

INDUSTRIËLE PRODUCTIE

Het voortbrengen van mechanische producten

Csilla Buiting-Csikós, Wim Dewulf, Viktória Houwing, Bert Lauwers, Eric Lutters,
Tom Vaneker

7e herziene editie

Boom



Met onderstaande unieke activeringscode krijg je via **www.boomstudent.nl** toegang tot de online leeromgeving. Deze code is persoonsgebonden en gekoppeld aan de 7^e editie. Na activering van de code is de online leeromgeving twee jaar toegankelijk. De code kan tot zes maanden na het verschijnen van een volgende editie geactiveerd worden. De code is eenmalig te gebruiken. Deze activeringscode is alleen bruikbaar voor een studentlicentie en geeft geen toegang tot de docentomgeving van het platform. Ben je docent? Dan heb je jouw activeringscode per e-mail ontvangen. Deze code activeer je op **boomdocent.nl**.

Omslagontwerp: Haagsblauw, Den Haag

© 2026 Cs. Buiting-Csikós, W. Dewulf, V. Houwing, B. Lauwers, E. Lutters, T.H.J. Vaneker | Boom

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. Auteursrecht ten aanzien van tekst- en datamining en machinelearning is nadrukkelijk voorbehouden.

Voor het overnemen van (een) gedeelte(n) uit deze uitgave in bijvoorbeeld een (digitale) leeromgeving of een reader in het onderwijs (op grond van artikel 16, Auteurswet 1912) kan men zich wenden tot Stichting Uitgeversorganisatie voor Onderwijslicenties, Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, www.stichting-uvo.nl.

No part of this book may be reproduced in any form, by print, photoprint, microfilm or any other means without written permission from the publisher. No part of this publication may be reproduced in the context of text and data mining, machine learning or for any other purpose which is not expressly permitted by law without permission of Boom Uitgevers.

ISBN 9789024469239

NUR 173

www.boomstudent.nl

www.boom.nl/hogeronderwijs

Inhoud

Voorwoord	8
Ten geleide	10
1 Inleiding	13
1.1 De ontwikkeling van de industriële productie	13
1.2 Organisatie en communicatie	16
1.3 Productvoorbeelden en productkentallen	18
1.4 Indeling van vervaardigingstechnieken	21
1.5 Het mechanisch materiaalgedrag in de fabricage	26
1.6 Producteren in een industriële omgeving	27
1.7 Criteria voor het beoordelen van fabricagemethoden	28
1.8 Keuzeproblemen	32
1.9 Kennis: overzicht en detail	33
1.10 Samenvatting	34
1.11 Literatuur	34
2 Materialen	35
2.1 Inleiding	35
2.2 Structuur van metalen	36
2.3 Mechanische eigenschappen van metalen	40
2.4 Kunststoffen	51
2.5 Keramische materialen	57
2.6 Composieten	58
2.7 Overige materialen	59
2.8 Samenvatting	60
2.9 Literatuur	61
2.10 Symbolenlijst	62
3 Oervormen	65
3.1 Grondslagen van het oervormen	65
3.2 Inleiding gieten	66
3.3 Kenmerken van het gietproces en de gietstukken	67
3.4 Indeling gietmethoden naar de aard van het vormmateriaal	68
3.5 Gieten in zand	69
3.6 Verloren-modelmethoden	81
3.7 Gieten in permanente vormen	84

3.8	De keuze van de gietmethode	89
3.9	Richtlijnen voor het ontwerpen van gietwerk	92
3.10	Vormgeven van kunststoffen	95
3.11	Extruderen en kalenderen	95
3.12	Spuitsieten van kunststoffen	101
3.13	Andere druk- en gietprocessen voor kunststoffen	107
3.14	Vormgeven van vezelversterkte kunststoffen	110
3.15	Poedermetallurgie	113
3.16	Samenvatting	120
3.17	Literatuur	121
3.18	Symbolenlijst	122

4 Omvormen 123

4.1	Inleiding	123
4.2	Omvormen van metalen	123
4.3	Indeling van omvormprocessen	124
4.4	Massief omvormen	125
4.5	Omvormen van plaat	142
4.6	Machines	155
4.7	Omvormen van kunststoffen	160
4.8	Samenvatting	165
4.9	Literatuur	166
4.10	Symbolenlijst	166

5 Verspanen 169

5.1	Inleiding	169
5.2	Het principe van verspanende bewerkingen	170
5.3	Bewegingen, krachten, vermogen, temperatuur en gereedschapsslijtage	171
5.4	Snijmaterialen	174
5.5	Snijvloeistoffen	182
5.6	Standtijd en optimale snijsnelheid	183
5.7	Indeling van de verspanende bewerkingen	185
5.8	Draaien	186
5.9	Gatbewerkingen	196
5.10	Frezen	206
5.11	Slijpen	214
5.12	Bewerkingen met een rechte lijnige hoofdbeweging	220
5.13	Nabewerkingen	221
5.14	Geavanceerde verspaningstechnieken	224
5.15	Het verspanen van niet-metalen	226
5.16	Samenvatting	229
5.17	Literatuur	229
5.18	Symbolenlijst	230

6	Fysische en chemische afnemende bewerkingen	233
6.1	Indeling fysische en chemische afnemende bewerkingen	233
6.2	Thermische, elektrochemische en chemische afnemende bewerkingen	234
6.3	Ultrasoon bewerken	243
6.4	Bewerken met stralen met hoge vermogensdichtheid	245
6.5	Toepassingen	254
6.6	Samenvatting	257
6.7	Literatuur	258
6.8	Symbolenlijst	258
7	Scheiden	259
7.1	Mechanische, niet-verspanend scheidende bewerkingen	259
7.2	Mechanische, verspanend scheidende bewerkingen	268
7.3	Fysisch scheidende bewerkingen	270
7.4	Keuze van een scheidende bewerking	275
7.5	Samenvatting	277
7.6	Literatuur	278
7.7	Symbolenlijst	278
8	Materiaalaangroeiotechnieken	279
8.1	De algemene opzet van materiaalaangroeiotechnieken	279
8.2	Procesvarianten	285
8.3	Voor- en nadelen van 3D-printen	296
8.4	Samenvatting	305
8.5	Literatuur	306
9	Verbinden	307
9.1	Inleiding	307
9.2	Indeling van de verbindingsmethoden	308
9.3	Lassen	310
9.4	Grondbeginselen van solderen en lijmen	324
9.5	Solderen	325
9.6	Lijmen	327
9.7	Kitten	331
9.8	Verbinden met verbindingselementen	331
9.9	Vormverbindingen	335
9.10	Neemtaken en productiemiddelen	337
9.11	Samenvatting	337
9.12	Literatuur	338
10	Veranderen van materiaaleigenschappen	339
10.1	Inleiding	339
10.2	Warmtebehandelingen van ijzerlegeringen	340
10.3	Warmtebehandelingen van aluminiumlegeringen	342
10.4	Oppervlakteveranderingen	342

10.5	Reinigen	353
10.6	Conditionering ten behoeve van bewerkingsprocessen	354
10.7	Milieueffecten	356
10.8	Uitvoering van warmte- en oppervlaktebehandelingen	356
10.9	Samenvatting	358
10.10	Literatuur	358
11	Monteren	359
11.1	Ontwikkelingen in de montage	359
11.2	Verschillende gezichten van de montage	361
11.3	Het montageproces	362
11.4	De montageafdeling	370
11.5	Montagegericht ontwerpen	378
11.6	Samenvatting	379
11.7	Literatuur	379
12	Kwaliteit	381
12.1	Inleiding	381
12.2	Kwaliteitscertificering	383
12.3	De CE-markering	384
12.4	Analyse van kwaliteitsproblemen	387
12.5	Procesbeheersing	387
12.6	Geometrische meettechniek	393
12.7	Meetmethoden voor lengtemetingen	401
12.8	Meetmethoden voor de oppervlakteruwheid	407
12.9	Meetmethoden voor materiaaleigenschappen	409
12.10	Kwaliteit van meetmiddelen	412
12.11	Samenvatting	413
12.12	Literatuur	413
12.13	Symbolenlijst	414
13	Productiemachines en automatisering	415
13.1	Functie-eisen, mechanische en kinematische opbouw	415
13.2	Starre automatisering	418
13.3	Flexibele automatisering	422
13.4	De opkomst van NC-machines	424
13.5	Het principe van NC-machines	425
13.6	Integratie in fabricagesystemen	431
13.7	Programmeren	440
13.8	NC bij niet-verspanende bewerkingen	445
13.9	Industriële robots en cobots	448
13.10	Gevolgen van automatisering	453
13.11	Samenvatting	454
13.12	Literatuur	456

14	Productievoorbereiding	457
14.1	De betekenis van de productievoorbereiding	457
14.2	Stadia in het voortbrengingsproces	459
14.3	De werkvoorbereiding	460
14.4	Vereenvoudigde richtlijnen	463
14.5	Werkwijze voor het vaststellen van het beweringsplan	476
14.6	Computerondersteunde werkvoorbereiding	478
14.7	Toepassingsvoorbeeld: het vervaardigen van een gegoten product	482
14.8	Toepassingsvoorbeeld: het vervaardigen van een plaatwerkproduct	489
14.9	Samenvatting	495
14.10	Literatuur	495
15	Het productiebedrijf	497
15.1	Het bedrijf in zijn omgeving	497
15.2	Het productiesysteem	498
15.3	Productiesystemen in de kleinseriefabricage	505
15.4	Goederenstroombesturing en werkplaatsbesturing	509
15.5	Data- en informatiebeheer	514
15.6	Digitale transformatie – Industrie 4.0 (5.0)	515
15.7	Het ontwerpen van productiesystemen	518
15.8	Samenvatting	521
15.9	Literatuur	522
16	Product- en productiegericht ontwerpen	523
16.1	Inleiding	523
16.2	Productontwikkeling	523
16.3	Productontwerp en productie	525
16.4	Methoden en regels bij het productiegericht ontwerpen	529
16.5	Keuzes bij productontwikkeling	541
16.6	Samenvatting	553
16.7	Literatuur	553
17	Productiekosten	555
17.1	Inleiding	555
17.2	Kostensoorten en kostenopbouw	558
17.3	Uurtarieven	566
17.4	Optimalisatie van de productiekostprijs	569
17.5	Make-or-buy-beslissingen	571
17.6	Uitgewerkte voorbeelden	573
17.7	Enkele slotopmerkingen	578
17.8	Samenvatting	579
17.9	Literatuur	579
17.10	Symbolenlijst	580
Index		582

Voorwoord

Het voorliggende boek is de zevende herziene uitgave van het studieboek *Industriële productie*. Deze uitgave is samengesteld door ir. Cs. Buiting-Csikós, prof. dr. ir. W. Dewulf, dr. ir. I.V. Houwing, prof. dr. ir. B. Lauwers, prof. dr. ir. E. Lutters, en dr. ir. T.H.J. Vaneker.

Aan de totstandkoming van dit boek en de voorafgaande uitgaven hebben veel collega's bijgedragen. Wij zijn vooral de volgende personen bijzonderlijk erkentelijk voor hun jarenlange grenzeloze inzet voor dit boek vanaf het eerste moment – zowel als auteur als redacteur: prof. dr. ir. H.J.J. Kals, ir. C.A. van Luttervelt, ir. K.A. Moulijn, ir. J.M. Ponsen en ir. A.H. Streppel. Verder hebben aan de eerste uitgaven van dit boek dr. ir. J.P. Baartman, dr. ir. J.H. Dautzenberg, ing. F. Langereis, ir. Th. Luijendijk en dr. ir. M. Tichem als auteur bijgedragen. Ook 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 zevende uitgave hebben we opnieuw aandacht besteed aan de ontwikkeling van de industriële productie, zoals nieuwe technieken en industrie 4.0.

Dit 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.

Met dit boek trachten we het volgende te bereiken:

- 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.

Vorige uitgaven worden sinds vele jaren gebruikt door docenten van universiteiten en hogescholen voor het onderwijs in de studierichtingen werktuigbouwkunde, lucht- en ruimtevaarttechniek, industrieel (product)ontwerpen en technische bedrijfskunde.

Het auteursteam 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

Csilla Buiting-Csikós, Wim Dewulf, Viktória Houwing, Bert Lauwers, Eric Lutters, Tom Vaneker
Delft – Enschede – Groningen – Leuven
Najaar 2025

Ten geleide

Bij de opzet van het boek hebben we rekening gehouden met de groeiende behoefte van de industrie aan pas afgestudeerde ingenieurs en technologen 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 procesindustrie (chemische producten en voedingsmiddelen) 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.

Multidisciplinaire opzet

Door de handel en concurrentie op wereldschaal is productietechniek als multidisciplinair vakgebied bijzonder belangrijk. De scherpe concurrentie heeft een verschuiving van grote bedrijven naar schaalverkleining (businessunits), uitbesteding en 'platte' organisaties gebracht. 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. Tegelijkertijd is de behoefte aan breedte in de opleiding toegenomen. Er is een toenemende vraag naar afgestudeerde ingenieurs met een brede operationele kennis van het vakgebied vanwege de toegenomen complexiteit van producten. De noodzaak om toekomstige ontwerpers en bedrijfskundigen te onderwijzen in het vakgebied neemt slechts toe. Verder is er een blijvende grote vraag naar hoger opgeleide werktuigbouwkundig ingenieurs en ingenieurs elektromechanica.

Fundamenten van het vak

Het boek is breed opgezet. Door het gehele boek heen hebben we getracht de behandelde processen, technieken en apparatuur terug te brengen tot de basisprincipes. Gezien de aard en de enorme omvang van het vakgebied is het onmogelijk om in dit boek 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.

Projectonderwijs en praktijkgericht onderwijs hebben vaak veel meer informatie over bepaalde onderwerpen nodig dan in dit boek aanwezig is. Om hierin te voorzien, hebben we bij elke module 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.

Doelgroepen

Het boek is in de eerste plaats gericht op de studierichtingen werktuigbouwkunde, lucht- en ruimtevaarttechniek, industrieel (product)ontwerpen, technische bedrijfskunde en verwante studierichtingen in het wetenschappelijk onderwijs en het hoger beroepsonderwijs. 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 aangeboden 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.

Online leeromgeving

In de online leeromgeving bij het boek is bij elke module een groot aantal opdrachten opgenomen. De opdrachten zijn vooral bedoeld om de inhoud, de samenhang en het belang van de behandelde stof beter te kunnen begrijpen. We raden aan om niet alleen de opdrachten uit te werken, maar ook te oefenen met het maken van schetsen – een vaardigheid die elke ingenieur moet beheersen. Een deel van de opdrachten 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 gebruikmaken van de opdrachten in de online omgeving en/of eigen voorbeelden kiezen en deze samen met de studenten uitwerken.

Om meer inzicht in de stof te verschaffen, zijn er links opgenomen naar video's. In het boek staan de verwijzingen naar deze video's. Studenten en andere gebruikers kunnen de video's in de online leeromgeving raadplegen.

Vaktermen worden op de plaats waar ze worden geïntroduceerd, in het boek in kleur weergegeven. In de online omgeving wordt de omschrijving bij elke vakterm getoond via de mouse-over-functie. Daarnaast zijn deze vaktermen opgenomen in de index achter in het boek. Verder wordt er een vaktermenlijst Nederlands-Engels in de online leeromgeving aangeboden.

Tekeningen

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

	werkstuk/werkstukmateriaal		gereedschapbeweging
	gietmodel/kernprenten		werkstukbeweging
	gietvormzand		instelbeweging
	in-/uitwendige kern		model- of vormdeling
	gereedschap		krachtpijl
			maatpijl
			pijlen om een doorsnijdingsvlak aan te geven

Tot slot

Het auteursteam wenst alle lezers 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.

Het auteursteam

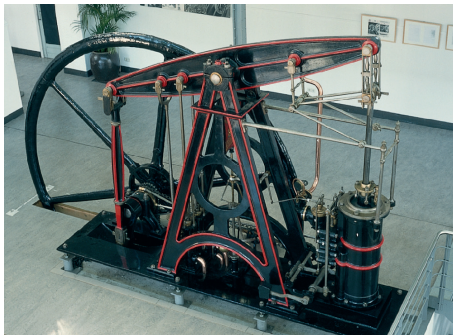
Inleiding

1

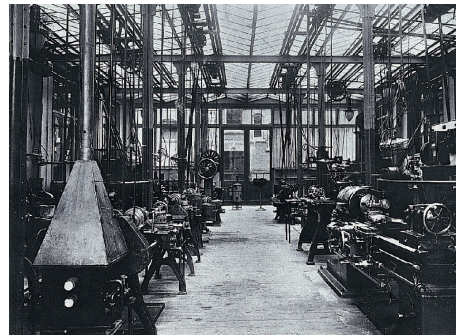
Deze module geeft de samenhang weer tussen de technieken voor het vervaardigen van producten en de verschillende disciplines in het productiebedrijf. Aan de hand hiervan wordt duidelijk gemaakt waarom ook ontwerpers van producten kennis van en inzicht in het vakgebied productietechniek moeten bezitten. Daarnaast bevat deze module een overzicht van de belangrijkste aspecten van het produceren, en van de inhoud van de volgende modules.

1.1 De ontwikkeling van de industriële productie

De industriële productietechniek ontstond tegen het eind van de achttiende eeuw. De stoommachine, die oorspronkelijk ingezet werd om water uit kolenmijnen te pompen, speelde hierbij een centrale rol (zie figuur 1.1). Enerzijds vereiste de bouw van stoommachines precisie: cilinders en zuigers moesten nauwkeurig worden vervaardigd. Maar anderzijds konden deze stoommachines grote mechanische vermogens leveren, waardoor ze de weg vrijmaakten voor grootschalige productie (zie figuur 1.2). Zo ontstonden grote industriële bedrijven, die de kleine ambachtelijke bedrijfjes uit de tijd van de wind- en watermolens gaandeweg vervingen. De concentratie van arbeid, machines en gereedschappen binnen één organisatie vormde de basis van de eerste industriële revolutie. De opkomst van de spoorwegen en de stoomscheepvaart maakte het daarnaast mogelijk om grondstoffen en materialen over grote afstanden aan te voeren en om producten over een groot afzetgebied te verspreiden. Dit stimuleerde niet alleen de machine-industrie, maar ook de bouw van infrastructuur zoals spoorlijnen, bruggen en kanalen.



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

De snelle industrialisatie bracht ook grote sociale problemen met zich mee: massale migratie naar de industriesteden en de daaruit voortvloeiende huisvestingsproblemen, schrijnende armoede en onmenselijke arbeidsomstandigheden. Rond 1815 uitte de onvrede onder de arbeiders zich in de opstand van de 'Luddieten' – Engelse textielarbeiders die onder aanvoering van Ned Ludd moderne weefgetouwen vernielden uit angst voor banenverlies. Bij deze weefgetouwen kwam het weefpatroon tot stand met behulp van een reeks ponskaarten (zie figuur 1.3). Het gatenpatroon in de kaarten was een gemakkelijk inwisselbare informatiedrager die (gecodeerde) informatie over het weefpatroon bevatte, waardoor het productieproces geheel of grotendeels automatisch kon verlopen. Deze kaarten zijn dus de voorloper van de computergestuurde gereedschapswerktuigen (zie module 13). Overigens hebben ook de Luddieten moderne navolgers gekregen. Zo stelden Nederlandse politici in de jaren zeventig van de twintigste eeuw voor een heffing in te voeren om de automatisering af te remmen en daardoor werkgelegenheid te behouden. Ook de doorbraak van artificiële intelligentie (AI) leidt vandaag geregeld tot onheilsberichten over potentieel banenverlies.

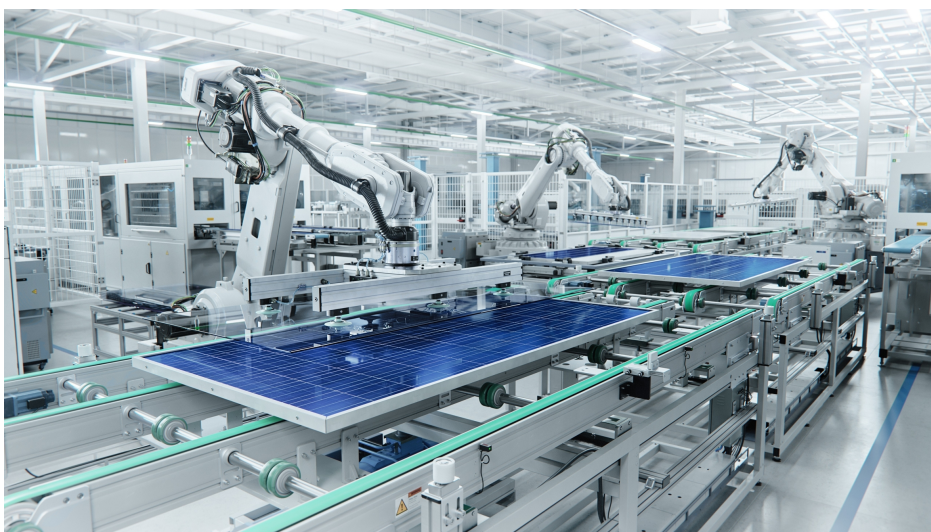
Telkens opnieuw zien we echter dat technologische doorbraken de arbeidsmarkt weliswaar grondig veranderen, maar deze niet verkleinen: sommige beroepen verdwijnen grotendeels (bijvoorbeeld dat van ambachtelijk klompenmaker), nieuwe worden gecreëerd (bijvoorbeeld dat van AI-ontwikkelaar) (zie ook paragraaf 13.10). Na de eerste industriële revolutie volgden de technologische ontwikkelingen elkaar in toenemende snelheid op. Het einde van de negentiende eeuw wordt gekenmerkt door de opkomst van elektriciteit, de verbrandingsmotor en staal als dominant bouw materiaal. De uitvinding van de dynamo maakte het mogelijk om fabrieken efficiënter en flexibeler van energie te voorzien (tweede industriële revolutie). In de Verenigde Staten introduceerde Henry Ford rond de eeuwwisseling de lopende band in de auto-industrie. In dezelfde periode realiseerden de gebroeders Wright de eerste gecontroleerde vlucht met een gemotoriseerd vliegtuig. Militaire behoeften tijdens de twee wereldoorlogen versnelden deze ontwikkelingen.



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

In de tweede helft van de twintigste eeuw zien we grote doorbraken in de ruimtevaart, de micro-elektronica en de informatietechnologie. Productieprocessen werden hierdoor steeds meer geautomatiseerd en computergestuurde machines maakten het mogelijk om met grote precisie werkstukken te fabriceren (derde industriële revolutie). De opkomst van het internet in de jaren negentig zorgde voor een explosie van wereldwijd beschikbare informatie en communicatie. Het versnelde de mogelijkheid voor bedrijven om mondiaal actief te zijn en gaf ruimte aan nieuwe sectoren, zoals e-commerce en online diensten.

Sinds ca. 2010 spreken we van de vierde industriële revolutie, of **Industrie 4.0**. In moderne fabrieken verzamelen sensoren continu grote hoeveelheden data (big data), die in real-time worden geanalyseerd om processen te regelen en te optimaliseren. Door *machine learning* en andere AI-technieken kunnen machines nu automatisch aangeven wanneer ze onderhoud nodig hebben, nog voordat er een storing optreedt. *Digital twins* – digitale kopieën van fysieke objecten – maken het bovendien mogelijk om ontwerpen te testen en te verbeteren voordat ze worden geproduceerd en om machines tijdens het gebruik aan te passen aan onverwachte storingen. Via het *Internet of Things* (IoT) communiceren machines met elkaar, zodat zelflerende productiesystemen ontstaan. Een voorbeeld van een sterk gedigitaliseerde productieomgeving voor fotovoltaïsche panelen zie je in figuur 1.4.



Figuur 1.4 Voorbeeld van een sterk gedigitaliseerde productieomgeving voor fotovoltaïsche panelen (shutterstock.com)

Bekijk de video:

Overzicht vierde industriële revolutie



Het is duidelijk dat de mechanisering, elektrificatie, automatisering en digitalisering verregaand invloed gehad hebben op de ontwikkeling van de productietechnologie. Omgekeerd zijn deze trends echter ook altijd afhankelijk geweest van vooruitgang in het domein van de productietechnologie. Zo is er de enorme toename van de nauwkeurigheid waarmee zeer uiteenlopende fabricagebewerkingen en materiaalbehandelingen moeten (en kunnen) worden uitgevoerd. Dit leidde tot **miniaturisatie**: het maken en manipuleren van producten op steeds kleinere schaal. De **microtechnologie**, die producten op sub-100-micrometerschaal omvat, vormde een tijd lang de basis voor de moderne elektronica, en dus ook voor sensoren en actuatoren. Vandaag de dag maken industriële wereldleiders echter gebruik van **nanotechnologie**, waarbij de kleinste industrieel geproduceerde chips kleiner zijn dan 10 nanometer (<0,00001 mm). Hiermee wordt duidelijk dat maakbaarheid de grootste belemmering vormt voor product vernieuwing in deze sector!

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. Deze ambachtelijke bedrijfjes werden oorspronkelijk gevormd door een eigenaar, tevens productontwikkelaar, vakman en verkoper, en een of meer leerlingen die de eigenaar assisteerden. De industriële ondernemingen hadden daarentegen veel meer werknemers, ieder met hun eigen taak. Deze ondernemingen bleven groeien, er was continu technische vooruitgang en de producten en processen werden steeds ingewikkelder.

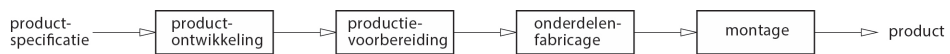
Dit leidde in de eerste helft van de twintigste eeuw tot een onderscheid tussen verschillende **bedrijfsfuncties** en zelfs tot onderscheid binnen deze bedrijfsfuncties. Dit zien we heel duidelijk terug in de ontwikkeling van de productiefunctie. Vooral bij massaproductie werden de opeenvolgende bewerkingen opgesplitst in eenvoudige, steeds terugkerende handelingen die elk door een werknemer werden uitgevoerd. Op deze wijze kon de productiviteit ver worden opgevoerd en kon het werk worden overgelaten aan ongeschoolde of beperkt geschoolde en laagbetaalde arbeiders.



Charlie Chaplin laat op karikaturale wijze zien waar industriële ontwikkeling toe kan leiden! Modern Times, Charlie Chaplin (1936)

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 makelaar, de architect en de aannemer vaak onafhankelijk van elkaar opereren.

Naarmate de onderneming groeit, gaat de taakverdeling steeds verder. Figuur 1.5 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 goed georganiseerd is, 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).



Figuur 1.5 Van productspecificatie tot product

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

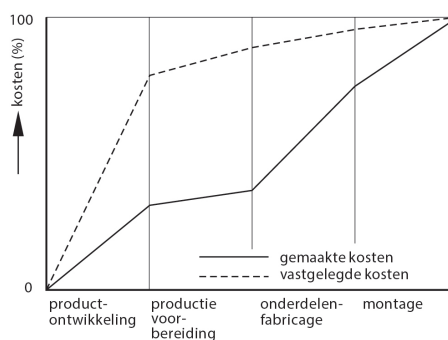
Ook ontwerpers en het personeel in de werkplaats moeten bereid zijn naar elkaar te luisteren, zich te verdiepen in elkaars problemen, en samen naar een oplossing te zoeken. Maar al te vaak worden productontwerpen doorgeschoven naar de werkplaats zonder dat de ontwerper zich voldoende heeft afgevraagd hoe het product gemaakt moet worden. Die zegt vaak al snel: 'Dat is mijn probleem niet!' (zie figuur 1.6).



Figuur 1.6 Communicatie

Figuur 1.7 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 goedgeemaakt door een efficiënte productiemethode.

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.



Figuur 1.7 Schematisch verloop van de kosten

Communicatiemiddelen

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

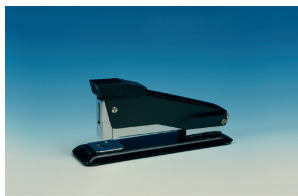
Vanaf de handmatige schets ontstond de **technische tekening**, en vervolgens het driedimensionale computermodel (computer-aided design, CAD). Dit legt niet enkel de geometrie vast, maar ook de oppervlakteconditie en de **toleranties** (toelaatbare afwijkingen van de nominale maten en van vorm en plaats). 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 tekeningen en CAD-modellen bepalen.

Op basis hiervan kan een werkstukprogramma worden gemaakt met zowel de geometrische als de technologische informatie (informatie over de bewerking). Aangezien de productie meestal op numeriek bestuurd machines gebeurt, spreken we over computer-aided manufacturing (CAM). De communicatiestromen verlopen via computernetwerken, wereldwijd tussen verschillende 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 1.8). 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 1.9). 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 figuur 1.10 en figuur 1.11). 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.



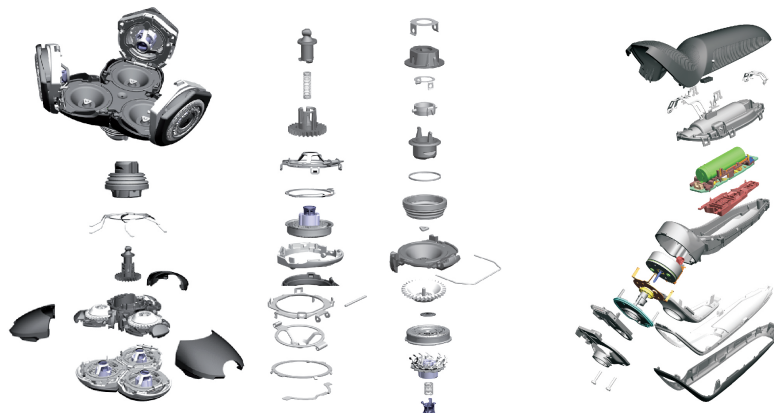
Figuur 1.8 Nietmachine



Figuur 1.9 Het rompvoorstuk van een verkeersvliegtuig



Figuur 1.10 Philips-scheerapparaat



Figuur 1.11 Gedeeltelijke exploded view van het Philips-scheerapparaat

Tabel 1.1 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 een uniek product. De productkengetallen 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.

Tabel 1.1 Productvoorbeelden met productkengetallen

Product	Totaalserie	Productlevenscyclus	Ontwikkelingstijd	Productlevensduur	Aantal componenten
scheerapparaat	10^7	2 tot 4 jaar	1 tot 2 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	1.000
baggermolen	10^0	bouwtijd	1 jaar	15 jaar	50.000

De **productlevenscyclus** start bij de productontwikkeling en loopt door totdat het laatste product verkocht werd. De productlevenscyclus van consumentenproducten is vaak zeer kort. Dit in tegenstelling tot de zeer lange productlevenscyclus van vliegtuigen, zoals de Boeing 747 (zie figuur 1.12). De eerste Boeing 747 werd in 1968 geproduceerd. In 2023 werd het laatste toestel afgeleverd, een 747-8F vrachtvliegtuig. Door de aanmerkelijke toename in het luchtverkeer in de afgelopen decennia zijn de jaarlijkse aantallen 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.



Figuur 1.12 De Boeing 747 werd geproduceerd tussen 1968 en 2023 (Flickr CC BY-SA 2.0)



Figuur 1.13 Boeing 747 (shutterstock.com)

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 1.14). De ontwerper moet 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 kantoormeubilair. Ook de wensen van de markt zijn van belang, bijvoorbeeld of het apparaat een zakelijke of modieuze uitstraling moet hebben.

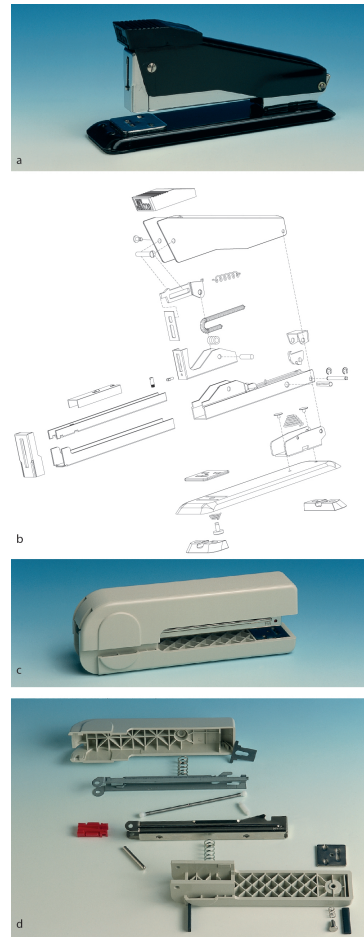
Daarnaast worden de keuzen bepaald door overwegingen bij de mogelijke combinaties van materiaalkeuze en fabricagemethoden. Het gaat hierbij om de kostprijs, levertijd, beschikbare productietechnieken, leverbaarheid, onderhoud en recycling.

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**.



Figuur 1.14 Nietmachine uit staalplaat (a) met exploded view (b) en kunststof nietmachine (c) met exploded view (d)

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 gereedschap 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 1.14a, 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 worden alle hoofdgroepen kort besproken en geven we aan in welke modules 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** ofwel **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.

Module 3 behandelt oervormen en module 8 de materiaalaangroeitechnieken.

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 wordt behandeld in module 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 smallere 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.

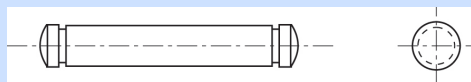


Voorbeeld van het scheiden

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.

Voorbeeld van het afnemen

De bolvormige uiteinden van de **scharnierpen** (zie figuur 1.15) 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.



Figuur 1.15 Scharnierpen van de nietmachine uit figuur 1.14a, b

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 reproduceren van een al bestaande vorm. Reproduceren 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 worden behandeld in module 7, de afnemende bewerkingen in de modules 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).

Module 9 behandelt de verbindingstechnieken.

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 wordt behandeld in module 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 wordt besproken in module 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 beweringsproces.

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 beweringsproces 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 werkstukmateriaal 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 bewerkingsprocessen 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.

Module 2 verschaft de elementaire kennis van de materiaalkunde die nodig is voor het bestuderen van de verschillende bewerkingstechnieken in de eropvolgende modules.

1.6 Produceren in een industriële omgeving

Assembleren of monteren is het samenstellen van onderdelen door middel van het toepassen van de verbindingstechnieken die aan bod komen in module 9. Module 11 bespreekt de opzet van montageafdelingen en de werkwijze ervan.

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 module 12.

Module 13 bespreekt 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 module 14.

Module 15 behandelt het productiebedrijf als geheel. Deze module gaat vooral in op de organisatie en de procedures die nodig zijn om van alle losstaande activiteiten en processen een goedlopend geheel te maken. Hierbij komen werkwijze, besturing, data- en informatiebeheer, procesintegratie en procesbeheersing aan de orde. Ook wordt aandacht besteed aan de ontwikkelingen in het kader van industrie 4.0.

In figuur 1.7 zagen we al dat de ontwerper voor het grootste deel de kostprijs van het product bepaalt.

In module 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.

Module 17 behandelt 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 materiaalbehandelingen 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 gebruiken om de doelmatigheid van een volledig productiesysteem te meten, zoals toegelicht 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 **batch** 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 kosten 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 module 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 module 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. Module 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.

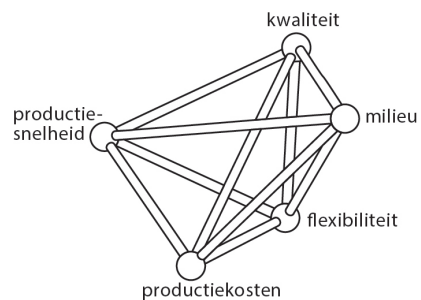
De productkwaliteit is het resultaat van de ontwerpqualiteit en de kwaliteit van het productieproces. Bij elke bewerking of behandeling kan er iets misgaan, waardoor werkstukken niet aan de kwaliteitseisen voldoen. Kwaliteitsbeheersing is een belangrijk aspect van de productietechniek. Door kwaliteitscontrole 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 module 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.



Figuur 1.16 De samenhang tussen de beoordelingscriteria

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 metrotreininstellen 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 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 1.16 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.

Tabel 1.2 geeft een overzicht van de waardering van de verschillende bewerkingsprocessen ten aanzien van de genoemde criteria.

Tabel 1.2 Waardering van verschillende bewerkingsprocessen ten aanzien van de beoordelingscriteria

Beoordelings-criteria	Oervormen	Omvormen	Scheiden en afnemen	Verbinden	Veranderen van materiaaleigenschappen
kosten	gs: hoog	gs: hoog	gs: gemiddeld	k: laag	k: gemiddeld tot hoog
	a: laag	a: laag	a: hoog	a: hoog	a: laag
productie-snelheid	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: gereedschapskosten / a: arbeidskosten / k: kapitaalkosten

1.8 Keuzeproblemen

In paragraaf 1.7 werden 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 modules 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 compromissen 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 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 modules gaat het om materialen (module 2) en bewerkingsmethoden (modules 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 (modules 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 module 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 module 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 module 14). Bij de uitvoering van productieprocessen spelen uiteindelijk de beheersing van de productkwaliteit en de productiekosten de belangrijkste rol (zie modules 12 en 17). De technische bedrijfsvoering en de logistieke organisatie hebben binnen een productiebedrijf als taak om het hele voortbrengingsproces te integreren (zie module 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. Module 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 modules 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.

1.10 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.



Maak nu de opdrachten bij deze module. Je oefent vooral met het analyseren van productieprocessen en het vergelijken van ambachtelijke en industriële werkwijzen. Zo ontwikkel je inzicht in fabricage, ontwerpkeuzes en kwaliteitsaspecten van producten.

1.11 Literatuur

Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2025). *Manufacturing engineering and technology* (9th ed.). Pearson.

General Introduction; Part IX: Manufacturing in a Competitive Environment.

Lintsen, H. W. (Red.). (2005). *Made in Holland*. Walburg Pers.

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2007). *The machine that changed the world*. Simon & Schuster.