

Doelstellingen

1. Vertrouwd raken met materialen die worden gebruikt om dingen te maken.
2. Het belang begrijpen van het gebruik van het 'juiste' materiaal voor een toepassing.

1.1 Wat is materiaalkunde?

De verschillen tussen de levens van de mensen vandaag de dag en de levens van mensen door de geschiedenis heen worden mede gevormd door de beschikbare materialen. Tot de tijd van Christus waren reeds een aantal metalen beschikbaar: koper, zilver, goud, tin, lood, ijzer en kwik. Tot 1800 verschilde het materialenrepertoire op de wereld niet veel met dat van 2000 jaar daarvoor. Het moderne tijdperk zoals wij het min of meer kennen begint in de tweede helft van de negentiende eeuw met de industriële revolutie en de massaproductie van staal. De ontwikkeling van staal maakte de weg vrij voor alle andere materiaalmijlpalen. Rond dezelfde tijd werden synthetische vezels zoals rayon uitgevonden en vervolgens kwam rond 1908 de eerste kunststof (bakeliet). Bijna alle materialen die we tegenwoordig gebruiken voor gereedschappen, gebruiksvoorwerpen en recreatie zijn in de laatste circa tweehonderd jaar ontwikkeld.

Het vormen van voor lenzen geschikt glas en de uitvinding van de microscoop door Antonie van Leeuwenhoek (1632–1723) was ook al zo'n belangrijke gebeurtenis. De microscoop stelde geleerden in staat om de 'werking' van materialen te zien. De geneeskunde zette grote stappen voorwaarts toen de mensen de uiterst kleine bloedvaten, zenuwen en cellen konden zien waaruit het lichaam bestaat. In de metallografie gebruikt men een microscoop om de wijzigingen in metalen te bestuderen wanneer diverse metalen worden samengesmolten om legeringen te vormen. De wetenschap van keramische materialen ontstond door microscopische studies van mineralen en kunststoffen, die op hun beurt ontstonden door de studie naar de wisselwerking tussen grote moleculen. Kortom: materialen en de kennis van hun 'werking' hebben de evolutie van de maatschappij mogelijk gemaakt.

In dit hoofdstuk laten we zien hoe de krachten van materialen, materiaaleigenschappen en het vermijden van materiaaldefecten zijn gebundeld om het leven op veel manieren gemakkelijker en beter te maken. Het gaat hierbij vooral om *technische materialen*, de vaste stoffen die aan het begin staan van het maakproces van producten en constructies, en de wetenschap die behoort bij de studie en behan-

deling van deze stoffen en hun toepassingen. We definiëren termen, beschrijven waarom dingen falen, bespreken de rol van materiaaleigenschappen, en leggen uit hoe belangrijk de materiaalkeuze voor het goed ontwerpen van producten is.

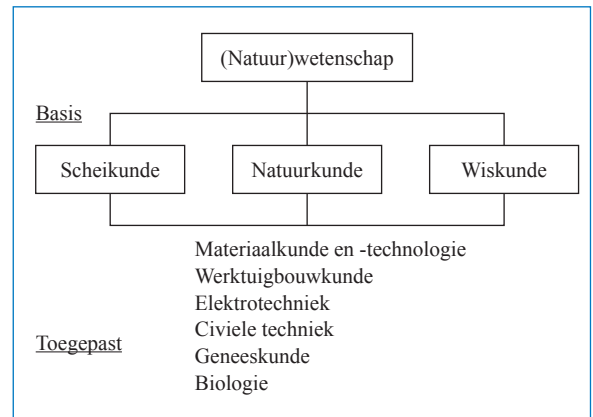
1.2 De taal van materialen

Zoals weergegeven in figuur 1-1 is materiaalkunde een toegepaste wetenschap met scheikunde, wiskunde en natuurkunde als basis.

Scheikunde is de wetenschap van de samenstelling van materie en de reacties wanneer stoffen worden gevormd of zich met elkaar verbinden.

Natuurkunde is de wetenschap die de toestanden van materie en energie behandelt die behoren bij materie, acties en reacties.

Wiskunde is de wetenschap van het gebruik van getallen, nauwgezette technieken en regels voor het produceren van exacte oplossingen voor problemen.



FIGUUR 1-1 Scheikunde, natuurkunde en wiskunde vormen de basis voor de studie van techniek

Overzichten van gebruikers van vorige edities van dit boek hebben ons geleerd dat de lezers variëren van mensen zonder voorkennis over de scheikunde van materialen tot postdoctorale studenten die alle basiskennis al hebben. We zullen ons proberen aan te passen aan degenen zonder voorkennis. Gevorderde lezers kunnen eenvoudigweg overslaan wat ze al weten.

We wijden een belangrijk deel van dit boek aan het definiëren van termen. Voor het grootste deel worden deze gedefinieerd in de tekst; de termenlijst

aan het eind van ieder hoofdstuk bestaat uit beknopte definities. Het belang van het begrijpen van eigenschappen- en materiaaltermen, alsook het correcte gebruik ervan, kan niet genoeg worden benadrukt. Als een term verkeerd wordt gebruikt in een specificatie, kan dat tot gevolg hebben dat een onderdeel niet werkt of defect raakt. Een transmissie-as op een machine kan bijvoorbeeld breken. De technicus die belast is met de vervanging zal dan misschien zeggen: 'We hebben een taaiere staalsoort nodig', terwijl hij of zij waarschijnlijk 'sterker' bedoelt. Een vergelijkbare situatie ontstaat bij een verzakkende constructie, waarbij de onderhoudstechnici misschien stellen dat ze een sterker materiaal nodig hebben om het probleem op te lossen, terwijl ze in werkelijkheid een stijver materiaal bedoelen.

Chemische samenstelling is een van de belangrijkste eigenschappen van elk materiaal. We kregen onlangs een vraag over het testen van een straalmotoronderdeel dat was gemaakt van een materiaal aangeduid als C1023, een lage-koolstofstaal in het staalaanduidingssysteem dat wordt gebruikt in de Verenigde Staten. In besprekingen met de klant hoorden we echter dat C1023 ook de handelsnaam is van een hogetemperatuur-superlegering op nikkelbasis met eigenschappen (bijvoorbeeld op het gebied van machinale bewerkbaarheid, verkrijgbaarheid en kosten) die volledig anders zijn dan die van C1023-koolstofstaal. Het juist identificeren van constructiematerialen maakt dus voor alle betrokken partijen deel uit van de taal van materialen.

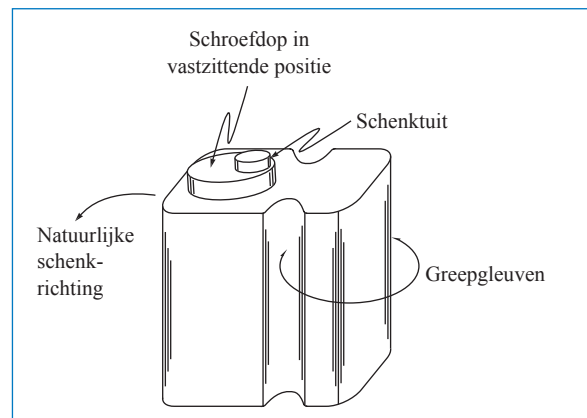
Ook andere bijbehorende details moeten beknopt en juist worden vermeld in elke materiaal-aanduiding en -specificatie. Voor het geregistreerde handelsmerk en de huisstijl van het bedrijf handhaaft Eastman Kodak bijvoorbeeld nauwgezette normen en proeven om ervoor te zorgen dat het op verpakkingen en onderdelen in Bolivia afgedrukte Kodak-geel gelijk is aan het in China of de Verenigde Staten afgedrukte Kodak-geel. Kwantitatieve proeven om kleuren te meten, en het specificeren van de gewenste kleur op manieren die kunnen worden gekwantificeerd en gemeten, maken dus ook deel uit van de taal van technische materialen.

1.3 De rol van materialen in het succes van een product

Mensen en bedrijven kopen producten op basis van hun kenmerken. Ze willen een bepaalde prijs, sterkte, een bepaald uiterlijk, gewicht, een bepaalde levensduur enzovoort. Er zijn meetbare eigenschappen

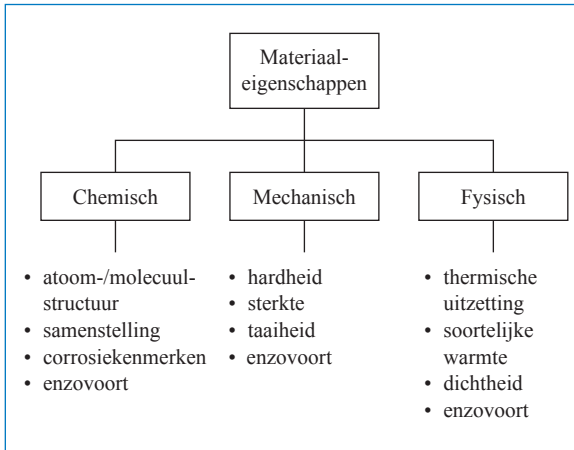
die kunnen worden gebruikt voor het kwantificeren van al deze gewenste kenmerken, en het kennen en begrijpen van de taal van de materialen is de eerste stap om in staat te zijn die kenmerken om te zetten in meetbare materiaaleigenschappen.

Het falen van de producten die we kopen en gebruiken kan meerdere oorzaken hebben, maar heel vaak komt het door een verkeerd ontwerp of een verkeerde materiaalkeuze. Figuur 1-2 laat een slecht ontworpen drankcontainer zien die te koop was in een supermarkt. Bij inspectie wordt duidelijk dat de greepgleuven niet kunnen worden gebruikt, omdat de schenktuit aan de verkeerde kant van de schroefdop zit. De ontwerper of werktuigmaker had nagelaten de schroefdraad voor de dop zo te beginnen dat deze in de schenkpositie zat als hij stijf dichtgeschroefd was.



FIGUUR 1-2 Voorbeeld van een ontwerpfout in een plastic drankcontainer

Bij een verkeerde materiaalkeuze is er onvoldoende nagedacht over de eisen en eigenschappen waaraan de materialen moeten voldoen. Dit aspect van materiaaltechnologie wordt in het hele boek behandeld. Eigenschappen zijn kenmerken die een materiaal identificeren en onderscheiden van elk ander materiaal. Deze eigenschappen hebben hun oorsprong in de aard van een materiaal op atomair of moleculair niveau. Een *atoom* is het kleinste deel van een stof dat nog de eigenschappen van die stof bezit. Een *molecuul* is het kleinste deel van een verbinding (een combinatie) van atomen die nog bepaalde eigenschappen heeft. Eigenschappen van een materiaal beginnen op dit niveau en we verwijzen daarnaar als 'chemische eigenschappen'. Eigenschappen van materialen worden ingedeeld in drie categorieën, zoals te zien in figuur 1-3. Het is zeer belangrijk om de



FIGUUR 1-3 Indeling van materiaaleigenschappen

eigenschappen van een materiaal in elke categorie te bekijken bij het selecteren van een materiaal voor een bepaalde toepassing.

We zullen veel ruimte besteden aan hoe deze eigenschappen worden gemeten en aan de eigenschapskenmerken van diverse technische materialen, maar op dit punt is het vooral belangrijk om het verschil te zien tussen deze categorieën:

Chemische eigenschappen: kenmerken van een stof die behoren bij de formule ervan en bij de reactiviteit met andere stoffen en omgevingen.

Mechanische eigenschappen: kenmerken van een stof die behoren bij het vermogen om bestand te zijn tegen uitgeoefende fysieke krachten.

Fysische eigenschappen: kenmerken van een stof die kunnen veranderen zonder de chemische samenstelling te veranderen of te vernietigen.

We zijn deze bespreking begonnen met te zeggen dat wanneer iets niet aan de verwachtingen over de bruikbaarheid voldoet, dat is vanwege een verkeerd ontwerp of een verkeerde materiaalkeuze. We hebben een voorbeeld gegeven van een verkeerd ontwerp; nu zullen we een voorbeeld geven van een verkeerde materiaalkeuze. De foto aan het begin van dit hoofdstuk laat een parkeergarage met acht verdiepingen zien, waarin een groot stuk van de helixstructuur van de afrit ontbreekt. Het spiraalvormige wegdek was vrijdragend bevestigd aan een centrale betonnen buis. De helix was in de buis gegoten, en de gespannen kabels waren ingebed in het beton en ontworpen om het vrijdragende gedeelte te vrijwaren van de buigbelastingen door het gewicht van het autoverkeer.

De helix faalde, zoals weergegeven op de foto, na ongeveer zeven jaar dienst. Gelukkig raakte nie-

mand gewond. Dit defect trad op door een verkeerde materiaalkeuze in het gedeelte van het beton en de staalversterking. Het beton had onvoldoende mechanische eigenschappen om de buigwerking van het verkeer op de vrijdragende weg op te nemen en de staalversterking had niet de nodige chemische eigenschappen om bestand te zijn tegen corrosie die werd veroorzaakt door het strooien van zout in de winter. Het beton had ook onvoldoende 'ductiliteit' om bestand te zijn tegen herhaalde thermische cycli; het ontwikkelde scheuren. Door de scheuren kon het zoute water het versterkte staal bereiken en de diameter van de versterkende staaldraden verminderen tot een fractie van hun ontwerpdiаметer. Zodoende hadden de krachten van het naar buiten rijdende autoverkeer tot gevolg dat de staalversterking defect raakte en de weg instortte. Dit is hoe eigenschappen invloed hebben op de bruikbaarheid. Elk ontwerp moet werken. Daarbij moet het materiaal de juiste eigenschappen hebben om het product gedurende de verwachte levensduur te laten werken.

Voordat we verdergaan moeten we 'levensduur' definiëren.

Levensduur is de schatting van de fabrikant hoelang het product moet werken zoals het deed toen het was gemaakt.

De meeste dingen, de meeste producten en de meeste mensen hebben een verwachte levensduur. Voedselleveranciers weten hoelang een bepaald product mee zal gaan zonder te bederven (chemische eigenschap); werktuigbouwers garanderen dat gereedschappen een bepaald aantal jaren meegaan zonder te breken (mechanische eigenschap); en fabrikanten van kunststofgevels garanderen dat de gevels niet verbleken binnen tien jaar (fysische eigenschap). Producten moeten dus een bepaalde ontwerp levensduur hebben. Voor de meeste dingen is het niet economisch om ze zo te ontwerpen dat ze voor altijd meegaan. Dat zou immers vereisen dat ze gemaakt worden van materialen die voor altijd meegaan, en behalve edele metalen en enkele speciale metaallegeringen hebben de meeste materialen net als mensen een eindige levensduur. Bijvoorbeeld:

Dimensioneel timmerhout: 5 jaar buitenshuis
Behandeld timmerhout: 10 tot 20 jaar buitenshuis

Polyethyleen: 3 jaar in zonlicht

Beton: 50 jaar in vries-/dooiklimaten

Onbehandeld koolstofstaal: corrodeert met 1 tot 2 mils per jaar buitenshuis

Helaas bestaat er geen ‘eigenschap’ die overeenkomt met de levensduur buitenshuis, of in zeewater, of in de grond. In plaats daarvan zijn we chemische, mechanische en fysische standaardeigenschapsproeven overeengekomen die worden gebruikt als indicatoren voor de levensduur. Autogaranties bedragen nu bijvoorbeeld maximaal tien jaar voor enkele onderdelen van de auto. Dat betekent dat ontwerpers moeten besluiten welke eigenschappen een rol spelen in het tien jaar lang meegaan van de auto en materialen moeten selecteren met voldoende eigenschappen om dat te laten gebeuren. Het is de ethische verantwoordelijkheid van ontwerpingenieurs om de invloed te onderzoeken van materiaaleigenschappen op de levensduur van wat ze ontwerpen en al het mogelijke te doen om een product te laten voldoen aan de verwachte levensduur. Garanties moeten echter ook worden onderzocht door gebruikers, om te bepalen of ze gebaseerd zijn op metingen die deze claims steunen.

Fouten bij het voorspellen van de levensduur kunnen erg kostbaar zijn. Fouten betekenen een aanslag op de reputatie van een bedrijf, ze verminderen de verkoop en kunnen de oorzaak zijn van dure juridische procedures.

1.4 Technische materialen zoals ze op jouw wereld van toepassing zijn

Elke ingenieur, ontwerper en wetenschapper heeft een basis in materiaalkunde nodig. Alleen al het bezitten en onderhouden van een huis vereist kennis van technische materialen. Er zijn vele verschillende materialen beschikbaar voor zo ongeveer alles. Kennis van technische materialen kan helpen bij het nemen van beslissingen over de vele productopties die verkrijgbaar zijn op huishoudelijk gebied.

Thuis vindt men vele consumentenproducten waarvan men verwacht dat ze lang meegaan. Een wekker produceert geluid door activering van een elektromechanische zoemer of door het aanzetten van een radio of een ander geluidsapparaat. Een wekker zit vol componenten die gemaakt zijn van metaal of kunststof, allemaal producten van materiaalselectie en materiaaltechnologie.

Je kleding bestaat uit vele weefsels die mengsels zijn van natuurlijke en synthetische vezels. Van natuurlijke planten zoals katoen worden draden en garens gemaakt met ingewikkelde mechanische machines die allerlei onderdelen vereisen die tegen elkaar wrijven en niet snel mogen verslijten.

De synthetische vezels in je kleding, bijvoorbeeld polyester, zijn afkomstig van chemische basismaterialen zoals petroleum. Polyesters worden gemaakt van een organische alcohol en een organisch zuur. Het hanteren van deze chemische stoffen vereist speciale corrosiebestendige materialen. Het spinnen van synthetische materialen zoals polyesterharsen tot garen vereist het extruderen van het gesmolten polymeer door minieme gaatjes en afkoelen in zuur. Het spinnen van de vezels tot garen en draad creëert nog andere materiaaltechnische uitdagingen. Deze vezels bewegen bijvoorbeeld met een snelheid tot 160 kilometer per uur bij het maken van garen en draad. Bij deze snelheden kunnen ze in minuten door massief staal snijden, tenzij de garengeluiders gecoat zijn met speciale keramische materialen. Ten slotte worden de draden en garens door breimachines geleid, waar ze worden gecombineerd met natuurlijke draden en garens in jouw kreukvrije kleren.

Een doodgewoon broodrooster bevat een van de wonderen van de materiaaltechnologie – een verwarmingselement dat zo'n hoge weerstand heeft tegen elektrische stroom dat het snel roodgloeiend wordt om de benodigde hitte voor het roosteren te leveren. Nog wonderbaarlijker is dat dit materiaal van het verwarmingselement afbraak door lucht voor zeer lange periodes kan weerstaan. Bijna alle broodroosters gebruiken een materiaal dat een legering is van nikkel en chroom – een product van materiaalonderzoek. Vergelijk dit eens met de roosters in de meeste stalen barbecuegrills, die bij normaal gebruik binnen een jaar oxideren, roesten en defect raken.

Een kopje thee bij je toast? Je kunt het water opwarmen in je magnetron, een ander wonder van materiaaltechnologie. Magnetrons werken door het activeren van elektronische materialen die specifieke vormen van elektromagnetische straling produceren. Die straling veroorzaakt extra activiteit in de atomen van de watermoleculen in je kopje. Een belangrijk aspect van het maken van magnetrons is het leveren van metalen bescherming in de behuizing om de straling opgesloten te houden.

Ten slotte spelen materialen in de badkamer en de keuken een belangrijke rol in onder andere de afvoerbuizen. Hiervoor moet de ontwerper materialen selecteren die tientallen jaren lang de corrosie en erosie door het warme en koude water – met diverse verontreinigingsniveaus – kunnen weerstaan.

Auto's zijn meesterwerken van materiaaltechnologie, en ze worden dat elk jaar meer. Sommige auto's hebben bijvoorbeeld tegenwoordig kunststof carrosserieën, zodat doorroesten geen bron van zorg

meer is. De banden op zeer recente auto's kunnen een fractie hebben van de bandenhoogte van een paar jaar geleden. Deze 'vlakke' banden verminderen de rolwrijving ter verbetering van het brandstofverbruik. Net zo vereisten de velgen rond sommige van deze vlakke banden de ontwikkeling van nieuwe magnesium- en aluminiumlegeringen, alsmede allerlei uitvindingen om de kunstzinnige vormen te maken die nu verkrijgbaar zijn. Autoruiten zijn getint met diverse zonblokkerende coatings – producten van vacuümcoatingtechnologie, een materiaalbehandelingsstechnologie die ook de basis vormt voor computers en alle andere elektronische gadgets waarvan we houden en afhankelijk van geworden zijn. Een ander resultaat van materiaaltechnologie in auto's, dat waarschijnlijk vaak onopgemerkt en ongewaardeerd blijft, is dat het niet langer nodig is om de ophangingsverbindingen elke 20.000 kilometer in te vetten. In de laatste circa twintig jaar zijn de materialen in de ophanging voor de gehele levensduur zelfsmerend geworden. Materiaaltechnici werken op het moment aan zuiger-/ring-/cilinder-/oliesystemen die de levensduur van olie zullen verlengen met tienduizenden kilometers.

Op je werk of opleiding zul je ongetwijfeld een computer gebruiken, waarschijnlijk het ultieme voorbeeld van het succesvol toepassen van materiaal-kunde. Computertechnologie is gebaseerd op chips, elektrische circuits die microscopisch gemaakt zijn door zeer geavanceerde technologie. Computerchips zijn in wezen stukken die gesneden zijn uit een wafer van een enkel kristal silicium. Het nam tientallen jaren van materiaalonderzoek in beslag alleen om te leren hoe een éénkristal (waarin alle atomen zijn uitgelijnd) silicium te laten groeien tot 400 mm in diameter. Ook was er zeer geavanceerde materiaalexpertise nodig om manieren te vinden om schijfjes af te snijden die dunner dan 1 mm kunnen zijn, en die vervolgens te vacuümcoaten met geleiders en isolatoren. Dit alles zonder defecten, met spiegelferwerkingen, en soms met diktes niet groter dan tien nanometer.

Een biertje na het werk? Ook voor het maken van bier is uitgebreide kennis van materiaal-kunde nodig. Het vereist een hygiënische behandeling van chemische stoffen en graan. Fermentatievaten vereisen materialen die bestand zijn tegen corrosieve omstandigheden en verhoogde temperaturen, daarnaast mogen ze natuurlijk niet de smaak beïnvloeden van de vloeistoffen die ze bevatten. Flessenvulapparatuur vereist ook veel materiaal-deskundigheid – op het gebied van transportban-

den, doppenmachines, dopmateriaal, bierblikjes-materiaal, enzovoort. In feite zijn bierblikjes van staal en aluminium heel verbazingwekkende dingen. Elk jaar vinden materiaalingenieurs manieren om ze dunner (en dus goedkoper) te maken en toch nog functioneel te laten zijn. Elk bierblikje is een drukvat met een corrosief materiaal.

Na het avondeten wil je misschien het nieuws op televisie zien. Je schakelt je televisie met LCD- of plasmascherm in. Heb je ooit nagedacht over de materiaaltechnische aspecten van deze schermen? LCD staat voor *liquid crystal display*. De ouderwetse kathodestraalbuis, die al aanzienlijke materiaal-technologie vereiste om te ontwikkelen, is vervangen door iets dat nog uitdagender is. Het actieve materiaal in een LCD-scherm is een materiaal dat de atoomrangschikking van een kristal in de vloeibare toestand laat zien. Deze vloeistof zit vast tussen een speciale glassoort en een drager die stroom naar de vloeistof brengt in matrixformaat. De elektronische excitatie van de vloeistof levert het beeld op het scherm. Het genereren van een plasmascherm vereist dat een materiaal in een unieke materietoestand wordt gebracht: niet het eenvoudig omzetten van het materiaal in een vaste stof, vloeistof of gas, maar de ionen en elektronen van een atoom in een aangeslagen toestand brengen. Het creëren van een plasma vereist daardoor zeer hoge voltages. Voor de televisietoestellen die we tegenwoordig als vanzelfsprekend beschouwen, was dus een aanzienlijke technische vooruitgang nodig.

We zouden nog veel meer voorbeelden van materiaaltechnologische uitdagingen kunnen geven. Het belangrijkste punt is dat technische materialen vaak de beperkende factor vormen bij nieuwe producten of processen. Rotsboren van diamantcomposiet moesten ontwikkeld worden om de ontginning van diepzeeolievelden mogelijk te maken. Een nieuw type thermische isolatie moest ontwikkeld worden om ruimtereizen mogelijk te maken. Het oplossen van de materiaalproblemen is de sleutel tot het ontwikkelen van vele nieuwe producten en nieuwe energiebronnen.

1.5 Doelstelling van dit boek

Dit boek is bedoeld voor studenten in alle technische vakken, alsook voor technische mensen in industriële omgevingen. Het allesomvattende doel is het ontwikkelen van praktische kennis van technische materialen voor het specificeren van materialen voor diverse projecten. Je zult daarbij het exacte materi-

aal willen identificeren door het gebruik van een wereldwijd erkend aanduidingssysteem, en je zult ook de vereiste materiaalbehandeling willen aangeven. Wanneer je naar een houtbedrijf gaat en om materiaal voor het bouwen van een boekenkast vraagt, zal de verkoper je verzoeken om je vraag nader te specificeren. Welke soort hout? Welke nominale afmetingen? Welke afwerking? Welke kwaliteit? Als je dan niet weet wat SRJ235Q betekent, zal het niet meevalen om het materiaal te krijgen dat je wilt hebben. Ook de taal van staalproducten moet de gebruiker leren beheersen. Het grootste deel van de terminologie en de grondbegrippen van staalproducten zijn ook van toepassing op de meeste andere metaalsystemen. Profielen, platen, banden en andere producten van nikkel worden in wezen op dezelfde manier van een ingot gemaakt als dezelfde soorten staalproducten.

Er zijn meer dan 15.000 kunststoffen commercieel verkrijgbaar in de Verenigde Staten, en zelfs nog meer metaallegeringen en keramische materialen. Geen enkele ontwerper of ingenieur kan vertrouwd zijn met al deze materialen of de aanduidingsnummers voor alles kennen. Het is daarom de strategie van dit boek om voor elke materiaalcategorie een repertoire van materialen te presenteren dat voldoet aan de meeste ontwerpbehoeften. We zullen kennis aanbevelen van koolstofstaal, gietijzersoorten, geselecteerde aluminiumlegeringen, kunststoffen enzovoort. Van de materialen die we noemen weten we dat ze wereldwijd beter verkrijgbaar zijn dan andere materiaalopties binnen een categorie van materialen. Hopelijk zal deze beperking van het toepassingsgebied je het vertrouwen geven dat je nodig hebt om de juiste materiaalkeuze te maken. ■

Termenlijst*

corrosie: materiaalverlies of verlies van eigenschappen door chemische aantasting of omgevingsaantasting

materiaalkunde: de wetenschap die behoort bij de studie en behandeling van de vaste stoffen die worden gebruikt voor het maken van nuttige producten en constructies

natuurkunde: de wetenschap die de toestanden van materie en energie behandelt die behoren bij materie, acties en reacties

scheikunde: de wetenschap van de samenstelling van materie en de reacties wanneer stoffen worden gevormd of met elkaar verbonden

technische materialen: de vaste stoffen waarvan nuttige producten en constructies gemaakt worden

wiskunde: de wetenschap van het gebruik van getallen en logische technieken en regels om exacte oplossingen voor problemen te produceren

**Opmerking:* Deze definities en die aan het eind van de volgende hoofdstukken zijn verkort voor beknoptheid en zijn van toepassing op het gebruik in het hoofdstuk.

Opgaven

1. Wat onderscheidt technische materialen van andere materialen zoals papier, water, lucht enzovoort?
2. Noem vijf technische materialen die in het dagelijks leven worden gebruikt en identificeer een technologie die elk van deze materialen mogelijk heeft gemaakt (bijvoorbeeld koper: elektronische toestellen).
3. Productlevensduur wordt bepaald door
 - a. schattingen
 - b. marktkrachten
 - c. verplichtingen
 - d. beproeving van eigenschappen
 - e. defectenanalyse
 - f. alle bovenstaande antwoorden
4. Geef een voorbeeld dat de rol van materiaaltechnologie karakteriseert in elk van de volgende gebieden:
 - a. mechanische techniek
 - b. chemische techniek
 - c. elektrische techniek
 - d. luchtvaarttechniek
 - e. civiele techniek
 - f. geneeskunde
 - g. biomedische techniek

5. Wat is je doel bij de studie van materiaalkunde?
Deel het de klas mee.



Kijk op www.pearsonxtra.nl voor meer
studie- en lesmateriaal.

Hoofdstuk 2

Het vervaardigen van technische materialen uit de elementen

© Chad Ehlers / Imageselect



Ruw materiaal in de haven van Singapore voor het maken van technische materialen

Doelstellingen

1. Begrijpen hoe technische materialen uit de elementen gevormd zijn.
2. Kennismaken met de grondslagen van de scheikunde, van de aard van het atoom en van hoe de elementen verbindingen maken.
3. Begrijpen hoe technische materialen, metalen, polymeren, keramische materialen en composieten met elkaar in verband staan wat betreft oorsprong en structureigenschappen.
4. Kennismaken met de terminologie van de materiaalkunde.

2.1 De oorsprong van technische materialen

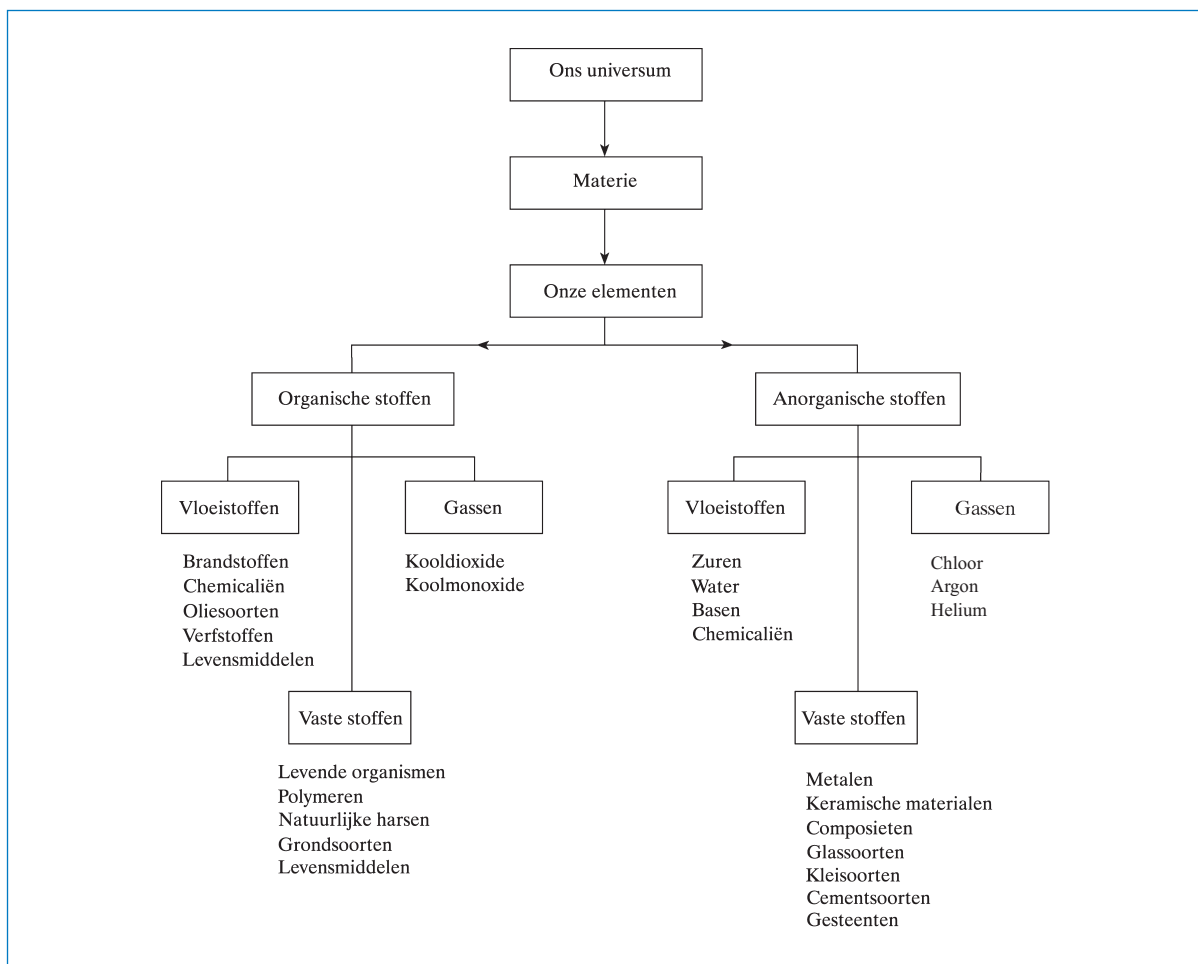
Materiaalkunde is grotendeels gebaseerd op de wetten van de zuivere wetenschappen scheikunde en natuurkunde. Het materiaalgedrag van producten kan rechtstreeks worden gerelateerd aan het gedrag van de atomen waaruit deze producten bestaan. Dit laatste valt onder het vakgebied van de chemie en daarom wordt de bespreking van materialen voorafgegaan door een kort overzicht van enkele van de belangrijkste grondslagen en de basisterminologie van de scheikunde.

Volgens de scheikunde kunnen materialen worden ontleed tot zogeheten elementaire deeltjes of telwel de elementen. De kleinste hoeveelheid van een element die nog de eigenschappen van dat element heeft, is het *atoom*. Atomen zijn de bouwstenen van technische materialen. Alle materie is samengesteld uit atomen die met elkaar verbonden zijn in verschillende patronen en met verschillende soorten bindingen. Zoals in figuur 2-1 duidelijk wordt gemaakt, kunnen de meeste stoffen waarmee we in de industrie of het dagelijks leven te maken hebben, worden geclassificeerd als organisch of anorganisch. In *organische materialen* is het element koolstof een belangrijk deel van de structuur, naast waterstof, stikstof en/of zuurstof, en deze materialen zijn meestal afkomstig van levende organismen. Olieproducten zijn bijvoorbeeld organisch; ruwe olie is in feite het restant van planten die miljoenen jaren geleden leefden. Olie is de grondstof voor veel kunststoffen. *Anorganische materialen* zijn de stoffen die niet afkomstig zijn van levende organismen. Zand, gesteenten, water, metalen en edelgassen zijn anorganische materialen. De technische metalen en keramieken zijn overwegend anorganisch. De scheikunde wordt op basis van deze twee criteria vaak onderverdeeld in twee vakgebieden. Sommige schei-

kundigen zijn gespecialiseerd in organische scheikunde, andere in anorganische scheikunde.

Om de technische materialen logisch te kunnen bespreken, geven we hieronder een overzicht van de elementen, de basisbestanddelen waaruit zowel organische als anorganische materialen zijn opgebouwd. Een *element* is een zuivere stof die niet met chemische middelen kan worden afgebroken tot een eenvoudiger substantie. In de aardkorst vinden we ongeveer 90 verschillende elementen, waarvan sommige niet stabiel zijn en het resultaat van kernspijting- of kernfusiereacties. In dit boek staan 113 elementen vermeld, maar als we ook de elementen opnemen die het resultaat zijn van laboratoriumsynthese komen we op een totaal aantal van meer dan 140.

Het is in de materiaalkunde van belang om de namen en chemische symbolen van de bruikbaarste elementen te kennen. Dit zijn de elementen waaraan de technische materialen hun eigenschappen danken. Je kunt hierbij denken aan koolstof, dat in veel kunststoffen, technische keramieken en in moderne composieten de dienst uitmaakt. Maar ook aan ijzer en aluminium, die de basis vormen voor een groot deel van de metalen producten die ons omringen. In figuur 2-2 wordt een gangbare versie van het periodiek systeem weergegeven, waarin de elementen worden gerangschikt op volgorde van atoomnummer. Het *atoomnummer* geeft het aantal protonen weer in de kern van een atoom. Het element waterstof heeft dus atoomnummer 1 gekregen. Atomen zijn waarschijnlijk nog veel ingewikkelder dan we nu weten, maar we volstaan in dit boek met een eenvoudig model waarbij atomen zijn samengesteld uit *protonen* (positief geladen deeltjes), *neutronen* (ongeladen deeltjes) en *elektronen* (negatief geladen deeltjes) die in een baan om de *kern* van een atoom bewegen. Dit is het atoommodel ontwikkeld door Niels Bohr, een Deense natuurkundige. Zijn model geeft atomen weer als een 'zon' (de kern), omgeven door 'planeten' (elektronen). Elektronen, neutronen en protonen hebben elk een bepaalde massa. Algemeen is afgesproken dat protonen een nominale massa hebben van 1 eenheid van atoommassa ($AMU = \text{atomic mass unit} = 1.66053886 \times 10^{-24}$ grams). Neutronen hebben een enigszins grotere massa dan protonen. Elektronen hebben een relatief kleine massa vergeleken met protonen en neutronen (ongeveer 1/1837 van de massa van een proton). Veel elementen kennen naast de in het periodiek systeem vermelde atoomopbouw ook nog varianten, met meer of minder neutronen. Dit zijn de zogeheten *isotopen*. Sommige isotopen zijn instabiel



FIGUUR 2-1 De elementen – de bouwstenen van alle materialen

en vallen uit elkaar, waarbij radioactieve straling vrijkomt. Hiervan wordt gebruikgemaakt in de medische wereld, maar ook bij het opwekken van (letterlijk) kernenergie.

Bij ieder element in het periodiek systeem in figuur 2-2 ziet men linksboven de atoommassa. Dit is het gewogen gemiddelde van alle natuurlijk voorkomende isotopen van een bepaald element. Dezelfde waarde geeft ook het gewicht van een mol van het element aan, waarbij een mol uit ongeveer $6,022 \times 10^{23}$ atomen bestaat (het zogenoemde getal van Avogadro). Het atoomgewicht geeft een indicatie van de dichtheid van een element, een fysische eigenschap die ook van belang kan zijn bij de materiaalkeuze. Men weet intussen dat elektronenbanen geen goed gedefinieerde ringen zijn. De kwantummechanica leert ons dat elektronen zowel eigenschappen van deeltjes hebben als eigenschappen die vergelijkbaar zijn met die van energiegolven. De elektronenconfi-

guratie van een atoom wordt gedefinieerd met behulp van kwantumgetallen. Het verschil tussen het atoommodel van Bohr en het atoommodel volgens de kwantummechanica wordt geïllustreerd in figuur 2-3. Elektronen in een atoom bezetten schillen en onderschillen binnen deze schillen.

Men kan niet zeggen dat een specifiek elektron een baan om de kern van een atoom beschrijft op bijvoorbeeld een afstand van 1 \AA van de kern. In plaats daarvan wordt de positie van elektronen in hun schillen gedefinieerd door vier kwantumgetallen die betrekking hebben op respectievelijk de energie van het elektron (hoofdkwantumgetal), de vorm van een schil (nevenkwantumgetal), de oriëntatie van een schil (magnetisch kwantumgetal) en de spin van een elektron (spinkwantumgetal). Deze vier getallen geven in wezen de waarschijnlijkheid aan dat een bepaald elektron in een bepaald verband staat met de kern van een atoom. Dit concept