
- SER. (2021). *Digitalisering: kansen en risico's*. Geraadpleegd op 13 maart 2023, van <https://www.ser.nl/nl/thema/digitalisering/kansen-en-risicos>
- SER. (2022) *Evenwichtig sturen op de grondstoffentransitie en de energietransitie voor brede welvaart*. (Verkenning 22/06).
- Span, M., Gowdanakatte, S., Daily, J., Ray, I., & Shahroudi, K. E. (2022). *Systems thinking and model based systems engineering's utility to solve complex organizational problems - cyber-physi-*

*cal system design teams*. 8th IEEE International Symposium on Systems Engineering, Vienna, Austria, October 24–26.

- Spruit, M. (2010). *De riskante wereld van IT*. Geraadpleegd op 22 september 2023, van <http://www.marcelsspruit.nl/papers/Spruit%20-%20De%20riskante%20wereld%20van%20de%20IT%20-%202010.pdf>
- Stegeman, H. (2018). Van een circulaire economie worden we niet duurzamer. *RTL Nieuws*. Geraadpleegd op 13 maart 2023, van <https://www.rtlnieuws.nl/economie/column/3815121/van-een-circulaire-economie-worden-we-niet-duurzamer>
- Thelosen, S. (2018, 6 september). Raad van State waarschuwt: 'Digitalisering dreigt van overheid een onneembaar bastion te maken'. *De Volkskrant*. Geraadpleegd op 13 maart 2023, van <https://www.volkskrant.nl/nieuws-achtergrond/raad-van-state-waarschuwt-digitalisering-dreigt-van-overheid-een-onneembaar-bastion-te-maken-b91c21af/>
- Trevisan, A., Zacharias, I., Castro, C., & Mascarenhas, J. (2021). Circular economy actions in business ecosystems driven by digital technologies. *Procedia CIRP*, 100, 325–330.
- Van de Weijer, B. (2023, 12 augustus). Een Delftse tweeling van het stroomnet. *De Volkskrant*, B&W 22–23.
- Van Dijck, J. (2014). *Over digitalisering en het geesteswetenschappelijk onderzoek*. Groniek, 202, 93–103.
- Van Dijck, J., Poell, T., & De Waal, M. (2016). *De platformsamenleving: Strijd om publieke waarden in een onlinewereld*. Amsterdam University Press.
- Van Kollenburg, T. (2019). *Lean green belt: Verbeteren als praktische vaardigheid in de 21e eeuw*. Learning Lean.
- Verhage, B., & Visser M. (2022). *Grondslagen van de marketing*. (Tiende druk). Noordhoff.
- Versluys, H., & Vandenhaute, T. (2018). *Zo werkt de digitale circulaire economie: Casebook circular bytes*. Agoria & Sirris.
- Voulgaridis, K., Lagkas, T., Angelopoulos C.M., & Nikolettseas, S.E. (2022). IoT and digital circular economy: principles, applications, and challenges. *Computer Networks*, 219(18), art. 109456.
- Wijkman-Van Aalst, T. (2023, 11 augustus). Nederlands internetknooppunt verlaagt stroomgebruik datacenter met 85 procent. *NU.nl*. Geraadpleegd op 16 augustus 2023, van <https://www.nu.nl/tech/6276103/nederlands-internetknooppunt-verlaagt-stroomgebruik-datacenter-met-85-procent.html>
- Wilts, H., & Berg, H. (2017). The digital circular economy: can the digital transformation pave the way for resource-efficient materials cycles? *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 7(5), art. 555725.
- Womack, J., & Jones, D. (2013). *Handboek lean solutions*. Lean Management Instituut.
- Yang, S. (2020). *Turning data into strategic assets: A must-do of digital transformation for SMEs*. Hogeschool Rotterdam Uitgeverij.

## Over de auteur

Ton van Kollenburg – onderzoeker en ondernemer – helpt bedrijven al ruim dertig jaar met continu verbeteren, waarin waardecreatie, systeemdenken, interdisciplinair werken en respect voor de mens centraal staan. Tegenwoordig onderzoekt hij als lector bij Hogeschool Rotterdam en bij Avans Hogeschool de mogelijkheden om met continu verbeteren en digitalisering bedrijven duurzamer en meer circulair te maken en studenten hiertoe uit te rusten. Naast dit boek, behorend bij de openbare les, verschenen van zijn hand recent twee veel gebruikte studieboeken over *lean management*, te weten: *Lean orange belt* voor associate degree-opleidingen en *Lean green belt* voor bachelor-opleidingen. Intussen gebruiken tientallen opleidingen in Nederland deze boeken en worden ze ingezet bij *lean*-trainingen in meerdere landen in West-Europa. Bijzonder aan de aanpak is dat niet alleen bestaande *lean*-concepten aan bod komen, maar ook de combinatie met digitalisering en duurzaamheid. Ton studeerde Technische Bedrijfskunde in Eindhoven en promoveerde daar in 2003 binnen Technologie Management op het proefschrift 'Taakgroepen: duurzaam verbeteren?' Daarin volgde hij de teams van een farmaceutisch bedrijf gedurende tien jaar om te achterhalen hoe het concept van zelfsturing zich in de tijd ontwikkelt.

Naast zijn lectoraten en zijn activiteiten als mede-eigenaar van Protean Management Solutions is Ton voorzitter van het lectorenplatform Circulaire Economie (zie foto) en van het Lean Certification Platform.



# Eerdere uitgaven

Hogeschool Rotterdam Uitgeverij

---



## **Versterken van het curriculaire denken en werken binnen Hogeschool Rotterdam**

Auteur Dominique Sluijsmans

ISBN 9789493012417

Verschijningsdatum januari 2023

Aantal pagina's 94



## **In verband met taal**

Auteur Jacqueline van Kruiningen

ISBN 9789493012400

Verschijningsdatum januari 2023

Aantal pagina's 136



## **Zelfregulerend leren gaat niet vanzelf**

Auteur Patrick Sins

ISBN 9789493012424

Verschijningsdatum januari 2023

Aantal pagina's 124



## **Ontwerpen en produceren voor waardebehoud in een circulaire economie**

Auteur Marcel den Hollander

ISBN 9789493012363

Verschijningsdatum januari 2023

Aantal pagina's 89



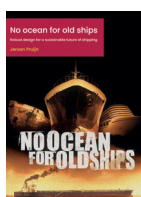
## **Energietransitie en circulariteit: onlosmakelijk met elkaar verbonden**

Auteur Dr. ir. Gijsbert Korevaar

ISBN 9789493012356

Verschijningsdatum januari 2023

Aantal pagina's 89



## **No ocean for old ships Robust design for a sustainable future of shipping**

Auteur Jeroen Pruijn

ISBN 9789493012387

Verschijningsdatum januari 2023

Aantal pagina's 51



## **Implementatie zorgtechnologie Samen zorgen dat het kan!**

Auteur Helma Kaptein

ISBN 9789493012349

Verschijningsdatum november 2022

Aantal pagina's 96



## **“Ik heb geen probleem”**

Auteur Arie de Wild

ISBN 9789493012370

Verschijningsdatum oktober 2022

Aantal pagina's 80



## **Cybersocial Design**

Auteur Anja Overdiek

ISBN 9789493012288

Verschijningsdatum juli 2022

Aantal pagina's 72



## **Civic Prototyping**

Auteur Tomasz Jaśkiewicz

ISBN 9789493012325

Verschijningsdatum juli 2022

Aantal pagina's 80



## **Topical Advertising: The Role of Timing and Creativity in Understanding Its Effectiveness**

Auteur Komala Mazerant-Dubois

ISBN 9789493012257

Verschijningsdatum mei 2022

Aantal pagina's 176



## **De professionele identiteit van de sociaal werker**

Auteur Leonie le Sage

ISBN 9789493012318

Verschijningsdatum januari 2022

Aantal pagina's 104

ISBN 9789493012332



## **Samen onderzoekend werken aan onderzoekskwaliteit**

Auteur Jeroen S. Rozendaal

ISBN 9789493012455

Verschijningsdatum november 2023

Aantal pagina's 124

