
Scheikunde

^{voor}
dummies[®]

Inhoud

INLEIDING	1
DEEL 1: BASISBEGRIPPEN VAN DE SCHEIKUNDE	7
HOOFDSTUK 1: Wat is scheikunde en waarom moet je er iets van afweten?	9
Begrijpen wat scheikunde is	10
Wetenschap en technologie van elkaar onderscheiden	10
De wetenschappelijke methode ontcijferen	11
Hoe de wetenschappelijke methode werkt	11
Hoe je de wetenschappelijke methode kunt gebruiken	15
De verschillende takken van scheikunde bekijken	16
Macroscopische versus microscopische gezichtspunten	17
Fundamentele versus toegepaste scheikunde	17
Wat doe je nu tijdens zo'n scheikundeles?	18
HOOFDSTUK 2: Scheikundige berekeningen uitvoeren	21
Het SI-stelsel begrijpen	21
De elementaire SI-voorvoegsels nader bekeken	22
Eenheden van lengte	22
Eenheden van massa	23
Eenheden van volume	23
Eenheden van temperatuur	24
Eenheden van druk	24
Eenheden van energie	24
Met heel kleine of heel grote getallen werken	25
Exponentiële en wetenschappelijke notatie onderzoeken	25
Optellen en aftrekken	26
Vermenigvuldigen en delen	26
Een getal tot een macht verheffen	27
Vertrouwen op een rekenmachientje	27
Het verschil tussen nauwkeurigheid en precisie ontcijferen	27
Leren omgaan met significante cijfers	29
Getallen vergelijken: exact en geteld versus gemeten	29
Het aantal significante cijfers in een gemeten getal bepalen	30
Het juiste aantal significante cijfers rapporteren	30
Getallen afronden	31
HOOFDSTUK 3: Materie en energie	33
De details van materie waarnemen	33
Vaste stoffen	34
Vloeistoffen	35
Gassen	35
Zwemmen in de zomer en schaatsen in de winter: materie kan van toestand veranderen	35
Ik smelt helemaal!	35
Kookpunt	36

Wat je niet hoeft te lezen

Ik weet dat je het druk hebt en dat je alleen uit dit boek wilt halen wat je echt nodig hebt. Hoewel ik zou willen dat je ieder woord leest wat ik geschreven heb, begrijp ik dat je misschien onder tijdsdruk staat. Ik houd de materie zo basaal mogelijk, maar neem wel een aantal zijsprongen op. Ze zijn interessant om te lezen (opnieuw, althans voor mij), maar niet echt nodig om het onderwerp goed te kunnen begrijpen. Voel je dus vrij om ze over te slaan. Dit is *jouw* boek. Gebruik het op de manier die jij wilt.

Ik markeer een aantal paragrafen met de pictogrammen voor technische info. Wat ik je in deze stukjes uitleg, gaat strikt genomen verder dan je zou moeten weten, maar ze bevatten wel behulpzame of interessante details over het onderwerp. Als je alleen de feiten wilt weten, kun je deze stukken overslaan.

Hoe dit boek is ingedeeld

Ik heb de inhoud van dit boek in een logische (tenminste, voor mij) volgorde van onderwerpen achter elkaar gezet. Maar dat betekent niet dat je bij het begin moet beginnen en het boek vervolgens tot het einde moet doorlezen. Ik heb elk hoofdstuk zo gemaakt dat het op zichzelf staat, dus je kunt rustig rondbladeren. Soms zul je er echter meer van begrijpen, als je ook kort een gedeelte met wat achtergrondinformatie bekijkt. Om je die achtergrondinformatie te helpen vinden heb ik hier en daar door het boek verwijzingen gezet met 'zie hoofdstuk X voor meer informatie'.

Omdat ik een groot aanhanger ben van concrete voorbeelden, heb ik de tekst ook voorzien van veel illustraties en afbeeldingen. Die zullen je echt helpen scheikundige onderwerpen te begrijpen. Om je met de wiskunde te helpen heb ik vraagstukken in stappen opgedeeld, zodat makkelijk te volgen is wat ik precies doe.

Ik heb de onderwerpen in een logische volgorde gezet – in wezen op dezelfde manier als mijn cursussen voor wetenschappelijke en niet-wetenschappelijke hoofdvakstudenten. Hier volgt een overzicht van de delen van het boek.

Deel 1: Basisbegrippen van de scheikunde

In dit deel laat ik je kennismaken met de echte basisbegrippen van de scheikunde. Ik definieer wat scheikunde is en laat je zien hoe het tussen de andere natuurwetenschappen past (in het midden, natuurlijk). Ik laat je de chemische wereld om je heen zien en leg uit waarom je scheikunde belangrijk zou moeten vinden. Ik heb ook een hoofdstuk (hoofdstuk 2) gewijd aan chemische berekeningen. Hierin geeft ik onder nadere een introductie van het SI-stelsel. Ik vertel je bovendien over de drie toestanden waarin materie kan voorkomen en heb het over het overgaan van de ene toestand in de andere en de energetische veranderingen die daarbij optreden.

Behalve de macroscopische wereld van dingen, zoals het smelten van ijs, behandel ik de microscopische wereld van de atomen. Ik vertel iets over de deeltjes die samen een atoom vormen – protonen, neutronen en elektronen – en laat je zien waar die zich in het atoom bevinden.

Ik bespreek hoe je het periodiek systeem gebruikt, een onmisbaar gereedschap voor scheikundigen. Ook laat ik je de atoomkern zien, inclusief de verschillende subatomaire deeltjes. Tot slot laat ik je kennismaken met de wonderbaarlijke wereld van gassen. Het is zelfs zo dat je in het hoofdstuk over gassen zoveel gaswetten tegenkomt (de wet van Boyle, de wet van Charles, de wet van Gay-Lussac, de gecombineerde gaswet, de algemene gaswet, de wet van Avogadro en meer), dat je je een soort advocaat voelt als je het hebt gelezen. De inhoud van deze hoofdstukken zorgt ervoor dat je klaar bent voor aanvullende scheikundige onderwerpen.

Deel 2: Een overvloed aan chemische concepten

Dit gedeelte bevat echt goed spul: chemische reacties. Ik geef enkele voorbeelden van verschillende soorten chemische reacties die je kunt tegenkomen en laat zien hoe je die kloppend maakt. (Je dacht toch niet echt dat ik dat zou overslaan, wel?) Ik introduceer ook het begrip 'mol'. Vreemde naam, ja. Maar de mol is cruciaal voor het begrijpen van chemische berekeningen. Hij maakt het mogelijk om te zien hoeveel beginstoffen voor chemische reacties nodig zijn en hoeveel product daarbij ontstaat. Daarnaast heb ik het over oplossingen en over hoe je de concentraties daarvan uitrekent. En ik leg uit waarom ik in de zomer antivries in mijn radiator laat zitten en waarom ik, als ik ijs maak, daar zout aan toevoeg.

Dit gedeelte gaat over thermochemie. Tijdens chemische reacties treden er energieveranderingen op. Bij sommige reacties komt energie vrij (meestal in de vorm van warmte) en sommige reacties absorberen energie in de vorm van warmte. Ik laat je zien hoe je kunt berekenen hoeveel warmte er vrijkomt. Dat kan voldoende zijn om je te laten zweten. Tot slot vertel ik je over zuren en basen, zure en bittere dingen. Ik bespreek hoe je daarvan de concentraties kunt berekenen en hoe je de pH van een oplossing kunt uitrekenen.

Deel 3: Gezegend zijn de banden die binden

Ik begin dit gedeelte met het behandelen van de kwantumtheorie, waarin een elektron wordt beschreven met de eigenschappen van zowel deeltjes als golven. In het eerste hoofdstuk gooi ik zekerheden uit het raam en introduceer ik het begrip kans. Dan ga ik het hebben over bindingen. Hoofdstuk 13 gaat over de ionbinding en daar laat ik je zien hoe tafelzout wordt gemaakt. In hoofdstuk 14 komt de covalente binding van water aan bod. Ik leg uit hoe je bepaalde ionverbindingen namen geeft en hoe je lewisstructuren tekent voor enkele covalente verbindingen. Ik laat je zelfs zien hoe bepaalde moleculen eruit zien (en wees er zeker van dat ik al deze technische toverwoorden ook nog meteen definieer).

Ik heb het ook over de periodieke trends van de elementen en over intermoleculaire krachten. Die zijn extreem belangrijk en zorgen ervoor dat water bijzonder ongebruikelijke eigenschappen heeft.

Deel 4: Milieuchemie: voordelen en problemen

In dit gedeelte bespreek ik een aantal milieuonderwerpen, in het bijzonder lucht- en waterverontreiniging. Ik laat zien waardoor deze vervuiling ontstaat en wat scheikunde kan doen om de problemen te verhelpen. Deze onderwerpen, die zo dikwijls in het nieuws zijn, behoren tot de belangrijkste problemen van onze maatschappij. Om mogelijke oplossingen te kunnen evalueren moet je een beetje kennis van scheikunde hebben. Ik hoop dat je niet verdwaalt in de smog!

Tot slot laat ik je kennismaken met de nucleaire chemie. Ik bespreek radioactiviteit, koolstof-14-datering, fusie en nucleaire fusiereactors.

Deel 5: Het deel van de tientallen

In dit gedeelte laat ik je kennismaken met tien grote toevallige chemische ontdekkingen, tien grote scheikundenerds (nerds zijn cool!), en tien handige tips om te slagen voor scheikundeproefwerken. Ik ben ook nog begonnen aan tien favoriete scheikundeliedjes, maar kwam niet verder dan negen. Balen. Ik heb ook een hoofdstuk opgenomen over tien chemische stoffen die tegenwoordig veel gebruikt worden. Hierdoor leer je begrijpen hoe de basischemie ons dagelijkse leven beïnvloedt.

Pictogrammen die in dit boek worden gebruikt

Als je al andere *Voor Dummies*-boeken hebt gelezen, zul je de pictogrammen in dit boek herkennen. Mocht dat niet zo zijn, dan kun je hier snel kijken wat ze betekenen.



TIP

Dit pictogram wijst je op een tip voor hoe je iets zo snel of makkelijk mogelijk doet of begrijpt. Dit pictogram geeft zaken aan die goed zijn om te weten en dingen die je veel tijd en/of frustratie besparen.



BELANGRIJK

Dit pictogram geeft aan wat echt belangrijk is en je niet moet vergeten.



PAS OP

Dit pictogram gebruik ik als ik het over de veiligheid bij een bepaalde handeling heb, vooral bij het mengen van chemicaliën.



Scheikunde

voor
dummies[®]

2e editie

John T. Moore



BBNC
uitgevers

Amersfoort, 2019

Inhoud in vogelvlucht

Inleiding	1
Deel 1: Basisbegrippen van de scheikunde	7
HOOFDSTUK 1: Wat is scheikunde en waarom moet je er iets van afweten?	9
HOOFDSTUK 2: Scheikundige berekeningen uitvoeren	21
HOOFDSTUK 3: Materie en energie	33
HOOFDSTUK 4: Nog kleiner dan een atoom? De structuur van atomen	47
HOOFDSTUK 5: Het periodiek systeem (daar zit ordening in)	67
HOOFDSTUK 6: Ballonnen, banden en duiktanks: de wonderlijke wereld van gassen ..	77
Deel 2: Een overvloed aan chemische concepten	95
HOOFDSTUK 7: Scheikundig kokkerellen: chemische reacties	97
HOOFDSTUK 8: De mol: onmisbaar hulpmiddel	111
HOOFDSTUK 9: Stoffen mengen: oplossingen	123
HOOFDSTUK 10: Thermochemie: heet spul	139
HOOFDSTUK 11: Zuur en bitter: zuren en basen	153
Deel 3: Gezegend zijn de banden die binden	171
HOOFDSTUK 12: Waar heb ik dat elektron gelaten? Kwantumtheorie	173
HOOFDSTUK 13: Tegenpolen trekken elkaar aan: ionbinding	183
HOOFDSTUK 14: Eerlijk delen: covalente binding	197
HOOFDSTUK 15: Hoe zien moleculen er werkelijk uit? Moleculaire geometrie en hybridisatie	215
HOOFDSTUK 16: Periodieke trends herkennen	227
HOOFDSTUK 17: Het verband tussen intermoleculaire krachten en gecondenseerde toestanden	235
Deel 4: Milieuchemie: voordelen en problemen	245
HOOFDSTUK 18: Uche! Uche! Hatsjoe! Luchtvervuiling	247
HOOFDSTUK 19: De details van waterverontreiniging onderzoeken	259
HOOFDSTUK 20: Nucleaire scheikunde: daar krijg je het warm van	273
Deel 5: Het deel van de tientallen	293
HOOFDSTUK 21: Tien toevallige ontdekkingen in de scheikunde	295
HOOFDSTUK 22: Tien (plus een) fantastische scheikundenerds	299
HOOFDSTUK 23: Tien geweldige tips om te slagen voor scheikunde	303
HOOFDSTUK 24: De tien belangrijkste industriële chemicaliën	309
BIJLAGE: Verklarende woordenlijst	315
Index	329



VOORBEELD

Dit pictogram staat bij een voorbeeld van een vraagstuk over het betreffende onderwerp. Ik neem de oplossing stap voor stap met je door, zodat je er vertrouwd mee wordt.



TECHNISCHE
INFO

Dit pictogram gebruik ik niet vaak, omdat ik de inhoud redelijk eenvoudig houd. Maar in die gevallen dat ik wat dieper op de stof ben ingegaan, waarschuw ik je hiervoor met dit pictogram. Dit materiaal kun je rustig overslaan, maar als je interesse hebt in wat meer informatie, wil je misschien juist hier naar kijken.

Hoe moet het nu verder?

Hoe je van hieruit verder moet gaan hangt helemaal van jou af en van je basis-kennis. Probeer je iets specifiek te achterhalen? Ga dan meteen naar dat hoofdstuk en de betreffende paragraaf. Als je een echte leek bent, begin dan met hoofdstuk 1 en ga van daaruit verder. Als je al wat van scheikunde weet, stel ik voor dat je eerst snel deel 1 doorneemt en dan verder gaat met deel 2. Hoofdstuk 8, over de mol, is essentieel en dat geldt ook voor hoofdstuk 6 over gassen.

Ben je vooral geïnteresseerd in milieuchemie? Ga dan naar hoofdstuk 18 en 19. Eigenlijk zit je overal goed. Ik hoop dat je van je scheikundige uitstapje zult genieten.



Basisbegrippen van de scheikunde

IN DIT DEEL . . .

Als scheikunde nog nieuw voor je is, is het in het begin misschien wat eng. Ik zie elke dag leerlingen die zo vaak tegen zichzelf gezegd hebben dat scheikunde te moeilijk is dat ze het zijn gaan geloven. Maar hier is het goede nieuws: iedereen kan scheikunde begrijpen. Iedereen kan scheikunde doen. Als je kookt, schoonmaakt of gewoon bestaat, maak je al deel uit van de wereld van de scheikunde.

Ik werk veel met basisschoolkinderen en die zijn dol op natuurwetenschappen. Ik laat chemische reacties zien (bijvoorbeeld de reactie van azijn met zuiveringszout) en dat vinden ze echt gaaf. Ik hoop dat jou dat ook overkomt als je dit boek leest en ontdekt hoe interessant en belangrijk scheikunde kan zijn.

De hoofdstukken van deel 1 geven je een goede basis in de scheikunde. Ik laat je zien hoe je berekeningen moet uitvoeren en introduceer het SI-stelsel bij je. Ik vertel je over materie en de toestanden waarin die kan bestaan en ik vertel ook wat over energie, inclusief de verschillende soorten en hoe die gemeten worden. Ik bespreek de microscopische wereld van het atoom en de elementaire onderdelen daarvan en leg uit hoe informatie over atomen wordt overgebracht naar het periodiek systeem, het handigste stuk gereedschap van een scheikundige. Ook behandel ik de wereld van gassen. Dit deel wordt een heerlijke pleziertocht, start je motor dus maar vast!

Het vak scheikunde definiëren**Meer te weten komen over wetenschap en technologie****De wetenschappelijke methode uitwerken****Algemene gebieden binnen de scheikunde bekijken****Wat je kunt verwachten in een scheikundeles**

Hoofdstuk 1

Wat is scheikunde en waarom moet je er iets van afweten?

Als je een scheikundecursus volgt, wil je dit hoofdstuk misschien wel overslaan en direct naar het onderwerp gaan waar je wat moeite mee hebt. Jij weet al wat scheikunde is: het is een vak dat je moet halen. Heb je dit boek echter gekocht om te kunnen besluiten of je een cursus scheikunde wilt gaan doen of gewoon om iets nieuws te ontdekken? Dan raad ik je aan om dit hoofdstuk te lezen. Ik bereid je hier op de rest van het boek voor door je te laten zien wat scheikunde is, wat scheikundigen (chemici) doen en waarom scheikunde – ook wel chemie genoemd – je zou moeten interesseren.

Zelf geniet ik heel erg van scheikunde. Het is veel meer dan simpelweg een verzameling feitjes en wat kennis op een rijtje. Mijn hoofdvak was natuurkunde toen ik naar de universiteit ging, maar ik was direct verslaafd toen ik mijn eerste scheikundevak volgde. Het was zo interessant, zo logisch. Ik vind het boeiend om chemische veranderingen te zien plaatsvinden, om onbekende dingen uit te pluizen, instrumenten te gebruiken en zo mijn zintuigen uit te breiden. Het is leuk om voorspellingen te doen en na te gaan waarom ze al dan niet kloppen. Het vak scheikunde begint hier, bij de basis. Beschouw dit hoofdstuk daarom als de springplank naar de wonderlijke wereld van de scheikunde.

Begrijpen wat scheikunde is

Deze hele tak van de wetenschap gaat helemaal over *materie*: alles wat massa heeft en ruimte inneemt. *Scheikunde* is het bestuderen van de samenstelling en eigenschappen van materie, en de veranderingen die deze materie ondergaat, inclusief energieveranderingen.

De natuurwetenschappen waren altijd onderverdeeld in heel heldere afgebakende gebieden. Als het levend was, was het biologie. Als het van steen was, was het geologie. Als het stonk, was het scheikunde. Als het niet werkte, was het natuurkunde. Maar tegenwoordig is deze duidelijke omlijnning niet meer aanwezig. Je kunt biochemici tegenkomen, chemische fysici, geochemici enzovoort. Scheikunde houdt zich echter nog wel steeds bezig met materie, energie en hun veranderingen.

Bij dat laatste – de veranderingen die materie ondergaat – speelt veel scheikunde mee. Materie bestaat uit ofwel zuivere stoffen ofwel mengsels van zuivere stoffen. De verandering van de ene stof in de andere is wat scheikundigen een *chemische verandering* of *chemische reactie* noemen. En dat is nogal wat, want als dat gebeurt, ontstaat er een totaal nieuwe stof (zie hoofdstuk 3 voor de details).

Wat zijn stoffen en elementen eigenlijk? Dat zijn ook gewoon stukjes van de anatomie van materie. Materie bestaat uit ofwel zuivere stoffen of mengsels van zuivere stoffen en stoffen bestaan zelf weer uit hetzelfde elementen of verbindingen. (Hoofdstuk 3 ontleedt de anatomie van materie. En net als bij medische ontledingen kun je daar maar het beste op voorbereid zijn: met een wasknijper op je neus en een lege maag.)

Wetenschap en technologie van elkaar onderscheiden

Natuurwetenschap is heel wat meer dan een verzameling feiten, afbeeldingen, grafieken en tabellen. Het is een methode voor het onderzoeken van het fysieke universum. Het is een manier van vragen stellen en beantwoorden. Wil het echter wetenschap genoemd worden, dan moeten de uitkomsten getoetst kunnen worden. Die toetsbaarheid is wat wetenschap onderscheid van geloof.

Zo zou je bijvoorbeeld kunnen geloven in ufo's. Maar kun je het bestaan daarvan ook bewijzen? En wat met zaken op het gebied van de liefde? Houdt ze van me? Hoeveel houdt ze van me? Kan ik een test bedenken om de liefde en de hoeveelheid daarvan te bepalen? Ik denk van niet. Ik moet vertrouwen in die liefde. Liefde is niet gebaseerd op wetenschap en dat is okay. De mensheid heeft met veel grote vragen geworsteld die de wetenschap niet kan beantwoorden. Wetenschap is een gereedschap dat gebruikt kan worden voor het beantwoorden van bepaalde vragen, maar niet voor alle vragen. Je gebruikt geen bulldozer om een stuk taart te eten, en een sloot graaf je niet met een vork. Dat zijn ongeschikte gereedschappen

voor die taak, net zoals wetenschap een ongeschikt gereedschap is op het gebied van geloof.

Natuurwetenschap wordt het beste getypeerd door de houding van de natuurwetenschappers zelf: ze zijn sceptisch. Ze geloven niet zomaar op iemands woord dat iets waar is. Het moet toetsbaar zijn. En ze zijn voorzichtig over de geldigheid van de resultaten van hun experimenten en wachten af of een andere wetenschapper het tegendeel bewijst. Als het niet kan worden getoetst, is het geen wetenschap. Natuurwetenschappers vragen zich dingen af, verwonderen zich, proberen uit te zoeken waarom, en voeren experimenten uit. Ze hebben dezelfde houding die je bij de meeste jonge kinderen ziet voor ze beginnen op te groeien. Misschien is dit een goede definitie van wat natuurwetenschappers zijn: het zijn volwassenen die hun verwondering over de natuur nooit zijn kwijtgeraakt en nog steeds alles willen weten.

Technologie, het gebruik van kennis voor een specifiek doel, was er eerder dan wetenschap. In de oudheid kookten mensen voedsel, smolten ze ertsen, maakten ze met behulp van fermentatie bier en wijn, en haalden medicijnen en kleurstoffen uit plantaardig materiaal. Aanvankelijk bestond technologie zonder veel wetenschap. Er waren slechts weinig theorieën en weinig echte experimenten. Het redeneren werd overgelaten aan filosofen. Op een gegeven moment kwam de alchemie op, die de scheikunde een experimentele basis verschaftte. Alchemisten zochten naar manieren om metalen om te zetten in goud. Daarbij ontdekten ze vele nieuwe chemische stoffen en processen, zoals destillatie. Toch duurde het nog tot de zeventiende eeuw voordat experimenten de plaats van toevallige vindingen, serendipiteit, innamen (zie de volgende paragraaf voor een bespreking van serendipiteit) en de echte wetenschap begon.

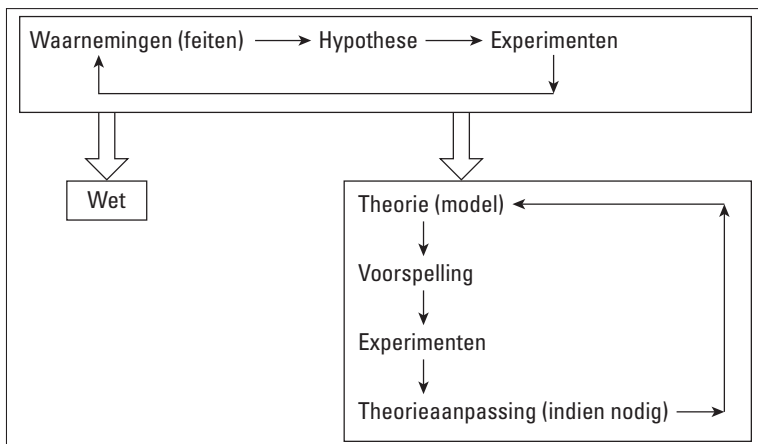
De wetenschappelijke methode ontcijferen

De *wetenschappelijke methode* wordt meestal omschreven als de manier waarop wetenschappers de wereld om hen heen onderzoeken. In werkelijkheid is er echter niet één bepaalde wetenschappelijke methode die iedereen altijd gebruikt. De methode die ik hier behandel, beschrijft de meeste belangrijke stappen die elke wetenschapper wel op een gegeven moment doorloopt.

De volgende paragrafen gaan dieper in op wat de wetenschappelijke methode is en hoe je het bij al je studies (niet alleen scheikunde) kunt gebruiken.

Hoe de wetenschappelijke methode werkt

Van wetenschappers wordt verwacht dat ze hun werk uitvoeren volgens de wetenschappelijke methode: een circulair proces dat verloopt van waarnemen naar het stellen van een hypothese naar experimenteren en vervolgens weer terug naar waarnemen. Deze stappen leiden soms tot het ontstaan van wetten of theorieën.



FIGUUR 1.1: De wetenschappelijke methode.



BELANGRIJK

Aan het begin van de wetenschappelijke methode doen wetenschappers waarnemingen en merken ze feiten op over dingen in de wereld om hen heen. De waarnemingen kunnen vragen oproepen die een onderzoeker wil beantwoorden. Hij of zij bedenkt dan een *hypothese*, een voorlopige uitleg die met de waarnemingen overeenkomt. De onderzoeker ontwerpt vervolgens een *experiment* om de hypothese te toetsen. Dit experiment levert waarnemingen of feiten op die vervolgens kunnen worden gebruikt om een andere hypothese mee op te stellen of de huidige aan te passen. Dan worden weer nieuwe experimenten bedacht en zo gaat het steeds verder.

Bij goede wetenschap is dit een cirkel zonder einde. Wetenschappers worden steeds beter in hun werk en ze bouwen ook steeds betere instrumenten; zo komt het dat hun hypothesen steeds weer opnieuw worden getoetst. Conclusies die vanuit wetenschappelijk oogpunt vandaag de dag lijken te kloppen, kunnen morgen worden aangepast of zelfs weerlegt.

Experimenten die volgens de wetenschappelijke methode worden uitgevoerd kunnen er, naast de voortzetting van deze continue cirkel, toe leiden dat onderzoekers een nieuwe wet of theorie voorstellen. Een *wet* is een generalisatie, een algemene formulering, voor wat er gebeurt in het natuurwetenschappelijke systeem dat wordt bestudeerd. Zo zegt de wet van behoud van materie bijvoorbeeld dat er geen materie wordt gevormd of vernietigd. Net als juridische wetten moeten ook wetenschappelijke wetten van tijd tot tijd op grond van nieuwe feiten worden aangepast. Met de opkomst van het nucleaire tijdperk realiseerden chemici zich dat bij nucleaire reacties een kleine hoeveelheid materie verdwijnt, die wordt omgezet in energie. Daarom werd de wet van behoud van materie gewijzigd. Deze ging luiden: bij gewone chemische reacties wordt er geen materie gevormd of vernietigd.

Ook kan er een theorie of model worden voorgesteld. Een *theorie of model* probeert te verklaren *waarom* iets gebeurt. Dat is vergelijkbaar met een hypothese, maar er is veel meer ondersteunend bewijs voor. Het verschil tussen een theorie en een mening is dat theorieën ondersteund worden door een groot aantal experimen-

ten, veel waarnemingen en heel veel gegevens. Kortom: door feiten die ondersteunen.



VOORBEELD

WETENSCHAPSMARKTEN EN DE WETENSCHAPPELIJKE METHODE

Stel, je bent een middelbare scholier en je docent moedigt je aan om deel te nemen aan de lokale wetenschapsmarkt. Je denkt heel lang na over een project. Je oog valt op een voorgesteld experiment over de energie-inhoud van noten en je besluit te onderzoeken welke soort de meeste chemische energie bevat: pelpinda's, geroosterde pinda's of gedroogde geroosterde pinda's. Je vermoedt dat noten in olie worden geroosterd. Daarom is je hypothese dat geroosterde pinda's meer energie bevatten omdat ze olie absorberen.

Nu moet je een experiment ontwerpen om deze hypothese te testen. Je bladert door naar hoofdstuk 10 over thermochemie en leest over calorimeters. Je besluit om een calorimeter te bouwen van een aantal conservenblikjes en een thermometer. Je vergeet niet om na te denken over de variabelen die een rol spelen: de massa van water, de massa van de noten enzovoort. Vervolgens begin je met het bouwen van het apparaat. Je beseft dat je een aantal bepalingen zult moeten uitvoeren aan iedere soort pinda. Je verzamelt zorgvuldig en systematisch alle gegevens en voert zelfs een foutenanalyse op de gegevens uit.

Na het analyseren van de gegevens zul je misschien je oorspronkelijke hypothese moeten wijzigen. Maar dan begin je je af te vragen of een cashewnoot meer energie per gram bevat dan een pinda. En hoe zit het eigenlijk met al die andere noten uit de supermarkt? Je simpele experiment voor de wetenschapsmarkt heeft meer vragen opgeroepen. En dat is de weg die de echte wetenschappers afleggen. Ieder onderzoek kan bepaalde vragen beantwoorden, maar zal er waarschijnlijk veel meer opleveren. Wie weet, misschien ben je over vijftien jaar wel werkzaam als voedselchemicus.

De kracht van de theorie of van een het model ligt in de voorspellende waarde ervan. Als de wetenschapper het model kan gebruiken om het systeem beter te begrijpen, kan hij of zij op basis van het model voorspellingen doen, en vervolgens door middel van meer experimenten nagaan of ze kloppen. De waarnemingen uit deze experimenten kunnen wetenschappers dan weer gebruiken om de theorie of het model aan te passen of te verfijnen, waarmee er weer een nieuwe ronde aan het proces wordt toegevoegd. Wanneer stopt dit proces? Nooit. Omdat de mensheid steeds geavanceerdere instrumenten en manieren om de natuur te onderzoeken ontwikkelt, zullen wetenschappers het telkens opnieuw nodig vinden om theorieën en modellen aan te passen.

Veel wetenschappelijke ontdekkingen worden verricht met behulp van de wetenschappelijke methode. Toch worden er ook veel ontdekkingen gedaan via een ander proces, dat *serendipiteit* wordt genoemd. Serendipiteit betekent dat er sprake is van een toevallige ontdekking. De ontdekkingen van penicilline, notitiebriefjes die blijven kleven, klittenband, radioactiviteit, viagra en ga zo maar door waren allemaal toevallig. Toch is voor het herkennen van een toevallige ontdek-

king een goed opgeleide, gedisciplineerde, wetenschappelijke geest nodig. Zie hoofdstuk 21 voor een lijst met wat ik beschouw als tien belangrijke toevallige ontdekkingen in de chemie.



VOORBEELD

SCHEIKUNDE IN HUIS ONTDEKKEN

Scheikunde is een belangrijk onderdeel van het dagelijks leven. Je hoeft alleen maar door je huis te wandelen om allerlei dingen tegen te komen die belangrijk voor je zijn en met scheikunde te maken hebben. Kijk maar eens naar de scheikunde in deze kamers in je huis:

- **Wasruimte.** Zie je die fles wasmiddel? Zowel de fles als het wasmiddel zijn gemaakt dankzij chemici. Je houdt wel van mooie schone kleren, toch? Zonder scheikunde zou je er niet zo mooi uitzien. Wasmiddelen bevatten een heleboel dingen, waaronder enzymen, optische bleekmiddelen, vulstoffen en dergelijke. Ze zijn allemaal door scheikundigen bedacht om je kleren er goed uit te laten zien. Neem bijvoorbeeld een fles bleekmiddel. Yep, gemaakt door scheikundigen. Of het nu je kleding, je haar of houtpulp is, chemici kunnen uit bijna alles de kleur halen.
- **Garderobe.** Als je geen wollen of katoenen kleding draagt, mag je een scheikundige en de chemische industrie bedanken dat ze erachter zijn gekomen hoe ze die vezels konden maken.
- **Badkamer.** Zie je dat stuk zeep? Het werd geperfectioneerd door een chemicus, anders zou je genoeg moeten nemen met grootmoeders ruwe loogzeep.

Hoe zit het met die tandpasta? Er zitten heel veel ingrediënten in dat eenvoudige product: kleuren, smaakstoffen, schuurmiddelen, verdikkingsmiddelen en fluoride, alle ontworpen door chemici. En ik hoop dat je een deodorant gebruikt. Heb je er al eens over gedacht wat daarin zit? Je kunt er op wedden dat de formule is ontwikkeld door scheikundigen.

Wat smeer je op je huid? Waarschijnlijk lotions, poeders, make-up of eau de cologne, allemaal ontwikkeld door chemici. En je haar: je wast het, krult het, maakt het recht en kleurt het, en dat doe je allemaal met chemicaliën.

Ik weet het, het is genoeg om je hoofdpijn te bezorgen. Dat aspirientje dat je dan wilt innemen is ook gemaakt door chemici, net zoals paracetamol, ibuprofen enzovoort. Chemicaliën zijn overal. Trek je haar uit en laat het teruggroeien met een geneesmiddel.

Scheikundigen hebben je de dingen gegeven die je leuk vindt. Soms ontstaan daarbij problemen. Scheikundigen werden en worden er dan bijgeroepen om die op te lossen.

Hoe je de wetenschappelijke methode kunt gebruiken

De meeste mensen gebruiken de wetenschappelijke methode in hun dagelijks leven, zonder er zelfs maar over na te denken. Je beschouwt het als het logisch aanpakken van een probleem. Stel je bijvoorbeeld voor dat je dat nieuwe HD-tv en thuisbioscoopstelsel koopt dat je wilde hebben. Je schaft daar zelfs een nieuwe cd-wisselaar bij aan, zodat je uren naar muziek kunt luisteren terwijl je studeert. Nadat je alles hebt uitgepakt en aangesloten, merk je dat er geen geluid uit de linkerluidspreker komt bij het afspelen van een cd. Je hebt een probleem geïdentificeerd om te onderzoeken. Nu moet je de wetenschappelijke methode toepassen om het probleem op te lossen. Hier zijn een aantal algemene stappen die je kunt gebruiken:



BELANGRIJK

1. Ontwikkel een hypothese over wat je bestudeert.

Deze hypothese is een verantwoorde voorspelling die je doet over wat volgens jou het eindresultaat zal zijn. Een hypothese geeft je een idee over wat je kunt verwachten, maar na het uitvoeren van je experimenten kun je tot de conclusie komen dat de hypothese ongeldig is.

Zo zou je bijvoorbeeld in het geval van de niet-werkende linkerluidspreker kunnen denken dat het probleem in de cd-wisselaar zit, in de versterker of in de kabels die deze twee apparaten verbinden. Al het andere werkt namelijk correct. Je vormt dan de hypothese dat er iets mis is met de cd-kabels. Misschien is de linkerluidspreker gebroken of slecht verbonden. Je besluit om te experimenteren.

2. Voer je experiment uit.

Ontwerp dit experiment zorgvuldig, waarbij je zoveel mogelijk variabelen controleert. Variabelen zijn factoren die de uitkomst van het experiment kunnen beïnvloeden. In de scheikunde kunnen de variabelen de temperatuur, de druk, het volume enzovoort zijn. (Het onder controle houden van alle variabelen is erg moeilijk als er mensen bij betrokken zijn. Dat is de reden waarom sociaal-wetenschappelijk onderzoek zo moeilijk is.) In dit voorbeeld zijn de aansluitpunten op zowel de cd-speler als de versterker variabelen, net als de kabel tussen de aansluitpunten. Je wilt slechts één ding tegelijkertijd veranderen. Het eenvoudigste dat je kunt doen is de kabelaansluitingen bij de cd-speler omwisselen. Verwissel gewoon de rechterkabel met de linker. Stel dat er dan wel geluid uit de linkerluidsprekers komt, maar niet uit de rechter? Wat kun je daaruit concluderen?

3. Gebruik de gegevens en informatie uit het experiment om een nieuwe hypothese op te stellen of de oude te wijzigen.

De tegenovergestelde luidsprekers begonnen te haperen toen de aansluitingen van de cd-kabels werden verwisseld. Dan is de cd-wisselaar of de kabel defect, niet de versterker. Daarom voer je nu een ander experiment uit, met behulp van een nieuwe set kabels. Gelukkig. Alles werkt nu prima.

Je kunt beargumenteren dat de procedure die je volgde gewoon een kwestie was van gezond verstand, maar het was echt de wetenschappelijke methode. In feite is het zelfs zo dat ik vind dat de wetenschappelijke methode gewoon gezond verstand gebruiken is.

De verschillende takken van scheikunde bekijken

Het gebied van de scheikunde is zo enorm groot dat het oorspronkelijk was onderverdeeld in een aantal verschillende specialisaties. Maar tegenwoordig is er vreselijk veel overlap tussen de verschillende scheikundegebieden, net zoals tussen de verschillende natuurwetenschappen. Dit zijn de traditionele gebieden van de scheikunde:

- » **Analytische scheikunde.** Deze tak heeft een hoop te maken met de analyse van stoffen. Chemici uit dit gebied van de scheikunde proberen bijvoorbeeld uit te zoeken welke stoffen zich in een mengsel bevinden (*kwalitatieve analyse*) of hoeveel van een bepaalde stof ergens in aanwezig is (*kwantitatieve analyse*). Analytische chemici werken vaak in de industrie, waar ze producten ontwerpen of de kwaliteit controleren. Gaat een chemisch productieproces fout en kost dat hun bedrijf honderden of duizenden euro's per uur? Dan staat de kwaliteitscontrolechemicus onder grote druk om het probleem op te lossen en om het snel te verhelpen. In de analytische scheikunde worden heel veel instrumenten gebruikt. In de hoofdstukken 7 tot 9 tref je veel van het materiaal aan dat analytische chemici gebruiken.
- » **Biochemie.** Deze tak specialiseert zich in levende organismen en systemen. Biochemici bestuderen de chemische reacties die op *moleculair niveau* van een organisme plaatsvinden – het niveau waarop de dingen zo klein zijn dat mensen ze niet rechtstreeks kunnen zien. Biochemici bestuderen processen zoals vertering, metabolisme, voortplanting en ademhaling. Soms is het moeilijk om een biochemicus van een moleculair bioloog te onderscheiden, omdat ze beide op microscopisch niveau levende systemen bestuderen. Een biochemicus richt zich echter meer op de reacties die daar plaatsvinden. Lees voor een goed begrip van de biochemie mijn boek *Biochemistry For Dummies*.
- » **Biotechnologie.** Dit relatief nieuwe natuurwetenschappelijk gebied wordt doorgaans bij scheikunde ondergebracht. Het is de toepassing van biochemie en biologie bij het maken of veranderen van genetisch materiaal of van organismen voor speciale doeleinden. Biotechnologie wordt bijvoorbeeld ingezet bij het klonen en bij het scheppen van gewassen die tegen ziekte bestand zijn. Dit is het vakgebied dat het in de toekomst mogelijk zou kunnen maken om erfelijke ziekten uit te bannen. Ook dit gebied behandel ik in mijn boek *Biochemistry For Dummies*.
- » **Anorganische scheikunde.** Deze tak houdt zich bezig met de studie van anorganische stoffen zoals zouten. Dat is inclusief de studie van de structuur en eigenschappen van deze stoffen. Ook de studie van de afzonderlijke elementen van de stoffen maakt er doorgaans deel van uit. Anorganisch scheikundigen zouden waarschijnlijk zeggen dat het de studie is over alles behalve koolstof. Dat laten ze aan de organische scheikundigen over.
- » **Organische scheikunde.** Dit is de studie van koolstof en de verbindingen daarvan. Waarschijnlijk is dit het best georganiseerde gebied van de scheikunde, en dat heeft een reden. Er bestaan miljoenen organische verbindingen en elk jaar worden er duizenden nieuwe ontdekt of gemaakt. Industrietakken als de polymeerindustrie, de petrochemische industrie en de farmaceutische industrie zijn allemaal afhankelijk van organische scheikundigen.