

➤ Industriële productie

Het voortbrengen van mechanische producten

H.J.J. KALS CS. BUITING-CSIKÓS W. DEWULF B. LAUWERS
J.M. PONSEN A.H. STREPPPEL T.H.J. VANEKER

+
ONLINE
OPGAVEN,
VIDEO'S
EN MEER



Boom

Zesde, herziene druk

Industriële productie

Het voortbrengen van mechanische producten

6e herziene druk

Prof. dr. ir. H.J.J. Kals
Ir. Cs. Buiting-Csikós
Prof. dr. ir. W. Dewulf
Prof. dr. ir. B. Lauwers
Ir. J.M. Ponsen
Ir. A.H. Streppel
Dr. ir. T.H.J. Vaneker

Boom

**inclusief
website!**

Met behulp van onderstaande unieke activeringscode kun je een studentaccount aanmaken op www.industrieleproductie.nl, voor toegang tot extra materiaal bij dit boek. Deze code is persoonsgebonden en gekoppeld aan de zesde herziene druk. Na activering heb je vier jaar toegang tot de website. De code kan tot zes maanden na het verschijnen van een volgende druk worden geactiveerd.

Meer informatie over deze en andere uitgaven vindt u op www.boomhogeronderwijs.nl.

© 2018 Boom uitgevers Amsterdam

1e druk 1996
2e druk 1998
3e herziene druk 2003
4e herziene druk 2007
5e herziene druk 2012
6e herziene druk 2018

Vormgeving en opmaak: Studio Bassa, Culemborg

ISBN: 9789024408245 (paperback)
ISBN: 9789024408252 (e-book)
NUR: 173/950

Alle rechten voorbehouden. Alle auteursrechten en databankrechten ten aanzien van deze uitgave worden uitdrukkelijk voorbehouden. Deze rechten berusten bij Boom uitgevers Amsterdam.

Behoudens de in of krachtens de Auteurswet gestelde uitzonderingen, mag niets uit deze uitgave worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van reprografische verveelvoudigingen uit deze uitgave is toegestaan op grond

van artikel 16 h Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp, www.reprorecht.nl). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet) dient men zich te wenden tot de Stichting PRO (Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie, Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, www.cedar.nl). Voor het overnemen van een gedeelte van deze uitgave ten behoeve van commerciële doeleinden dient men zich te wenden tot de uitgever.

Hoewel aan de totstandkoming van deze uitgave de uiterste zorg is besteed, kan voor de afwezigheid van eventuele (druk)fouten en onvolledigheden niet worden ingestaan en aanvaarden de auteur(s), redacteur(en) en uitgever deswege geen aansprakelijkheid voor de gevolgen van eventueel voorkomende fouten en onvolledigheden.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the publisher's prior consent.

While every effort has been made to ensure the reliability of the information presented in this publication, Boom uitgevers Amsterdam neither guarantees the accuracy of the data contained herein nor accepts responsibility for errors or omissions or their consequences.

Voorwoord

Voor je ligt de zesde herziene uitgave van het studieboek *Industriële productie*. De redactiecommissie die dit boek heeft samengesteld, bestaat uit de auteurs prof. dr. ir. H. J. J. Kals, mevr. ir. Cs. Buiting-Csikós, prof. dr. ir. W. Dewulf, prof. dr. ir. B. Lauwers, ir. J. M. Ponsen, ir. A. H. Streppel en dr. ir. T. H. J. Vaneker.

Diverse auteurs hebben aan de totstandkoming van het boek en aan alle voorgaande uitgaven een wezenlijke bijdrage geleverd. We noemen hier met name ir. C. A. van Luttervelt en ir. K. A. Moulijn. Dr. ir. D. Lutters verhelderde de relatie tussen product- en productieontwikkeling.

In deze zesde uitgave hebben prof. dr. ir. B. Lauwers, prof. dr. ir. W. Dewulf en dr. ir. T. H. J. Vaneker belangrijke bijdragen geleverd aan de uitbreiding en behandeling van moderne fabricagetechnieken, met de nadruk op niet-mechanische bewerkingen. Aan de eerste uitgaven van dit boek hebben dr. ir. J. P. Baartman, dr. ir. J. H. Dautzenberg, ing. F. Langereis, ir. Th. Luijendijk en dr. ir. M. Tichem als auteur bijgedragen. Verder bedanken wij graag prof. dr. ing. habil. B. Karpuschewski, prof. dr. ir. R. Akkerman en ir. P. J. M. Wentzel voor hun adviezen en bijdragen.

De totstandkoming van dit boek vindt zijn oorsprong in het streven de kwaliteit en de doelmatigheid van het hoger onderwijs in de productietechniek te verbeteren. Een belangrijke doelstelling van het boek is bijdragen aan een betere beeldvorming en herkenbaarheid van het brede vakgebied van de productietechniek. In deze zesde uitgave hebben we opnieuw aandacht besteed aan nieuwe technieken, wat tevens heeft geleid tot aanpassing van de opzet en de indeling van het boek. Vorige uitgaven worden sinds vele jaren gebruikt door docenten van universiteiten en hogescholen voor het onderwijs in de studierichtingen werktuigbouwkunde, lucht- en ruimtevaarttechniek, industrieel ontwerpen en technische bedrijfskunde.

Bij het samenstellen van de inhoud hebben de volgende overwegingen een belangrijke rol gespeeld:

- Het aanbieden van kennis op gepast niveau aan studenten van technische universiteiten en hogescholen die geen voorkennis van het vakgebied bezitten.
- Het bieden van een context waarin het belang van de productietechniek binnen de disciplines die zich bezighouden met het ontwerpen en

voortbrengen van producten tot uitdrukking komt.

- Het presenteren van kennis waarbij rekening wordt gehouden met behoeften van de industrie, en waarbij ruime aandacht besteed wordt aan keuzeproblemen en belangrijke aspecten op het gebied van de technische bedrijfsvoering.
- Het geven van een overzicht van het vakgebied productietechniek.

Het boek vormt een uitgebreide en degelijke inleiding op het omvangrijke vakgebied van het voortbrengen van mechanische producten: de productietechniek. Het behandelt fundamentele onderwerpen met betrekking tot materialen, materiaalbehandeling, fabricage, assemblage, productiemachines, kwaliteit en kosten. Daarnaast gaat het in op de belangrijkste aspecten van product- en productieontwikkeling, én van de technische en organisatorische bedrijfsvoering. Bij de samenstelling ervan hebben we veel aandacht besteed aan de onderlinge samenhang van de inhoud.

Alle aangeleverde teksten zijn door de redactie grondig getoetst en waar nodig aangepast en uitgebreid. Hetzelfde geldt voor het grote aantal figuren. De presentatie en de uitvoering van deze figuren is op uitstekende wijze verzorgd door ir. A. H. Streppel en ir. Cs. Buiting-Csikós. De verantwoordelijkheid voor de samenstelling en de inhoud ligt bij de redactiecommissie.

De redactie stelt het zeer op prijs kritieken en suggesties te ontvangen die kunnen leiden tot verbetering van toekomstige edities. Het redactieadres luidt:

Redactie Industriële Productie
p/a mevr. ir. Cs. Buiting-Csikós
TU Delft
Postbus 5
2600 AA Delft
e-mail: c.buiting-csikos@tudelft.nl

Prof. dr. ir. H. J. J. Kals

Enschede, januari 2018

Ten geleide

Bij de opzet van het boek hebben we rekening gehouden met de groeiende behoefte van de industrie aan pas afgestudeerde ingenieurs die problemen kunnen oplossen op het gebied van ontwerpen en produceren, maar die ook kennis bezitten van het integrale proces van het voortbrengen van producten.

Het boek beperkt zich tot de productietechnieken voor de vervaardiging van **discrete producten**. Dit zijn afzonderlijk te onderscheiden, aftelbare, al dan niet samengestelde producten met een (functioneel) herkenbare geometrie. Producten uit de chemische industrie (bijvoorbeeld benzine) of de voedingsindustrie (bijvoorbeeld suiker) blijven buiten beschouwing. Een ander kenmerk van discrete producten is dat ze verplaatsbaar zijn. Bouwwerken, van welke aard dan ook, vallen dus ook buiten het kader van dit boek.

Als gevolg van de handel en concurrentie op wereldschaal is het belang van de productietechniek als multidisciplinair vakgebied de afgelopen decennia flink toegenomen. Tegelijkertijd heeft de scherpe concurrentie geleid tot omvangrijke reorganisaties van vooral grote bedrijven. Men streeft hierbij naar schaalverkleining (businessunits), uitbesteding en 'platte' organisaties (*lean production*). Bij uitbesteding van de productie blijft het echter belangrijk dat productontwerpers een gedegen kennis hebben en behouden van de mogelijkheden van productietechnieken en de eisen die op basis daarvan aan het productontwerp moeten worden gesteld. Vooral kleinere bedrijven worden geconfronteerd met het toenemend belang van technologische kennis.

Een gevolg van deze ontwikkeling is dat de vraag naar ingenieurs in belangrijke mate verschoven is van de grote bedrijven (die vroeger het overgrote deel van de pas afgestudeerde ingenieurs aannamen) naar middelgrote en kleine bedrijven. De behoefte aan breedte in de opleiding is hierdoor toegenomen. Gelijktijdig zijn de mogelijkheden voor opleiding en training binnen bedrijven afgenomen. Daarmee kan de toenemende vraag worden verklaard naar pas afgestudeerde ingenieurs met voldoende operationele kennis van het vakgebied en een goed inzicht in de behoeften van de industrie. Productieactiviteiten worden steeds vaker verplaatst van traditionele industrielanden naar industrielanden in opkomst. Dit vermindert echter zeker niet

de noodzaak van productietechnisch onderwijs in eerstgenoemde landen. Nieuwe producten, fabricagetechnologieën en productiemiddelen worden nog steeds overwegend in de traditionele industrielanden ontwikkeld. De noodzaak om toekomstige ontwerpers en bedrijfskundigen te onderwijzen in het vakgebied neemt slechts toe. Verder hebben deze ontwikkelingen in het afgelopen decennium zelfs geleid tot een toegenomen vraag naar hoger opgeleide werktuigbouwkundig ingenieurs – in België technisch ingenieurs genoemd.

Het boek is breed opgezet. Door het gehele boek heen hebben we getracht de behandelde processen, technieken en apparatuur terug te brengen tot de fundamentele basis. Gezien de aard en de enorme omvang van het vakgebied is het onmogelijk om in dit studieboek enige vorm van volledigheid te bereiken. Het vakgebied omvat een grote diversiteit aan mogelijke technieken, te bewerken materialen, en mogelijke apparatuur. De brede opzet omvat onder andere de behandeling van belangrijke fabricagetechnologieën, de veelvoorkomende processen voor materiaalbewerking, van assemblage met de veelvuldig daarbij toegepaste materialen en gereedschappen, én de daarmee samenhangende productietechnische aspecten, zoals kwaliteit, kosten en de organisatie van de productie. Kunststoffen vormen als materiaal geen hoofdgroep, maar komen wel aan de orde bij een aantal behandelde bewerkingstechnieken. Ook gaan we in op de samenhang tussen productontwerp- en productieontwikkeling en besteden we ruim aandacht aan de uitgebreide keuzeproblematiek in een productieomgeving.

Het boek is in de eerste plaats gericht op de studierichtingen werktuigbouwkunde, lucht- en ruimtevaarttechniek, industrieel ontwerpen, technische bedrijfskunde en verwante studierichtingen in het wetenschappelijk onderwijs en het hoger beroeps-onderwijs. Daarnaast is het boek geschikt voor andere studierichtingen, zoals bedrijfsinformatietechnologie, waar een elementair inzicht in de uitvoering van bewerkings- en productieprocessen niet mag ontbreken.

Afhankelijk van de studie- of afstudeerrichting zal het nodig zijn om aansluitend op de hier aangeboden stof een of meer onderwerpen verder uit te werken. Voor studierichtingen zoals technische bedrijfskunde zal de diepgang van de hier aangebo-

den stof, wat de technische onderwerpen betreft, voldoende zijn. Het is overigens goed mogelijk bepaalde delen over te slaan, hetzij omdat ze van minder belang worden geacht, hetzij omdat ze op een ander moment in de studie uitvoeriger aan de orde komen.

Afgezien van het gebruik in het onderwijs ziet de redactie toepassingsmogelijkheden van het boek als naslagwerk voor ontwerpers, constructeurs en productie-ingenieurs die naast hun bedrijfsgebonden kennis en ervaring behoefte hebben aan een algemeen en gestructureerd overzicht van het vakgebied en de daarin toegepaste technologieën.

Het gebruik van dit boek

Het boek is geschikt voor zelfstudie. Daartoe is een aantal oefenvragen opgenomen. De vragen zijn vooral bedoeld om de inhoud, de samenhang en het belang van de behandelde stof beter te kunnen begrijpen. Gezien de grote diversiteit aan voorkomende producten, materialen, processen en doelstellingen, is het praktisch onmogelijk op enige selectieve wijze een groot aantal oefenvragen met voldoende diversiteit toe te voegen. Een deel van de gegeven vragen is erop gericht de student te stimuleren actief met de stof bezig te zijn en is minder geschikt als tentamenvraag. Het gegeven antwoord is in zo'n geval niet het enige juiste, maar meer een aanwijzing voor de juiste denkrichting. Andere vragen komen wel in aanmerking om te worden gebruikt als tentamenvragen. Docenten kunnen een waardevolle bijdrage aan het onderwijs leveren door eigen voorbeelden te kiezen en deze samen met de studenten uit te werken.

Het heeft slechts zin met het beantwoorden van de vragen te beginnen wanneer de stof grotendeels bekend is. Probeer eerst de antwoorden te formuleren zonder op de tekst in het boek terug te vallen. Wanneer dit bij herhaling niet lukt, beheers je de stof nog onvoldoende. Ga dan eerst verder met het bestuderen van de leerstof en probeer je alvast voor te stellen welke vragen je erover kunt verwachten. Probeer daarna opnieuw de vragen te beantwoorden. Na het beantwoorden kun je op de leerstof teruggrijpen om te kijken of je ze goed had. Gebruik pas op het laatst de antwoorden op www.industrieleproductie.nl om de kwaliteit van je eigen antwoorden te toetsen. Deze site bevat tevens een groot aantal aanvullende vragen. We raden je sterk aan

om niet alleen de oefenvragen uit te werken, maar ook te oefenen met het maken van schetsen (een vaardigheid die iedere ingenieur moet beheersen).

Tegenwoordig is bij allerlei vormen van projectonderwijs vaak veel meer informatie over bepaalde onderwerpen nodig dan in dit boek aanwezig is. Om hierin te voorzien hebben we bij elk hoofdstuk zorgvuldig geselecteerde literatuurverwijzingen opgenomen. Verwijzingen naar specialistische literatuur hebben we met opzet achterwege gelaten. We bevelen onderwijsinstellingen aan de vermelde literatuur in hun bibliotheek op te nemen.

In de tekeningen komen verschillende typen pijlen voor en worden bepaalde onderdelen in kleur gekenmerkt, zie de figuur hieronder.



Vaktermen worden op de plaats waar ze worden geïntroduceerd vetgedrukt weergegeven. Een trefwoordenregister met al deze vaktermen vind je achter in het boek.

De redactie wenst je veel succes bij de bestudering van de inhoud van dit boek en hoopt dat de verworven kennis bij zal dragen tot een grotere interesse voor het vakgebied.

De redactie

Inhoud

Voorwoord	5	3.9	Richtlijnen voor het ontwerpen van gietwerk	75
Ten geleide	7	3.10	Vormgeven van kunststoffen	77
Inhoud	9	3.11	Extruderen en kalenderen	77
		3.12	Spuitsieten van kunststoffen	82
		3.13	Andere druk- en gietprocessen voor kunststoffen	87
1 Inleiding	13	3.14	Vormgeven van vezelversterkte kunststoffen	89
1.1 De ontwikkeling van de industriële productie	13	3.15	Poedermetallurgie	92
1.2 Organisatie en communicatie	15		Samenvatting	96
1.3 Productvoorbeelden en productkentallen	17		Literatuur	97
1.4 Indeling van vervaardigingstechnieken	20		Oefenvragen	98
1.5 Het mechanisch materiaalgedrag in de fabricage	22	4 Omvormen	99	
1.6 Produceren in een industriële omgeving	23	4.1	Inleiding	99
1.7 Criteria voor het beoordelen van fabricagemethoden	24	4.2	Omvormen van metalen	99
1.8 Keuzeproblemen	26	4.3	Indeling van omvormprocessen	100
1.9 Kennis: overzicht en detail	27	4.4	Massief omvormen	101
Samenvatting	29	4.5	Omvormen van plaat	113
Literatuur	29	4.6	Machines	123
Oefenvragen	30	4.7	Omvormen van kunststoffen	126
			Samenvatting	131
			Literatuur	131
2 Materialen	31		Symbolenlijst	132
2.1 Inleiding	31		Oefenvragen	133
2.2 Structuur van metalen	32	5 Verspanen	135	
2.3 Mechanische eigenschappen van metalen	35	5.1	Inleiding	135
2.4 Kunststoffen	44	5.2	Het principe van verspanende bewerkingen	136
2.5 Keramische materialen	48	5.3	Bewegingen, krachten, vermogen, temperatuur en gereedschapsslijtage	136
2.6 Composieten	49	5.4	Snijmaterialen	139
2.7 Overige materialen	50	5.5	Standtijd en optimale snijsnelheid	145
Samenvatting	51	5.6	Indeling van de verspanende bewerkingen	147
Literatuur	52	5.7	Draaien	147
Symbolenlijst	53	5.8	Gatbewerkingen	155
Oefenvragen	54	5.9	Frezen	163
3 Oervormen	55	5.10	Slijpen	169
3.1 Grondslagen van het oervormen	55	5.11	Bewerkingen met een rechtlijnige hoofdbeweging	174
3.2 Inleiding gieten	55	5.12	Nabewerkingen	175
3.3 Kenmerken van het gietproces en de gietstukken	56	5.13	Snijvloeistoffen	177
3.4 Indeling gietmethoden naar de aard van het vormmateriaal	57	5.14	Hogesnelheidsverspanen	177
3.5 Gieten in zand	58	5.15	Hardverspanen van metallische materialen	178
3.6 Verloren-modelmethoden	67	5.16	Het verspanen van niet-metalen	179
3.7 Gieten in permanente vormen	69			
3.8 De keuze van de gietmethode	73			

5.17	Nieuwe ontwikkelingen – geassisteerde mechanische bewerkingsprocessen	181	9.6	Lijmen	259
	Samenvatting	182	9.7	Kitten	262
	Literatuur	182	9.8	Verbinden met verbindingselementen	262
	Symbolenlijst	183	9.9	Vormverbindingen	265
	Oefenvragen	184	9.10	Neventaken en productiemiddelen	266
6	Fysische en chemische afnemende bewerkingen	187		Samenvatting	267
				Literatuur	268
				Oefenvragen	268
			10	Veranderen van materiaaleigenschappen	269
6.1	Indeling fysische en chemische afnemende bewerkingen	187			
6.2	Thermische, elektrochemische en chemische afnemende bewerkingen	188	10.1	Inleiding	269
6.3	Ultrasoon bewerken	194	10.2	Warmtebehandelingen van ijzerlegeringen	270
6.4	Bewerken met stralen met hoge vermogensdichtheid	196	10.3	Warmtebehandelingen van aluminiumlegeringen	271
6.5	Toepassingen	203	10.4	Oppervlakteveranderingen	271
	Samenvatting	205	10.5	Reinigen	278
	Literatuur	206	10.6	Conditionering ten behoeve van bewerkingsprocessen	280
	Oefenvragen	206	10.7	Milieueffecten	281
7	Scheiden	209	10.8	Uitvoering van warmte- en oppervlaktebehandelingen	281
				Samenvatting	282
7.1	Mechanische, niet-verspanend scheidende bewerkingen	209		Literatuur	283
7.2	Mechanische, verspanend scheidende bewerkingen	216		Oefenvragen	283
7.3	Fysisch scheidende bewerkingen	218	11	Monteren	285
7.4	Keuze van een scheidende bewerking	222			
	Samenvatting	224	11.1	Ontwikkelingen in de montage	285
	Literatuur	224	11.2	Verschillende gezichten van de montage	286
	Oefenvragen	225	11.3	Het montageproces	287
8	Materiaalaangroeiotechnieken	227	11.4	De montageafdeling	292
			11.5	Montagegericht ontwerpen	297
8.1	De algemene opbouw van materiaalaangroeiotechnieken	227		Samenvatting	299
8.2	Procesvarianten	230		Literatuur	299
8.3	Voor- en nadelen van 3D-printen	236		Oefenvragen	300
	Samenvatting	241	12	Kwaliteit	301
	Literatuur	242			
	Oefenvragen	243	12.1	Inleiding	301
9	Verbinden	245	12.2	Kwaliteitscertificering	303
			12.3	De CE-markering	304
9.1	Inleiding	245	12.4	Analyse van kwaliteitsproblemen	305
9.2	Indeling van de verbindingsmethoden	246	12.5	Procesbeheersing	306
9.3	Lassen	247	12.6	Geometrische meettechniek	311
9.4	Grondbeginselen van solderen en lijmen	257	12.7	Meetmethoden voor lengtemetingen	316
9.5	Solderen	258	12.8	Meetmethoden voor de oppervlakteruwheid	322

12.9	Meetmethoden voor materiaal-eigenschappen	323	15.5	Organisatiestructuren	405
	Samenvatting	326	15.6	Communicatie en informatiebeheer	408
	Literatuur	327	15.7	Integratie, werkwijze en informatieondersteuning	410
	Symbolenlijst	327	15.8	Het ontwerpen van productiesystemen	411
	Oefenvragen	328		Samenvatting	413
13	Productiemachines en automatisering	329		Literatuur	414
				Oefenvragen	414
13.1	Functie-eisen, mechanische en kinematische opbouw	329	16	Product- en productiegericht ontwerpen	415
13.2	Starre automatisering	331	16.1	Inleiding	415
13.3	Flexibele automatisering	334	16.2	Productontwikkeling	415
13.4	De opkomst van NC-machines	336	16.3	Productontwerp en productie	416
13.5	Het principe van NC-machines	336	16.4	Methoden en regels bij het productiegericht ontwerpen	419
13.6	Integratie in fabricagesystemen	341	16.5	Keuzes bij productontwikkeling	428
13.7	Programmeren	347		Samenvatting	437
13.8	NC bij niet-verspanende bewerkingen	353		Literatuur	437
13.9	Industriële robots	355		Oefenvragen	438
13.10	Gevolgen van automatisering	359	17	Productiekosten	439
	Samenvatting	360			
	Literatuur	361	17.1	Inleiding	439
	Oefenvragen	362	17.2	Kostensoorten en kostenopbouw	441
14	Productievoorbereiding	363	17.3	Uurtarieven	446
			17.4	Optimalisatie van de productiekostprijs	448
14.1	De betekenis van de productie-voorbereiding	363	17.5	Make-or-buy-beslissingen	449
14.2	Stadia in het voortbrengingsproces	364	17.6	Uitgewerkte voorbeelden	450
14.3	De werkvoorbereiding	365	17.7	Enkele slotopmerkingen	453
14.4	Vereenvoudigde richtlijnen	366		Samenvatting	454
14.5	Werkwijze voor het vaststellen van het bewerkingsplan	376		Literatuur	454
14.6	Computerondersteunde werkvoorbereiding	378		Symbolenlijst	455
14.7	Toepassingsvoorbeeld: het vervaardigen van een gegoten product	381		Oefenvragen	456
14.8	Toepassingsvoorbeeld: het vervaardigen van een plaatwerkproduct	386			
	Samenvatting	391			
	Literatuur	392			
	Oefenvragen	392			
15	Het productiebedrijf	393			
15.1	Het bedrijf in zijn omgeving	393			
15.2	Het productiesysteem	394			
15.3	Productiesystemen in de kleinseriefabricage	398			
15.4	Goederenstroombesturing en werkplaatsbesturing	402			

1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft de samenhang weer tussen de technieken voor het vervaardigen van producten en de verschillende disciplines in het productiebedrijf. Aan de hand hiervan maken we duidelijk waarom ook ontwerpers van producten kennis van en inzicht in het vakgebied productietechniek moeten bezitten.

Daarnaast vind je in dit hoofdstuk een overzicht van de belangrijkste aspecten van het produceren, en van de inhoud van de volgende hoofdstukken.

1.1 De ontwikkeling van de industriële productie

De industriële productietechniek ontstond tegen het eind van de achttiende eeuw. De meest voor de hand liggende illustratie hiervan is de stoommachine (zie figuur 1.1). Hiermee werd onder andere water uit kolenmijnen opgepompt. De opkomst van de stoommachine markeert het tijdstip waarop men in staat was om de principes van de natuurkunde, mechanica en productietechniek toe te passen voor het ontwerpen en fabriceren van bruikbare en rendabele werktuigen. Deze ontwikkeling wordt ook algemeen beschouwd als het begin van de opkomst van de mechanische industrie.

Een essentiële voorwaarde voor het bouwen van een stoommachine was de beschikbaarheid van kennis en middelen om cilinders en zuigers te vervaardigen, en om de vorm en afmetingen daarvan nauwkeurig te kunnen bepalen. Daarvoor had men

gereedschapswerktuigen nodig, en voldoende energie om die aan te drijven.

De stoommachine leverde energie op een centraal punt. Op dat punt moest de energie ook worden afgenomen (zie figuur 1.2). Het beschikbaar komen van zeer grote hoeveelheden energie op één plaats luidde de eerste industriële revolutie in. Deze werd gekenmerkt door de opkomst van grote **industriële bedrijven**, die in de plaats kwamen van de kleine ambachtelijke bedrijfjes uit de tijd van de wind- en watermolens. Een van de belangrijkste kenmerken van de industrialisatie is het bijeenbrengen van productiemiddelen, zoals arbeid, machines en gereedschappen, in een georganiseerd verband. De industriële productiebedrijven hadden een veel grotere capaciteit dan ambachtelijke bedrijven. De opkomst van de spoorwegen en de stoomscheepvaart maakte het mogelijk om grondstoffen en materialen over grote afstanden aan te voeren en om producten over een groot afzetgebied te verspreiden. Dit stimuleerde vervolgens de machine-industrie en de bouw



Figuur 1.1 Balansstoommachine uit 1843 (Science Centre Delft)



Figuur 1.2 Centrale werkplaats van de Technische Hogeschool Delft omstreeks 1938. De machines werden oorspronkelijk aangedreven door een stoommachine via aandrijfassen en riemschijven

van civiele werken zoals spoorlijnen, bruggen en waterwegen.

De ontwikkeling van industriële bedrijven bracht zeer grote sociale problemen met zich mee. De massale trek van de bevolking naar de industriesteden en de daaruit voortvloeiende huisvestingsproblemen, schrijnende armoede en onmenselijke arbeidsomstandigheden, zijn onverbrekkelijk verbonden met de industriële revolutie. Vanaf het einde van de negentiende eeuw, zo'n 100 jaar na het begin van de industriële revolutie, kwam hierin heel geleidelijk verbetering door de ontwikkeling van de parlementaire democratie en van de vakbeweging.

Een van de eerste tekenen van massale onvrede onder de arbeiders was de opstand van de 'Luddieten' rond 1815. De Luddieten waren Engelse textielarbeiders die onder aanvoering van Ned Ludd de voor die tijd moderne weefgetouwen vernielden uit vrees dat die hen werkloos zouden maken.

Deze weefgetouwen zijn de voorlopers van de huidige productiemachines. Het te weven patroon kwam tot stand met behulp van een reeks ponskaarten (zie figuur 1.3). Het gatenpatroon in de kaarten bepaalde het weefpatroon. Oftewel: een gemakkelijk te verwisselen informatiedrager bevatte (gecodeerde) informatie over het product en de manier waarop dat moest worden gemaakt. Met behulp van deze informatie verliep het productieproces geheel of grotendeels automatisch. Ponskaarten of ponsbanden worden nu niet meer gebruikt, maar verder is deze omschrijving nog steeds van toepassing op de moderne numeriek bestuurd (computer-gestuurde) gereedschapswerktuigen! Numerieke besturing wordt meestal aangeduid met de Engelse afkorting NC (*numerical control*). Dit onderwerp wordt behandeld in hoofdstuk 13.

Overigens hebben de Luddieten moderne navolgers gekregen. Zo stelden Nederlandse politici in de zeventiger jaren van de twintigste eeuw voor een heffing in te voeren om de automatisering af te remmen en daardoor werkgelegenheid te behouden.

Andere problemen die ontstonden bij het produceren op grote schaal waren gebrek aan kapitaal en geschoolde werkkrachten, de spreiding van taken en de daarmee gepaard gaande specialisatie. Als gevolg van deze specialisatie ontstond een complexe organisatie en werd de communicatie tussen de



Figuur 1.3 Jacquard-weefgetouw, begin 19e eeuw. Het weefpatroon wordt door een ponsband gestuurd. (Museum Twentse Welle)

verschillende afdelingen van organisaties steeds moeilijker.

In het begin van de twintigste eeuw volgden nieuwe belangrijke ontwikkelingen: de opkomst van de elektrificatie, de auto, het vliegtuig, radio en televisie. Na de Tweede Wereldoorlog volgden de ruimtevaart, de micro-elektronica en de informatietechnologie. De technieken waren in principe al bekend, maar er waren steeds technische doorbraken nodig om deze ook praktisch toe te kunnen passen. Zo was er bijvoorbeeld geen vliegtuig mogelijk zonder een lichte verbrandingsmotor, en geen ruimtevaart zonder micro-elektronica.

De duidelijkste en belangrijkste trend van de afgelopen eeuw is echter de enorme toename van de nauwkeurigheid waarmee zeer uiteenlopende fabricagebewerkingen en materiaalbehandelingen kunnen worden uitgevoerd. Dit is gedurende de afgelopen decennia de drijvende kracht geweest achter een vorm van productvernieuwing die het beste aangeduid kan worden met **miniaturisatie**. De **microtechnologie** draait om het vormgeven en fabriceren, evenals het manipuleren, plaatsen en meten van producten op sub-100-micrometerschaal.

De huidige ontwikkelingen op dit gebied en de daaraan gekoppelde productiemogelijkheden in de micro-elektronica komen voort uit de voortgaande behoefte tot miniaturisering. Deze ontwikkelingen richten zich voornamelijk op de precisiefabricage, waarmee steeds weer nieuwe producten technisch en economisch aantrekkelijk op de markt kunnen worden gebracht. Dit is bijvoorbeeld te zien in de automobiellindustrie. Bij de duurdere typen auto's maakt de toegevoegde waarde van de micro-elektronica met de daarbij behorende sensoren en actuatoren al meer dan de helft van de toegevoegde waarde uit.

De nieuwste uitdaging is te vinden in de biotechnologie. Deze technologie richt zich vooralsnog vooral op nieuwe materialen en toont een grote betrokkenheid met de fysica en de chemie. De **nanotechnologie** draait om het vormgeven en fabriceren, evenals het manipuleren, plaatsen en meten van producten op sub-100-nanometerschaal, oftewel $< 0,0001$ mm. Vanuit mechanisch oogpunt kan deze technologie worden beschouwd als een logische voortzetting van de microtechnologie. Als het tot industriële productie komt, zal men in de toekomst voor de realisatie van nanoprodukten dan ook veelvuldig een beroep moeten doen op de mechanische en micro-elektronische disciplines vanwege de vereiste productieapparatuur. Daarmee wordt tegelijkertijd duidelijk dat de maakbaarheid de grootste belemmering vormt voor product vernieuwing.

1.2 Organisatie en communicatie

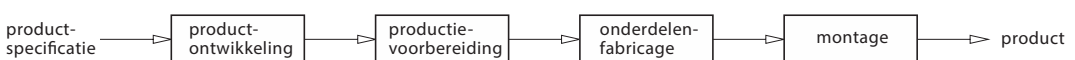
In de vorige paragraaf schreven we al dat ambachtelijke bedrijfjes onder invloed van de industriële revolutie uitgroeiden tot industriële ondernemingen. De ambachtelijke bedrijfjes werden gevormd door een eigenaar, tevens productontwikkelaar, vakman en verkoper, en één of meer leerlingen die de eigenaar assisteerden. De industriële ondernemingen hadden daarentegen veel meer werknemers, ieder met hun eigen taak. Deze ondernemingen bleven groeien, de technische vooruitgang schreed voort en de producten en processen werden steeds ingewikkelder.

Dit leidde in de eerste helft van de twintigste eeuw tot een onderscheid tussen verschillende **bedrijfsfuncties** en zelfs tot onderscheid binnen deze bedrijfsfuncties. Dit zien we heel duidelijk terug in de ontwikkeling van de productiefunctie. Vooral bij massaproductie werden de opeenvolgende bewerkingen opgesplitst in eenvoudige, steeds terugkerende handelingen die elk door een werknemer werden uitgevoerd. Op deze wijze kon de productiviteit ver worden opgevoerd en het werk worden overgelaten aan ongeschoolde of beperkt geschoolde en laagbetaalde arbeiders. Charlie Chaplin laat in de film *Modern Times* (1936) op karikaturale wijze zien waar dit toe kan leiden!

Gelijksoortige taken werden bijeengebracht in afzonderlijke organisatorische eenheden binnen het bedrijf. Ook vandaag de dag hebben veel bedrijven verschillende afdelingen, zoals verkoop of marketing, productontwikkeling en -vervaardiging. De opdeling in verschillende bedrijfsfuncties is ook terug te vinden in de bouwwereld, waar de make-laar, de architect en de aannemer vaak onafhankelijk van elkaar opereren.

Naarmate de onderneming groeit, gaat de taakverdeling steeds verder. Figuur 1.4 geeft de vier primaire taken bij het voortbrengen van een product weer, die vaak als afzonderlijke bedrijfsfuncties worden afgehandeld. De bedrijfsfuncties moeten elkaar ondersteunen en daarvoor is **communicatie** nodig. Het is bij de functiegerichte structuur zeer moeilijk te vermijden dat communicatiestoornissen en scheidingsmuren tussen afdelingen ontstaan. Als de communicatie tussen de bedrijfsfuncties niet behoorlijk werkt, is het vrijwel onmogelijk om aan alle eisen te voldoen die aan het product worden gesteld (bijvoorbeeld op het gebied van kwaliteit, levertijd en kostprijs).

Communicatie vraagt in de eerste plaats om bereidheid om te overleggen met mensen uit andere vakgebieden. Dit blijkt vaak veel moeilijker dan je op het eerste gezicht misschien zou verwachten. Een commercieel ingesteld persoon denkt en redeneert vaak anders dan een ontwerper. Hij heeft zijn eigen jargon en zijn eigen prioriteiten. Hij verwacht onmiddellijk antwoord te krijgen op een vraag,



Figuur 1.4 Van productspecificatie tot product

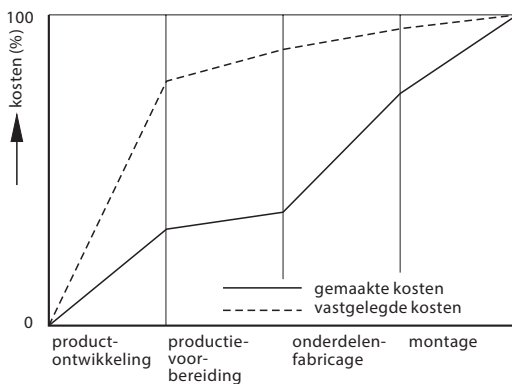


Figuur 1.5 Communicatie

terwijl de ontwerper daar misschien eerst nog een tijd mee aan de slag moet.

Ook ontwerpers en het personeel in de werkplaats moeten bereid zijn naar elkaar te luisteren, zich te verdiepen in elkaars problemen, en samen naar een oplossing te zoeken. Maar al te vaak worden productontwerpen doorgeschoven naar de werkplaats zonder dat de ontwerper zich voldoende heeft afgevraagd hoe het product gemaakt moet worden. Die zegt vaak al snel: 'Dat is mijn probleem niet!' (zie figuur 1.5).

Figuur 1.6 geeft het resultaat van verschillende onderzoeken weer, uitgevoerd in de industrie. Je ziet het aandeel in de productkosten van productontwikkeling, productievoorbereiding, onderdelenfabricage en montage. Daarnaast zie je op welke plaats deze kosten worden bepaald. Het aandeel van de ontwerpkosten is beperkt, maar de ontwerper legt voor een zeer groot deel de productiemethoden vast, en daarmee de kostprijs van het product. Als een ontwerp vanuit het oogpunt van kosten ongunstig is, kan dat nooit worden goedge gemaakt door een efficiënte productiemethode.



Figuur 1.6 Schematisch verloop van de kosten

Goed overleg is dus van levensbelang voor het voortbestaan van de onderneming. Behalve de bereidheid om te communiceren is voor vruchtbaar overleg ook voldoende deskundigheid nodig. Daarnaast moet het betrokken personeel natuurlijk over de benodigde gegevens kunnen beschikken of toegang hebben tot de communicatiekanalen die deze gegevens kunnen leveren. De ontwerper zal een goede kennis van, en inzicht in, de productietechnieken moeten bezitten om zelfstandig goede voorstellen uit te kunnen werken.

Communicatiemiddelen

Hoe complexer de bedrijfsprocessen, hoe meer behoefte aan goede communicatie. Vanuit de mondelinge communicatie in het ambachtelijke bedrijf ontstonden verschillende communicatiemiddelen.

Vanaf de handmatige schets ontstond de **technische tekening**, die de geometrie en later ook de oppervlakteconditie en de **toleranties** (toelaatbare afwijkingen van de nominale maten en van vorm en plaats) vastlegde. Dit geheel duidt men tegenwoordig aan met de geometrische productspecificatie (**GPS**). In de loop van meer dan een eeuw is een steeds verfijnder stelsel van ISO-normen voor de GPS ontwikkeld, die de uitvoering en de interpretatie van de tekeningen bepalen. Bijkomende informatie, zoals benodigde aantallen, termijnen en benodigde materialen, werd vastgelegd op formulieren. Deze werden ontwikkeld op basis van de noodzakelijke informatiestromen.

De overdracht van de informatie van de tekening naar het product gebeurde aanvankelijk door het met de hand instellen van de bewerkingsmachines. Later, bij de massaproductie, stelde men ook de machines in met mechanische middelen zoals mallen en aanslagen.

De opkomst van computergestuurde machines maakte het mogelijk het werkstukprogramma met de geometrische en **technologische informatie** (informatie over de bewerking) aan de besturing toe te voeren, met behulp van een gemakkelijk te verwisselen informatiedrager. Hierdoor werd het mogelijk ook het vervaardigen van producten in kleine series te automatiseren.

Tegenwoordig is de geometrie van een werkstuk veelal vastgelegd in een driedimensionaal computermodel. Dit model kan dienen als uitgangspunt voor het maken van het werkstukprogramma.

Hiermee is het maken van deze programma's gemakkelijker, sneller en vooral veel betrouwbaarder geworden. Deze techniek staat bekend als CAD/CAM (*computer-aided design/computer-aided manufacturing*).

Voor de andere communicatiestromen worden computernetwerken steeds meer ingezet. Via internet gebeurt dit in toenemende mate wereldwijd tussen bedrijven die betrokken zijn bij de ontwikkeling en fabricage van een product.

1.3 Productvoorbeelden en productkentallen

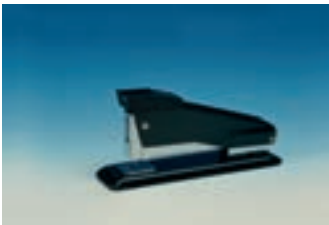
In dit boek illustreren we de stof met praktijkvoorbeelden die zo veel mogelijk betrekking hebben op dezelfde voorbeeldproducten:

- Een nietmachine (zie figuur 1.7). Dit eenvoudige gebruiksvoorwerp dient als voorbeeld om de

indeling van de productietechnieken duidelijk te maken en de keuzen die een productontwerper moet maken te laten zien.

- Het rompvoorstuk van een verkeersvliegtuig (zie figuur 1.8). Een zeer complex product waarvan er slechts enkele tientallen tot enkele honderden stuks per jaar worden gemaakt. Alleen al door de geringe aantallen zijn de fabricageprocessen geheel anders dan voor een massaproduct.
- Een scheerapparaat (zie figuren 1.9 en 1.10). Een schijnbaar eenvoudig product, waarvoor echter zeer geavanceerde fabricagemethoden worden toegepast en dat in zeer grote aantallen gemaakt wordt, tot enkele miljoenen per jaar van één model.

Figuur 1.11 geeft een aantal kenmerkende grootheden van een verzameling producten die karakteristiek zijn voor het gebied van de mechanische productie. De voorbeelden bestrijken het gehele gebied van massaproductie tot het vervaardigen van



Figuur 1.7 Nietmachine



Figuur 1.8 Het rompvoorstuk van een verkeersvliegtuig



Figuur 1.9 Philips-scheerapparaat



Figuur 1.10 Gedeeltelijke exploded view van het Philips-scheerapparaat

Product	Totaalserie	Productlevenscyclus	Ontwikkelingstijd	Productlevensduur	Aantal componenten
scheerapparaat	10 ⁷	1 jaar	1 jaar	5 jaar	50
personenauto	10 ⁶	5 jaar	5 jaar	10 jaar	10.000
vliegtuig	10 ³	25 jaar	7 jaar	25 jaar	100.000
zeiljacht	10 ²	5 jaar	½ jaar	30 jaar	1000
baggermolen	10 ⁰	bouwtijd	1 jaar	15 jaar	50.000

Figuur 1.11 Productvoorbeelden met productkentallen

een uniek product. De productkentallen hebben een grote invloed op de inrichting en op de gang van zaken bij een productiebedrijf. De **totaalserie** geeft de orde van grootte aan van het totale aantal stuks dat van één model (met eventuele varianten) wordt geproduceerd. De aantallen gelden voor producten die als een commercieel succes mogen worden beschouwd.

De **productlevenscyclus** is de tijdsduur waarin een product met succes kan worden verkocht. De productlevenscyclus van consumentenproducten is vaak zeer kort. Dit in tegenstelling tot de zeer lange productlevenscyclus van vliegtuigen. De in zijn tijd succesvolle Fokker F-27 (zie figuur 1.12a) was het allereerste passagiersvliegtuig met verlijmden romp- en vleugelonderdelen van aluminium. Er zijn er 793 van gebouwd en het type wordt beschouwd als de succesvolste opvolger van de legendarische DC3. Het stamt uit 1955 en werd geproduceerd tot 1987. Van de hierop gebaseerde opvolger, de F-50 (zie figuur 1.12b), zijn er van 1985 tot 1997 nog slechts 213 geproduceerd. De eerste Boeing 747 (serie 100) werd in 1968 geproduceerd. In 2011 werd het eerste toestel van de laatste serie (747-800), afgeleverd. Men verwacht in 2018 de productie van de 747 te beëindigen. Door de aanmerkelijke toename in het luchtverkeer in de afgelopen decennia zijn de productieaantallen aanmerkelijk toegenomen. Voor passagiersvliegtuigen geldt een minimale gebruiksduur van 25 jaar. Gedurende die tijd moeten er in ieder geval onderdelen voor onderhoud kunnen worden geleverd. De meeste onderdelen worden gedurende een periode van 40-50 jaar, naar behoefte, in serie geproduceerd.

De **ontwikkelingstijd** is de tijdsduur van het ontwikkeltraject tot een productierijp ontwerp. De **productlevensduur** is de gemiddelde levensduur van een exemplaar van het product. De totaalserie is de belangrijkste factor bij het vaststellen van de productiemethode. De productlevenscyclus en de ontwikkelingstijd bepalen de gang

van zaken bij de productontwikkeling. De productlevensduur bepaalt de inspanningen benodigd op het gebied van serviceverlening en van de archivering van gegevens. Het aantal componenten is een indicatie van de complexiteit, zowel van de productontwikkeling als van het fabricageproces.

Keuzeproblemen bij het ontwerpen

De ontwerper heeft voortdurend te maken met keuzeproblemen. De keuzen die hij maakt beïnvloeden zowel zijn ontwerp als de fabricagemethode. Laten we twee alternatieve ontwerpen voor een nietmachine bekijken (zie figuur 1.13). De ontwerper moet



Figuur 1.12 Prototype Fokker F-27, eerste vlucht in 1955 (a) en Fokker-50, 40 jaar later in productie (b)

met elkaar samenhangende keuzen maken ten aanzien van:

- materiaal;
- vormgeving;
- fabricagemethode;
- zelf maken of uitbesteden.

Deze keuzen worden bepaald door verschillende overwegingen op het gebied van functie en esthetiek.

Functie

Functionele eisen die aan de onderdelen van het apparaat gesteld worden, zijn sterkte, stijfheid en nauwkeurigheid.

Esthetische eisen

Het gewenste uiterlijk van het apparaat. Misschien moet het passen bij een lijn van aanverwante producten (ponsapparaat, ontnieter) of kantoor-meubilair. Ook de wensen van de markt zijn van belang, bijvoorbeeld of het apparaat een zakelijke of modieuze uitstraling moet hebben.

Daarnaast worden de keuzen bepaald door overwegingen bij de mogelijke combinaties van materiaalkeuze en fabricagemethoden. Het gaat hierbij om de kostprijs, levertijd, beschikbare productietechnieken, leverbaarheid, onderhoud en recycling.

Kostprijs

Hierbij zijn de seriegrootte en de te verwachten varianten en het aantal onderdelen bepalend.

Levertijd

Een matrijs voor het spuitgieten van een kunststof product heeft een lange levertijd.

Beschikbare productietechnieken

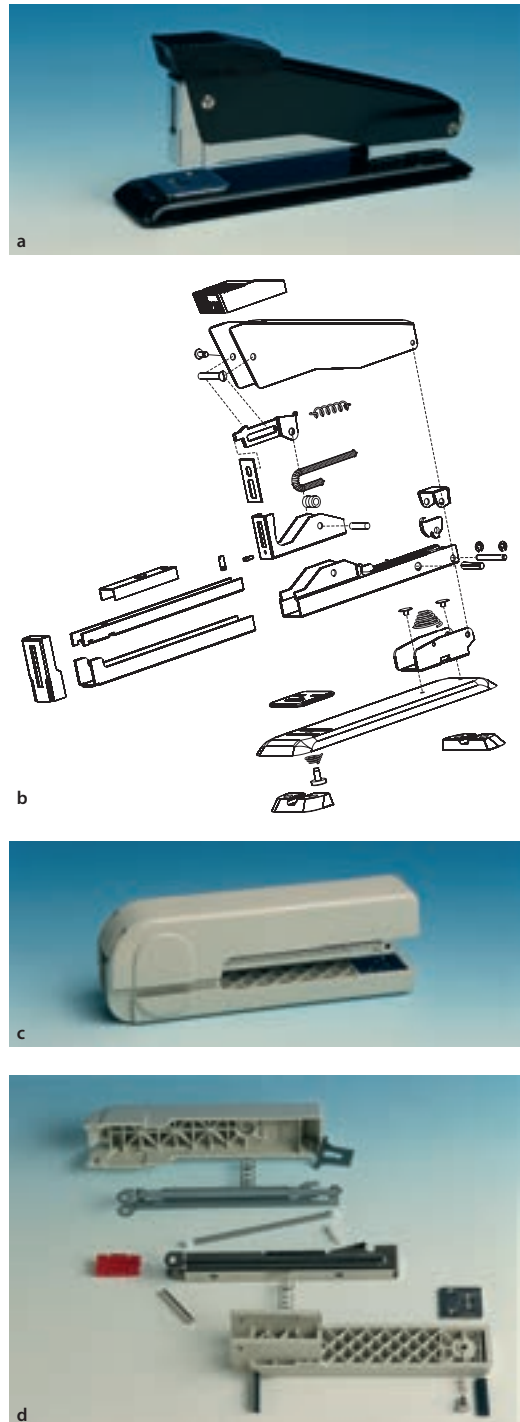
Is de vereiste techniek binnen het bedrijf beschikbaar? Is men bereid zaken uit te besteden of wil men juist alles zelf doen? De antwoorden op deze vragen verruimen of beperken de keuzemogelijkheden.

Leverbaarheid

Het uitgangsmateriaal (soort, vorm en hoeveelheid) moet op de gewenste termijnen ook in de toekomst leverbaar zijn.

Onderhoud

Het product moet goed toegankelijk zijn voor onderhoud. Het gebruik van productgebonden gereed-



Figuur 1.13 Nietmachine uit staalplaat (a) met exploded view (b) en kunststof nietmachine (c) met exploded view (d)

schap ten behoeve hiervan moet zo veel mogelijk worden vermeden.

Recycling

Het product moet gemakkelijk demonteerbaar zijn en het materiaal moet opnieuw bruikbaar zijn.

1.4 Indeling van vervaardigingstechnieken

De beschouwde vervaardigingstechnieken omvatten het maken en verbinden van onderdelen. Ter illustratie wordt opnieuw de nietmachine gebruikt, in de versie die voornamelijk is vervaardigd uit staalplaat (zie figuur 1.13a, b).

1.4.1 De hoofdgroepen

DIN 8580 geeft een indeling van de vervaardigingstechnieken, gebaseerd op de veranderingen in de samenhang van het werkstukmateriaal. Langs deze weg zijn de volgende hoofdgroepen gevormd:

- oervormen;
- omvormen;
- scheiden en afnemen;
- verbinden;
- veranderen van materiaaleigenschappen;
- opbrengen van lagen.

Alle vervaardigingstechnieken zijn in een van deze hoofdgroepen onder te brengen. Er bestaan gevallen waarin een combinatie van twee of meer hoofdgroepen aan de orde is. Bij het maken van een product uit vezelversterkte kunststof is er bijvoorbeeld tegelijkertijd sprake van oervormen, verbinden en veranderen van materiaaleigenschappen. In de volgende paragraaf bespreken we alle hoofdgroepen kort en geven we aan in welke hoofdstukken deze uitgebreider aan de orde komen.

1.4.2 Omschrijvingen, toepassingen, voorbeelden

Oervormen

Bij **oervormen** wordt materiaal met een niet-gedefinieerde vorm rechtstreeks omgezet in een gedefinieerde vorm. In verreweg de meeste gevallen is het uitgangsmateriaal een vloeistof; we spreken dan over vloeibare vormgeving of wel **gieten**. Vloeibaar materiaal wordt hierbij in een vorm gegoten. Na

stolling of, bij sommige kunststoffen, uitharding is er een vormvast product ontstaan.

Soms is het uitgangsmateriaal een materiaal in poedervorm, dat onder hoge druk in een vorm wordt geperst en vervolgens verhit wordt tot temperaturen dicht bij het smeltpunt. Deze laatste stap noemt men **sinteren**. Ook op deze manier wordt een samenhangend onderdeel verkregen. Bij het verwerken van metalen of metaallegeringen spreken we van **poedermetallurgie (PM)**.

De **materiaalaangroeitechnieken** vormen een familie van methoden die behoren tot het oervormen. Deze technieken worden ook vaak aangeduid met de benamingen **additive manufacturing** en **3D-printen**. Hierbij wordt een onderdeel opgebouwd uit vormloos materiaal zonder dat daarvoor een vormbepalend gereedschap als een gietvorm nodig is.

Alle materialen, die niet worden gebruikt in de vorm waarin ze in de natuur voorkomen (bijvoorbeeld hout en steen), komen door een oervormproces tot stand, eventueel in een aantal stappen. Bij het gieten kan onderscheid gemaakt worden tussen het gieten van uitgangsmateriaal voor het maken van halffabricaten, zoals plaat, staf of profiel, en het rechtstreeks gieten van als zodanig te gebruiken onderdelen.

Voorbeeld van gieten:

De drukknop van de nietmachine wordt gemaakt door vloeibare kunststof onder hoge druk in een metalen gietvorm, de matrijs, te spuiten; het proces heet dan ook **spuitgieten**. Hetzelfde geldt voor de meeste onderdelen van de in kunststof uitgevoerde nietmachine.

Oervormen behandelen we in hoofdstuk 3, de materiaalaangroeitechnieken in hoofdstuk 8.

Omvormen

Bij **omvormen** wordt het vermogen benut van materialen om onder invloed van krachten blijvende vervormingen te ondergaan. De samenhang van het materiaal blijft hierbij behouden, de massa en het volume blijven constant.

De omvormtechnieken voor metalen zijn te verdelen in twee groepen, massief omvormen en plaatomvormen. Bij massief omvormen kan het materiaal in alle richtingen grote vormveranderingen ondergaan. De benodigde krachten zijn groot

in vergelijking met de krachten die optreden bij het omvormen van plaatmateriaal. Bij **plaatomvormen** zijn de vervormingen loodrecht op het vlak van de plaat van ondergeschikt belang voor het vormen van het onderdeel.

Voorbeeld van massief omvormen:

De nietmachine is grotendeels uit staalplaat vervaardigd. Staalplaat ontstaat door een gegoten blok staal in een groot aantal stappen in dikte te reduceren door middel van walsen. Dit is een massief omvormproces.

Voorbeeld van plaatomvormen:

Een aantal onderdelen van de nietmachine wordt uit vlak plaatmateriaal gemaakt door middel van buigen.

Omvormen behandelen we in hoofdstuk 4.

Scheiden en afnemen

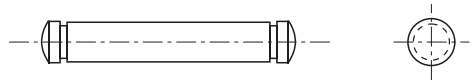
Bij deze bewerkingen wordt de samenhang van het uitgangsmateriaal verbroken. Het product komt tot stand door het verwijderen van overtollig materiaal. Bij **scheiden** blijft het overtollige materiaal in principe als zodanig bruikbaar, bijvoorbeeld in het geval van het knippen van een brede plaat in kleinere stroken.

Bij **afnemen** wordt het overtollige materiaal fijn verdeeld of zelfs chemisch gebonden, zodat er geen bruikbaar materiaal overblijft. Bij de vervaardiging van bepaalde vliegtuigonderdelen wordt op deze wijze circa 95% van het uitgangsmateriaal omgezet in spanen die alleen door recycling weer in bruikbaar materiaal zijn om te zetten.

Een scheidende bewerking kan op zichzelf een afnemende bewerking zijn, bijvoorbeeld het in schijven zagen van een lange staaf. Zagen is een afnemende bewerking. Het eindresultaat is een aantal bruikbare materiaal delen en een beperkte hoeveelheid spanen.

Voorbeeld van het scheiden:

Vóór het omvormen van de plaatdelen van de nietmachine moet eerst een plaatdeel met de juiste omtrek vorm worden gemaakt, de **uitslag**. Plaatmateriaal wordt eerst in smalle stroken geknipt. Een snijstempel pons vervolgens de uitslag met daarin de eventueel benodigde gaten uit de strook. Soms kan het afvalmateriaal nog voor andere delen worden gebruikt.



Figuur 1.14 Scharnierpen van de nietmachine uit figuur 1.13a, b

Voorbeeld van het afnemen:

De bolvormige uiteinden van de scharnierpen (zie figuur 1.14) ontstaan door het afnemen van het overtollige materiaal door middel van draaien. Dit geldt ook voor de groefjes waarmee het borgplaatje wordt vastgezet. De spaantjes zijn uiteraard niet meer bruikbaar.

Een algemeen kenmerk van de mechanische afnemende bewerkingen is dat de vorm van het product wordt verkregen door het sturen van een **universeel gereedschap** (een gereedschap dat niet voor een specifiek product is bestemd) langs het product. Dit noemt men het genereren van de vorm.

Bij oervormen, omvormen en scheiden is de vorm van het eindproduct meestal vastgelegd in een **productgebonden gereedschap** (een gereedschap dat speciaal voor dat product is bestemd). Hier is dus sprake van het **reproducen** van een al bestaande vorm. Reproducen verloopt in de regel veel sneller dan genereren en verdient daarom in principe de voorkeur bij het vervaardigen van producten in grote aantallen.

De scheidende bewerkingen behandelen we in hoofdstuk 7, de afnemende bewerkingen in de hoofdstukken 5 en 6.

Verbinden

Bij **verbinden** worden onderdelen verenigd tot een star geheel. De verbindingstechnieken zijn ruwweg in te delen in vijf hoofdgroepen:

- Pen-gatverbindingen, verder onder te verdelen in vaste en losneembare verbindingen.
- Verbindingen die tot stand komen door het materiaal van de onderdelen te smelten (lasverbindingen).
- Verbindingen met behulp van een tussenlaag (lijm- en soldeerverbindingen).
- Omvormverbindingen waarbij de verbinding tot stand komt door het omvormen van een of meer onderdelen.
- Verbindingen door elastisch vervormen, zoals krimp- en persverbindingen, waarbij het

onderling verschuiven van de delen wordt verhinderd door wrijving.

Alleen pen-gatverbindingen zijn losneembaar zonder de delen te beschadigen.

Voorbeeld van het verbinden:

De plaatdelen van de nietmachine zijn vast verbonden met klinknagels (vaste pen-gatverbindingen).

De verbindingstechnieken behandelen we in hoofdstuk 9.

Bij alle tot nu toe genoemde vervaardigingstechnieken is het doel het verkrijgen van de gewenste geometrie van het werkstuk. Bij de volgende twee hoofdgroepen is het doel het veranderen van de materiaaleigenschappen.

Veranderen van materiaaleigenschappen

Het veranderen van de materiaaleigenschappen betreft voornamelijk thermische behandelingen van metalen. Dit behoort tot het vakgebied van de materiaalkunde. De veranderingen kunnen (een groot deel van) het volume van het werkstuk betreffen, zoals bij de **bulkbehandelingen**, of een dunne laag aan het oppervlak van het werkstuk, zoals bij de **oppervlaktebehandelingen**.

Men verandert de materiaaleigenschappen:

- om gewenste eigenschappen van het eindproduct te verkrijgen, bijvoorbeeld slijtagebestendigheid;
- om het product beter te kunnen bewerken, bijvoorbeeld ter verbetering van de omvormbaarheid.

De materiaaleigenschappen kunnen ook veranderen als gevolg van het fabricageproces. Dit kan gewenst of ongewenst zijn.

Voorbeeld van gewenste veranderingen:

Bij het fabriceren van staalplaat ontstaat door een combinatie van walsbewerkingen en warmtebehandelingen een plaat met de gewenste dikte en mechanische eigenschappen.

Voorbeeld van ongewenste veranderingen:

Bij het omvormen van een halffabricaat tot een onderdeel kan materiaal door versteviging hard worden en daardoor moeilijk vervormbaar.

Het veranderen van materiaaleigenschappen behandelen we in hoofdstuk 10.

Opbrengen van lagen

Er bestaat een grote verscheidenheid aan technieken voor het opbrengen van **lagen**. Ze kunnen worden onderscheiden naar:

- functie (verbeteren van de duurzaamheid, verfraaien);
- opgebrachte materialen (organisch, metallisch, keramisch);
- toegepaste processen (chemisch, elektrochemisch, fysisch).

Voorbeelden van het opbrengen van lagen:

De plaatdelen van de nietmachine zijn deels gelakt, dit wil zeggen bedekt met organisch materiaal, opgebracht door middel van spuiten of dompelen. Andere delen zijn verchroomd, dus voorzien van een metallische deklaag, opgebracht met een elektrochemisch proces. Bovendien zijn voorafgaand aan deze behandelingen de plaatdelen gereinigd en chemisch behandeld ter verbetering van de hechting van de oppervlaktelaag.

Voorbeeld van een toegepast proces:

Aluminium delen (die geen deel uitmaken van de nietmachine) worden vaak geanodiseerd. Dit is een elektrochemisch proces waarbij het materiaal aan het oppervlak wordt omgezet in een harde en dichte oxidelaag, die verdere oxidatie tegengaat.

Het opbrengen van lagen behandelen we in hoofdstuk 10.

1.5 Het mechanisch materiaalgedrag in de fabricage

De materiaaleigenschappen die bepalend zijn voor de **bewerkbaarheid** (het gedrag van het materiaal tijdens de fabricage) verschillen sterk van de eigenschappen die van belang zijn voor het functioneren van het product. Bij het ontwerpen van het product is het dus nodig bij de materiaalkeuze ook rekening te houden met de bewerkbaarheid en het bewerkingsproces.

Bepalend voor het materiaalgedrag zijn:

- de eigenschappen van het uitgangsmateriaal, bepaald door de samenstelling en de structuur;

- de verandering van de materiaaleigenschappen die optreedt tijdens de bewerking, afhankelijk van de procescondities, onder andere bepaald door de spanningen, rekken en temperaturen.

Tijdens sommige bewerkingen ondergaat het werkstukmateriaal grote structuurveranderingen, waardoor de eigenschappen blijvend veranderen. In deze gevallen zijn het proces en de procescondities niet alleen medebepalend voor de materiaaleigenschappen tijdens de bewerkingen, maar ook voor die van het voltooide product. Dit is zeer duidelijk het geval bij de fabricage van producten uit kunststoffen, waarbij de polymere structuur tijdens de fabricage ontstaat. Iets dergelijks treedt echter ook op bij metalen, waarbij als gevolg van plastische vervorming versteviging optreedt. Dit kan leiden tot een aanzienlijke toename van de sterkte van het materiaal, maar ook tot scheurvorming en breuk. In het laatste geval zijn de eigenschappen van de constructie als geheel dus verslechterd.

In sommige gevallen moet het materiaal eerst een warmtebehandeling ondergaan om de structuur te krijgen die voor de bewerking is vereist, bijvoorbeeld om de weerstand tegen plastisch omvormen of de kans op scheurvorming te verminderen. Bij hogere temperaturen zijn de meeste materialen gemakkelijker te vervormen.

Bij vrijwel alle bewerkingen ontstaat warmte door de vervorming in het materiaal of door de wrijving tussen gereedschap en product. **Wrijving** is echter ook terug te voeren tot plastische deformatie op microschaal. Alle energie die aan een mechanisch bewerkingproces wordt toegevoerd, wordt omgezet in warmte. In sommige gevallen wordt dankbaar gebruikgemaakt van deze warmte, bijvoorbeeld bij het warmwalsen. Hierdoor blijft het materiaal op de juiste temperatuur. In andere gevallen is geforceerde koeling nodig om de materiaaleigenschappen te beheersen en om vervorming en slijtage van het gereedschap te voorkomen.

Alle conditiebepalende factoren zijn terug te brengen tot enkele fysische principes, waarvan wrijving het belangrijkste is. Dit betreft vooral wrijving tussen werkstuk en gereedschap. Sommige processen, zoals walsen, zijn slechts mogelijk door het optreden van wrijving tussen walsrol en materiaal. Bij andere processen, zoals extruderen, zijn de wrijvingskrachten tussen gereedschap en werkstuk-

materiaal juist de beperkende factor. Bij snel verlopende processen, zoals verspanen, leidt wrijving tot zeer hoge temperaturen en dus tot intensieve slijtage van het gereedschap. Het toepassen van smering kan de wrijving beperken.

De grenzen van de uitvoerbaarheid van bewerkingprocessen worden in de regel gevormd door:

- het ontstaan van extreme thermische en mechanische belasting van het gereedschap, leidend tot hoge slijtage en/of breuk;
- ongewenste vervorming (bijvoorbeeld bij dunwandige producten), scheurvorming (bij te grote lokale vervorming) en breuk van het product;
- beperkingen in de mogelijkheden van gereedschapswerktuigen door het geïnstalleerd vermogen, de toelaatbare of bereikbare krachten en de stijfheid; dit laatste in verband met nauwkeurigheid en trillingen.

Voor elke vervaardigingstechniek, afhankelijk van materiaalsoort, zijn er grenzen aan de realiseerbare vormen, afmetingen en toleranties.

Hoofdstuk 2 verschaft de elementaire kennis van de materiaalkunde die nodig is voor het bestuderen van de verschillende bewerkingstechnieken in de daaropvolgende hoofdstukken.

1.6 Producteren in een industriële omgeving

Assembleren of monteren is het samenstellen van onderdelen door middel van het toepassen van de verbindingstechnieken die we behandelen in hoofdstuk 9. In hoofdstuk 11 behandelen we de opzet van, en de werkwijze in, montageafdelingen.

Kwaliteit is de mate waarin een product voldoet aan de verwachtingen van de klant. **Totale kwaliteitszorg** bestrijkt het gehele voortbrengingsproces, van marktverkenning via ontwerp en productie tot en met serviceverlening. Veel kwaliteitsproblemen zijn meer van organisatorische dan van technische aard. Bij de technische kwaliteitsproblemen, vooral bij de fabricage van onderdelen, spelen de **werkplaatsmeettechniek** en het **niet-destructief onderzoek** een belangrijke rol. Kwaliteit is het onderwerp van hoofdstuk 12.

In hoofdstuk 13 behandelen we de productiemachines en het automatiseren van de fabricage.

De schakel tussen de ontwerp- en de fabricageafdeling is de **productievoorbereiding**. Deze afdeling stelt aan de hand van het productontwerp de fabricagemethode vast en zorgt voor de benodigde gereedschappen en werkinstructies. Ze vormt het onderwerp van hoofdstuk 14.

In hoofdstuk 15 beschrijven we het productiebedrijf als geheel. Dit hoofdstuk gaat vooral in op de organisatie en de procedures die nodig zijn om van alle losstaande activiteiten en processen een goedlopend geheel te maken.

In figuur 1.6 zagen we al dat de ontwerper voor het grootste deel de kostprijs van het product bepaalt. In hoofdstuk 16 geven we een samenvattend overzicht van product- en productiegericht ontwerpen gericht op de processen die zich afspelen bij het ontwikkelen van producten en productiemethoden met als doel dat de producten zo efficiënt mogelijk kunnen worden geproduceerd.

In hoofdstuk 17 behandelen we de relatie tussen de fabricagemethode en de kostprijs van het product.

De volgende paragrafen geven een inleiding op een aantal algemene onderwerpen. We kijken naar criteria voor het beoordelen van fabricagemethoden en de problemen die kunnen optreden bij het maken van keuzes op het gebied van industriële productie. Tot slot zetten we nog eens op een rijtje welke onderwerpen we in dit boek bespreken.

1.7 Criteria voor het beoordelen van fabricagemethoden

Al enkele malen hebben we erop gewezen dat het productontwerp in hoge mate bepalend is voor de **fabricagemethode**. Onder fabricagemethode wordt verstaan de reeks opeenvolgende bewerkingen en behandelingen die nodig zijn om van ruw materiaal te komen tot onderdelen die voldoen aan de specificatie. Bewerkingen zijn nodig om de gewenste geometrie te verkrijgen, eventueel via een aantal tussenstadia. Behandelingen zijn nodig om gewenste materiaaleigenschappen of een goed uiterlijk van een product te verkrijgen. We maken onderscheid tussen materiaalbehande-

lingen vóór en na een bewerking. De eerste soort dient om het materiaal voor het bewerken in een geschikte conditie te brengen, zoals het zachtgloeien voordat een omvormbewerking plaatsvindt. Materiaalbehandeling na een bewerking vindt onder meer plaats om ongewenste gevolgen van een bewerking teniet te doen. Een voorbeeld hiervan is het spanningsarm gloeien na het lassen, om de inwendige spanningen in het werkstuk te verminderen.

Vooruitlopend op gedetailleerdere beschrijvingen van de verschillende fabricagemethoden, volgt hier een globaal overzicht van de aspecten die de ontwerper in zijn overwegingen moet betrekken.

De doelmatigheid van een fabricagemethode is af te meten aan:

- productiekosten;
- productiesnelheid;
- flexibiliteit;
- kwaliteit;
- milieueffecten.

Je kunt deze criteria ook toepassen op een volledig productiesysteem. We bespreken ze in de volgende paragrafen.

1.7.1 Productiekosten

De kosten van een product zijn te splitsen in eenmalige kosten, kosten voor herhaalopdrachten en repeterende kosten.

Eenmalige kosten zijn kosten die één keer gemaakt moeten worden om het product te kunnen vervaardigen. Daarom worden deze kosten verdeeld over het totale aantal producten, de totaalserie.

Voorbeelden van eenmalige kosten zijn:

- ontwerp- en ontwikkelingskosten;
- voorbereidingskosten, bijvoorbeeld bij het maken van werkinstructies;
- kosten van productgebonden machines en gereedschappen.

Kosten voor **herhaalopdrachten** zijn de kosten die gemaakt moeten worden om een serie producten (herhalingsorder) te vervaardigen. Onderdelen van producten die gedurende een langere tijd worden gebouwd, zoals personenauto's, fabriceert men in series. De kosten voor herhaalopdrachten komen bij elke **fabricageserie** terug, waardoor ze over het aantal producten van de fabricageserie worden verdeeld. Voorbeelden van deze kosten zijn:

- administratiekosten;
- kosten om een machine in te richten voor de fabricage van het betreffende product, de **inrichtkosten**.

Repeterende of uitvoeringskosten zijn de kosten die voor elk product terugkeren. Voorbeelden van deze kosten zijn:

- materiaalkosten;
- kosten van het gebruik van universele machines en gereedschappen;
- arbeidskosten.

De keuze van de fabricagemethode hangt dus in hoge mate af van de grootte van de totaalserie en de fabricageserie. Het belang van de seriegrootte keert in het hele boek steeds weer terug. De daling van de kostprijs bij toenemende productaantallen staat bekend als het **seriegrootte-effect**. De berekening van kosten wordt behandeld in hoofdstuk 17.

1.7.2 Productiesnelheid

Vrijwel altijd gaat een hoge **productiesnelheid** samen met lage repeterende kosten. Fabricageprocessen met een hoge snelheid zijn veelal sterk geautomatiseerd. Dit betekent wel dat de voorbereidingskosten en de kosten voor herhaalopdrachten betrekkelijk hoog zijn. Daarom zijn dit soort fabricageprocessen vooral geschikt voor grote productaantallen.

Een even belangrijk aspect van de productiesnelheid is de onderlinge afstemming van de snelheden van de verschillende processen in een reeks van opeenvolgende fabricage- of montageprocessen. Het duidelijkst komt dit tot uiting bij montagelijnen, die we behandelen in hoofdstuk 11.

1.7.3 Flexibiliteit

De **flexibiliteit** van een fabricage- of montagesysteem is de mate waarin het systeem kan worden aangepast aan nieuwe of gewijzigde producten of aan andere productaantallen. In de afgelopen decennia heeft de markt zich ontwikkeld in de richting van een toenemende verscheidenheid aan producten. Dit geldt zowel voor de markt voor consumentenproducten als voor die voor kapitaalgoederen. Afnemers willen dat producten worden aangepast aan hun wensen en kortere, maar vooral meer betrouwbare, levertijden. Processen die vooral geschikt zijn voor het produceren van zeer

grote aantallen identieke producten zullen in het algemeen zeer efficiënt produceren, maar hebben een lage flexibiliteit. Hoofdstuk 13 behandelt deze materie uitvoerig.

1.7.4 Kwaliteit

De producteigenschappen, de te betalen prijs, de levertijd en de service bepalen samen de kwaliteit van het product. Kwaliteit gaat dus niet zonder meer samen met hoge nauwkeurigheid of kostbare grondstoffen. De kwaliteit van het product wordt bepaald door:

- de mate waarin het productontwerp overeenkomt met de wensen of verwachtingen van de klant;
- de mate waarin het product overeenkomt met de productspecificatie;
- de ondersteuning van het product in de vorm van handleidingen, onderhoud, onderdelenvoorziening en garantieverlening;
- de milieubelasting die bij productie, gebruik en sloop van het product optreedt.

De productkwaliteit is het resultaat van de ontwerp-kwaliteit en de kwaliteit van het productieproces. Bij elke bewerking of behandeling kan er iets misgaan, waardoor werkstukken niet aan de kwaliteitseisen voldoen. Kwaliteitsbeheersing is een belangrijk aspect van de productietechniek. Door kwaliteitscontrole kunnen producten worden afgekeurd. De **uitvalsfractie** u is een belangrijke maatstaf voor de kwaliteit van productieprocessen. Ook de **opbrengst** o ($o = 1 - u$) wordt hiervoor gebruikt. Het komt erop neer dat je meer producten zal moeten maken dan je strikt gezien nodig hebt om uiteindelijk het gewenste aantal goede producten te kunnen afleveren. De uitvalsfractie zegt ook iets over de betrouwbaarheid van productieprocessen.

Een hoge kwaliteit hoeft overigens niet altijd samen te gaan met een hoge kostprijs. In hoofdstuk 12 zie je dat het verhogen van de kwaliteit vaak zelfs samengaat met een lagere kostprijs!

1.7.5 Milieueffecten

De activiteiten om milieuverontreiniging terug te dringen waren in het verleden voornamelijk gericht op het opheffen van vervuiling en op het verantwoord verwerken van afval. Tegenwoordig volgt men een meer doelgerichte aanpak, vaak aangeduid met het overkoepelende begrip **milieuzorg**. Hierbij

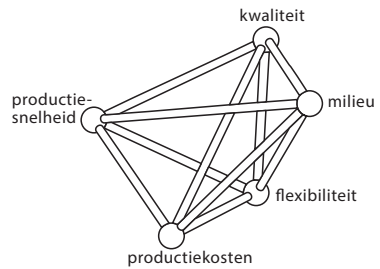
richt men zich op het voorkómen van het ontstaan van schadelijke stoffen en schadelijke effecten. Men loopt hierbij echter het risico dat de oude, bekende schadelijke invloed wordt vervangen door nieuwe, nog onbekende, effecten. Het is namelijk vaak moeilijk om het totale effect van een milieubescherpende maatregel van begin tot eind te overzien.

In de productie staat men voor de taak om de schadelijke milieueffecten van de voortbrengingsprocessen zo veel mogelijk te beperken. Het milieuprobleem moet op effectieve wijze worden opgelost, maar daarnaast moet het technisch resultaat van het vervangende proces op zijn minst gelijkwaardig zijn, en het proces dient praktisch uitvoerbaar te zijn. Zo nodig moet men hogere kosten accepteren. In enkele gevallen is gebleken dat bij een vervangend proces zelfs kostenbesparing mogelijk is, doordat er minder energie en hulpstoffen worden gebruikt.

Meer in het algemeen geldt dat het ontwerp de grootste invloed heeft op de milieueffecten van het product. Dit geldt zowel voor de fabricage als voor het gebruik en het beëindigen van de levensduur van het product. Het ontwerp legt het toegepaste materiaal vast en daarmee voor het overgrote deel ook de fabricagemethode. De fabricage van aluminium vraagt bijvoorbeeld veel energie. Bij een stationaire constructie kan een minder energie-intensief materiaal de voorkeur verdienen. Bij de toepassing van aluminium in bijvoorbeeld metrotreinsetellen kan een veelvoud van de extra energie terugverdiend worden tijdens het gebruik, omdat aluminium zo'n licht materiaal is. Wanneer al bij het ontwerpen rekening wordt gehouden met hergebruik, is het toepassen van aluminium uit het oogpunt van energieverbruik in nog meer gevallen voordelig.

In de levenscyclus van producten kunnen we vier fasen onderscheiden: productontwikkeling, fabricage en montage, gebruik en afvoer. Het doel van **milieugerichte productontwikkeling** is het ontwikkelen van producten die gedurende hun gehele levenscyclus een minimum aan milieuschade veroorzaken. De invoer van een productieproces bestaat uit grondstoffen en energie, en de uitvoer bestaat uit producten, afval en emissies. Voor de bestudering van milieuschade bij de productontwikkeling zijn de volgende **MET-factoren** van belang:

- materialen: spaarzaam en selectief gebruik van grondstoffen; hergebruik van grondstoffen



Figuur 1.15 De samenhang tussen de beoordelingscriteria

zo veel mogelijk en op een zo hoog mogelijk gebruiksniveau.

- energie: energie-extensivering van producten door beperking van de energie-inhoud van producten en van het energieverbruik tijdens de gebruiksfase.
- toxiciteit: beperking van het vrijkomen van afval en emissies.

In toenemende mate stellen overheden wettelijke eisen aan producten en productiebedrijven betreffende het beperken van milieuschade. De internationale norm ISO 14001 is hierbij van grote betekenis. Deze norm geeft regels voor milieuzorgsystemen.

1.7.6 Samenhang tussen de criteria

Figuur 1.15 geeft aan dat de hier besproken aspecten onverbrekkelijk met elkaar samenhangen. Het kiezen van de beste oplossing betekent dus het tegen elkaar afwegen van de effecten van de kosten, productiesnelheid, flexibiliteit, kwaliteit en milieueffecten.

Figuur 1.16 geeft een overzicht van de waardering van de verschillende bewerkingsprocessen ten aanzien van de genoemde criteria.

1.8 Keuzeproblemen

In paragraaf 1.7 hebben we beoordelingscriteria besproken die een belangrijke rol spelen in de industriële productie. Deze criteria staan niet op zichzelf, maar vertonen een sterke samenhang. In de volgende hoofdstukken is veelvuldig sprake van meerdere mogelijkheden, waaruit op een verstandige wijze keuzen moeten worden gemaakt. Ontwerpers en productie-ingenieurs worden als gevolg daarvan veelvuldig gedwongen om bij het maken van keuzen prioriteiten te stellen en com-

promissen te sluiten. We spreken van een keuzeprobleem indien op grond van een aantal overwegingen een beredeneerde keuze gemaakt moet worden waarbij verschillende belangen tegen elkaar moeten worden afgewogen. Het maken van een keuze wordt moeilijker naarmate er meer mogelijkheden zijn. De waardering van verschillende belangen is een probleem op zich, vooral bij factoren die moeilijk te kwantificeren zijn. Het vastgestelde doel moet zo goed mogelijk worden bereikt, maar het is niet altijd goed mogelijk om een doel op kwantitatieve gronden vast te stellen. Denk maar aan veiligheid of aan esthetische factoren. We geven hier een korte opsomming van de belangrijkste kenmerken van keuzeproblemen:

- Het doel – Dit kan enkelvoudig of meervoudig zijn. Voorbeelden van enkelvoudige doelen zijn: zo snel mogelijk of zo goedkoop mogelijk. Een voorbeeld van een meervoudig doel is: snel en goedkoop. Bij meervoudige doelen kan in vrijwel alle gevallen niet aan alle afzonderlijke eisen tegelijkertijd worden voldaan. Je zal dan prioriteiten moeten stellen, wegingsfactoren moeten toekennen en afwegingen moeten maken.
- Het belang – Uiteindelijk zal het belang in dit vakgebied, binnen de grenzen van de gewenste kwaliteit en levertijd van een product, vaak het beste in geld uitgedrukt kunnen worden. Lage kosten zijn altijd een belangrijk concurrentievoordeel. Bij een extreem korte vereiste levertijd is de totale doorlooptijd van de order het belangrijkste, waarbij kwaliteit en kosten als grens zullen fungeren.
- De randvoorwaarden – Het is van het grootste belang om van tevoren vast te stellen binnen welke grenzen een oplossing moet liggen. Hoeveel mag de realisatie van een product kosten? Wat kosten concurrerende producten?
- De bekendheid – Sommige problemen

komen dagelijks vele malen voor; het zijn routineproblemen. Andere problemen komen veel minder vaak voor, maar de oplossing ervan is bekend. Dan zijn er nog zeldzame keuzeproblemen waarbij veel onbekende factoren betrokken zijn. Kennis en de tijd die nodig is om te kiezen speelt hierbij een grote rol.

- De complexiteit – Het aantal keuze-elementen dat in een keuzeproces een rol speelt en het aantal factoren dat bij het maken van de keuze moet worden betrokken.
- Het aantal betrokken partijen – Dagelijks worden door alle productiemedewerkers zelfstandig allerlei keuzeproblemen opgelost. Vaak gebeurt dit onbewust, zeker als het weinig belangrijke problemen en routineproblemen betreft. Voor belangrijke, complexe en onbekende keuzeproblemen is samenwerking gewenst met anderen, vaak ook uit andere disciplines. Voor uitzonderlijk complexe problemen worden wel projectgroepen ingesteld, die gedurende langere tijd aan eenzelfde probleem werken. Dit komt bijvoorbeeld voor bij de ontwikkeling van een nieuw product, de aanschaf van een hoogwaardige machine en de inrichting van een fabriek.

In dit boek komen op verschillende plaatsen meer gedetailleerde voorbeelden van eenvoudige keuzeproblemen aan de orde. Het oplossen van keuzeproblemen behoort tot de kern van de taak van een ingenieur.

1.9 Kennis: overzicht en detail

Het vakgebied van de productietechniek omvat een veelheid van disciplines en technieken en kan vanuit meerdere invalshoeken benaderd worden. In dit boek worden sommige onderwerpen meer

Beoordelingscriteria	Oervormen	Omvormen	Scheiden en afnemen	Verbinden	Veranderen van materiaaleigenschappen
kosten	gs: hoog a: laag	gs: hoog a: laag	gs: gemiddeld a: hoog	k: laag a: hoog	k: gemiddeld tot hoog a: laag
productiesnelheid	hoog	hoog	gemiddeld tot laag	gemiddeld tot laag	laag
kwaliteit	gemiddeld tot laag	gemiddeld tot laag	gemiddeld tot laag	gemiddeld tot laag	hoog
flexibiliteit	laag	laag	hoog	hoog	gemiddeld tot laag

gs: gereedchapskosten a: arbeidskosten

k: kapitaalkosten

Figuur 1.16 Waardering van verschillende bewerkingsprocessen ten aanzien van de beoordelingscriteria

in detail behandeld, terwijl andere onderwerpen meer in de breedte besproken worden. We trachten inzicht te geven in en een overzicht te geven van de meest voorkomende, maar ook zeer uiteenlopende, methoden en technieken die toegepast worden bij het maken van discrete producten. (Voor de definitie van dit begrip zie ‘Ten Geleide’) In grote lijnen neemt het integratieniveau van de beschouwing toe naarmate je verder in het boek vordert. De details van de voor de beschrijving gebruikte informatie nemen juist af. Het is onze bedoeling een goed overzicht te geven van de grondbeginselen, maar ook van het vakgebied.

In de eerste hoofdstukken gaat het om materialen (hoofdstuk 2) en bewerkingsmethoden (hoofdstukken 3 t/m 8) voor het maken van onderdelen. De nadruk ligt hierbij op mechanische eigenschappen en materiaalgedrag. Naast dat we verschillende basisvormen behandelen van het verwerken en bewerken van materialen, met de daaraan verbonden belangrijke fabricageaspecten, komen onderwerpen als montage en, daarmee samenhangend, verbindingstechnieken aan de orde (hoofdstukken 9 en 11). Het veranderen van materiaaleigenschappen, bijvoorbeeld voor een betere bewerkbaarheid, en van oppervlakte-eigenschappen, voor een beter functioneel gedrag van componenten, behandelen we in hoofdstuk 10.

Bij de behandeling van bijvoorbeeld de meest voorkomende technieken voor materiaalbewerking spelen de verschillende typen gereedschappen en bewerkingscondities een belangrijke rol. De behandeling van de bewerkingsprocessen is van belang voor de beschrijving van de verschillende typen productiemachines in hoofdstuk 13. Dit is een onderwerp waarop we niet zo diep ingaan, omdat het ontwerpen van deze complexe machines voor de lezers van dit boek niet aan de orde is. De kennis van bewerkings- en montageprocessen vormt samen met kennis van de productieapparatuur de basis voor alle andere processen bij het voortbrengen van discrete producten.

Om producten van goede kwaliteit tegen acceptabele kosten te kunnen maken, moet het productieproces goed worden voorbereid, georganiseerd en bewaakt (zie hoofdstuk 14). Bij de uitvoering van productieprocessen spelen uiteindelijk de beheersing van de productkwaliteit en de productiekosten de belangrijkste rol (zie hoofdstukken 12 en 17). De technische bedrijfsvoering en de logistieke organisatie hebben binnen een productiebedrijf als taak

om het hele voortbrengingsproces te integreren (zie hoofdstuk 15). **Logistiek** is het zorgen voor beschikbaarheid van mensen, materialen en middelen op de juiste plaats, in de juiste hoeveelheden op het juiste tijdstip.

De hoogste verantwoordelijkheid hiervoor ligt bij het bedrijfsmanagement. Hoofdstuk 15 beschrijft mogelijke verschillen in bedrijfsstructuur, de organisatie van productieprocessen en de daarmee samenhangende methoden voor het besturen en beheersen van productstromen in fabrieken. Keuzes op dit gebied zijn afhankelijk van de doelstelling van een bedrijf. Ten slotte besteden we in hoofdstuk 14 en 16, in een brede context, aandacht aan product- en productieontwikkeling als onderdeel van het totale voortbrengingsproces.

Hoe hoger het integratieniveau van de beschouwing, hoe complexer de samenhang tussen de onderdelen is. Hoe meer **integratie** van functies en onderdelen er plaatsvindt bij product- en procesontwerp, hoe moeilijker het wordt om overzicht te houden, het onderwerp te bestuderen en een oplossing te kiezen. Een goed overzicht van complexe problemen is alleen mogelijk wanneer er voldoende relatie met het detail blijft bestaan.

Samenvatting

In een korte schets van de ontwikkeling van de industriële onderneming hebben we aangegeven welke rol de productietechniek hierbij gespeeld heeft.

Doordat productieprocessen complexer worden, is steeds meer communicatie en samenwerking nodig tussen verschillende bedrijfsfuncties en zelfs tussen bedrijven die elkaar toeleveren. Het is daarom noodzakelijk dat ook ontwerpers voldoende inzicht in deze processen hebben.

De productkentallen zoals totaalserie, productlevenscyclus, ontwikkelingstijd, productlevensduur en het aantal componenten hebben grote invloed op de aard en werkwijze van een productiebedrijf.

Bij het ontwerpen moeten steeds keuzen worden gemaakt. Belangrijke keuzen zijn de materiaalkeuze en de vormgeving. De keuzen beïnvloeden zowel de eigenschappen van het product als de fabricagemethode.

Het vakgebied van de vervaardigingstechnieken is systematisch in kaart te brengen door de indeling in de hoofdgebieden oervormen, omvormen, scheiden en afnemen, verbinden, veranderen van materiaaleigenschappen en het opbrengen van lagen.

Het mechanisch materiaalgedrag in de fabricage wordt in belangrijke mate bepaald door materiaalspanningen en temperatuur. Het effect van wrijving kan hierbij niet buiten beschouwing blijven.

Bij het produceren in een industriële omgeving zijn de organisatie en de werkprocedures van groot belang om alle benodigde activiteiten zorgvuldig op elkaar af te stemmen. Belangrijke schakels zijn de productievoorbereiding en de kwaliteitszorg.

De doelmatigheid van productieprocessen kan worden beoordeeld aan de hand van de criteria kosten, productiesnelheid, flexibiliteit, kwaliteit en milieueffecten. Bij het ontwerpen en produceren kunnen verschillende keuzeproblemen optreden.

Literatuur

- 1.1 Lintsen, H.W. (red.), *Made in Holland*, Walburg Pers, Zutphen, 2005, ISBN 978-90-5730-349-4.
- 1.2 Jones, D.T., Womack, J.P., *The Machine that changed the World*, Harper, New York, 2007.
- 1.3 Kalpakjian S., Schmid S.R., *Manufacturing Engineering and Technology*, 7th edition, Pearson, 2014, ISBN 978-0-13-312874-1. General Introduction; Part IX: Manufacturing in a Competitive Environment.

Oefenvragen

- 1.1 Waarom vormt de uitvinding van de stoommachine het startpunt van de overgang van het ambachtelijke naar het industriële bedrijf?
Noem enkele kennisgebieden die nodig waren om een bruikbare stoommachine te kunnen bouwen.
- 1.2 Noem een aantal kenmerken waarin ambachtelijke en industriële bedrijven zich van elkaar onderscheiden.
- 1.3 Welke conclusie kun je trekken uit figuur 1.6?
- 1.4 Omschrijf de begrippen oervormen, omvormen, scheiden en afnemen.
- 1.5 Noem en omschrijf vier belangrijke verbindingstechnieken.
- 1.6 Noem een aantal redenen voor het opbrengen van lagen.
- 1.7 Geef het verschil aan tussen de klassieke en de nieuwe benadering van het beperken van milieuschade.
- 1.8 Omschrijf het begrip kwaliteit. Noem enkele belangrijke aspecten van de productkwaliteit.

**inclusief
website!**

Op www.industrieleproductie.nl vind je de antwoorden op deze vragen, maar ook extra studie- en oefenmateriaal, zoals video's en meer opgaven.



Industriële productie geeft een grondige en brede inleiding op het multidisciplinaire vakgebied van de productietechniek, dat zich bezighoudt met het voortbrengen van mechanische producten. Het boek behandelt vormgevings- en bewerkingsprocessen, maar ook onderwerpen als materiaalgedrag, fabricage, assemblage en productiemachines. Daarnaast is er aandacht voor kwaliteit, kosten, de belangrijkste aspecten van product- en productieontwikkeling (waaronder productiegericht ontwerpen) én voor de technische en organisatorische bedrijfsvoering.

Deze zesde druk is geheel herzien, geactualiseerd en voorzien van een nieuwe opzet en indeling. Zo is er meer aandacht voor kunststoffen, niet-mechanische bewerkingen en is er een geheel nieuw hoofdstuk toegevoegd over materiaal aangroei tech-

nieken, waarin onder meer 3D-printen wordt behandeld. Daarnaast kunnen zowel studenten als docenten extra studiemateriaal vinden op de website bij dit boek (www.industrieleproductie.nl) zoals extra opgaven en video's.

Industriële productie is al jaren een standaardwerk voor studenten werktuigbouwkunde, vliegtuigbouwkunde, industrieel ontwerpen, (technische) bedrijfskunde en verwante studies in het technisch-wetenschappelijk en het hoger beroepsonderwijs.

Industriële productie is samengesteld door een redactiecommissie bestaande uit de auteurs prof. dr. ir. H.J.J. Kals, ir. Cs. Buiting-Csikós, prof. dr. ir. W. Dewulf, prof. dr. ir. B. Lauwers, ir. J.M. Ponsen, ir. A.H. Streppel en dr. ir. T.H.J. Vaneker.

