

Basisboek Ontwerpen



Noordhoff

Wim Zeiler

2^e druk

Basisboek Ontwerpen

Van Methodisch Ontwerpen
tot Circulair Ontwerpen

Wim Zeiler

Tweede druk

Noordhoff Groningen/Utrecht

Ontwerp omslag: Shootmedia

Omslagillustratie: Mattes René/Hemis/Alamy Stock Photo

Eventuele op- en aanmerkingen over deze of andere uitgaven kunt u richten aan:
Noordhoff bv, Afdeling Hoger Onderwijs, Antwoordnummer 13, 9700 VB Groningen
of via het contactformulier op www.mijnnoordhoff.nl.

De informatie in deze uitgave is uitsluitend bedoeld als algemene informatie. Aan deze informatie kunt u geen rechten of aansprakelijkheid van de auteur(s), redactie of uitgever ontleen.



0 / 22

© 2022 Noordhoff Uitgevers bv Groningen/Utrecht, The Netherlands.

Deze uitgave is beschermd op grond van het auteursrecht. Wanneer u (her)gebruik wilt maken van de informatie in deze uitgave, dient u vooraf schriftelijke toestemming te verkrijgen van Noordhoff Uitgevers bv. Meer informatie over collectieve regelingen voor het onderwijs is te vinden op www.onderwijsauteursrecht.nl.

This publication is protected by copyright. Prior written permission of Noordhoff Uitgevers bv is required to (re)use the information in this publication.

ISBN(ebook) 978-90-01-57524-3

ISBN 978-90-01-57523-6

NUR 978

Woord vooraf bij de tweede druk

'If I have seen further than others, it is because I was standing on the shoulders of giants.'

— Isaac Newton

De doelstelling van het boek *Methodisch ontwerpen* – het aanbieden van een in de praktijk en in het hoger onderwijs algemeen toepasbare methodische aanpak bij het ontwerpen – staat nog altijd overeind in dit nieuwe *Basisboek Ontwerpen, Van Methodisch Ontwerpen tot Circulair Ontwerpen*. In het technisch onderwijs wordt terecht veel aandacht besteed aan de constructieve uitwerking van een ontwerp, maar het is belangrijker om te weten hoe je een goed ontwerp tot stand brengt en of het werkelijk een optimale duurzame oplossing voor de ontwerp-opgave biedt. Om deze vragen te kunnen beantwoorden is het gebruik van een ontwerp-methode van groot belang.

De in deze nieuwe uitgave beschreven methodische aanpak is gebaseerd op het gedachtegoed van prof. dr. ir. H.H. van den Kroonenberg, die van 1972 tot 1991 hoogleraar Ontwerp- en constructieleer was aan de faculteit der Werktuigbouwkunde van de Universiteit Twente, en op het vele werk van ir. F.J. Siers om het gedachtegoed van Van den Kroonenberg steeds verder te brengen. Een van de onderwerpen die in de eerste uitgave onvoldoende belicht is, is het aspect duurzaamheid. Van den Kroonenberg was op dit gebied een van de pioniers met zijn onderzoek naar non-waste technology. Non-waste technology is hierbij gedefinieerd als (Van den Kroonenberg, 1994): 'the practical application of knowledge, methods and means so as within the needs of Man to provide the most rational use of natural resources and energy and to protect the environment'. Hierbij was de link met het onderwijs van groot belang. Hij zag het methodisch ontwerp-proces als relevant om de aspecten van non-waste technology systematisch te ordenen. Maar dit proces is meer dan alleen een systematische benadering van ontwerp-opgaven. Het kan ook gebruikt worden om creativiteit te stimuleren, die noodzakelijk is om te komen tot nieuwe oplossingen binnen de non-waste technology. Ook past de methodische aanpak prima bij het huidige circulaire ontwerpen, dat nodig is om de noodzakelijke duurzaamheidsdoelstellingen te realiseren.

Van den Kroonenberg was bij alles wat hij deed gericht op innovatie. In 1989 werd hij directeur van het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) te Petten, waar hij heeft bijgedragen aan de ontwikkeling van toepassingen op het gebied van duurzame energie. Verder was hij de vader van de 'ondernemende universiteit'. Hiermee bedoelde hij dat de universiteit zich moest 'verbreden tot een instelling die inspeelt op de vragen en be-

hoeften van de samenleving waarbij vernieuwde middelen en risico's niet uit de weg moeten worden gegaan'.

De doelstelling van *Basisboek Ontwerpen* is het methodisch ontwerpen zodanig te introduceren dat het beter geschikt is voor zelfstudie. Als student moet je je tegenwoordig vaak zelf de kennis eigen maken en direct toepassen in je ontwerp opdrachten. Daarnaast wordt in deze uitgave de verbinding gelegd van methodisch ontwerpen (individueel) naar integraal ontwerpen (groepsgewijs) en circulair ontwerpen (toekomstgericht).



Op de website bij dit boek – www.basisboekontwerpen.noordhoff.nl – zijn voor jou als student extra oefenmateriaal en enkele aanvullende tabellen te vinden. Voor de docent is er ondersteunend materiaal beschikbaar. Als gebruiker van het *Basisboek Ontwerpen* maak je kennis met een methodische ontwerpaanpak. Je kunt vervolgens zelf beoordelen welke bestanddelen van het methodisch ontwerpproces voor jou bruikbaar zijn en welke minder. Methodisch ontwerpen laat namelijk ruimte voor de individuele ontwerpaanpak die elke gevorderde ontwerper in de praktijk ontwikkeld heeft. Voor ervaren ontwerpers biedt dit boek een overzicht van methoden en structuur ter ondersteuning van hun vaardigheden.

Het voordeel van de aangeboden ontwerp methode is dat je deze kunt gebruiken zonder dat ze expliciet gedoceerd en aangeleerd wordt. Zo kun je jouw ontwerp opgaven systematisch aanpakken en volbrengen, ook al zijn ze geheel nieuw. Dit maakt het mogelijk om je eigen aanpak verder te ontwikkelen en deze in nieuwe situaties doeltreffend toe te passen. Je kunt je kennis verder uitbreiden met behulp van het overzicht van te bestuderen en te onderzoeken gebieden dat tijdens het ontwerpproces ontstaat. Op die manier krijg je steeds meer inzicht in de verbanden binnen en de samenhang tussen de verschillende vakgebieden.

Methodisch ontwerpen kun je beslist niet zien als een voorschrift of recept dat er altijd voor zorgt dat je tot een goed ontwerp komt. Succes is niet verzekerd en is van veel factoren afhankelijk. Methodisch ontwerpen geeft je echter wel de mogelijkheid om op een vaste, doordachte wijze te werk te gaan. Daarmee vergroot je de kans dat je het ontwerpproces daadwerkelijk met een goed ontwerp beëindigt.

Omdat deze tekst een herziening is, worden hierin nog de APA-regels van de zesde editie toegepast.

Graag wil ik hierbij mijn dank uitspreken aan de leden van de leescommissie en enkele anderen voor hun feedback, bijdragen, voorbeelden en support: Dick Mulder (Saxion University of Applied Sciences, Academie Life Science, Engineering & Design, Werktuigbouwkunde, Enschede), Marten Wiersma en Harm Grijpstra (Hanzehogeschool, Groningen), Jan Verdonschot (Fontys Hogescholen Engineering (Wtb), Eindhoven), Guus Docters van Leeuwen (Haagse Hogeschool Academie TIS, Delft), Sjoerd Timmermans, Jan Veninga en Jeroen van Elburg (HAN University of Applied Sciences, Arnhem). Ook wil ik graag Hylke Crone, Dirk-Jan Verheijden en Steve Landuit bedanken voor de toestemming om delen van hun teksten te gebruiken.

Oosterhout, voorjaar 2022
Wim Zeiler

Inhoud

Inleiding 8

- 1 Duurzaamheid: waarom, wat, wanneer en hoe? 13**
 - 1.1 Het belang van duurzaamheid 15
 - 1.2 Duurzaamheid 17
 - 1.3 De maatschappelijke relevantie van duurzaamheid 18
 - 1.4 Het historisch perspectief van duurzaamheid 19
 - 1.5 Waarom van Industrie 4.0 naar Duurzaamheid 4.0 naar Ontwerpen 4.0? 21
 - Samenvatting 25
 - Opgaven 26

- 2 Het proces van samenwerken 29**
 - 2.1 Samenwerken 30
 - 2.2 Het team als basis 33
 - Samenvatting 43
 - Opgaven 44

- 3 Ontwerpen: waarom, wat, wanneer en hoe? 47**
 - 3.1 Werken vanuit de ontwerpogave 49
 - 3.2 Het economisch belang van ontwerpen 49
 - 3.3 Wat is ontwerpen? 55
 - 3.4 De maatschappelijke relevantie van ontwerpen 56
 - 3.5 Het historisch perspectief van methodisch ontwerpen 57
 - 3.6 Methodisch ontwerpen 63
 - Samenvatting 74
 - Opgaven 76

- 4 Fase 1: probleemdefinitie 79**
 - 4.1 Analyse: vooronderzoek en het programma van eisen (stap 1.1) 81
 - 4.2 Synthese: werkwijzen en functies (stap 1.2) 95
 - 4.3 Functie, functieanalyse en functieboom 101
 - 4.4 Black box en MEI 109
 - 4.5 Het hamburgermodel als alternatief voor het bepalen van functies 119
 - 4.6 Kiezen van een functieblokschema (stap 1.3) 130
 - 4.7 Uitwerken van een definitief functieblokschema (stap 1.4) 135
 - Samenvatting 140
 - Opgaven 141

- 5 Fase 2: bepalen van de werkwijze 143**
 - 5.1 Opzetten van een morfologische kaart (stap 2.1) 144
 - 5.2 Genereren van werkwijzen (stap 2.2) 151
 - 5.3 Kiezen van combinaties van werkwijzen (stap 2.3) 156

- 5.4 Vormgeven van combinaties van werkwijzen tot structuren (stap 2.4) [161](#)
- 5.5 Voorbeelden van de werkwijzebepalende fase [165](#)
 - [Samenvatting 174](#)
 - [Opgaven 175](#)

- 6 Fase 3: bepalen van de keuze 177**
 - 6.1 Analyseren van de structuren (stap 3.1) [178](#)
 - 6.2 Genereren van de beoordelingscriteria (stap 3.2) [179](#)
 - 6.3 Evalueren met het S-diagram: de Kesselringmethode (stap 3.3) [187](#)
 - 6.4 Uitwerken van de verbetermogelijkheden (stap 3.4) [194](#)
 - 6.5 Voorbeelden van de keuzebepalende fase [196](#)
 - [Samenvatting 213](#)
 - [Opgaven 214](#)

- 7 Fase 4: vormgeving 219**
 - 7.1 Structuur (stap 4.1) [221](#)
 - 7.2 Overzicht van systeemelementen en materiaalkeuze (stap 4.2) [222](#)
 - 7.3 Evalueren en bepalen van de vorm (stap 4.3) [223](#)
 - 7.4 Van vorm naar fabricagedetails (stap 4.4) [230](#)
 - [Samenvatting 234](#)
 - [Opgaven 235](#)

- 8 Voorbeelden 237**
 - 8.1 Automatisch plaatsen van vangrails [238](#)
 - 8.2 Ontwerpen van een motorheftafel [245](#)
 - 8.3 Ontwerpen van een traplift [261](#)
 - 8.4 Ontwerpen van een kantenmaaier [270](#)
 - 8.5 Ontwerpen van een knoflookverkleiner [277](#)
 - 8.6 Ontwerpen van een barbecue [282](#)
 - 8.7 Ontwerp van een offshore hijsinrichting [294](#)
 - 8.8 Ontwerpen van een gevel met installaties [300](#)
 - 8.9 Ontwerpen van een inschietapparaat voor Slimmy's [312](#)
 - 8.10 Ontwerpen van een verpakkingsmachine [318](#)

- 9 Doelstelling 325**
 - 9.1 Analyse van de behoefte(n) [327](#)
 - 9.2 Analyse van de context [344](#)
 - 9.3 Technische analyse [354](#)
 - 9.4 Formuleren van doelstelling(en) [359](#)
 - 9.5 Haalbaarheidsstudie [366](#)
 - 9.6 Quality Function Deployment (QFD) [368](#)
 - 9.7 Andere methoden [375](#)
 - [Samenvatting 392](#)
 - [Opgaven 393](#)

10 Oplossingen 395

- 10.1 Conventionele manieren om oplossingen te zoeken 396
 - 10.2 Logische methoden om oplossingen te zoeken 405
 - 10.3 Intuïtieve methoden om oplossingen te zoeken 412
 - 10.4 TRIZ 441
 - 10.5 Diverse methoden om ideeën te zoeken door uit te zoomen 445
 - 10.6 Diverse methoden om oplossingen te zoeken door te provoceren 451
- Samenvatting 460
Opgaven 461

11 Kiezen 463

- 11.1 De omslag van divergeren naar convergeren 464
 - 11.2 Diverse methoden voor het beoordelen van en kiezen tussen concepten 466
 - 11.3 Waardeanalyse (WA) 485
 - 11.4 Diverse methoden voor het creëren van draagvlak voor de gekozen oplossingen 494
- Samenvatting 499
Opgaven 500

12 Design for X 503

- 12.1 Perspectief Gebruiker 504
 - 12.2 Perspectief Kwaliteit 508
 - 12.3 Perspectief Product 512
- Samenvatting 546
Opgaven 547

13 Van Design for Environment naar circulair ontwerpen 549

- 13.1 Design for Environment (DfE) 550
 - 13.2 Levenscyclusanalyse (LCA) 562
 - 13.3 Cradle-to-cradle (C2C) 568
 - 13.4 Circulair ontwerpen 571
- Samenvatting 589
Opgaven 590

14 Hoe nu verder? 593

- 14.1 Van concurrent engineering naar collaborative approach 595
 - 14.2 Integraal ontwerpen 599
 - 14.3 De toekomst van het ontwerpen: de C-K-theorie 609
 - 14.4 Epiloog 619
- Samenvatting 620
Opgaven 621

Literatuurlijst 622

Illustratieverantwoording 634

Register 635

Over de auteur 641

Inleiding



Tijdens de ruimtevlucht van de Apollo 8 in 1968 werd een van de meest legendarische foto's van onze planeet gemaakt.

Meer dan vijftig jaar geleden, op kerstavond 1968, maakte de Amerikaanse astronaut Bill Anders aan boord van de Apollo 8 een foto van het maanoppervlak met heel in de verte, in een dreigend pikzwart heelal, de planeet aarde. Deze iconische foto is later 'de meest invloedrijke milieufoto ooit' genoemd.

Astronaut Wubbo Ockels was de eerste Nederlander in de ruimte. Wat hij daar voelde, de enorme kwetsbaarheid van de aarde, bleef hem zijn leven lang bij: 'Wij mensen zijn astronauten van Ruimteschip Aarde en zoals het astronauten betaamt, moeten wij goed zorgen voor ons schip. Want anders gaan we dood. Immers, buiten ons schip is geen leven. Het is tijd voor actie.' (Ockels 2014)

André Kuipers had als astronaut een soortgelijke ervaring toen hij de aarde vanuit de ruimte zag. Hij besepte toen pas goed dat we met zijn allen op

een heel mooi, maar ook uiterst kwetsbaar klein bolletje leven. De blik op de aarde vanuit de ruimte en de psychologische impact daarvan op astronauten staat bekend als het overview-effect. Dat is iets wat wij als gewone mensen moeten missen. Maar in de verschillende lezingen van Ockels en Kuipers die ik mocht bijwonen is de boodschap toch helder overgekomen: zonder duurzaamheid geen toekomst. Vandaar de centrale plaats voor duurzaamheid in dit boek.

In de toekomst zullen de nodige problemen op ons afkomen wat betreft schaarste aan grondstoffen, eten, water en een gezonde leefomgeving. Met het oog hierop is het belangrijk dat we onze producten op een andere en betere manier gaan ontwerpen. Belangrijk is dan ook dat de nieuwe generatie ontwerpers beter toegerust is om de oplossingen te vinden die nodig zijn in het spanningsveld tussen economie en duurzaamheid. De nieuwe generatie ontwerpers heeft de sleutel in handen naar een duurzame toekomst.

‘Sometimes it falls upon a generation to be great, you can be that great generation.’

— Nelson Mandela

Maak gebruik van onbekende mogelijkheden, zoek nieuwe wegen. Verlaat de platgetreden paden, want daarop zul je alleen maar uitglijden. Ga de uitdaging aan om uit het oneindige aantal mogelijkheden de goede te vinden. Wellicht kan dit boek je daarbij helpen.

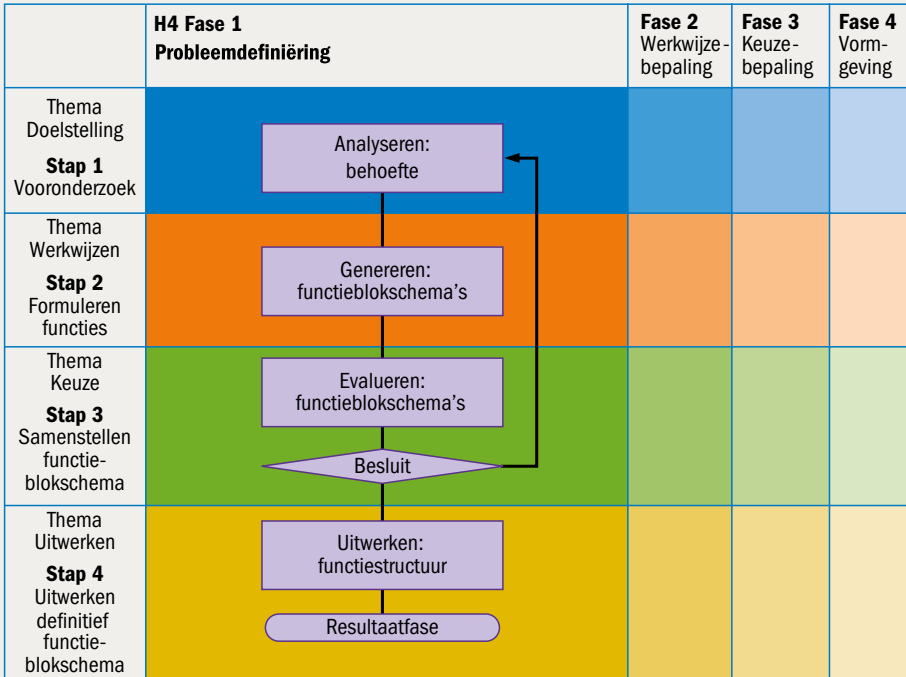
Indeling van het boek

Basisboek Ontwerpen bevat veertien hoofdstukken. Het begint met een hoofdstuk over het waarom, wat, wanneer en hoe van ontwerpen. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 een deel van de geschiedenis van het ontwerpen beschreven, als aanloop naar de beschrijving van het methodisch ontwerpproces in de hoofdstukken 4 tot en met 7.

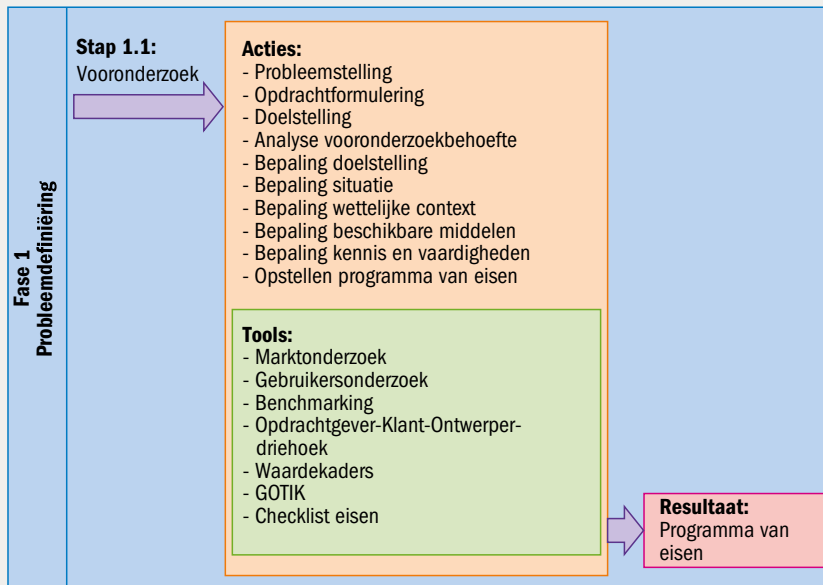
Methodisch ontwerpen bestaat uit vier fasen. Deze fasen worden uitgediept in de opvolgende hoofdstukken. Daarna volgt een hoofdstuk met voorbeelden (hoofdstuk 8).

In het begin van de fasehoofdstukken wordt steeds eerst de hoofdstructuur weergegeven, waarna in de paragrafen de verschillende stappen van de betreffende fase worden behandeld. De acties en de tools die daarvoor ingezet kunnen worden, staan per stap in een schema vermeld. Voorbeelden hiervan zie je in de figuren 0.1 (hoofdstructuur) en 0.2 (schema van één stap).

FIGUUR 0.1 Voorbeeld van de hoofdstructuur per hoofdstuk (hoofdstuk 4, Probleemdefinitie)



FIGUUR 0.2 Schema bij stap 1.1 Vooronderzoek



Na de vier fasehoofdstukken en de voorbeelden in hoofdstuk 8 volgen vier themahoofdstukken. Hierin worden extra methoden aangereikt die je kunt benutten binnen het raamwerk van het methodisch ontwerpen. Deze helpen je om van doelstelling, oplossingen, kiezen naar uitwerking te komen. In hoofdstuk 13 wordt specifiek de nadruk gelegd op het circulair ontwerpen richting 2050. Tot slot wordt in hoofdstuk 14 een nieuwe methode aangereikt, die het ontwerpen op een geheel andere wijze benadert en wellicht een nieuwe richting voor de toekomst van het ontwerpen kan zijn.

Ieder hoofdstuk begint met een opsomming van de paragraaftitels, een lijst met vragen die in het hoofdstuk worden beantwoord en een beknopte introductie van de inhoud.

Op de website bij dit boek – www.basisboekontwerpen.noordhoff.nl – vind je extra oefenmateriaal, voorbeelden en enkele aanvullende tabellen.



Gebruik van het boek

Je kunt *Basisboek Ontwerpen* op verschillende manieren gebruiken:

- a chronologisch
- b meteen aan de slag
- c beginnen met methodisch ontwerpen
- d als naslagwerk

Ad a Chronologisch

Je leest eerst over het ontwerpen en het belang daarvan in de geschiedenis. Vanuit deze context lees je over het methodisch ontwerpen en kun je jezelf deze methode eigen maken door de vier fasehoofdstukken en de voorbeelden in hoofdstuk 8 te bestuderen. Nadat je je het methodisch ontwerpen eigen hebt gemaakt, ontdek je in de themahoofdstukken welke methoden er nog meer zijn. Deze kunnen je in een van de fasen verder helpen.

Ad b Meteen aan de slag

Je gaat meteen aan de slag met ontwerpen en probeert aan de hand van de voorbeelden in hoofdstuk 8 het ontwerpproces op te zetten. Als je er-gens vastloopt, zoek je in het betreffende fasehoofdstuk naar meer informatie en achtergronden.

Ad c Beginnen met methodisch ontwerpen

Je begint met hoofdstuk 3. Daarna lees je de vier fasehoofdstukken en het hoofdstuk met voorbeelden (hoofdstuk 8).

Ad d Gebruik als naslagwerk

Als je je de methode van het methodisch ontwerpen eigen hebt gemaakt, bieden met name de themahoofdstukken je een goed overzicht van andere ondersteunende methoden bij de volgende specifieke thema's: het formuleren van een doelstelling, het genereren van oplossingen, de keuze van technieken, de uitwerking en het integraal ontwerpen.

‘Designers are becoming central to addressing the large ambiguous problems of our time. Whether the arena is health care, economic development, learning, or public policy, design methods are helping solve seemingly impossible problems.’

— Patrick Whitney

1

Duurzaamheid: waarom, wat, wanneer en hoe?

- 1.1 Het belang van duurzaamheid
- 1.2 Duurzaamheid
- 1.3 De maatschappelijke relevantie van duurzaamheid
- 1.4 Het historisch perspectief van duurzaamheid
- 1.5 Waarom van Industrie 4.0 naar Duurzaamheid 4.0 naar Ontwerpen 4.0?

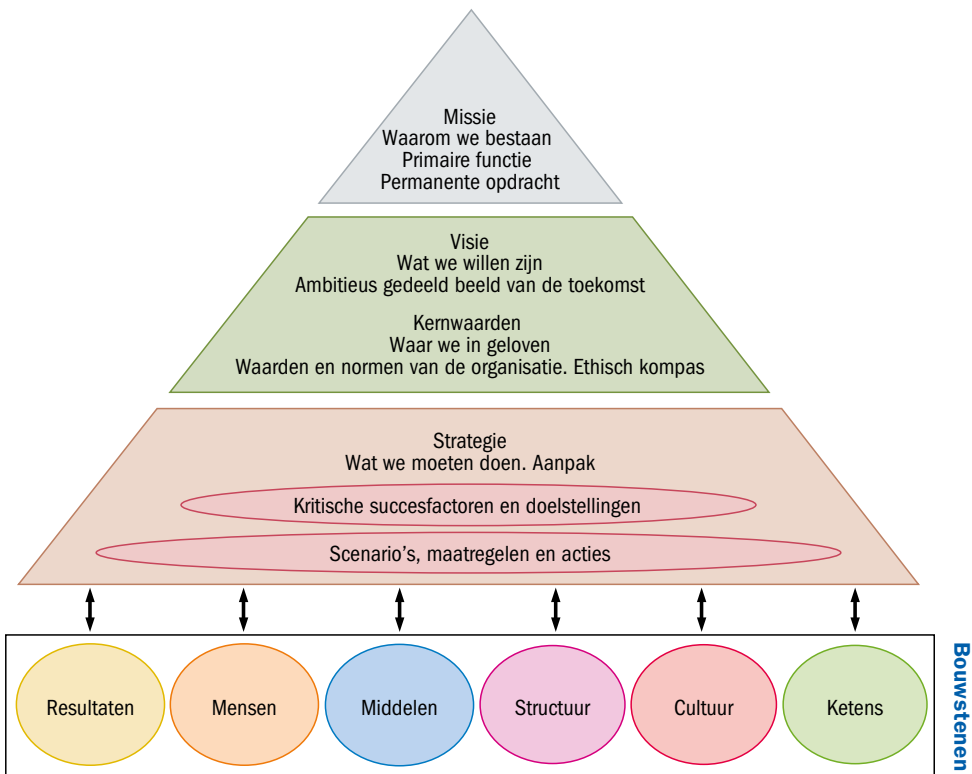
Hoewel het ver van je af lijkt te staan als je aan de slag wilt met een ontwerp, is het juist dan belangrijk om even een stap terug te doen en na te denken over jouw ontwerpvisie. Hoe wil je tot een effectief ontwerp komen? Hiervoor is het belangrijk om eerst even na te denken over hoe je het wilt aanpakken: je strategie. Het fundament voor een strategie wordt gevormd door een missie en een visie. Dit geldt voor organisaties, maar ook voor jou als persoon. Missie en visie beschrijven de bestaansreden van een organisatie en het gemeenschappelijke toekomstbeeld. Het helpt jou als ontwerper ook om daarover na te denken. Waarom je bestaat, je primaire functie als ontwerper en je permanente opdracht. Je kunt hierbij denken aan proberen de wereld duurzamer te maken en nieuwe oplossingen te bedenken. In dit hoofdstuk zul je zien dat duurzaamheid een essentieel onderdeel dient te zijn van jouw visie.

‘When we dream alone, it is a dream. When we dream together, it is no longer a dream, but the beginning of reality.’

— Steve Denning (2001)

Wat wil je zijn, wat beschouw je als jouw kernwaarden? Als je dat weet wordt het gemakkelijker om een strategie te kiezen. Die kun je verder ontwikkelen en zo bepalen wat je daarvoor het best kunt doen met de beschikbare bouwstenen, zoals in figuur 1.1 is weergegeven (Nieuwenhuis, 2017). Als je weet wat je wilt doen, kun je nadenken over je doelstellingen en de bijbehorende kritische succesfactoren. Wat maakt je uniek? Wat is cruciaal voor succes? Wat is van doorslaggevend belang voor succes? Wat zijn je benodigde kerncompetenties? Doelstellingen kun je uitwerken in scenario's, maatregelen, interventies of verbeteracties, waarmee je concreet uitwerkt wat je gaat doen om de voorgenomen resultaten te bereiken. De kans van slagen neemt toe als je een duidelijke missie, visie en strategie hebt (Ondernemersplein, 2020). Bedenk waar je goed in bent, dus wat je te bieden hebt aan opdrachtgevers. Als ontwerper werk je immers altijd voor opdrachtgevers.

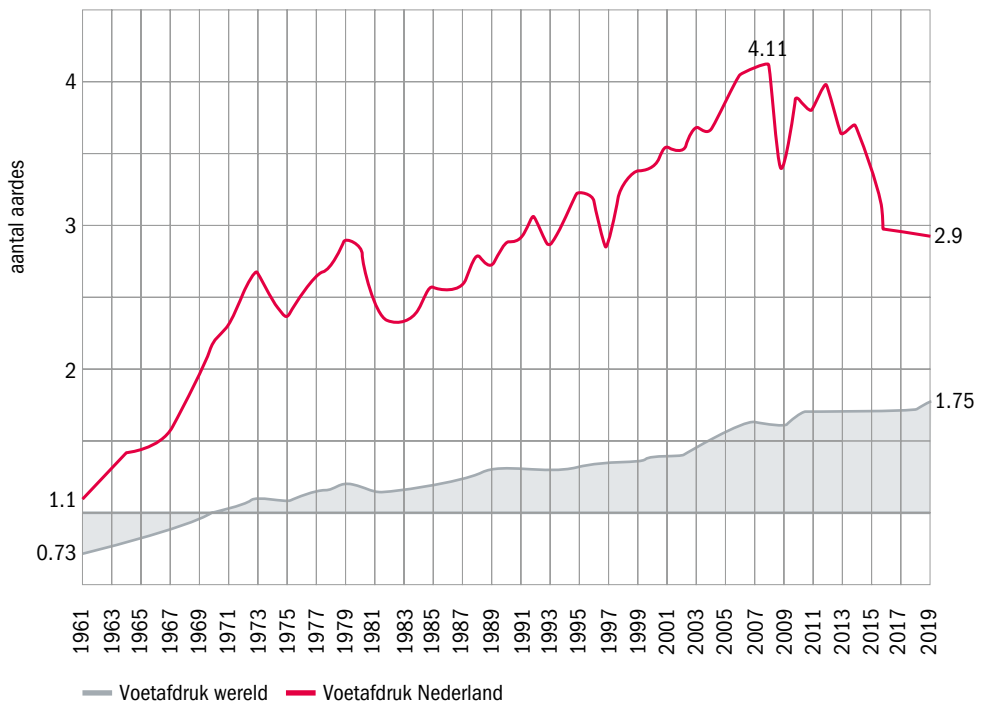
FIGUUR 1.1 De samenhang tussen missie, visie en strategie (Nieuwenhuis, 2017)



1.1 Het belang van duurzaamheid

Zonder duurzaamheid geen toekomst. Dat wordt steeds duidelijker nu de grenzen aan onze groei zichtbaar worden door de effecten van de opwarming van de aarde en de uitputting van bepaalde grondstoffen. Onderzoekorganisatie Global Footprint Network definieert de Earth Overshoot Day als het moment in het jaar waarop mensen wereldwijd al meer voedsel en natuurlijke hulpbronnen hebben gebruikt dan de aarde in dat jaar kan voortbrengen (Rottinghuis, 2019). Vanaf die dag wordt er voor de rest van het jaar ingeteerd op de reserves van de planeet. Dit omslagpunt valt steeds vroeger in het jaar: in 2019 al op 29 juli. De uitputting van de aarde leidt tot minder biodiversiteit en meer CO₂ in de atmosfeer, ontbossing en bodemerosie. Nederland scoort slecht. Als iedereen op aarde zou leven zoals een Nederlander, dan zijn er volgens het Global Footprint Network 2,9 aardes nodig (zie figuur 1.2). Maar sinds 2008 boeken we als Nederlanders wel vooruitgang. Toen stond het jaarlijks verbruik nog gelijk aan 4,11 aardes. We zijn op de goede weg met energie- en milieumaatregelen, maar we zijn er nog lang niet.

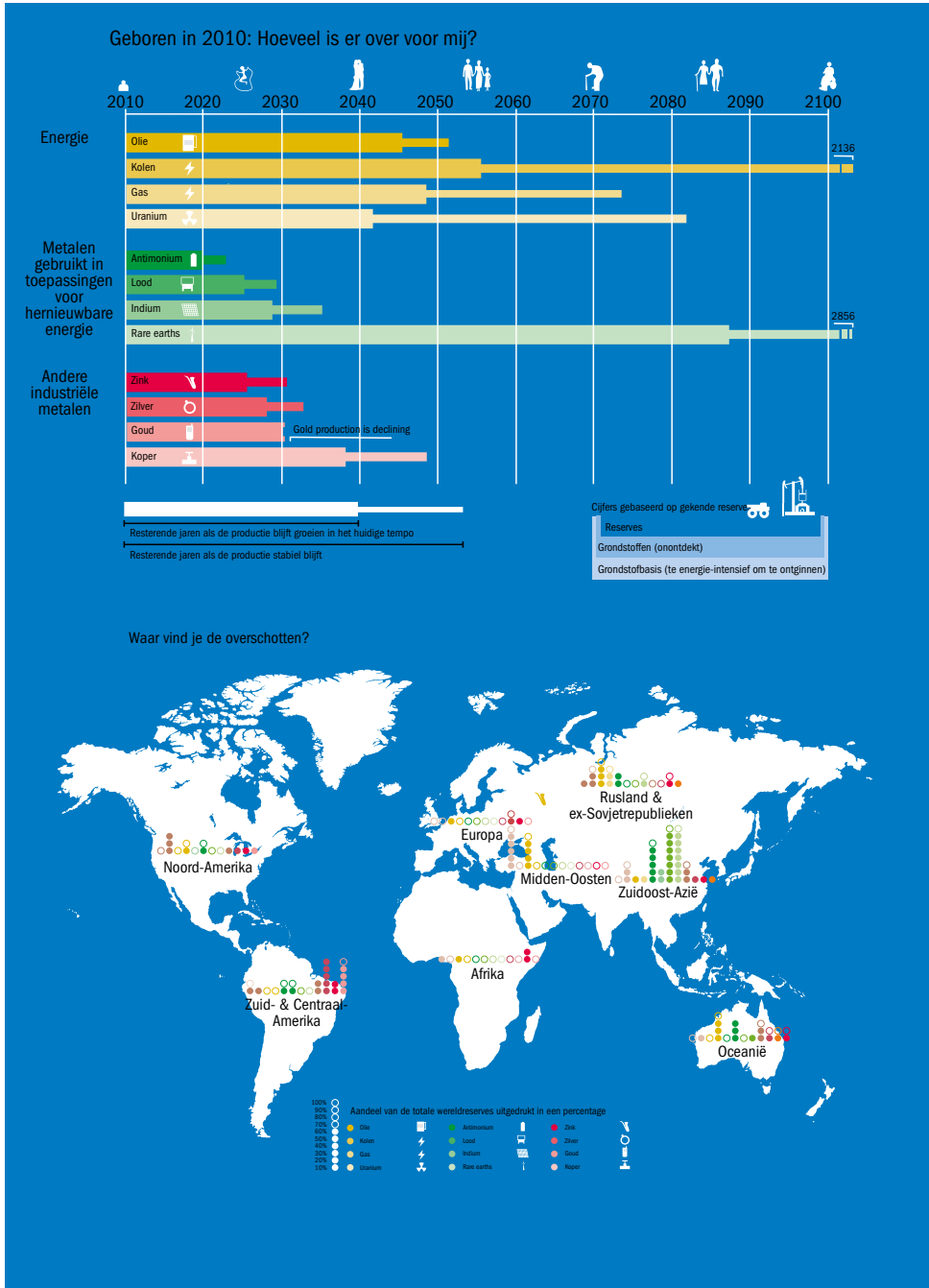
FIGUUR 1.2 Wereldwijde voetafdruk in benodigde aardes (Rottinghuis, 2019)



De vraag naar grondstoffen blijft stijgen terwijl het ontginnen en het vinden van nieuwe bronnen steeds moeilijker wordt. Op de lange termijn worden sommige cruciale ruwe grondstoffen schaars en duur. Hoelang de voorraden van enkele belangrijke grondstoffen nog meegaan is daarom een belangrijk aspect bij het ontwerpen. De grafiek in figuur 1.3 (VC, 2020) geeft je een overzicht dat is gegroepeerd naar toepassing: energie, de overgang

naar hernieuwbare energie en andere industriële metalen. Het geeft je een beeld van de afhankelijkheid van de economie van de import uit andere continenten waardoor het transport zal toenemen.

FIGUUR 1.3 Overzicht reserves aarde gegroepeerd volgens toepassing: energie, de overgang naar hernieuwbare energie en andere industriële metalen (VC, 2020)



Als ontwerper heb je invloed op het energie- en materiaalgebruik, de uitstoot van CO₂, gezondheid en welzijn en watergebruik van jouw producten. Er ontstaat steeds meer druk om deze problemen aan te pakken en positief te veranderen door nieuwe oplossingen die een duurzamere samenleving kunnen opleveren. Als lid van die samenleving heb je als ontwerper een morele verplichting ten opzichte van de samenleving om je kennis te gebruiken om duurzaamheid positief te beïnvloeden. Immers, alleen met jouw betrokkenheid en visie kun je oplossingen voor duurzaamheid bieden die nodig zijn.

1.2 Duurzaamheid

Wat wordt nu eigenlijk bedoeld met het begrip 'duurzaam'? Begrippen als 'milieuvriendelijk' en 'duurzaam' zijn populair om producten mee aan te prijzen omdat ze een positieve sfeer oproepen. Maar wat houdt 'duurzaam' nu werkelijk in? In *Van Dale* (2020) vind je:

duur-zaam (bijvoeglijk naamwoord, bijwoord; vergrotende trap: *duurzamer*, overtreffende trap: *duurzaamst*)

- 1 lang durend: *een duurzame vrede*
- 2 weinig aan slijtage of bederf onderhevig: *eikenhout is duurzaam*
- 3 het milieu weinig belastend: *duurzame energie* wind, zon, waterkracht enz.; *duurzaam produceren*

Vroeger werd het begrip 'duurzaam' omschreven als 'lang durend' of 'weinig aan slijtage onderhevig'. Nu is het begrip 'duurzaamheid' (Engels: *sustainability*) gelinkt met zorgvuldig handelen voor de toekomst. Daarom spreekt men ook van 'duurzame ontwikkeling' (Engels: *sustainable development*, Frans: *développement durable*, Duits: *nachhaltige Entwicklung*).

Hibertad (www.hibertad.nl), een onafhankelijke stichting die zich richt op duurzaamheid, gebruikt het Afrikaanse woord voor duurzaam: *volhoudbaarheid*.

In 'volhoudbaarheid' zitten de begrippen 'volhouden', 'houden van' en 'houdbaar'.

Duurzaamheid is een containerbegrip geworden en wordt als marketing-term veel misbruikt. Daardoor heeft het aan waarde verloren. Dat is jammer, want duurzame ontwikkeling is belangrijker dan ooit. In de kern gaat duurzaamheid over hoe we het met zijn allen op aarde kunnen volhouden zodat volgende generaties niet hoeven in te boeten op de kwaliteit van leven. Als ontwerper werkzaam voor producenten en gebruikers van producten en gebouwen dien je je dus af te vragen in hoeverre je integraal gezien bijdraagt aan een duurzame ontwikkeling, of in elk geval geen schade daaraan berokkent. Door middel van duurzame ontwikkeling zorg je ervoor dat wij het nu naar ons zin hebben, én je let erop dat de mensen die na ons komen ook nog goed kunnen leven. Bij duurzaamheid maak je altijd de afweging tussen 'nu' en 'later': 'Meeting today's needs while protecting tomorrow's'. De achtergrond is ook dat je de aarde niet geërfd hebt van je ouders, maar dat je deze slechts te leen hebt van je kinderen.

1.3 De maatschappelijke relevantie van duurzaamheid

Naast het creëren van directe economische en maatschappelijke waarde worden ontwerpers ook steeds meer betrokken bij het oplossen van verschillende grote maatschappelijke problemen op het gebied van duurzaamheid:

- a grondstoffenschaarste
- b energieproblematiek
- c milieuproblematiek

De nieuw te ontwerpen producten moeten immers bijdragen aan een duurzamer milieu en een duurzamere samenleving. Hierin kun je als ontwerper een wezenlijke rol spelen.

Ad a Grondstoffenschaarste

De toenemende schaarste aan grondstoffen eist van jou als ontwerper dat je ontwerpt op minimaal materiaalverbruik. Je moet je richten op een optimale levensduur van de technische inrichtingen, en als het onvermijdelijke einde komt, moet via recycling een groot gedeelte van de gebruikte materialen worden teruggewonnen. Op deze manier draag je bij aan een duurzaam grondstoffengebruik. Dit heeft onvermijdelijk invloed op de eisen die aan moderne technische inrichtingen worden gesteld.

Recycling

Ad b Energieproblematiek

In de westerse samenleving gebruiken mensen steeds meer energie. Hierdoor is het probleem van *global warming* ontstaan en is de noodzaak om nieuwe duurzame energiebronnen te vinden toegenomen. Deze nieuwe energiebronnen moeten veilig en niet milieubelastend zijn. Het energieverbruik zal verder toenemen, vooral in de ontwikkelingslanden, waar naar verwachting een sterke groei van de bevolking gepaard zal gaan met een nog sterker groeiend energieverbruik per persoon.

Duurzame energievoorziening

Er wordt naar gestreefd om te komen tot een duurzame energievoorziening. De gebouwde omgeving moet bijvoorbeeld in 2050 energieneutraal zijn, terwijl nu 40% van al onze gebruikte energie naar de gebouwde omgeving gaat. Grote veranderingen zijn noodzakelijk, dus zijn er veel nieuwe producten nodig. Als ontwerper moet je streven naar oplossingen waarbij zuinig met energie en materialen wordt omgesprongen, zowel bij de fabricage als tijdens en na het gebruik. De energieproblematiek legt een aparte verantwoordelijkheid bij jou als ontwerper.

Ad c Milieuproblematiek

Nauw verbonden met de problemen rond energie- en grondstoffengebruik is de milieuproblematiek. Door gebruik van energie en grondstoffen ontstaan zeer verschillende afvalproducten. Allerlei bijverschijnselen tijdens het maken, gebruiken en afdanken van producten geven ook problemen. Voorbeelden hiervan zijn vooral de verzuring van het milieu door droge en natte depositie van zwavel- en stikstofoxiden ('zure regen'), het broeikas-effect als gevolg van CO₂-uitstoot en het gat in de ozonlaag als gevolg van het vrijkomen van cfk's.

Van jou als ontwerper wordt verwacht dat je je bij het ontwerpen bewust bent van alle mogelijke bijverschijnselen die je producten kunnen veroorzaken. Ook moet je rekening houden met de mogelijkheid van verwijdering van technische producten als ze buiten gebruik worden gesteld. Ketenbeheer – de integrale aandacht voor de gehele levenscyclus van een product – is een belangrijk aspect bij het ontwerpen van producten.

Ketenbeheer

1.4 Het historisch perspectief van duurzaamheid

Duurzaamheid was pakweg zestig jaar geleden nog nauwelijks een issue. Geleidelijk is het een van de belangrijkste onderwerpen geworden, misschien zelfs wel het belangrijkste onderwerp. Het besef dat je duurzaam met de aarde moet omgaan is niet zomaar ontstaan. Daar is een heel proces aan voorafgegaan. Belangrijk hierbij is *De Club van Rome*, een in 1968 opgerichte denktank van onafhankelijke wetenschappers die op basis van modellen de langetermijngevolgen van onbeperkte groei, onbeperkte consumptie en onbeperkt verbruik van grondstoffen doorrekenen. In het rapport dat deze club in 1972 uitbracht waarschuwde zij er al voor dat de overbelasting van de aarde niet te lang kon doorgaan. Het rapport 'The Limits to growth: a global challenge' heeft grote invloed gehad op het milieubewustzijn. Deze studie, waarin de uitputtingsproblematiek centraal staat, gaat uit van de actuele groeitrend van de wereldbevolking, industrialisatie, vervuiling, voedselproductie en uitputting van natuurlijke hulpbronnen. Van deze variabelen werd de ontwikkeling van 1900 tot 1970 vastgesteld. Vervolgens werden diverse toekomstscenario's geschetst op basis van verschillende aannames. Als er geen belangrijke veranderingen zouden plaatsvinden in de fysieke, economische en sociale relaties (het referentiescenario) zouden de natuurlijke hulpbronnen gaandeweg uitgeput raken, waardoor de industriële groei zou afremmen. De bevolkingsomvang en de vervuiling zouden nog enige tijd toenemen, maar de verslechtering van de voedselvoorziening en van de gezondheidszorg zouden in eerste instantie leiden tot stilstand en later tot sterke terugloop in de bevolkingsgroei. In 1987 presenteerden de Verenigde Naties het rapport 'Our Common Future', waarin antwoord werd gegeven op de waarschuwingen van de Club van Rome. In dit VN-rapport van de commissie-Brundtland (genoemd naar de Noorse politica Gro Harlem Brundtland die de commissie leidde) werd voor het eerst een definitie van het begrip duurzaamheid ('sustainability') geformuleerd: 'een ontwikkeling die tegemoetkomt aan de noden van het heden, zonder de mogelijkheden van toekomstige generaties om in hun behoeften te voorzien in het gedrang te brengen'. Deze definitie wordt nog steeds veel gebruikt.

In 1992 begonnen de VN met het organiseren van grote vergaderingen over duurzaamheid, zoals de Earth Summit Rio 1992 in Rio de Janeiro. Het doel was om Agenda 21 op te stellen, een actieplan voor de 21ste eeuw om emissies van broeikasgassen te verminderen en klimaatveranderingen tegen te gaan. In 1997 spraken de deelnemers aan het Kyoto Protocol af om de uitstoot aan broeikasgassen door de geïndustrialiseerde landen terug te dringen tot 95% van het niveau van 1990. Het ratificatieproces verliep zeer moeizaam en traag. Maar het grote probleem was dat de Verenigde Staten helemaal niet tekenden en daarmee de pijn bij de andere landen legden. In de jaren erna werden geen belangrijke resultaten behaald, totdat in november 2015 het Klimaatakkoord van Parijs werd opgesteld. Hierin stond centraal dat de streefwaarde voor de opwarming van de aarde tot 1,5 °C beperkt moest worden, met een maximum van 2 °C. Inmiddels waren de gevolgen van de klimaatverandering steeds duidelijker zichtbaar en merkbaar zodat ontkennen ervan niet langer een optie was. Ook de Verenigde Staten en China tekenden het Klimaatakkoord van Parijs.

Een einde aan extreme armoede, ongelijkheid, onrecht en klimaatverandering. Dat is de kern van dit akkoord zoals vastgesteld door de 193 lidstaten. De hieruit voortkomende ontwikkelingsagenda 2015-2030 bestaat uit 17 doelen, de Sustainable Development Goals (SDG's) (SDG Nederland, 2016):

- 1 Uitbannen van alle vormen van (extreme) armoede
- 2 Einde aan honger, zorgen voor voedselzekerheid en duurzame landbouw
- 3 Gezondheidszorg voor iedereen
- 4 Inclusief, gelijkwaardig en kwalitatief onderwijs voor iedereen
- 5 Gelijke rechten voor mannen en vrouwen en empowerment van vrouwen en meisjes
- 6 Schoon water en sanitaire voorzieningen voor iedereen
- 7 Toegang tot betaalbare en duurzame energie voor iedereen
- 8 Inclusieve, economische groei, werkgelegenheid en fatsoenlijk werk voor iedereen
- 9 Infrastructuur voor duurzame industrialisatie
- 10 Verminderen van ongelijkheid binnen en tussen landen
- 11 Maak steden veilig, veerkrachtig en duurzaam
- 12 Duurzame consumptie en productie
- 13 Aanpak van klimaatverandering
- 14 Beschermen en duurzaam gebruik van de oceanen en zeeën
- 15 Beschermen van ecosystemen, bossen en biodiversiteit
- 16 Bevorderen van veiligheid, publieke diensten en recht voor iedereen
- 17 Versterken van het mondiaal partnerschap om doelen te bereiken

Bij het werken aan de SDG's vanuit en door Nederland staat samenwerking tussen ministeries en maatschappelijke spelers (zoals bedrijven en maatschappelijke organisaties) centraal. De Rijksoverheid brengt in kaart hoe Nederland ervoor staat bij de realisatie van duurzame ontwikkelingsdoelen en wat er nog moet gebeuren. Dit is weergegeven in figuur 1.4.

FIGUUR 1.4 De 17 Sustainable Development Goals (SDG's) (Rijksoverheid, 2017)



1.5 Waaron van Industrie 4.0 naar Duurzaamheid 4.0 naar Ontwerpen 4.0?

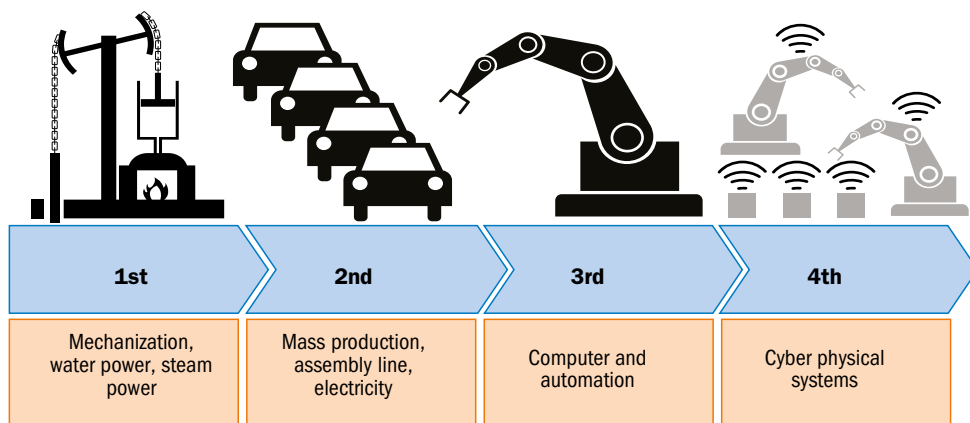
Industrie 4.0

Nu energie-efficiënte producten noodzakelijk zijn geworden, maakt de industrie zich op voor de volgende (r)evolutie: circulair ontwerpen. Hierbij wordt uitgegaan van het principe dat een product tijdens zijn levensduur gemakkelijk aanpasbaar is en uiteindelijk ook eenvoudig te demonteren is, zodat de integrale onderdelen kunnen worden hergebruikt. Bij deze processen kan niet alleen flink worden bespaard op energie, maar ook op kostbare materialen en schaarse grondstoffen.

Smart Industry of Industrie 4.0 is de benaming voor de vierde industriële revolutie, waarin de grenzen tussen de fysieke, de digitale en de biologische wereld vervagen (zie figuur 1.5). Machines interacteren en communiceren direct met elkaar en dankzij hun datagedreven besluitvorming en optimalisatie zijn zij in staat efficiënter te produceren.

Autonome cyberfysieke productiesystemen, the Internet of Things (IoT of IIoT: Industrial IoT), cloudcomputing en systemen kunnen menselijke denkprocessen deels of volledig overnemen (cognitieve computing). Door data-analyse, kunstmatige intelligentie (Artificial Intelligence (AI)) en machinelearning in toenemende mate ingezet worden, ontstaat een beter inzicht in wat er werkelijk in de productie gebeurt en worden de processen sneller geoptimaliseerd.

FIGUUR 1.5 De ontwikkeling naar Industrie 4.0



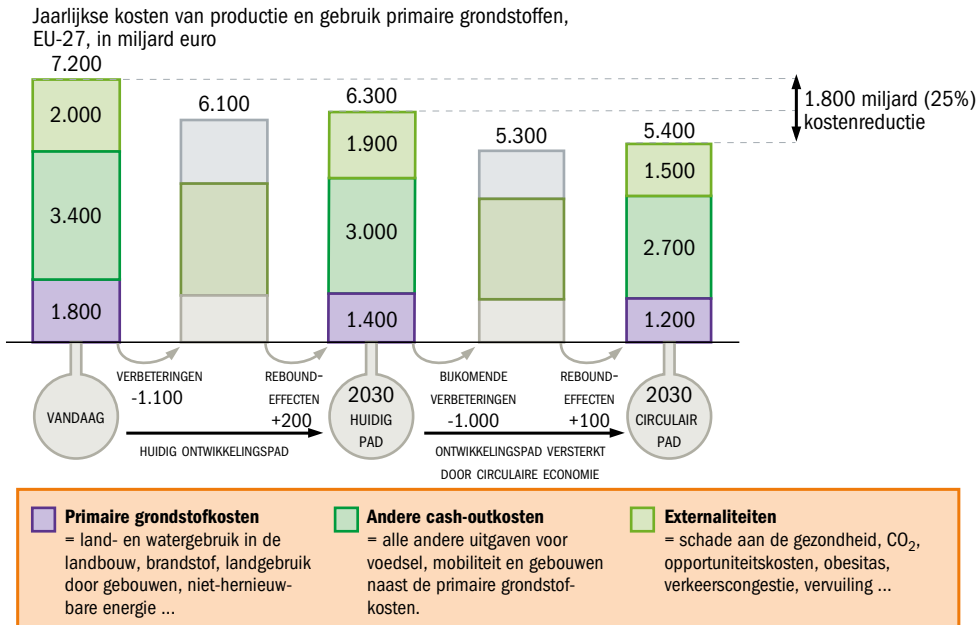
Duurzaamheid 4.0

De vraag naar grondstoffen voor producten zoals elektrische apparaten en auto's neemt wereldwijd sterk toe. Daarom werkt de overheid samen met het bedrijfsleven, gemeenten, provincies, kennisinstituten, natuur- en milieuorganisaties, vakbonden, financiële instellingen en andere (maatschappelijke) organisaties om zuiniger en slimmer met grondstoffen om te gaan. Het doel hiervan is: Nederland volledig circulair in 2050 (Rijksoverheid, 2016).

Regelgeving is soms nodig om mensen in beweging te krijgen. Beter is het om duurzaamheid een plek in je denken te geven als onderdeel van jouw visie. Van daaruit ga je de consequenties van je handelen inzien en je handelen bijstellen. De kans dat keuzen voor materialen en detailleringen in de toekomst blijven zoals ze nu zijn is uitgesloten. Duurzaamheid dient een plek krijgen in het bestaande systeem om de gewenste verandering mogelijk te maken.

Vervolgens zul je de stap moeten zetten om van bewustwording tot handelen en daden te komen. Duurzaamheid lijkt wellicht iets negatiefs dat je wordt opgedrongen. Het voelt misschien bedreigend en het ontmoedigt zaken als op vliegvakantie gaan en vlees eten. Maar duurzaamheid kan ook juist leuk en uitdagend zijn. Het dwingt je tot anders denken. Dat kan je veel opleveren, zoals verrassende producten en diensten, maar vooral nieuwe kansen en businesscases. Duurzaamheid biedt nieuwe economische kansen. In ons huidige lineaire economische systeem worden grondstoffen omgezet in producten, die aan het einde van hun levensduur worden vernietigd. Het systeem van de circulaire economie daarentegen richt zich op een maximale herbruikbaarheid van producten en grondstoffen en een minimaal waardeverlies. The Ellen MacArthur Foundation berekende dat de circulaire economie, onder de impuls van de technologische vooruitgang, de Europese grondstoffenproductiviteit met 3% kan laten stijgen. Dit komt voor de EU 27 neer op een bijkomend economisch voordeel van in totaal 1.800 miljard euro per jaar (zie figuur 1.6). De overgang naar een circulaire economie kan bovendien de kosten voor mobiliteit, voeding en de gebouwde omgeving drastisch doen dalen tegen 2030 (McKinsey, 2015).

FIGUUR 1.6 De kosten van de overgang naar een circulaire economie (McKinsey, 2015)



Bron: McKinsey (2015)

Een circulaire economie is gericht op het optimaal inzetten en (her)gebruiken van grondstoffen en producten. Dit wil zeggen dat grondstoffen steeds worden gebruikt in toepassingen met de hoogste waarde voor de economie en de minste schade voor het milieu. Door grondstoffen langer en hoogwaardiger te gebruiken, worden afval en schadelijke emissies naar lucht, bodem en water zo veel mogelijk voorkomen.

De overheid heeft drie doelstellingen geformuleerd om de Nederlandse economie zo snel mogelijk circulair te maken:

- 1 Bestaande productieprocessen maken efficiënter gebruik van grondstoffen, zodat er minder grondstoffen nodig zijn.
- 2 Wanneer nieuwe grondstoffen nodig zijn, wordt zo veel mogelijk gebruik gemaakt van duurzaam geproduceerde, hernieuwbare (onuitputtelijke) en algemeen beschikbare grondstoffen, zoals biomassa (grondstof uit planten, bomen en voedselresten). Dit maakt Nederland minder afhankelijk van fossiele bronnen en het is beter voor het milieu.
- 3 Nieuwe productiemethoden worden ontwikkeld en nieuwe producten worden circulair ontworpen. Circulair ontwerpen is het ontwerpen van producten waarbij hergebruik, behoud van waarde en vermindering van verbruik de uitgangspunten zijn om het ontstaan van afval te voorkomen en bij te dragen aan een circulaire economie.

Het Uitvoeringsprogramma Circulaire Economie vertaalt de doelstellingen naar concrete acties en projecten voor de periode 2019 tot en met 2023. Jaarlijks wordt er een Nationale Conferentie Circulaire Economie georganiseerd waar betrokken partijen de voortgang bespreken. Dit kan leiden tot een aanpassing van het uitvoeringsprogramma. Elke twee jaar stelt het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) een voortgangsrapport op. Nederland is lid van het Platform for Accelerating the Circular Economy (PACE). Samen met meer dan veertig landen, bedrijven en internationale organisaties werkt PACE aan het versnellen van de circulaire economie.

Ontwerpen 4.0

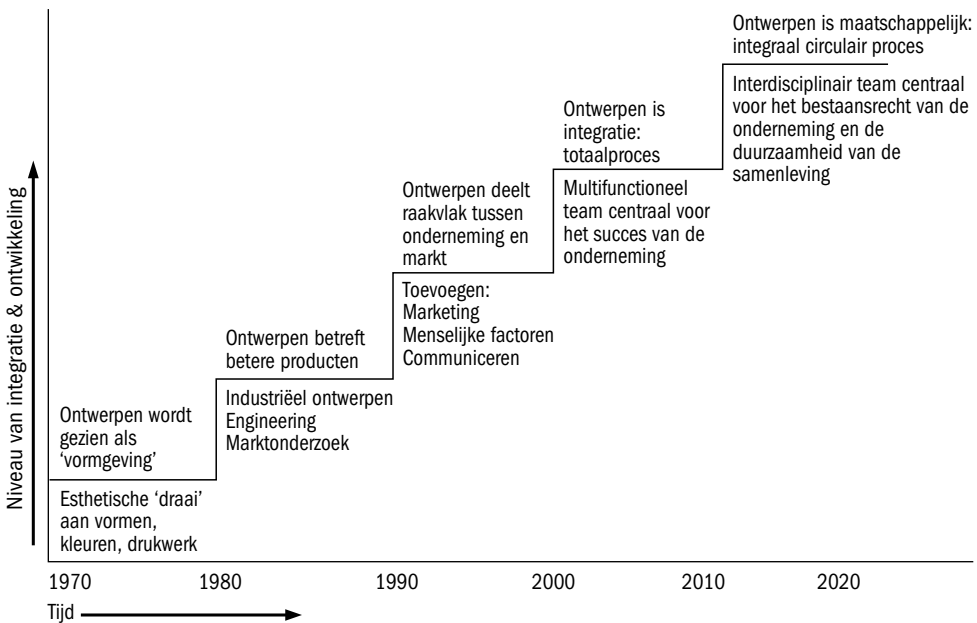
Het ontwerpproces van een product verandert bij het ontwerpen van een circulair product. Dit brengt praktische uitdagingen met zich mee (Bocken et al., 2016). Vroeger lag de focus alleen op ontwerpen voor het primaire doel: het vervullen van de functie om te voorzien in de behoefte van de opdrachtgever. Nu moet je als ontwerper een product ontwerpen voor meerdere levenscyclussen en ervoor zorgen dat consumenten het nog steeds een aantrekkelijk product vinden (De Los Rios & Charnley, 2017). Verder dient het ontwerp nu ook voor het systeem waarin het product zal bestaan (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Er zijn verschillende fasen voor het einde van een circulair ontwerp van een product: hergebruik van producten, hergebruik van componenten, hergebruik van materiaal en materiaalrecycling (Saleh & Chini, 2009) Deze stappen worden gerangschikt in volgorde van belangrijkheid. Doordat bijvoorbeeld een product of materiaal wordt hergebruikt, wordt de waarde van het product of materiaal beter behouden in vergelijking met een gerecycled materiaal of product. Daarnaast leidt hergebruik tot een verminderde economische en milieu-impact in vergelijking met recycling (Rijksoverheid, 2018). Onderzoek heeft echter nog niet aangetoond hoe recycling zich verhoudt tot hergebruik. Dit is met name het geval voor producten (Mathieux et al., 2018). Wanneer je je echter slechts op één aspect concentreert (bijvoorbeeld hergebruik) kan het eindresultaat niet noodzakelijkerwijs resulteren

in een milieuvriendelijker ontwerp (Buyle et al., 2019). Er zijn verschillende ontwerpstrategieën die je kunnen ondersteunen bij het maken van een circulair ontwerp.

In het algemeen kun je stellen dat het begrip en de betekenis van ontwerpen aan het groeien zijn. Dit wordt weergegeven in figuur 1.7. Met name de maatschappelijke betekenis is de afgelopen jaren sterk toegenomen, nu de gevolgen van de klimaatverandering steeds duidelijker zijn. Dit heeft geleid tot het Klimaatakkoord van Parijs, waarin gestreefd wordt naar een sterke vermindering van de aantasting van de atmosfeer door broeikasgassen. Daarnaast zijn de uitputting van grondstoffen en de steeds groeiende hoeveelheid afval in het milieu erkend en wordt gestreefd naar een circulaire economie.

FIGUUR 1.7 De groei van de betekenis van ontwerpen naar Fairhead (1988)



Zoals al door Van den Kroonenberg (1978) is aangegeven is het methodisch ontwerpproces een manier om de vele relevante aspecten van een specifieke ontwerpbenadering systematisch te ordenen. Daarom wordt in dit boek eerst de betekenis van ontwerpen met mogelijke hulpmiddelen voor duurzaamheid en het methodisch raamwerk van ontwerpen behandeld. Daarna volgen enkele aanvullende methoden, om vervolgens in hoofdstuk 13 specifiek stil te staan bij circulair ontwerpen, het Ontwerpen 4.0. In hoofdstuk 14 wordt de vraag 'hoe nu verder?' beantwoord.

Samenvatting

-
- ▶ Voor het ontwerpen is het belangrijk dat je je eigen visie, missie en strategie bepaalt. Hoe wil jij je bijdrage leveren aan het project, maar ook aan de toekomst?
 - ▶ De toename van maatschappelijke problemen (zoals grondstoffen-schaarste, energieproblematiek en milieuproblematiek) leidt tot een grotere complexiteit van de ontwerpogaven.
 - ▶ Als lid van de samenleving heb je als ontwerper een morele verplichting ten opzichte van die samenleving om je kennis te gebruiken om duurzaamheid positief te beïnvloeden.
 - ▶ Van ontwerpers wordt verwacht dat zij oplossingen aandragen in het spanningsveld tussen groeiende behoeften en verlangens enerzijds en een einde aan de groei van de uitputting van de natuurlijke voorraden anderzijds.
 - ▶ Het ontwerpproces van een product verandert bij het ontwerpen van een circulair product en dat brengt praktische uitdagingen met zich mee.
-

Opgaven

1

-
- 1.1** Wat is het belang van een visie bij het ontwerpen?
 - 1.2** Hoe belangrijk is duurzaamheid bij het ontwerpen en waarom?
 - 1.3** Wat zijn de voordelen van circulaire producten voor de economie?
 - 1.4** Wat zijn de praktische uitdagingen bij het ontwerpproces van een circulair product?
 - 1.5** Welke bedrijven of producten ken je die werkelijk op circulariteit gericht zijn?
 - 1.6** Kijk eens op de website van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) voor de laatste voortgangsrapportage over de circulaire economie. Hoe vind je dat het gaat? Hoe kan het proces versneld worden?
-