

Chemie Overal



Noordhoff Uitgevers

Chemie Overal

4 VWO

Vijfde editie

Auteurs

Joost Arends
Sjef Buil
Guus Rus
Juleke van Rhijn
Bertie Spillane
Yvonne Veldema

ICT

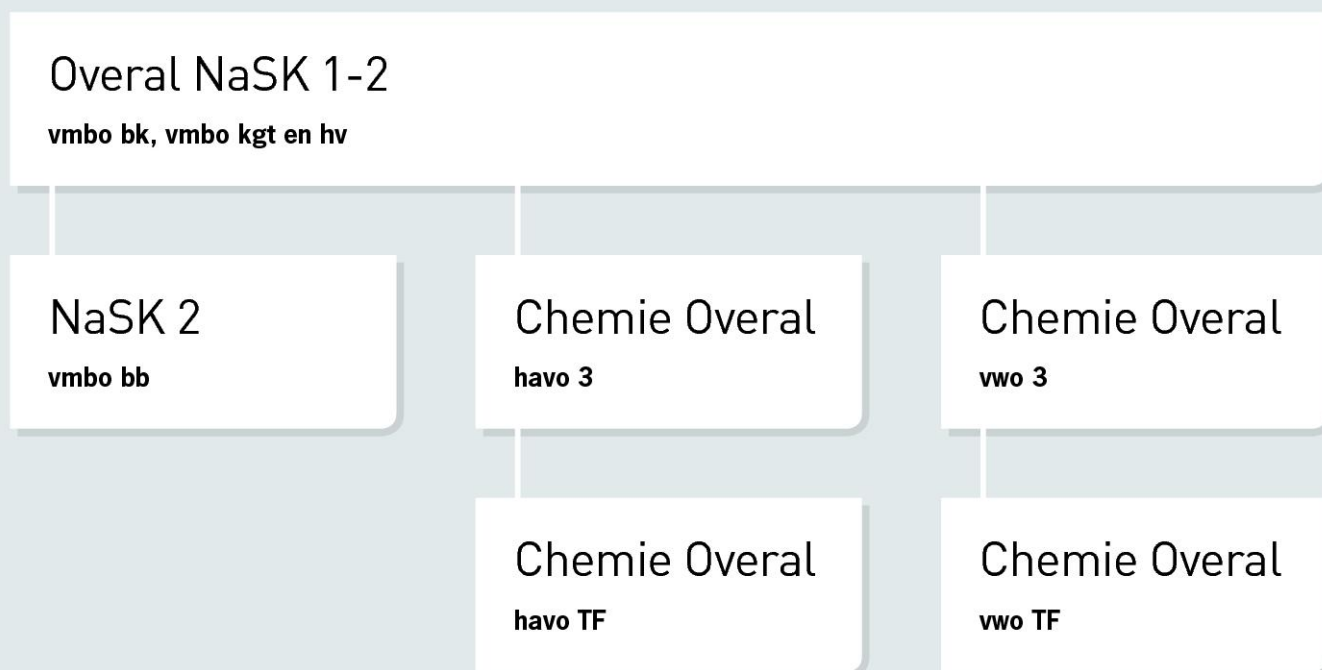
Nico Kabel
Patrick van Kempen
Machteld Petram

Eindredacteur

Juleke van Rhijn

Noordhoff Uitgevers

Serieoverzicht



Colofon

Vormgeving binnenwerk: Bloemvis design en communicatie, Groningen

Vormgeving omslag: InOntwerp, Assen

Omslagbeeld: Shutterstock

Technisch tekenwerk: Integra Software Services, India



0 / 17

© 2017 Noordhoff Uitgevers bv, Groningen/Houten, The Netherlands

Behoudens de in of krachtens de Auteurswet van 1912 gestelde uitzonderingen mag niets uit deze uitgave worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Voor zover het maken van reprografische verveelvoudigingen uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16h Auteurswet 1912 dient men de daarvoor verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Reprorecht (Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, www.reprorecht.nl). Voor het overnemen van (een) gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) kan men zich wenden tot Stichting PRO (Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie, Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, www.stichting-pro.nl).

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

ISBN 978-90-01-82792-2

© Noordhoff Uitgevers bv

Voor de leerling

Welkom bij de nieuwe 5^e editie van Chemie Overal voor de Tweede Fase. Je hebt een Natuurprofiel gekozen en je volgt dus het vak scheikunde.

Voor elk leerjaar is er een leerboek, een uitwerkingenboek en Chemie Overal online.

Leerstof

De leerboeken bevatten de verplichte leerstof voor school-examen en centraal examen. Paragrafen of onderdelen van paragrafen die niet tot de examenstof behoren zijn met een ⊕-symbool aangegeven.

Opdrachten

In dit boek staat voor de opdrachten een A, B of C. Hieraan zie je wat het niveau is van de opdracht (zie de legenda hieronder). Daarnaast zijn in het boek twee leerroutes aangegeven: een gemiddelde route aangegeven met het ⊙-symbool en een verdiepingsroute met het ★-symbool. Als je kiest voor een exacte studie, kun je de ★-route volgen. Je hoeft dan de vragen met het ⊙-symbool niet te maken. Volg je de gemiddelde route dan maak je alleen de vragen met het ⊙-symbool.

Experimenten

Aan het einde van een paragraaf staan korte omschrijvingen van de experimenten die je kunt doen. Van deze experimenten vind je online uitgebreide werkbladen.

Afsluiting

Het einde van ieder hoofdstuk bevat het onderdeel afsluiting. Deze bestaat uit contextrijke oefenopdrachten, een aantal keuzeopdrachten en een overzicht van de belangrijkste begrippen uit het hoofdstuk.

Online

Alle opdrachten en teksten uit dit boek vind je terug op Chemie Overal online. Hier vind je ook herhalingsopdrachten, filmpjes van experimenten, animaties, uitwerkingen en bij elk hoofdstuk een oefentoets. Wanneer je de opdrachten online maakt krijg je tips en feedback en worden automatisch de juiste opdrachten voor je klaargezet. Je kunt makkelijk je resultaten volgen. Als je de oefentoets online maakt, krijg je een studieadvies.

Veel plezier met Chemie Overal!

De auteurs

Legenda

- Verwijzing naar een experiment
- ⊕ Extra leerstof die niet tot de examenstof behoort
- A Kennisopdrachten
- B Eenvoudige toepassingsopdrachten
- C Complexere toepassingsopdrachten en inzichtopdrachten
- ⊙ Gemiddelde leerroute met vrijwel alle A- en B-opdrachten en een deel van de C-opdrachten
- ★ Verdiepende leerroute met een deel van de A- en B-opdrachten en de meeste C-opdrachten

Inhoud

1 Scheiden en reageren 6

- 1.1 Zuivere stof en mengsel 8
- 1.2 Scheidingsmethoden 13
- 1.3 Chemische reacties 19
- 1.4 Snelheid van een reactie 24

Afsluiting 30
Overzicht begrippen 33

2 Bouwstenen van stoffen 34

- 2.1 Periodiek systeem 36
- 2.2 Ionen 43
- 2.3 Massa's van bouwstenen 48
- 2.4 De mol 54

Afsluiting 60
Overzicht begrippen 63

3 Moleculaire stoffen 64

- 3.1 De bouw van stoffen 66
- 3.2 Binding in moleculen 72
- 3.3 Binding tussen moleculen 78
- 3.4 Moleculaire stoffen mengen 86
- 3.5 Rekenen aan gassen 91

Afsluiting 97
Overzicht begrippen 101

4 Zouten en zoutoplossingen 102

- 4.1 Zouten, namen en formules 104
- 4.2 Zouten in water 111
- 4.3 Zouthydraten 117
- 4.4 Molariteit 122

Afsluiting 127
Overzicht begrippen 131

5 Reacties van zouten 132

- 5.1 Neerslagreacties 134
- ⊕ 5.2 Neerslagreacties toegepast 140
- 5.3 Rekenen aan reacties 146

Afsluiting 155
Overzicht begrippen 159

6 Koolstofchemie 160

- 6.1 Koolwaterstoffen 162
- 6.2 Systematische namen 168
- 6.3 Karakteristieke groepen I 175
- 6.4 Karakteristieke groepen II 180
- 6.5 Esters 186

Afsluiting 191
Overzicht begrippen 195

7 Duurzaamheid 196

- 7.1 Fossiele brandstoffen 198
- 7.2 Biobrandstoffen 205
- 7.3 Duurzame ontwikkelingen 212
- 7.4 Evenwichten 219
- 7.5 Evenwichten beïnvloeden 226

Afsluiting 231
Overzicht begrippen 235

8 Zuren 236

- 8.1 De pH van een oplossing 238
- 8.2 Zuren in water 243
- 8.3 Formules van zuren 249
- 8.4 pH-berekeningen 254

Afsluiting 262
Overzicht begrippen 267

Register 268
Verantwoording 270

1 Scheiden en reageren

Inhoud

- 1.1** Zuivere stof en mengsel
Experimenten:
 - 1.1 Zuivere stof of mengsel
 - 1.2 Oplossing of emulsie
- 1.2** Scheidingsmethoden
Experimenten:
 - 1.3 Destillatie
 - 1.4 Zand
 - 1.5 Adsorptie
 - 1.6 Chromatografie
- 1.3** Chemische reacties
Experiment:
 - 1.7 Exotherm of endotherm
- 1.4** Snelheid van een reactie
Experimenten:
 - 1.8 Reactiesnelheid
 - 1.9 Concentratie en reactiesnelheid
 - 1.10 Temperatuur en reactiesnelheid
 - 1.11 Katalysatoren

Afsluiting

Overzicht begrippen



Koper

Het Vrijheidsbeeld in New York bestaat uit een stalen geraamte waaraan koperen platen zijn bevestigd. Het glanzende koper was al vrij snel groen door de chemische reactie van het koper met zuurstof, water en koolstofdioxide uit de lucht.



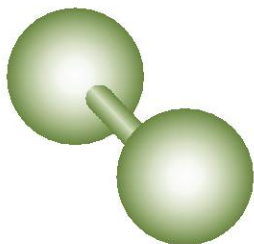
Zwavel

Voor een schamel bedrag winnen deze arbeiders zwavel in de giftige dampen van de krater van de Kawah Ijen vulkaan in Oost-Java, Indonesië. De zuivere stof zwavel is een element en wordt gebruikt bij de bereiding van zwavelzuur en bijvoorbeeld luciferkopjes.

**Je leert**

- het verschil tussen een zuivere stof en een mengsel;
- verschillende soorten mengsels kennen.

1.1 Zuivere stof en mengsel

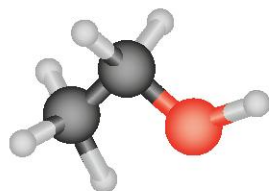


1.1 Molecuultekening van het element chloor

Zuivere stoffen

De zuivere stof zwavel is één stof en heeft zijn eigen unieke combinatie van stofeigenschappen. Er zijn geen twee verschillende stoffen bekend met precies dezelfde stofeigenschappen. Als je naar stofeigenschappen kijkt, bestudeer je de stof op macroniveau, het niveau waarop je kunt waarnemen met je zintuigen. Als je op microniveau, het niveau van de kleinste deeltjes, naar een stof kijkt, bestaan de meeste stoffen uit **moleculen**. Combinaties van twee of meer atomen kunnen samen moleculen vormen. Uitgaande van de atoomsoorten die nu bekend zijn, kun je tientallen miljoenen verschillende soorten moleculen vormen en ook zo veel verschillende stoffen.

Als een stof bestaat uit één soort bouwstenen, atomen of moleculen, dan is er sprake van een **zuivere stof**. De zuivere stof water bijvoorbeeld bestaat alleen maar uit watermoleculen. Als de bouwstenen van zo'n zuivere stof uit één soort atomen bestaan, dan is de stof een **element**. Bestaan de bouwstenen uit twee of meer soorten atomen, dan is de stof een **verbinding**. Zie figuur 1.1 en 1.2.



1.2 Molecuultekening van de verbinding alcohol

De term verbinding wordt op macroniveau ook gebruikt voor een stof waarvan de moleculen uit meerdere atomen bestaan. Hetzelfde geldt voor de term element. Je komt de termen verbinding en element dus zowel op micro- als op macroniveau tegen.

In de natuur komen maar enkele elementen voor, bijvoorbeeld de stoffen zwavel, goud, koolstof, stikstof en zuurstof. De meeste stoffen die je in de natuur kunt vinden zijn verbindingen. Bijvoorbeeld de stof aluminiumoxide die in bauxiet zit of de stof cellulose die in planten voorkomt.

● Experiment 1.1

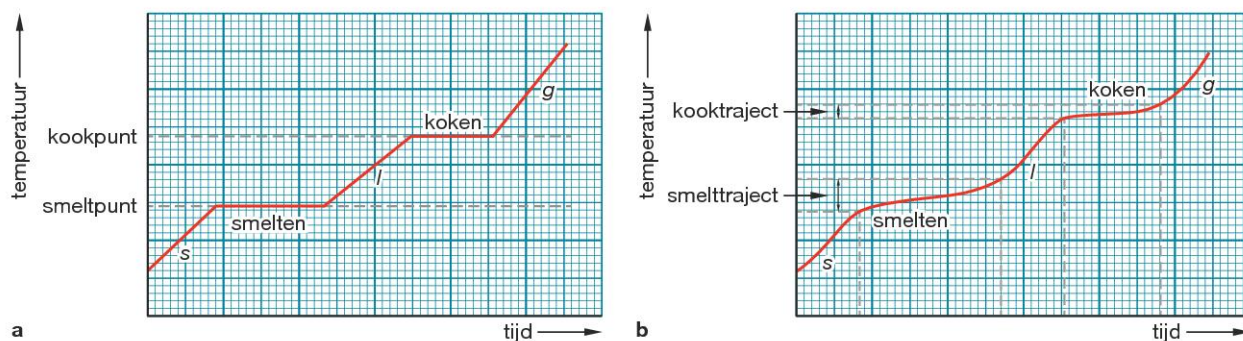


1.3 Sinaasappelsap is een mengsel.

Mengsels

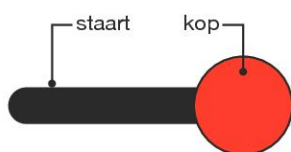
Sinaasappelsap is geen zuivere stof, maar bestaat uit een groot aantal verschillende stoffen. Het is een mengsel (figuur 1.3). Er bestaan geen 'sinaasappelsapmoleculen', sinaasappelsap bestaat uit een mengsel van veel verschillende soorten moleculen. Elke stof in sinaasappelsap bestaat uit zijn eigen molecuulsoort.

Aan het uiterlijk van een stof kun je meestal niet zien of je te maken hebt met een zuivere stof of een mengsel. Je kunt erachter komen door een experiment te doen. Je laat de stof die je wilt onderzoeken een faseovergang ondergaan, zoals smelten of koken en je meet de temperatuur. Als het gaat om een zuivere stof, dan blijft de temperatuur tijdens de faseovergang hetzelfde. De stof heeft een **smelpunt** en een **kookpunt**. Gaat het om een mengsel, dan loopt de temperatuur tijdens de faseovergang langzaam op. Je spreekt dan van een **smelttraject** en een **kooktraject**. Dit is weergegeven in de diagrammen van figuur 1.4.



1.4 Het temperatuurverloop tijdens het verwarmen van een zuivere stof (a) en van een mengsel (b)

● Experiment 1.2



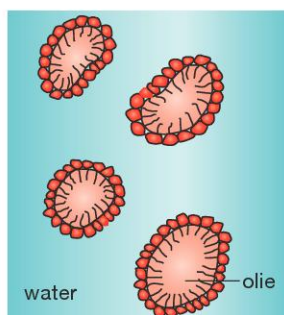
1.5 Model van een emulgatormolecuul

Soorten mengsels

Er zijn verschillende soorten mengsels, drie ervan moet je kennen: oplossingen, suspensies en emulsies.

Een **oplossing** is een helder mengsel van vloeistoffen of van een vloeistof met een vaste stof of een gas, die tot op de kleinste deeltjes (microniveau) zijn gemengd.

Een **suspensie** is een troebel mengsel van een vaste stof en een vloeistof, waarbij de vaste stof niet is opgelost. Die zweeft in de vorm van kleine korreltjes in de vloeistof. Door een verschil in dichtheid zakt de vaste stof meestal naar de bodem.



1.6 Een olie-in-wateremulsie

Een **emulsie** is een troebel mengsel van twee vloeistoffen, die eigenlijk niet goed mengbaar zijn. Een emulsie zal vrij snel weer ontmengen. Een verschil in dichtheid zorgt ervoor dat er twee vloeistoffen boven elkaar ontstaan, een **twelagensysteem**. Met een hulpstof, een **emulgator**, kun je ervoor zorgen dat een emulsie niet ontmengt. In figuur 1.5 is een emulgatormolecuul getekend. Zo'n emulgatormolecuul heeft een vrij lange hydrofobe 'staart' die slecht met water mengt en een kleine hydrofiele 'kop' die goed met water mengt (figuur 1.6). De termen **hydrofiel** en **hydrofoob** worden ook voor stoffen gebruikt. Hydrofiele stoffen mengen goed met water en hydrofobe mengen niet of slecht met water.

Even stevig schudden...

Metalen in afvalwater zijn verontreinigingen die je moet verwijderen. De metaalindustrie en de chemische industrie zijn veel geld kwijt om met gevaarlijke extractiemiddelen afvalwater schoon te maken.

In de toekomst is hiervoor misschien een alternatief. Onderzoekers aan de TU Eindhoven hebben een nieuw type oplosmiddelen ontwikkeld. Snel, goedkoop en duurzaam. De productie van deze nieuwe oplosmiddelen is een wonderlijk proces. De onderzoekers namen twee verschillende vaste stoffen, deden ze bij elkaar in een buisje, even schudden bij een iets verhoogde temperatuur en ineens vloeiden de vaste kristallen samen en ontstond een vloeistof. Een vloeistof waarin metalen bleken op te lossen. Deze plotselinge faseverandering is een bijzondere verlaging van het smeltpunt. Normaal vertoont een mengsel van vaste stoffen een smelttraject, maar gemengd in

een zeer specifieke verhouding kan een mengsel in een keer smelten en dan ook nog bij een lagere temperatuur dan anders. Zo'n mengsel heet een eutectisch mengsel.

In de natuur zijn er al meer dan honderd van deze eutectische mengsels ontdekt. Naast hydrofiele en hydrofobe oplosmiddelen zijn deze eutectische oplosmiddelen actief in planten. Het zou een verklaring kunnen zijn voor het transport van complexe moleculen in planten, zoals kleurstoffen die niet in water oplosbaar zijn en ook niet in hydrofobe oplosmiddelen.

Het aantal toepassingsmogelijkheden voor eutectische oplosmiddelen is erg groot. Chemische reacties bijvoorbeeld verlopen het snelst als de reagerende moleculen zijn opgelost in een vloeistof. Daar liggen straks mogelijkheden om met milieuvriendelijke eutectische mengsels te werken.



1.7 De druppeltjes op de zonnedauw bevatten eutectische oplosmiddelen waardoor de druppeltjes niet verdampen, ook niet in de volle zon.

● Opdracht B7

Samenvatting

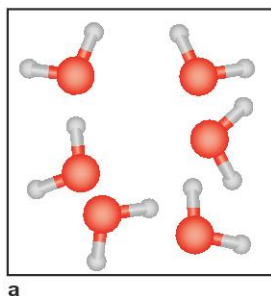
- Een mengsel bestaat uit twee of meer stoffen, een zuivere stof is maar één stof.
- Een zuivere stof heeft een smeltpunt en een kookpunt, een mengsel heeft een smelttraject en een kooktraject.
- Een element bestaat uit één soort atomen. Een verbinding bestaat uit meer soorten atomen.
- Een oplossing is een helder mengsel van vloeistoffen of van een vaste stof en een vloeistof.
- Een suspensie is een troebel mengsel van een vaste stof en een vloeistof.
- Een emulsie is een troebel mengsel van twee vloeistoffen.
- Een emulgator is een hulpstof die voorkomt dat een emulsie ontmengt.

Opdrachten

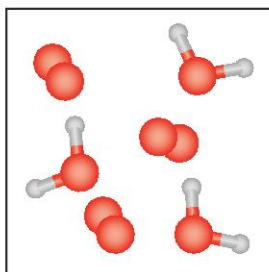
A 1

Bekijk de modelvoorstellingen in figuur 1.8.

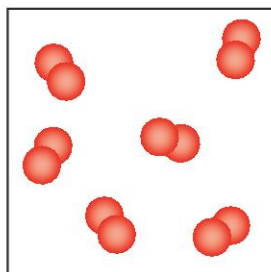
- a** Leg uit in welke tekening(en) een zuivere stof is weergegeven.



a



b



c

1.8

- b** Leg uit in welke tekening(en) een mengsel is weergegeven.
c Cola bestaat voornamelijk uit water, koolstofdioxide, suiker en fosforzuur. Leg uit waarom je niet kunt spreken van 'colamoleculen'.

A 2

- a** Wat gebeurt er met de temperatuur van een zuivere stof tijdens het koken?
b Wat gebeurt er met de temperatuur van een mengsel tijdens het stollen?

A 3

- a** Wat is een atoom?
b Zoek op hoeveel atoomsoorten er bestaan. Gebruik bijvoorbeeld je Binas of Wikipedia.
c Wat is een molecuul?
d Hoeveel molecuulsoorten bestaan er?

B 4

Koen heeft vier reageerbuisen met daarin de volgende stoffen:

- buis 1: alcohol
- buis 2: slaolie
- buis 3: suiker
- buis 4: zand

Koen voegt aan elke reageerbuis water toe en hij schudt. Geef bij elke reageerbuis aan of er een suspensie, een emulsie of een oplossing ontstaat.

B 5

Hieronder staan namen van mengsels en zuivere stoffen.

- 1 zuivere boslucht
- 2 zeewater
- 3 gedestilleerd water
- 4 coca-cola
- 5 zuurstof
- 6 kristalsuiker
- 7 gemalen koffie (figuur 1.9)

- a** Geef bij elke naam aan of het gaat om een mengsel of een zuivere stof.
b Hoe kun je van een stof nagaan of deze een zuivere stof of een mengsel is?



1.9 Koffiepluk In het noorden van Thailand. De vrouwen staan er bekend om hun prachtige klederdracht, waarin ze ook de koffie plukken.

B 6

Tjitske doet olie, ether en water in een erlenmeyer en zet er een stop op. Dan schudt ze de erlenmeyer een tijdje. Na het schudden laat Tjitske de erlenmeyer even staan. Ze ziet dan twee lagen. De bovenste laag bestaat uit een oplossing van olie in ether. De onderste laag bestaat uit water.

- a** Leid uit de proef af of olie hydrofoob of hydrofiel is.
- b** Leid uit de proef af of ether hydrofoob of hydrofiel is.

B 7

Lees de tekst in het kader 'Even stevig schudden...' en beantwoord de volgende vragen.

- a** Leg uit wat een eutectisch mengsel is.
- b** Wat is een smelttraject?

Als je keukenzout en ijs door elkaar roert, ontstaat er een vloeistof, waarvan de temperatuur kan dalen tot $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ voordat hij stolt. Van dit verschijnsel wordt in de winter gebruikgemaakt.

- c** Waarvoor wordt dit verschijnsel dan gebruikt?

Menthol en kamfer zijn allebei vaste stoffen bij kamertemperatuur en zijn veelgebruikte stoffen in de geneesmiddelenindustrie. Als je ze echter mengt in de massaverhouding 8 : 2 ontstaat er bij kamertemperatuur een vloeistof.

- d** Zoek op het internet de smeltpunten van menthol en kamfer op.
- e** Bereken de smeltpuntddaling van beide stoffen. Gebruik daarbij als kamertemperatuur $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Je wilt 250 g eutectisch mengsel van menthol en kamfer maken.

- f** Hoeveel gram menthol en kamfer moet je mengen om bij kamertemperatuur een vloeistof te krijgen?

C 8

Zuiver goud, ook wel 24 karaat goud genoemd, is geel van kleur en nogal zacht. Meestal zijn sieraden daarom gemaakt van mengsels van goud met een ander metaal, zoals koper of zilver. Deze mengsels zijn veel harder dan zuiver goud.

Als er in een sieraad 18 delen goud en 6 delen koper zitten, dan spreek je van 18 karaat goud. Dat komt overeen met een goudpercentage van 75 massa-%. Een 9 karaat gouden ring bestaat uit goud en koper en weegt 7,00 g.

- a** Zoek op internet hoe een mengsel van goud en koper heet.
- b** Bereken hoeveel procent goud in 9 karaat goud zit.
- c** Bereken hoeveel g goud de ring bevat.

C 9 ★

Mayonaise maak je door eerst een eidooier door 30 mL azijnoplossing te roeren en daar dan druppel voor druppel 100 mL zonnebloemolie door te mengen. De mayonaise wordt geleidelijk steeds dikker. Uiteindelijk ontstaat een dikke olie-in-wateremulsie. Soms gaat het tegen het einde mis: het mengsel wordt ineens minder dik. De emulsie slaat om naar een water-in-olie-emulsie.

- a** Wat is de functie van de eidooier?
- b** Teken op microniveau een modelvoorstelling van de emulsie voor en na het omslaan.
- c** De dikte van de emulsie hangt af van het aantal druppeltjes. Het maakt niet uit of het waterdruppeltjes of oliedruppeltjes zijn. Waarom wordt de emulsie minder dik bij het omslaan?

Experimenten

1.1 Zuivere stof of mengsel

In dit experiment onderzoek je of een stof een stolpunt of stoltraject heeft.

1.2 Oplossing of emulsie

Je onderzoekt de mengbaarheid van verschillende vloeistoffen en kijkt of er oplossingen of emulsies ontstaan.

- Volledige instructie *Chemie Overal* online

Je kunt nu

- uitleggen wat een zuivere stof, een mengsel, een element en een verbinding is;
- experimenteel vaststellen of je met een mengsel of een zuivere stof hebt te maken;
- de kenmerken noemen en herkennen van oplossingen, suspensies en emulsies;
- de begrippen hydrofiel en hydrofoob toepassen.

Rubbergranulaat

Kunstgras op sportvelden is stroef, waardoor het risico op blessures groot is. Rubber korrels kunnen dit probleem verhelpen. De vraag is wel of het rubber, gemaakt van oude autobanden voldoende zuiver is en geen giftige componenten bevat.

**Je leert**

- mengsels scheiden met verschillende scheidingsmethoden.

1.2 Scheidingsmethoden

Scheiden van een mengsel

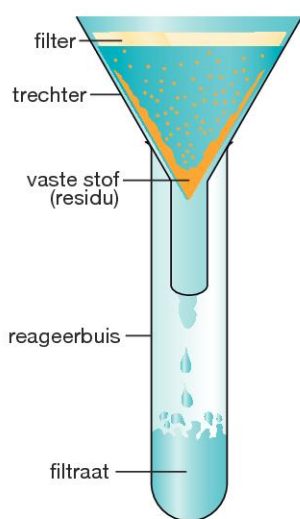
Bij de productie van rubbergranulaat kunnen er schadelijke stoffen in het granulaat ontstaan. Voor gebruik op sportvelden moet je proberen die te verwijderen. Bij chemische reacties ontstaat meestal niet één reactieproduct, maar een mengsel van reactieproducten. Wil je maar één stof uit dit reactiemengsel hebben, dan moet je het mengsel **scheiden**. Na afloop heb je dan de zuivere stoffen in handen waaruit het mengsel is samengesteld. Op macroniveau maak je gebruik van het verschil in **stofeigenschappen** om een mengsel te scheiden. Bij een scheiding veranderen de stoffen niet. Op microniveau betekent dit dat de moleculen niet veranderen. Bij het scheiden van een mengsel ben je bezig met het sorteren van de moleculen.

Verskil in deeltjesgrootte

Bij het scheiden van een suspensie maak je gebruik van het verschil in deeltjesgrootte. De methode die je dan toepast, heet **filtreren**. De vloeistof is het **filtraat**, de vaste stof is het **residu**. Zie figuur 1.10.

Verskil in dichtheid

Als de dichtheid van de vaste stof groter is dan die van de vloeistof kun je bij suspensies de vaste stof laten **bezinken**. Soms kun je dat proces versnellen door te **centrifugeren**. Bij een emulsie ontstaat na enige tijd een tweelagensysteem. De stof met de grootste dichtheid vormt de onderste laag.



1.10 Filtreren

● Experiment 1.3



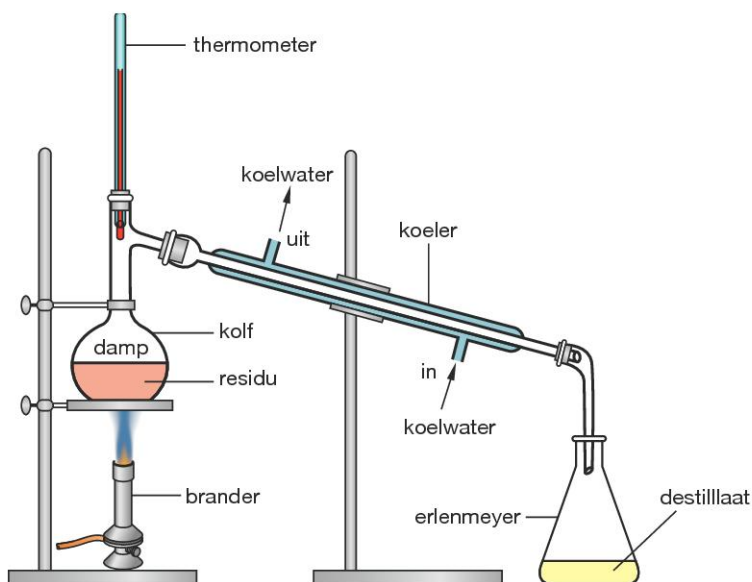
1.11 Practicumopstelling voor indampen

Verskil in kookpunt

Een oplosmiddel kookt bij een veel lagere temperatuur dan de vaste stof die erin is opgelost. Bij een oplossing kun je bij het scheiden gebruikmaken van het verschil in kookpunt. Deze scheidingsmethode heet **indampen** (figuur 1.11).

Je kunt een oplossing ook scheiden door middel van **destillatie**. De vloeistof die verdampt wordt opgevangen. Het deel van het mengsel dat bij destillatie niet verdampt is het **residu**. De opgevangen vloeistof is het **destillaat**. In figuur 1.12 vind je een schematische tekening van een destillatieopstelling.

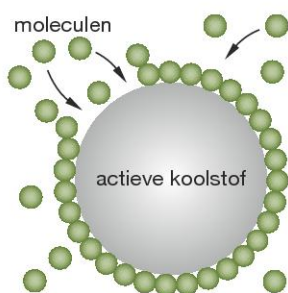
Mengsels van twee of meer vloeistoffen kun je alleen door destilleren scheiden als de verschillende vloeistoffen kookpunten hebben die vrij ver uit elkaar liggen. Als dat niet zo is, komt er geen zuivere stof, maar een mengsel uit de koeler.



1.12 Een destillatieopstelling

● Experiment 1.4

● Experiment 1.5



1.13 Een modelvoorstelling van het hechten van moleculen aan een adsorptiemiddel

Verskil in oplosbaarheid

Bij een mengsel van vaste stoffen kun je van het verschil in oplosbaarheid gebruikmaken. Aan het mengsel van vaste stoffen voeg je een oplosmiddel toe, waar sommige stoffen uit het mengsel wel in oplossen en andere niet. Deze scheidingsmethode heet **extraheren**. Het oplosmiddel heet extractiemiddel. Met vloeistof-vloeistofextractie kun je opgeloste stoffen uit een vloeistof halen. Bij deze methode voeg je aan de oorspronkelijke oplossing een tweede vloeistof toe die niet mengt met het eerste oplosmiddel. Sommige opgeloste stoffen lossen beter op in deze tweede vloeistof, dan in de oorspronkelijke oplossing.

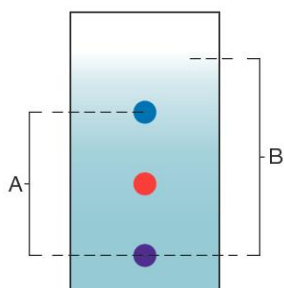
Verskil in adsorptievermogen

Kleur-, geur- en smaakstoffen kun je uit een oplossing verwijderen door een behandeling met fijn verdeelde koolstof. De korrels van deze actieve koolstof hebben een heel groot oppervlak omdat er veel holtes in de korrels zitten. De moleculen van de opgeloste kleur-, geur- en smaakstoffen hechten zich aan het oppervlak. Deze scheidingsmethode heet **adsorptie**. De koolstof is het adsorptiemiddel. Zie figuur 1.13.

Verskil in adsorptievermogen en oplosbaarheid

Een scheidingsmethode die van deze twee verschillen gebruikmaakt is **chromatografie**. Een voorbeeld van chromatografie is papierchromatografie. Als je kleine hoeveelheden van een mengsel hebt, kun je met deze methode bepalen uit hoeveel stoffen het mengsel bestaat. Sommige stoffen lossen beter op in de loopvloeistof dan andere. Sommige stoffen adsorberen sterker aan het papieroppervlak dan andere. Hierdoor komt een scheiding

● Experiment 1.6



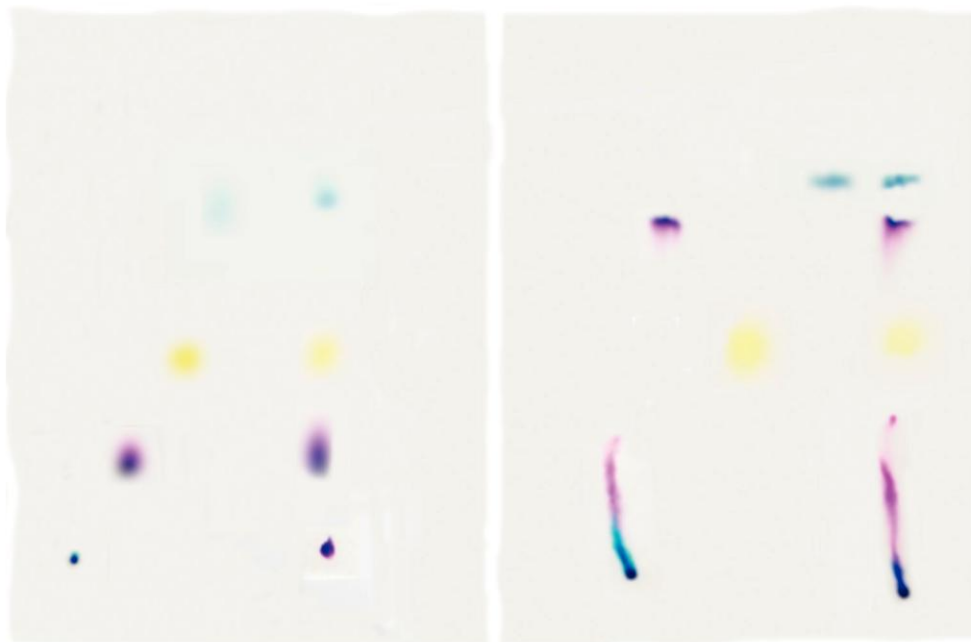
1.14 Chromatogram, de R_f -waarde = A/B .

tot stand. Bij deze scheidingsmethode is het ook mogelijk om de stoffen in het mengsel te herkennen.

Elke stof heeft namelijk bij een bepaalde temperatuur en een bepaalde loopvloeistof een **Rf-waarde**. Om de Rf-waarde van een stof te bepalen, meet je twee afstanden op een chromatogram zoals in figuur 1.14:

- 1 De afstand van het punt waar je de kleurstof(fen) hebt opgebracht tot het punt waar een kleurstof is blijven steken. Deze afstand noem je A.
- 2 De afstand van het punt waar je de kleurstof(fen) hebt opgebracht tot waar de loopvloeistof is opgetrokken. Deze afstand noem je B.

De Rf-waarde is dan A/B . In tabellen is na te gaan welke stof bij die Rf-waarde hoort. De Rf-waarde hangt ook af van de loopvloeistof. Zie figuur 1.15.



1.15 Chromatografie met twee verschillende loopvloeistoffen. Rechts op elk papier staat steeds het mengsel en daarnaast de vier zuivere kleurstoffen.

Samenvatting

- Suspensies kun je scheiden door filtreren, door bezinken en centrifugeren.
- Een mengsel van een opgeloste vaste stof en een vloeistof kun je scheiden door indampen of door destilleren. Een mengsel van vloeistoffen kun je scheiden door destilleren.
- Een mengsel van twee vaste stoffen kun je scheiden door extraheren.
- Adsorberen is een scheidingsmethode waarmee je opgeloste geur-, kleur- en smaakstoffen uit een oplossing kunt halen.
- Een kleine hoeveelheid mengsel van opgeloste (kleur)stoffen kun je scheiden door middel van papierchromatografie.
- De Rf-waarde van de stof bepaalt de plaats in het chromatogram.

Gouden medailles uit mobieltjes

Voor de Olympische Spelen in 2020 in Tokyo willen de Japanners de medailles van gerecycled goud, zilver en brons laten maken. Daarmee wil de organisatie van Tokyo 2020 een duidelijk signaal afgeven dat we voor een duurzamere maatschappij moeten zorgen.

Op dit moment is het nog onduidelijk of het plan van de gerecyclede medailles gaat lukken. Er moeten voldoende oude smartphones en gadgets beschikbaar zijn om het goud, zilver en brons bij elkaar te schrapen.

Om een indruk te geven: er zijn 35 tot 40 smartphones nodig om 1 gram goud te winnen. Voor 1 gram zilver heb je wel 1800 smartphones nodig. Brons is niet te vinden in smartphones. Daarvoor zijn andere bronnen nodig. Voor de medailles is niet zo veel goud nodig. Zowel de gouden als zilveren medailles bestaan voor 92,5 massa-% uit zilver. Een gouden medaille moet volgens de regels bedekt zijn met minimaal 6 gram goud. Daarvoor heb je dan zo'n 240 oude smartphones nodig.



1.16 Voor één gouden medaille zijn veel mobieltjes nodig.

Voor de hoeveelheid zilver in een gouden medaille is minimaal 72,5 gram nodig, daarvoor moeten veel meer oude mobieltjes worden ingezameld.

Het gebruik van gerecycled goud wordt steeds belangrijker omdat het gemakkelijk winbare goud op de wereld al is gedolven. Het is daarom steeds moeilijker om op een duurzame manier goud te delven. In mijnen zoals in Peru wordt gesteente fijngemalen en met kwik wordt het goud gewonnen. Daarbij ontstaat een kwik-goudlegering (amalgaam). Het zware amalgaam zakt naar de bodem van het reactievat en de bruine steensuspensie wordt afgegoten. Het goud wordt door indampen van het amalgaam verkregen, waarbij het kwik in het milieu verdwijnt. Dit vormt een groot probleem voor de gezondheid. Er wordt naar verschillende oplossingen gezocht. Zo is een eenvoudige destillatieopstelling ontwikkeld waarmee het kwik weer kan worden teruggewonnen.



1.17 Deze mijnwerker uit Peru werkt onbeschermd met kwik om goud uit gesteente te halen.

● Opdracht C18

Opdrachten

A 10

Geef voor elk van de volgende scheidingsmethoden aan op welk verschil in stoffeigenschappen de methode berust.

- a** extraheren
- b** filtreren
- c** destilleren
- d** indampen
- e** chromatografie
- f** adsorberen
- g** bezinken

B 11

Bekijk de onderstaande scheidingsmethoden. Met welke methode(n) kun je:

- a** een vaste stof uit een suspensie halen;
- b** alcohol uit rode wijn halen;
- c** olie uit pinda's halen;
- d** spiritus ontkleuren;
- e** kleurstoffen van elkaar scheiden;
- f** twee vloeistoffen van elkaar scheiden;
- g** suiker uit suikerwater halen;
- h** een smaakstof uit een oplossing halen?

B 12

- a** Met welke scheidingsmethode kun je een mengsel van vloeistoffen van elkaar scheiden? Aan welke voorwaarde moet dan wel zijn voldaan?

Een mengsel van drie vloeistoffen wordt gescheiden. De namen en de kookpunten van de drie vloeistoffen staan in de tabel.

- b** Leg uit in welke volgorde de drie vloeistoffen uit de koeler komen.

naam	kookpunt (°C)
alcohol	78
methanol	65
water	100

B 13

Je wilt een mengsel van twee stoffen, A en B, scheiden door middel van papierchromatografie. Stof A lost beter op in de loopvloeistof dan stof B. Stof B hecht zich beter aan het papier dan stof A.

- a** Leg uit welke stof hoger in het chromatogram eindigt.

Je kunt de hoogte van een vlek in de chromatografie aangeven met de Rf-waarde.

- b** Leg uit wat de Rf-waarde is.
- c** Tussen welke twee getallen zal de Rf-waarde altijd in zitten?

B 14

Louise lost 8,0 gram zout op in water. Ze weegt de ontstane oplossing. De massa bedraagt 435 g.

- a** Bereken hoeveel g zout is opgelost in 100 g oplossing.
- b** Bereken het massapercentage zout in de oplossing van 435 g.

Louise damp 75 gram van haar oplossing in.

- c** Bereken hoeveel g zout achterblijft in het indampschaltje.

B 15 Houtgeest 

De belasting op zuivere alcohol is erg hoog, daarom wordt vaak geprobeerd om zelf alcohol te maken. Bij dit illegale stoken van alcohol wordt de temperatuur soms te hoog. Er ontstaat dan naast de gewenste ethanol ook 'houtgeest', een andere naam voor methanol. Methanol is een zeer giftige stof die het zenuwstelsel aantast. Na het drinken van ongeveer 20 mL methanol kun je al blind worden. Koen heeft een flinke hoeveelheid van deze illegale, gevaarlijke alcohol heel goedkoop kunnen kopen. Hij wil het mengsel zuiveren door destillatie en hoopt zo toch zuivere ethanol te kunnen krijgen.

- a** Zoek de kookpunten van methanol en ethanol op in Binas tabel 42B.
- b** Welk van beide stoffen wordt bij destillatie het eerst opgevangen?
- c** Leg uit of je verwacht dat je op deze manier zuivere ethanol kunt maken.

C 16

Om aan voldoende drinkwater te komen, heeft Israël langs de kust van de Middellandse Zee grote ontziltingsinstallaties gebouwd. In deze installaties wordt uit het zoute zeewater zoet water gemaakt. Bij dit proces maakt men gebruik van een speciale scheidingstechniek, membraanfiltratie.

De buitenkant van de dunne rietjes in figuur 1.18 is een membraan met heel kleine openingen. De openingen in het membraan zijn zo klein dat er alleen watermoleculen door kunnen. Zout en andere verontreinigingen kunnen niet door het membraan heen.



1.18 Filtreren met membranen

Door de hoge druk worden watermoleculen door de openingen in het membraan geperst. Aan de andere kant van het membraan heb je dan zoet water.

- a** Wat is het verschil tussen gewone filtratie en membraanfiltratie?
- b** Op welk verschil in stoffeigenschappen berust membraanfiltratie?

Bij deze vorm van drinkwaterbereiding blijft zeewater over met een grotere hoeveelheid opgelost zout.

- c** Leg uit of je deze oplossing zonder problemen in zee kunt lozen.

C 17

Robert heeft een mengsel van koolstof en ijzerpoeder. Hij wil dit mengsel scheiden.

- a** Kan hij het mengsel scheiden door extractie toe te passen?
- b** Leg uit wat hij moet doen om het ijzerpoeder uit het mengsel te halen.

C 18

Lees de tekst in het kader 'Gouden medailles uit mobieltjes' en beantwoord de volgende vragen.

- a** Laat met een berekening zien dat je voor het goud in een gouden medaille inderdaad 240 mobieltjes nodig hebt.
- b** Bereken het totaal aantal mobieltjes dat nodig is voor een gouden medaille.
- c** Welke van de in deze paragraaf behandelde scheidingsmethoden komt in dit kader voor? Kies uit: extraheren, filtreren, indampen, destilleren, adsorberen, centrifugeren, bezinken en chromatografie.
- d** Vloeibaar kwik is niet zo erg giftig. Waarom is het gebruik van kwik in de goudwinning toch een groot probleem?

C 19 ★

Tony wil in een wijde reageerbuis drie vloeistofflagen boven elkaar krijgen. Hij zoekt in Binas tabel 11 op welke vloeistoffen hij daarvoor zou kunnen gebruiken. Water, olijfolie en alcohol zijn volgens hem heel geschikt.

- a** Waarom denkt Tony dat deze drie vloeistoffen geschikt zullen zijn?

Heel voorzichtig brengt Tony wat water in de buis, daarna wat olijfolie en vervolgens met een druppelpipet wat alcohol. Het resultaat is precies wat hij verwacht: drie lagen. Bertie vindt het maar omslachtig. De volgorde waarin de stoffen in de buis worden geschonken doet er volgens haar niet zo veel toe. Verder vindt zij dat voorzichtige schenken maar onzin. Er zal immers ontmenging komen, waardoor er vanzelf drie lagen zullen ontstaan. Zij voegt achtereenvolgens alcohol, water en olijfolie in een buis en wacht op het resultaat.

- b** Leg uit of je bij Bertie hetzelfde resultaat verwacht als bij Tony.

Experimenten

1.3 t/m 1.6 Scheidingsmethoden

In deze experimenten scheid je met behulp van een aantal scheidingsmethoden verschillende soorten mengsels in de zuivere stoffen.

- Volledige instructie *Chemie Overal online*

Je kunt nu

- uitleggen hoe je een mengsel van stoffen kunt scheiden door gebruik te maken van de verschillen in oplosbaarheid, deeltjesgrootte, kookpunt, aanhechtingsvermogen of dichtheid.

Lichtgevende flessen

In het donker bowlen met lichtgevende flessen?
Door het staafje in de fles te breken komen twee stoffen bij elkaar die met elkaar reageren en waarbij energie vrijkomt in de vorm van gekleurd licht.

**Je leert**

- welke eigenschappen een chemische reactie heeft;
- hoe energie een rol speelt bij een reactie;
- hoe je energieveranderingen bij een chemische reactie in een diagram weergeeft.

1.3 Chemische reacties



1.19a Fotosynthese heeft licht nodig.

Kenmerken van een chemische reactie

In de flessen van de openingsfoto verloopt een chemische reactie waarbij licht vrijkomt. Een chemische reactie die energie in de vorm van licht nodig heeft is de fotosynthese in de natuur (figuur 1.19a en b). Het is een kenmerk van chemische reacties dat er energie nodig is of vrijkomt.

Voor chemische reacties kun je een aantal algemene kenmerken opnoemen.

- Bij een chemische reactie verdwijnen de beginstoffen en ontstaan er reactieproducten.
- Bij elke chemische reactie is de totale massa van de beginstoffen gelijk aan de totale massa van de reactieproducten.
- Stoffen reageren en ontstaan in een vaste massaverhouding. Zie voorbeeld 1 op de volgende pagina.
- Er is altijd een bepaalde minimale temperatuur nodig om de reactie te laten verlopen: de reactietemperatuur. Voor elke reactie geldt weer een andere **reactietemperatuur**.
- Bij elke chemische reactie is er een energie-effect. Soms komt er energie vrij, soms is er energie nodig.

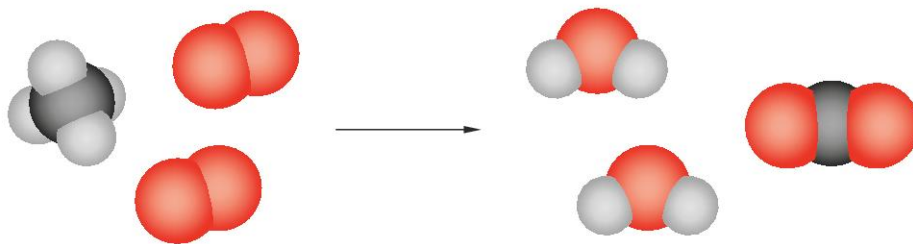


1.19b In Oostenrijk zijn onderzoekers erin geslaagd om kunstmatige pigmenten te maken die de fotosynthese beter uitvoeren dan de natuur.

Voorbeeld 1

In welke massaverhouding reageren methaan en zuurstof?

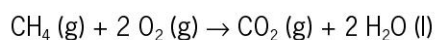
Tijdens de verbranding van methaan (aardgas) veranderen de bouwstenen van methaan en zuurstof in die van koolstofdioxide en water, zie figuur 1.20.



1.20 Molecuultekening van de verbranding van methaan

Het aantal C-, H- en O-atomen is vóór en ná de reactie gelijk, dus de massa is niet veranderd. Figuur 1.20 voldoet aan de wet van **massabehoud**.

Een methaanmolecuul reageert met twee zuurstofmoleculen en er ontstaan een koolstofdioxidemolecuul en twee watermoleculen. In een reactievergelijking wordt dat:



De massa van één methaanmolecuul is 16,04 u, de massa van twee zuurstofmoleculen 64,00 u, de massa van één koolstofdioxidemolecuul is 44,01 u en de massa van twee watermoleculen 36,03 u. De vaste massaverhouding waarin methaan en zuurstof reageren tot koolstofdioxide en water is:

16,04 : 64,00 : 44,01 : 36,03

De massa's van elementen en verbindingen vind je in Binas tabel 98 en 99.

● **Experiment 1.7**



1.21 Een exotherme reactie

Het energie-effect van een reactie

Alle stoffen bezitten een bepaalde hoeveelheid **chemische energie**. Die hoeveelheid verschilt per stof. Een reactie waarbij energie vrijkomt zoals bij de lichtgevende flessen, is een **exotherme reactie**. Bij een exotherme reactie staan de beginstoffen een deel van hun chemische energie af aan de omgeving. Die chemische energie wordt dan omgezet in een andere vorm van energie zoals warmte, licht of elektrische energie. Alle verbrandingsreacties zijn exotherm. Zie figuur 1.21.

Er zijn ook reacties die voortdurend energie nodig hebben om te verlopen. Dit zijn endotherme reacties. Bij een **endotherme reactie** nemen de beginstoffen energie op uit de omgeving, zoals warmte, licht of elektrische energie. Die opgenomen energie wordt omgezet in chemische energie van de reactieproducten. De reactieproducten bezitten dus meer chemische energie dan de beginstoffen. Ontledingsreacties zijn meestal endotherm, zoals de elektrolyse van water.

Niet alleen bij chemische reacties treedt een energie-effect op. Dit gebeurt ook tijdens faseveranderingen en tijdens het oplossen van veel stoffen in water.

Activeringsenergie

Een chemische reactie kan niet bij elke temperatuur verlopen. Voor elke chemische reactie is een bepaalde minimale temperatuur nodig, de **reactietemperatuur**. Is de temperatuur lager dan de reactietemperatuur, dan verloopt de reactie niet vanzelf. Zo verloopt de verbranding van methaan uit het voorbeeldkader pas als je bijvoorbeeld met een lucifer het gas aansteekt.



1.22 Een lucifer levert de activeringsenergie voor de verbrandingsreactie van kaarsvet.

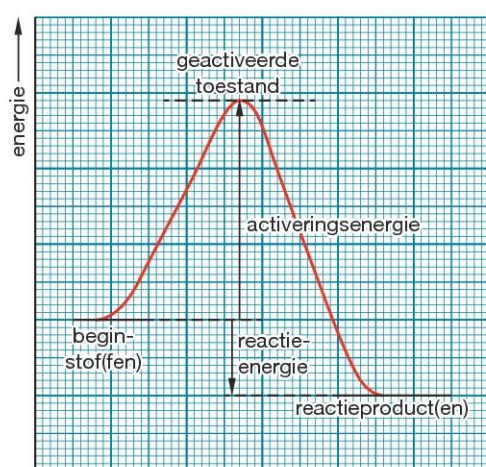
Om de reactie te starten moet je dus eerst energie toevoegen om de stoffen op de reactietemperatuur te brengen. Deze energie heet **activeringsenergie**. Bij een exotherme reactie zal de warmte die tijdens het verlopen van de reactie vrijkomt ervoor zorgen dat de temperatuur boven de reactietemperatuur blijft (figuur 1.22).

Bij een endotherme reactie is dat niet het geval. Behalve de activeringsenergie moet je nu ook energie blijven toevoeren om de reactie op gang te houden, anders stopt de reactie.

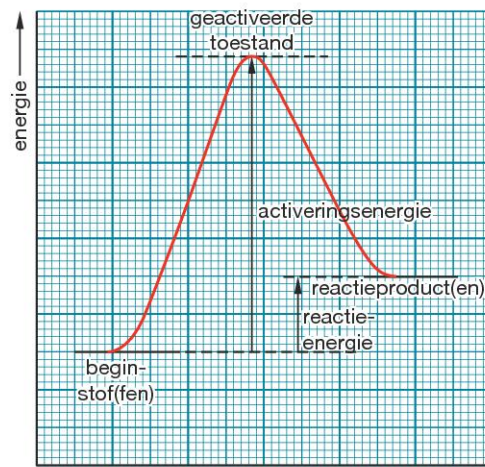
Energiediagrammen

Het energie-effect van een chemische reactie kun je weergeven in een **energiediagram**, zie figuur 1.23 en 1.24. In zo'n diagram staat de hoeveelheid energie op de verticale as. De horizontale as heeft geen grootte en eenheid.

Je ziet drie niveaus die de hoeveelheid chemische energie weergeven die de stoffen bezitten. Eén niveau voor de energie van de beginstoffen, één voor het energieniveau van de reactieproducten en één voor de geactiveerde toestand van de beginstoffen. De geactiveerde toestand wordt bereikt als er zo veel energie is toegevoerd dat de reactie kan starten. Het verschil tussen de hoeveelheid energie van de beginstoffen en de reactieproducten is de **reactie-energie**. De energiedrempel in het energiediagram stelt de activeringsenergie voor.



1.23 Energiediagram van een exotherme reactie



1.24 Energiediagram van een endotherme reactie

Samenvatting

- Bij een chemische reactie veranderen de beginstoffen in reactieproducten. Voor elke chemische reactie geldt de wet van massabehoud. Stoffen reageren en ontstaan in een vaste massaverhouding en de reactie verloopt pas als de temperatuur even hoog of hoger is dan de reactietemperatuur. Elke chemische reactie heeft een energie-effect.
- Bij een exotherme reactie wordt energie aan de omgeving afgestaan. Bij een endotherme reactie wordt energie vanuit de omgeving opgenomen.
- Het energie-effect van elke chemische reactie kun je weergeven in een energiediagram. Daarin zie je de activeringsenergie en de reactie-energie van de reactie.

Gratis warm en koud

Het kussen waar de baby in figuur 1.25 op ligt heeft een constante temperatuur van 40 °C, terwijl het niet op elektriciteit werkt. In het kussen zit een vloeistof met een smeltpunt van 40 °C. Het kussen is van tevoren verwarmd, zodat de inhoud van het kussen is gesmolten. Als de omgeving afkoelt, blijft de temperatuur van het kussen 40 °C tot alle vloeistof is gestold. Bij dit stollen komt voldoende warmte vrij om de baby op temperatuur te houden. Het kussen bevat faseovergangsmateriaal (PCM). Er zijn verschillende soorten PCM verkrijgbaar met verschillende smeltpunten.

In muren van energiezuinige huizen wordt PCM toegepast om de temperatuur constant te houden. Het wandmateriaal bevat dan veel kunststof bolletjes, die gevuld zijn met paraffine. Als de temperatuur boven de 23 °C stijgt, smelt de paraffine. Hierbij wordt warmte uit de omgeving opgenomen. De muren koelen zo de ruimte. In een koele nacht daalt de temperatuur onder de smelttemperatuur en stolt de paraffine, waarbij de warmte aan de omgeving wordt teruggegeven.

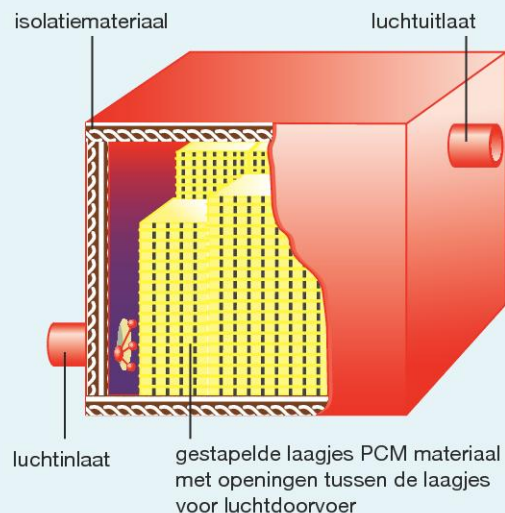
PCM zorgt hier zowel voor afkoeling als voor verwarming zonder dat het energie kost en zonder mechanische slijtage.



1.25 Hier wordt PCM gebruikt om een te vroeg geboren baby warm te houden.

PCM kan ook worden gebruikt als de energievoorziening onregelmatig is. Als de zon schijnt, kan met een zonneboiler de warmte worden opgeslagen. De warmte kan dan worden gebruikt als de zon niet schijnt (figuur 1.26).

Behalve paraffine bestaan er nog zeer veel andere faseovergangsmaterialen. Een goedkoop alternatief voor paraffine is glauberzout. Glauberzout is natriumsulfaat, waarbij in het kristalrooster water zit opgesloten. Als de temperatuur boven de 32 °C stijgt, vindt een endotherme chemische reactie plaats waarbij als reactieproducten natriumsulfaat en water ontstaan. Bij de reactie lost 90% van het natriumsulfaat op in het water. Een probleem vormt de 10% van het niet-opgeloste natriumsulfaat. Dit zakt naar de bodem en zal bij het omgekeerde proces onder de 32 °C niet meer in contact komen met het water. Bij elke reactiecyclus wordt zo de warmteopslag kleiner. Hiervoor zijn wel oplossingen bedacht zoals het zout in een gel vast te houden zodat de vaste stof niet uitzakt. Er moet nog verder onderzoek worden gedaan om het materiaal geschikt te maken voor het isoleren van huizen.



1.26 Warmtewisselaar gevuld met PCM. Als bij de inlaat warme lucht binnenkomt, wordt de warmte door het PCM opgenomen. De warmte wordt weer afgestaan als er koude lucht inkomt.

● Opdracht C27

Opdrachten

A 20

- a Welke grootte staat er uitgezet op de verticale as van een energiediagram?
- b Wat geven de drie niveaus in een energiediagram weer?

B 21 

Je verwarmt een witte vaste stof. Bij 440 °C wordt de stof vloeibaar. Tijdens het afkoelen verandert deze vloeistof bij 335 °C weer in een witte vaste stof. Leg uit of tijdens het verhitten een chemische reactie is opgetreden.

B 22

- a Waarom zijn het verdampen van water en het oplossen van zout in water geen chemische reacties?
- b Leg uit dat het verbranden van kaarsvet wel een chemische reactie is.

B 23

Om kaarsvet te smelten moet je het voortdurend verwarmen.

- a Is dit een exotherm of endotherm proces?
- b Gesmolten kaarsvet wordt weer vast als het afkoelt. Hoe heet deze faseverandering?
- c Leg uit of deze faseverandering exotherm of endotherm is.
- d Leg uit of bij deze faseverandering de omgeving warmer zal worden, of juist kouder.

B 24

Om aardgas (methaan) te verbranden, moet je er een lucifer bij houden. Een stukje witte fosfor ontbrandt al bij kamertemperatuur zonder dat je er een lucifer bij houdt. Leg uit welke van deze twee verbrandingsreacties de grootste activeringsenergie heeft.

B 25

Teken een energiediagram voor de verbranding van aardgas. Geef in het diagram ook de activeringsenergie aan.

B 26 

Methaan en zuurstof reageren in de massaverhouding

16,04 : 64,00. Daarbij ontstaan koolstofdioxide en water in de massaverhouding 44,01 : 36,03.

Joke verbrandt 1,0 g methaan volledig.

- a Bereken hoeveel g zuurstof daarvoor nodig is.
- b Bereken hoeveel g water daarbij is ontstaan.
- c Bereken met behulp van de wet van massabehoud hoeveel g koolstofdioxide is ontstaan.

C 27

Lees de tekst in het kader 'Gratis warm en koud' en beantwoord de volgende vragen.

- a Welke faseovergang vindt plaats als de paraffine als airco werkt? Is deze overgang endotherm of exotherm?
- b Leg uit of glauberzout strikt genomen wel een faseovergangsmateriaal is.
- c Op een gegeven moment neemt glauberzout warmte op. Wat voor een soort reactie is dit?
- d De massaverhouding natriumsulfaat en water is 142,04 : 180,15. Bereken het massapercentage water in het glauberzout.

C 28 

Een thermische lans is een lange ijzeren buis met daarin een lange staaf van magnesium. Tussen het ijzer en magnesium wordt zuivere zuurstof geblazen. Aan het uiteinde van de lans wordt het magnesium aangestoken. Door het brandende magnesium gaat ook het ijzer branden. De hitte van het brandende ijzer zorgt ervoor dat de temperatuur oploopt tot wel 3500 °C. Leg uit wat de functie van het magnesium in de thermische lans is.

Experiment

1.7 Exotherm of endotherm

Je bepaalt in dit onderzoek van een aantal reacties of deze exotherm of endotherm verlopen.

- Volledige instructie *Chemie Overal online*

Je kunt nu

- een aantal kenmerken van een chemische reactie noemen;
- toelichten wat activeringsenergie is;
- energiediagrammen voor exotherme en endotherme reacties tekenen en interpreteren;
- in een energiediagram de activeringsenergie en de reactie-energie aangeven.

Reactie in de accu

Benzine tanken gaat in vijf minuten. De accu van een elektrische auto opladen duurt heel wat langer. Thuis duurt het uren en bij een snellaadpaal altijd nog minimaal twintig minuten. Bovendien rij je er dan nog niet echt ver mee. Tijdens het opladen vindt een reactie in de accu plaats. Die reactie gaat wel snel.

**Je leert**

- waar de snelheid van een reactie van afhangt;
- reactiesnelheid verklaren met het botsende-deeltjesmodel.

1.4 Snelheid van een reactie

Reactietijd en reactiesnelheid

De chemische reactie die verloopt in de accu van een elektrische auto gaat snel, maar omdat er zo veel accucellen moeten opladen, duurt het opladen toch lang. Om een idee te krijgen over de reactiesnelheid kun je een experiment doen met magnesium en zoutzuur (waterstofchlorideoplossing).

Als je magnesium en zoutzuur mengt, treedt een chemische reactie op waarbij een gas ontstaat. Dat kun je zien doordat de vloeistof gaat bruisen. Als er geen gas meer ontstaat, is de reactie afgelopen. De tijd die is verstreken tussen het mengen van beide stoffen en het einde van de reactie is de **reactietijd**.



1.27 Magnesiumpoeder (links) en magnesiumlint met zoutzuur

Magnesium komt voor in poedervorm en in de vorm van magnesiumlint. In het experiment vergelijk je de reactiesnelheid van magnesiumpoeder met zoutzuur en magnesiumlint met zoutzuur. In twee reageerbuisen doe je precies evenveel zoutzuur. In de ene buis doe je magnesiumpoeder en in de andere een stukje magnesiumlint met dezelfde massa als het poeder.

In beide experimenten ontstaat evenveel gas doordat je dezelfde hoeveelheid magnesium gebruikt. In de reageerbuis met het magnesiumpoeder is de reactie veel sneller afgelopen dan in de buis met het lint (figuur 1.27). De reactietijd bij het magnesiumpoeder is veel korter en de reactiesnelheid is dus veel groter. Bij dezelfde hoeveelheid reactiemengsel ontstaat met magnesiumpoeder per seconde meer gas dan met magnesiumlint. De **reactiesnelheid** is de hoeveelheid stof die per seconde en per liter ontstaat of verdwijnt.



1.28 Enzymen versnellen de omzetting van suikers tot alcohol in de wijn.

Welke factoren bepalen de snelheid van een reactie?

In het experiment met magnesium beïnvloed je de reactiesnelheid door in plaats van magnesiumlint magnesiumpoeder te gebruiken. Er zijn een aantal factoren die invloed kunnen uitoefenen op de reactiesnelheid.

- De **verdelingsgraad** van magnesium in het experiment is de oorzaak van het verschil in reactiesnelheid. Hoe groter de verdelingsgraad, dat wil zeggen hoe fijner de stof is verdeeld, des te sneller verloopt de reactie.
- Magnesium reageert veel sneller met zoutzuur dan zink. De **soort stof** heeft invloed op de reactiesnelheid.
- De reactiesnelheid is hoger als de concentratie waterstofchloride (de hoeveelheid stof per mL oplossing) in het zoutzuur groter is. Als de **concentratie** van de beginstoffen groter wordt, neemt de reactiesnelheid toe.
- Als de **temperatuur** hoger wordt, wordt de reactiesnelheid groter.
- Ten slotte kun je de reactiesnelheid beïnvloeden met een hulpstof, een **katalysator**. Een katalysator is een stof die een reactie sneller laat verlopen zonder bij die reactie verbruikt te worden. Een **enzym** is een katalysator die een biologische reactie versnelt (figuur 1.28).

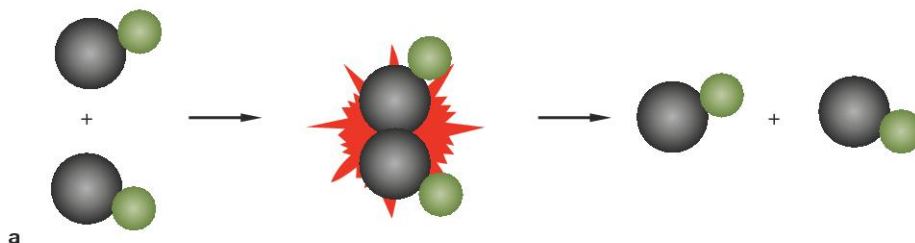
Botsende deeltjes en reactiesnelheid

Hierboven is besproken welke factoren invloed uitoefenen op de snelheid van een reactie.

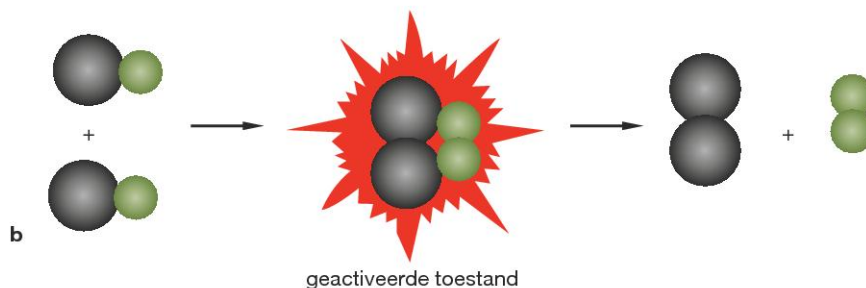
Om de invloed van deze factoren te verklaren is een model opgesteld, **het botsende-deeltjesmodel**.

In de vloeibare en in de gasvormige fase kunnen de kleinste deeltjes van een stof bewegen. Ze kunnen dus ook tegen elkaar botsen. Als twee botsende deeltjes een reactie met elkaar kunnen aangaan, zal die reactie alleen optreden als de botsing hard genoeg is. Zo'n botsing is een effectieve botsing, zie figuur 1.29. Hoe groter het aantal botsingen per seconde en per liter, des te groter is het aantal effectieve botsingen en des te sneller verloopt de reactie.

een niet-effectieve botsing
van twee moleculen AB



een effectieve botsing
(chemische reactie)
 $2 AB \rightarrow A_2 + B_2$



1.29a Een niet-effectieve botsing, b een effectieve botsing



1.30 Explosie in een melkpoederfabriek. Het poeder kan door de grote verdelingsgraad exploderen.

Invloed van de concentratie

Als je de concentratie van de reagerende deeltjes vergroot, zal het aantal botsingen per seconde toenemen. Hoe meer deeltjes zich in een bepaald volume bevinden, des te groter is de kans dat deze (voortdurend bewegende) deeltjes botsen. Hiermee neemt ook het aantal effectieve botsingen per seconde toe en daarmee ook de reactiesnelheid.

Invloed van de temperatuur

Als je de temperatuur van het reactiemengsel hoger maakt, gaan de reagerende deeltjes sneller bewegen. Hierdoor wordt de kans vergroot dat ze tegen elkaar botsen. Het aantal botsingen zal dan toenemen. Maar een botsing tussen sneller bewegende deeltjes is ook heftiger, waardoor het percentage effectieve botsingen toeneemt. Uit ervaring is bekend dat per tien graden temperatuurstijging de reactiesnelheid ongeveer verdubbelt.

Invloed van de verdelingsgraad

Hoe groter de verdelingsgraad, des te groter is het contactoppervlak. Hierdoor kunnen er meer botsingen per seconde aan het oppervlak plaatsvinden. Bij oplossingen is de verdelingsgraad maximaal, alle deeltjes van de stoffen staan met elkaar in contact. Een mengsel waarbij de stoffen tot op de kleinste deeltjes, het microniveau, gemengd zijn is een **homogeen mengsel**.

Bij reacties waarbij de stoffen zich niet in dezelfde fase bevinden zoals bij een reactie van een vaste stof en een vloeistof, zijn de stoffen niet tot op het microniveau gemengd. Dit zijn **heterogene mengsels**. De verdelingsgraad speelt een belangrijke rol bij dit soort reacties. Doordat een vaste stof uitsluitend aan het oppervlak kan reageren, zal de reactiesnelheid toenemen naarmate het contactoppervlak groter wordt, zie figuur 1.30.

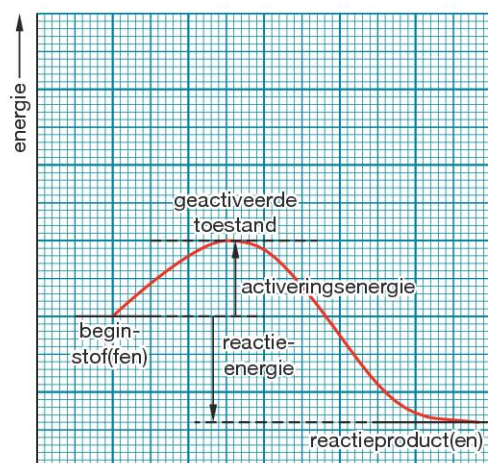
● Experiment 1.11

Activeringsenergie en reactiesnelheid

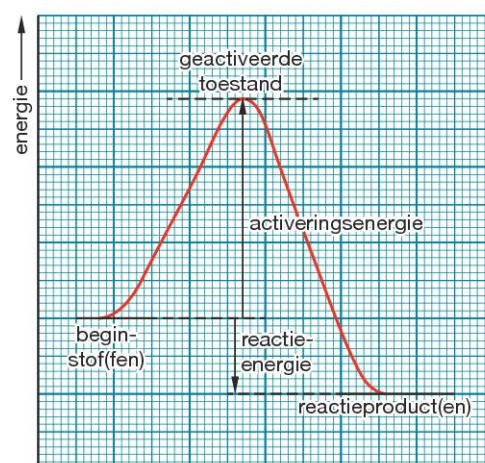
Er zijn nog twee factoren die de reactiesnelheid kunnen beïnvloeden: de soort stof en de aanwezigheid van een katalysator. De invloed van deze factoren kun je niet verklaren met het botsende-deeltjesmodel, maar wel met de activeringsenergie.

Invloed van de soort stof

Magnesiumpoeder reageert sneller met zoutzuur dan zinkpoeder. Dat is te verklaren door aan te nemen dat in het eerste geval minder energie nodig is om de geactiveerde toestand te bereiken. Daardoor zal de reactie sneller kunnen verlopen (figuur 1.31a en b).



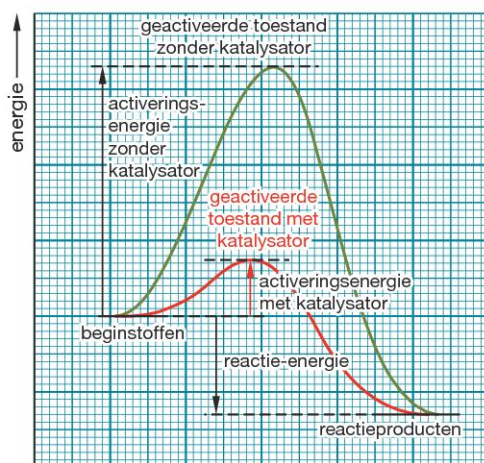
1.31a Een energiediagram voor de reactie van magnesiumpoeder met zoutzuur



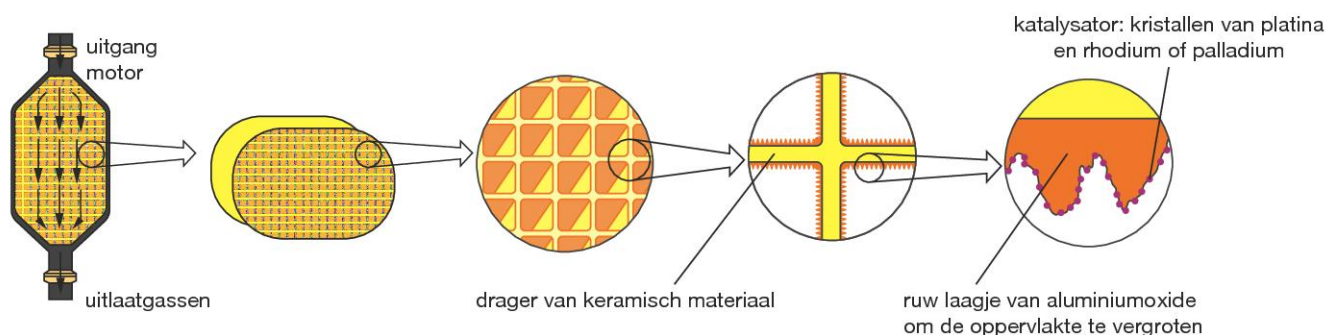
1.31b Een energiediagram voor de reactie van zinkpoeder met zoutzuur

Invloed van een katalysator

De aanwezigheid van een katalysator zorgt ervoor dat een reactie sneller verloopt en/of bij een lagere temperatuur. Dat is te verklaren door aan te nemen dat een katalysator ervoor zorgt dat de geactiveerde toestand eerder wordt bereikt. Hij verlaagt dus de activeringsenergie van een reactie. Daardoor verloopt een reactie sneller en/of bij een lagere temperatuur. In figuur 1.32 zie je dat het verschil tussen de energieniveaus van beginstoffen en reactieproducten niet verandert doordat er een katalysator aanwezig is. De reactie-energie blijft dus hetzelfde.



1.32 Een katalysator verlaagt de activeringsenergie, de reactie verloopt sneller.



1.33 Een katalysator in de auto zorgt voor het omzetten van schadelijke gassen in minder schadelijke gassen.

Samenvatting

- Een maat voor de reactiesnelheid is de hoeveelheid stof die per seconde en per liter reactiemengsel ontstaat of verdwijnt.
- De reactiesnelheid wordt bepaald door vijf factoren: de verdelingsgraad van een stof, de soort stof, de temperatuur, de concentratie(s) van de reagerende stof(fen) en de katalysator.
- Met het botsende-deeltjesmodel kan de invloed van een aantal factoren op de reactiesnelheid worden verklaard. Er vindt alleen een reactie plaats bij een effectieve botsing tussen de deeltjes. Hoe meer effectieve botsingen, des te sneller gaat de reactie.
- Bij een grotere concentratie, grotere verdelingsgraad en hogere temperatuur neemt het aantal effectieve botsingen en dus de reactiesnelheid toe.
- De soort beginstof heeft invloed op de activeringsenergie van een reactie en op de reactiesnelheid. Een katalysator verlaagt de activeringsenergie van een reactie.

Opdrachten

A 29 

- a Wat is het verband tussen reactietijd en reactiesnelheid?
b Geef een eenheid voor reactietijd en reactiesnelheid.

B 30

Er zijn vijf factoren die de reactiesnelheid bepalen.

- a Wat is het verband tussen elke factor en de reactiesnelheid?
b Leg van elke factor uit wat de oorzaak van de verandering in de reactiesnelheid is. Gebruik bij je uitleg het botsende-deeltjesmodel of de activeringsenergie.

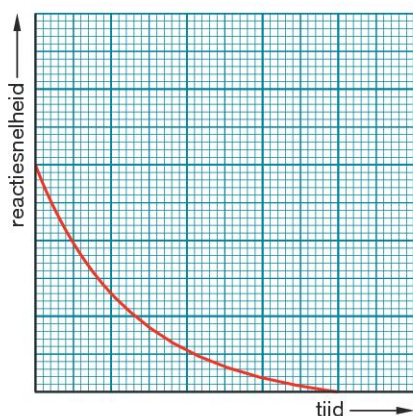
B 31

Suikerpoeder brandt niet gemakkelijk. Maar als je suikerpoeder uitstrooit boven een kaars krijg je een stofexplosie. Waardoor gaat de reactie nu ineens veel sneller? Gebruik in je uitleg het botsende-deeltjesmodel.

B 32

Als je ijzer mengt met een oplossing van waterstofchloride treedt een reactie op waarbij waterstofgas ontstaat. De hoeveelheid waterstof die per tijdseenheid ontstaat, is een maat voor de reactiesnelheid. In figuur 1.34 is het verloop van de snelheid van deze reactie in de tijd weergegeven.

- a Neem het diagram over en schets het verband tussen de snelheid en de tijd als je fijner verdeeld ijzer gebruikt.
b Schets in hetzelfde diagram het verband tussen de snelheid en de tijd als je een meer verdunde waterstofchlorideoplossing gebruikt.



1.34

B 33

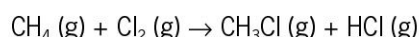
Waarom is de reactiesnelheid het grootst aan het begin van de reactie en aan het einde van de reactie nul?

B 34

Neem figuur 1.34 over en teken hierin het verloop van de reactiesnelheid wanneer de reactie zou plaatsvinden bij een iets lagere temperatuur. Leg uit of de oppervlakte onder de nieuwe grafieklijn die de reactiesnelheid aangeeft groter, even groot of kleiner zal zijn dan de oorspronkelijke oppervlakte in figuur 1.34.

B 35

In een reactievat wordt een mengsel gebracht van methaan en chloor. De volgende reactie treedt op:



- a Schets in een diagram het verloop van de reactiesnelheid in de tijd.

Tijdens de reactie, op tijdstip t_1 , wordt het volume van het reactievat verkleind.

- b Leg uit of de reactiesnelheid op tijdstip t_1 groter of kleiner zal worden.
c Schets in het diagram van vraag a het verloop van de reactiesnelheid in de tijd vanaf tijdstip t_1 .

B 36

Ammoniak, NH_3 , wordt gemaakt uit waterstof en stikstof. Dit is een exotherme reactie. Bij de productie van ammoniak is een katalysator belangrijk om ervoor te zorgen dat de reactie met voldoende snelheid verloopt.

- a Geef de reactievergelijking voor de vorming van ammoniak uit waterstof en stikstof.
b Leg uit waarom de formule van de katalysator niet mag voorkomen in de reactievergelijking.
c Teken in één figuur twee energiediagrammen voor deze reactie: één zonder katalysator en één met katalysator. Geef een verklaring voor het verschil tussen beide diagrammen.

C 37

Uitlaatgassen kunnen koolstofmono-oxide en stikstofdioxide bevatten. Beide zijn ongewenst omdat ze giftig zijn en het milieu belasten. Daarom zijn tegenwoordig in uitlaten katalysatoren ingebouwd waarin reacties plaatsvinden om deze stoffen te verwijderen, zie figuur 1.33 in de lestekst. Het stikstofdioxide reageert met koolstofmono-oxide tot koolstofdioxide en stikstof in een exotherme reactie.

- a Geef de vergelijking van de reactie in de katalysator.
b Leg de functie van de katalysator uit.

In een auto zit onderdeel 1 van figuur 1.33 in de uitlaatpijp gemonteerd en het wordt de 'katalysator' genoemd.

- c Leg uit waarom die naam eigenlijk niet juist is.
d Wat is de eigenlijke katalysator?
e Leg uit waarom de oppervlakte in de katalysator wordt vergroot.

C 38 ★

Bij stijgende temperatuur bewegen deeltjes sneller. De snelheid van de deeltjes is recht evenredig met de temperatuur in kelvin.

- a Hoeveel procent neemt de snelheid toe als de temperatuur stijgt van 300 tot 310 K?
b Met hoeveel procent neemt de reactiesnelheid toe als de temperatuur stijgt van 300 tot 310 K?
c Bij temperatuurstijging neemt het aantal botsingen toe omdat de moleculen elkaar vaker tegenkomen. Maar de botsingen zijn ook sterker. Leg uit welke van deze twee factoren het meest bijdraagt aan de toename van het aantal effectieve botsingen. Gebruik bij je antwoord vraag a en b.

C 39 ⦿

Drie leerlingen onderzoeken elk de grootte van de reactiesnelheid van de reactie tussen magnesium en een verdunde waterstofchlorideoplossing, maar ze doen dit onder verschillende omstandigheden.

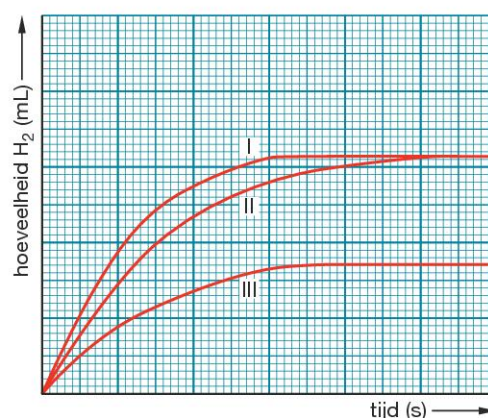
De waterstof die ontstaat wordt opgevangen in een gasmeetspuit. Om de tien seconden bepaalt elke leerling hoeveel waterstof zich in zijn gasmeetspuit bevindt. Als de experimenten zijn afgelopen verwerken de leerlingen hun meetresultaten in het diagram van figuur 1.35.

Op de horizontale as is de tijd uitgezet en op de verticale as de hoeveelheid waterstof.

- a Leg uit waarom alle drie de lijnen na een bepaalde tijd horizontaal lopen.
b Leg uit welke lijn de grootste reactiesnelheid weergeeft.

De drie leerlingen hebben het experiment uitgevoerd met dezelfde hoeveelheid magnesium.

- c Leg uit welke leerling(en) een overmaat waterstofchlorideoplossing heeft (hebben) gebruikt.
d Geef een mogelijke oorzaak voor het verschil tussen lijn I en lijn II.



1.35

Experimenten

1.8 t/m 1.10 Reactiesnelheid

In deze experimenten onderzoek je de invloed van drie factoren op de reactiesnelheid van de reactie van magnesium met zoutzuur.

1.11 Katalysatoren

Je onderzoekt de invloed van een katalysator op de snelheid van de ontleding van waterstofperoxide.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- uitleggen wat de begrippen reactietijd en reactiesnelheid betekenen;
- aangeven welke factoren de snelheid van een reactie bepalen;
- de invloed van elk van deze factoren op de reactiesnelheid toelichten;
- met het botsende-deeltjesmodel uitleggen wat de invloed van de concentratie, de verdelingsgraad en de temperatuur op de reactiesnelheid is;
- met het begrip activeringsenergie uitleggen wat de invloed van het soort stof en een katalysator op de reactiesnelheid is.

Afsluiting

Oefenopdrachten

1 Cider



1.36 Sapcentrifuge

Cider is een alcoholhoudende bruisende drank die is gemaakt van appels. Voor de bereiding worden de appels eerst in stukken gehakt, waarna het appelsap eruit wordt geperst. Dit kan met een sapcentrifuge (figuur 1.36). De stukgeslagen appels worden met een zeer grote snelheid tegen een filter rondgedraaid, waarbij het sap naar buiten wordt geslingerd. Aan het appelsap wordt cidergist en zo nodig suiker toegevoegd, waarna het sap enkele weken gist in een vat dat via een waterslot is afgescheiden van de lucht. Na het gisten zakken de afgestorven gistcellen naar de bodem en wordt de bovenstaande vloeistof gebotteld in stevige champagneflessen waaraan suiker is toegevoegd. De cider gist nog een maand op fles en is de volgende zomer drinkbaar. Tijdens het gisten wordt de suiker ($C_6H_{12}O_6$) uit de appels omgezet in alcohol en koolstofdioxide.

- Leg uit of gisten een chemische reactie is.
- Welke twee scheidingsmethoden worden toegepast in de sapcentrifuge?
- Welke scheidingsmethode wordt nog meer toegepast bij het maken van de cider?

De prik in de cider ontstaat bij de nagisting in de fles door deze reactie:



- Wat voor een soort chemische reactie is gisten?
- Wat is de functie van het gist?
- Waarom moet de cider in stevige flessen worden gebotteld?
- Wat is het verband tussen de oplosbaarheid van koolstofdioxide en de druk boven de vloeistof?

2 Zwart-witfilm



1.37 Negatief van een foto. Het zilverbromide is onder invloed van licht omgezet in zilver en broom.

Oude fototoestellen gebruiken filmrolletjes waarop de stof zilverbromide zit. Als er licht op het zilverbromide valt, wordt het omgezet in zilver en broom. Het zilver op het negatief is zwart omdat het zo fijn verdeeld is. Het licht kaatst dan niet meer terug (figuur 1.37). Zilverbromide bevat minder chemische energie dan zilver en broom.

- Het filmrolletje is negatief, omdat alles wat fel licht is in werkelijkheid op het negatief donker is. Waardoor komt dat?
- Leg uit of de ontleding van zilverbromide in zilver en broom een endotherm of een exotherm proces is.

Voor de ontleding van zilverbromide is activeringsenergie nodig.

- Teken een energiediagram van deze reactie en vermeld in je diagram de stoffen zilverbromide, zilver en broom.
- Geef in je energiediagram de reactie-energie en de activeringsenergie aan.

3 IJzer

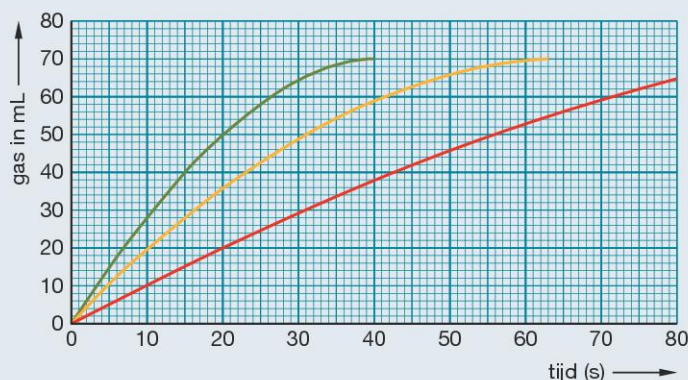
IJzer reageert met zoutzuur waarbij waterstofgas ontstaat. Leerlingen voeren een onderzoek uit naar de reactiesnelheid van deze reactie. Ze doen drie experimenten waarbij de verdelingsgraad van het ijzer varieert. Het ijzer is steeds in overmaat. Ze gebruiken bij elk experiment dezelfde hoeveelheid zoutzuur.

Ze gebruiken in:

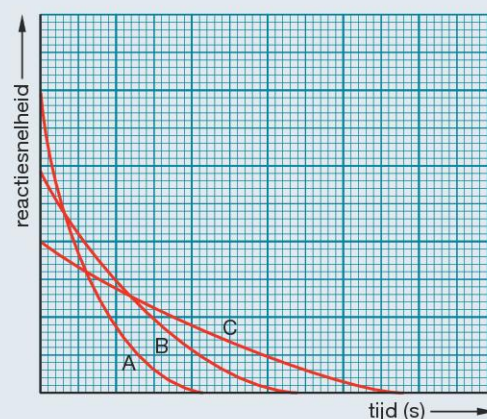
- proef 1: ijzeren spijkertjes;
- proef 2: ijzerkrullen;
- proef 3: ijzerpoeder.

In het diagram van figuur 1.38 is de hoeveelheid gas (in mL) uitgezet tegen de tijd.

- Waarom komen deze curven alle drie op hetzelfde eindniveau?
- Waarom is het eerste deel van de drie curven verschillend?
- Welke kleur lijn hoort bij welke proef?
- Leg met het botsende-deeltjesmodel de resultaten van deze proef uit.



1.38



1.39

In het diagram van figuur 1.39 is voor elk van de drie proeven weergegeven hoe de reactiesnelheid tijdens de proef verandert.

- Leg uit welke lijn (A, B of C) bij welke proef hoort.

4**Lucifers**

Lucy onderzoekt hoeveel paraffine in een lucifer aanwezig is. Ze verwijdert de koppen van 25 lucifers. De houtjes doet ze samen met 8 mL wasbenzine in een reageerbuis. Ze plaatst de reageerbuis een kwartier in een bekglas met heet water.

Vervolgens filtreert Lucy het mengsel en giet daarna het filtraat op een horlogeglas.

Nadat de wasbenzine is verdampt, blijft een hoeveelheid witte wasachtige vaste stof achter (paraffine). Deze stof heeft een massa van 214 mg.

- Lucy gebruikt wasbenzine om de paraffine uit de lucifer te isoleren. Leg uit wat de scheidingsmethode is waar Lucy de wasbenzine bij nodig heeft.
- Welk soort mengsel heeft Lucy op het horlogeglas gegoten (tweede alinea van de tekst)?
- Bereken hoeveel milligram paraffine een doosje lucifers bevat. Ga ervan uit dat bij het onderzoek van Lucy geen paraffine in de lucifers is achtergebleven en dat een doosje 45 lucifers bevat.



5

Accu van een elektrische auto

De elektrische auto van figuur 1.40 heeft een accu met een capaciteit van 60 kWh.

a Welke soort energie bevat de accu?



1.40 Dashboard van een elektrische auto

Tijdens het rijden worden de beginstoffen in de accu omgezet in de reactieproducten waarbij energie vrijkomt in de vorm van elektriciteit. Tijdens het opladen van de accu vindt een omgekeerde reactie plaats.

b Teken het energiediagram van het opladen van de accu.

c De accu van de auto bestaat uit meer dan honderd cellen die parallel en in serie zijn geschakeld. Er zijn meer dan honderd kleinere ruimtes met beginstof, in plaats van één grote ruimte. Dit voorkomt dat de reactiesnelheid afneemt als de accu leger raakt. Bedenk hiervoor een verklaring.

d Omdat de accu vaak opgeladen moet worden, mogen de stoffen niet van hun plaats komen. Leg uit of er in de accu sprake is van een homogeen of heterogeen mengsel.

e De tijd die het opladen duurt wordt niet alleen bepaald door de reactiesnelheid in de auto, maar ook door het vermogen van de laadpaal. Als de laadpaal een vermogen heeft van 3000 W, hoelang duurt het laden van een volledig lege accu dan in het ideale geval? Een kWh is de energie die bij een vermogen van 1 kW in een uur wordt geladen.

6

Vlam in de pan

De vlam in de pan in figuur 1.41 is met water geblust. Een explosie is het gevolg. De pan bevat brandende olie. Bij het blussen zakt het bluswater naar de bodem van de pan en wordt daar zo snel verhit, dat het meteen verdampt. De damp ontsnapt uit de pan en neemt daarbij de brandende oliedruppeltjes mee.

a Leg uit waardoor de verbrandingsreactie nu veel sneller gaat. Licht je antwoord toe met het botsende-deeltjesmodel.

b Door de snellere verbranding stijgt de temperatuur ook snel. Leg met het botsende-deeltjesmodel uit waardoor de reactie daardoor nog sneller gaat.



1.41 Vlam in de pan

Keuzeopdrachten

Hieronder staat een korte beschrijving van drie keuzeopdrachten. Op de site kun je meer informatie vinden. In overleg met je docent kun je één van deze keuzeopdrachten uitvoeren.

1

Conserveren

Hoe ging men vroeger te werk om voedingsmiddelen langer houdbaar te maken? Je zoekt uit welke methoden er tegenwoordig worden gebruikt. Je komt veel meer te weten over additieven.

2

Azijn

Azijn is een schoonmaakmiddel, maar ook een conserveringsmiddel. In de levensmiddelen-industrie speelt azijn een belangrijke rol. Je maakt kennis met een azijnbrouwerij, verschillende soorten azijn en de toepassingen van de azijnsoorten.

3

Explosies

Sommige reacties kunnen zo snel verlopen dat je van een explosie spreekt. Je maakt kennis met verschillende soorten explosies. Je ontdekt wat de industrie allemaal doet om explosies te voorkomen.

Overzicht begrippen

Botsende-deeltjesmodel	Factoren die de reactiesnelheid beïnvloeden kun je verklaren met het botsende-deeltjesmodel en de activeringsenergie.
Chemische reacties	Tijdens een chemische reactie veranderen de beginstoffen in reactieproducten. Een chemische reactie verloopt pas als de temperatuur even hoog is als of hoger is dan de reactietemperatuur . Bij elke chemische reactie treedt een energie-effect op.
Energiediagram	Een energiediagram geeft het energie-effect en de activeringsenergie van elk proces weer.
Energie-effect	Een proces is exotherm als er tijdens het proces energie aan de omgeving wordt afgegaan. Een proces is endotherm als er tijdens het proces energie vanuit de omgeving wordt opgenomen.
Mengsels	Een mengsel heeft een smelttraject en een kooktraject . Drie soorten mengsels zijn oplossing , suspensie en emulsie . Een emulsie kan ontmengen tot een tweelagensysteem . Een emulgator voorkomt het ontmengen van een emulsie. Een emulgatormolecuul heeft een hydrofiele kop (mengt met water) en een hydrofobe staart (mengt niet met water).
Reactiesnelheid	De reactiesnelheid is de hoeveelheid stof die per seconde en per liter reactiemengsel ontstaat of verdwijnt. De reactiesnelheid wordt bepaald door vijf factoren: de verdelingsgraad van een stof, de soort stof , de temperatuur , de concentratie(s) van de reagerende stof(fen) en de katalysator .
Scheidingsmethoden	Scheiden is het sorteren van moleculen. Scheidingsmethoden maken gebruik van verschil in stoffeigenschappen van de stoffen in het mengsel. Scheidingsmethoden zijn filtreren , bezinken , centrifugeren , indampen , destilleren , extraheren , adsorptie en chromatografie . De vaste stof die bij filtreren in het filter blijft en bij destilleren in de kolf is het residu . De stof die door het filter loopt is het filtraat . Die stof die bij destilleren condenseert is het destillaat . De Rf-waarde van een stof bij chromatografie is de verhouding van de afstand die de stof aflegt ten opzichte van de afstand van de loopvloeistof.
Zuivere stof	Een zuivere stof bestaat uit één soort bouwstenen. Een zuivere stof heeft een smeltpunt en een kookpunt . Als op microniveau de bouwstenen van zo'n zuivere stof uit één soort atomen bestaan, dan is op macroniveau de stof een element . Bestaan de bouwstenen uit twee of meer soorten atomen, dan is op macroniveau de stof een verbinding .

2 Bouwstenen van stoffen

Inhoud

2.1 Periodiek systeem

Experimenten:

2.1 IJzer wordt roest

2.2 De grootte van een molecuul

2.2 Ionen

2.3 Massa's van bouwstenen

2.4 De mol

Afsluiting

Overzicht begrippen



Moleculen

De bouwstenen van de pijnstiller paracetamol zijn moleculen. Licht dat op de kristallen van paracetamol valt, wordt op verschillende manieren gebroken. Dat geeft gekleurde beelden van de kristallen die je zichtbaar maakt met een elektronenmicroscop.

2

Zoektocht naar het kleinste

Na eeuwen onderzoek is er een goede theorie over de bouw van het atoom. En het onderzoek gaat door. In CERN in Genève botsen supersnelle deeltjes in een 27 km lange cirkelvormige buis tegen elkaar. Daarbij komen nieuwe deeltjes vrij, die worden bestudeerd in deze enorme detector.



Je leert

- hoe je de bouw van een atoom kunt beschrijven met behulp van atoommodellen;
- wat isotopen zijn;
- elektronenconfiguraties afleiden uit het periodiek systeem.

2.1 Periodiek systeem

- Experiment 2.1
- Experiment 2.2



2.1 Deze ring met protonen, neutronen en elektronen geeft het atoommodel van Rutherford weer.

Atoommodel van Rutherford

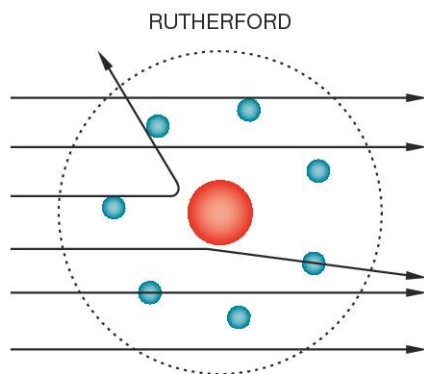
De deeltjes die in CERN worden bestudeerd en ook de moleculen en atomen, de bouwstenen van stoffen, zijn veel te klein om te zien. Je bestudeert in CERN de deeltjes op **microniveau**. Alles wat je kunt waarnemen is het **macroniveau**. In de scheikunde wordt geprobeerd met behulp van het microniveau stoffeigenschappen op macroniveau te verklaren. Het weergeven van het microniveau gebeurt vaak met modellen. Zo is de ring op 'macroniveau' in figuur 2.1 een voorstelling van een atoommodel op microniveau.

Het woord atoom is afgeleid van atomos, dat ondeelbaar betekent. Lange tijd is gedacht dat het atoom een massief ondeelbaar bolletje is. In 1911 voerde **Rutherford** experimenten uit waarbij hij een stroom heel kleine positief geladen deeltjes op een dun stukje goudfolie afschoot. Het grootste deel van deze deeltjes bleek dwars door het goudfolie te gaan zonder dat het folie veranderde, zie figuur 2.2a.

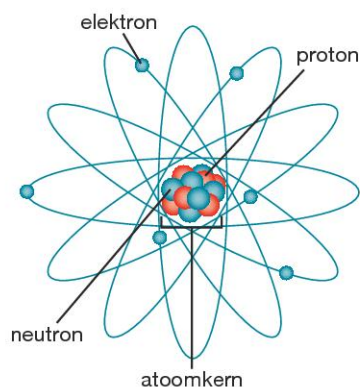
Uit de resultaten van deze experimenten concludeerde hij dat atomen geen massieve bolletjes kunnen zijn, maar dat ze bestaan uit nog kleinere deeltjes en een grote lege ruimte. Op grond van dit onderzoek formuleerde Rutherford een nieuw atoommodel dat de bouw van een atoom beschrijft als een positief geladen **atoomkern** met daaromheen bewegende negatief geladen **elektronen**. Deze elektronen vormen samen een **elektronenwolk** rond de kern, zie figuur 2.2b.

Tussen de atoomkern en de elektronen in de elektronenwolk is lege ruimte, helemaal niets. Die lege ruimte is enorm groot in vergelijking met de ruimte die de atoomkern inneemt.

Uit later onderzoek bleek dat de atoomkern geen massief bolletje is, maar bestaat uit nog kleinere deeltjes, de **protonen** en de **neutronen**. Protonen zijn positief geladen en neutronen zijn neutraal. De atoomkern heeft door de protonen een positieve lading.



2.2a Het experiment van Rutherford



2.2b Een model van het koolstofatoom volgens het atoommodel van Rutherford



2.3 Gele zwavelafzettingen bij de Papandayan-vulkaan in Indonesië



2.4 Roetaanslag (koolstof) bij een mijnwerker

Volgens het atoommodel van Rutherford zijn de bouwstenen van een atoom:

- protonen, weergegeven door de letter p;
- elektronen, weergegeven door e^- ;
- neutronen, weergegeven door de letter n.

Atoomnummer en massagetal

Met behulp van het atoommodel kun je antwoord geven op de vraag wat het verschil is tussen een koolstofatoom en een zwavelatoom en waardoor op macroniveau de stof zwavel andere eigenschappen heeft dan de stof koolstof (figuur 2.3 en 2.4). Het verschil tussen atomen wordt veroorzaakt door het aantal protonen in de kern. Het aantal protonen bepaalt welke atoomsoort het is en dit aantal protonen wordt gegeven door het **atoomnummer**. Een koolstofatoom heeft zes protonen in de kern en heeft atoomnummer 6, zwavelatomen hebben altijd zestien protonen in de kern en dus atoomnummer 16. Alle atomen van dezelfde soort hebben hetzelfde atoomnummer.

In de atoomkern bevinden zich, behalve protonen, ook neutronen. Het aantal neutronen in een atoomkern is soms gelijk aan het aantal protonen, maar meestal is het (iets) groter. De massa van een neutron is vrijwel gelijk aan de massa van een proton. De som van het aantal protonen en neutronen in de atoomkern is het **massagetal**.

Een atoom is als geheel elektrisch neutraal, dat betekent dat in een atoom de negatieve lading van de 'elektronenwolk' steeds precies even groot moet zijn als de positieve lading van de kern. De elektrische lading van een proton en een elektron kun je uitdrukken in **coulomb**. De lading van een proton is $1,6 \cdot 10^{-19}$ coulomb (C). Maar meestal gebruik je een andere eenheid, de **elementaire ladingseenheid** of **elementair ladingskwantum e** . Volgens Binas tabel 7 komt één elementair ladingskwantum overeen met $1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Het proton heeft dan een lading van $+1e$ en het elektron een lading van $-1e$. Voor elk atoom geldt dat het aantal protonen gelijk is aan het aantal elektronen, zie ook tabel 2.5.

	lading (C)	lading e	plaats	aantal
proton	$+1,6 \cdot 10^{-19}$	+1	kern	gelijk aan atoomnummer
neutron	0	0	kern	variabel
elektron	$-1,6 \cdot 10^{-19}$	-1	rond de kern	gelijk aan atoomnummer

2.5 Lading van protonen, neutronen en elektronen

Isotopen

Atomen van één atoomsoort bezitten altijd hetzelfde aantal protonen, maar ze kunnen een verschillend aantal neutronen hebben. In Binas tabel 25 kun je zien dat vrijwel bij elke atoomsoort atomen staan met verschillende massagetallen.

atoomsoort	Cu	Cu
massagetal	63	65
atoomnummer	29	29
protonen	29	29
elektronen	29	29
neutronen	34	36

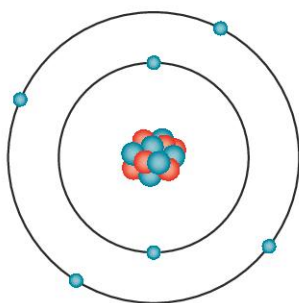
2.6 Twee isotopen van koper

Als voorbeeld kijken we naar koper, zie tabel 2.6. In de natuur tref je twee verschillende koperatomen aan: atomen met massagetal 63 en met massagetal 65. Het atoomnummer is dus steeds gelijk, het massagetal is verschillend. Deze twee atomen noem je **isotopen**. Isotopen hebben hetzelfde symbool, in dit voorbeeld Cu. Om ze toch van elkaar te kunnen onderscheiden zet je achter het symbool het massagetal: Cu-63 en Cu-65.

Er bestaat nog een andere notatie om isotopen van elkaar te onderscheiden. Daarbij wordt het atoomnummer linksonder het symbool gezet en het massagetal linksboven, $^{63}_{29}\text{Cu}$ en $^{65}_{29}\text{Cu}$.

Atoommodel van Bohr

Het model van Rutherford verklaart niet alle eigenschappen van atomen en het is daarom door **Bohr** verfijnd. In zijn model bevinden de elektronen zich in bolvormige banen rond de kern, zoals de planeten die om de zon draaien. Deze bolvormige banen noemde Bohr **elektronenschillen**. Elektronen die in dezelfde schil zitten hebben dezelfde gemiddelde afstand tot de kern. Schillen die dicht bij de kern zitten bevatten minder elektronen dan schillen die verder van de kern verwijderd zijn. Zo kan de eerste schil maar twee elektronen bevatten en de tweede schil acht. De verdeling van de elektronen over de schillen heet ook wel de **elektronenconfiguratie**.



2.7 Een modeltekening van het koolstofatoom volgens het atoommodel van Bohr

Een koolstofatoom heeft zes elektronen, er zitten volgens het atoommodel van Bohr twee elektronen in de eerste schil en vier elektronen in de tweede schil, zie figuur 2.7. In dit model is de kern naar verhouding veel te groot weergegeven. De schillen hadden hier eigenlijk getekend moeten worden als een bol met een diameter van ongeveer tweeduizend meter. Om het overzichtelijk te houden wordt het model van Bohr niet driedimensionaal weergegeven. De schillen in het atoommodel van Bohr hebben een rangnummer, n , of worden voorgesteld door letters K, L, M, N, O, P, Q.

Het periodiek systeem

Alle bekende atoomsoorten staan in het **periodiek systeem**. Dit systeem is bedacht door de Rus Dimitri Mendelejev die in de negentiende eeuw de atoomsoorten rangschikte naar opklimmende atoommassa. Bovendien zette hij atoomsoorten die chemisch op elkaar lijken onder elkaar.

Het briljante van Mendelejev was dat hij plaatsen openliet in het systeem. Hij beweerde dat de lege plaatsen in zijn periodiek systeem later ingenomen zouden worden door atoomsoorten die op dat moment nog niet ontdekt waren. Mendelejev kon zelfs voorspellen welke chemische eigenschappen deze nog onontdekte atoomsoorten zouden hebben. Die moesten immers lijken op de atoomsoorten die boven of onder de nog lege plaats stonden. In Binas tabel 99 staat het huidige periodiek systeem afgebeeld met alle atoomsoorten die we nu kennen. In dit periodiek systeem wordt een horizontale rij van atoomsoorten een **periode** genoemd. Een verticale kolom van atoomsoorten noem je een **groep**. Het periodiek systeem bestaat uit zeven perioden en achttien groepen. Om het systeem niet al te breed te laten zijn, zijn van de perioden 6 en 7 een aantal atoomsoorten onder het systeem gezet.



2.8 Dit sieraad van zilver geeft een beeld van het zuurstofatoom volgens het atoommodel van Bohr.

De atoomsoorten in de geel gekleurde hokjes zijn atomen van **metalen**. De andere atoomsoorten zijn atomen van **niet-metalen**. Je ziet dat er meer metalen dan niet-metalen zijn. Op de grens van de metalen en de niet-metalen staat een aantal atoomsoorten die wat betreft hun eigenschappen tussen metalen en niet-metalen in staan. Deze staan in blauwgekleurde hokjes, ze worden metalloïden genoemd.

De atoomsoorten die in één groep staan, hebben chemische eigenschappen die op elkaar lijken. Soms wordt zo'n groep atoomsoorten in het periodiek systeem met een verzamelnaam aangegeven.

- groep 1: de **alkalimetalen**
- groep 2: de **aardalkalimetalen**
- groep 17: de **halogenen**
- groep 18: de **edelgassen**

Atoommodel van Bohr en het periodiek systeem

Er bestaat een verband tussen het atoommodel van Bohr en het periodiek systeem. De alkalimetalen uit groep 1 hebben allemaal één elektron in de buitenste schil, terwijl de halogenen uit groep 17 zeven elektronen in de buitenste schil hebben. Eerder in deze paragraaf las je al dat de schillen die verder van de kern zijn verwijderd meer elektronen kunnen bevatten. Zie ook de tabel 2.9.



2.10 Niels Bohr. In 1922 ontving hij de Nobelprijs voor Natuurkunde.

schil	K	L	M	N	O	P	Q
nummer (n)	1	2	3	4	5	6	7
maximale verdeling	2	8	18	32	32	32	32

2.9 Verdeling van elektronen volgens Bohr

Uit de plaats in het periodiek systeem kun je voor de eerste twintig atoomsoorten eenvoudig de **elektronenconfiguratie** afleiden. Het nummer van de periode geeft het aantal schillen aan en aan de groep kun je zien hoeveel elektronen in de buitenste schil zitten. De elektronenconfiguratie van alle atoomsoorten vind je in Binas tabel 99.

Voorbeeld: de elektronenconfiguratie

a Wat is de elektronenconfiguratie van zwavel?

Zwavel heeft atoomnummer 16. Zwavel staat in de derde periode, dus de elektronen zijn over drie schillen verdeeld. Van de 16 elektronen in een zwavelatoom zitten er 2 in de K-schil en 8 in de L-schil. Er blijven er 6 over en die zitten in de M-schil. De elektronenconfiguratie is: 2, 8, 6.

b Wat is de elektronenconfiguratie van kalium?

Kalium heeft atoomnummer 19. Kalium staat in groep 1, dus in de buitenste schil zit één elektron. Omdat kalium in de vierde periode staat, verdelen de elektronen zich over vier schillen. In de K-schil kunnen twee elektronen en in de L-schil acht. Voor de derde schil blijven er acht elektronen over. De elektronenconfiguratie is: 2, 8, 8, 1.



2.11 In de Griekse filosofie waren er vier aardse elementen: aarde, water, lucht en vuur. Tegenwoordig weten we dat het er ruim honderd zijn.

Oudste zoogdier

Het was al lang bekend dat de Groenlandse haai oud kan worden, maar Deense wetenschappers hebben nu een haai gevonden die een wel heel hoge leeftijd heeft bereikt. Na onderzoek met de C14-dateringsmethode bleek de haai rond de 392 jaar oud te zijn geworden (figuur 2.12b).

Hoe werkt de C14-datering?

De C14-methode maakt bij de bepaling van de leeftijd van organisch materiaal gebruik van de aanwezigheid van C-14, een isotoop van koolstof. Deze isotoop heeft naast de zes protonen acht neutronen in de kern. De isotoop C-14 is niet stabiel, in de loop van de tijd wordt één van de neutronen in de kern gesplitst in een proton en een elektron. C-14 verandert dus in N-14 en een elektron dat direct wordt uitgestoten, de zogenaamde β -straling. Je zegt dat het C-14 vervallen is.



2.12a Koolstofdatering is bruikbaar voor materialen tot 60 000 jaar oud. De ouderdom van de T-rex in Leiden kun je er dus niet mee bepalen.

C-14 komt gewoon in de natuur voor en planten nemen deze koolstofisotoop via de fotosynthese op. Als dieren planten eten, krijgen ze deze isotoop binnen.

Alle levende wezens hebben in hun organisme vrijwel dezelfde verhouding aan isotopen C-12 en C-14. Na de dood wordt geen C-14 meer opgenomen en vervalt langzaam het aanwezige C-14.

Dit proces duurt heel lang, de halveringstijd van C-14 (de tijd die nodig is om de helft van de aanwezige isotopen C-14 om te zetten in N-14) is 5730 jaar. Door de verhouding tussen de hoeveelheid C-14 en C-12 in organische overblijfselen te meten kun je berekenen hoelang geleden het organisme is overleden.

Met deze methode is de leeftijd van het oogweefsel van de Groenlandse haai bepaald. De C14-methode wordt veel gebruikt in de archeologie om de leeftijd van organisch materiaal uit opgravingen te bepalen.



2.12b De Groenlandse haai

● Opdracht C16

Samenvatting

- Volgens het atoommodel van Rutherford bevat de kern protonen en neutronen. De elektronen bevinden zich in een wolk om de kern heen. In het atoommodel van Bohr worden de elektronen verdeeld over verschillende schillen. De verdeling van de elektronen over de schillen heet de elektronenconfiguratie.
- Ieder atoom heeft een atoomnummer. Alle atomen van dezelfde atoomsoort hebben hetzelfde atoomnummer. Het atoomnummer geeft het aantal protonen in de kern weer.
- Elk atoom heeft een massagetal. Atomen van dezelfde atoomsoort kunnen verschillende massagetalen hebben. Het massagetal is gelijk aan de som van het aantal protonen en neutronen.
- Isotopen zijn atomen met hetzelfde aantal protonen, maar een verschillend aantal neutronen.
- Atoomsoorten in dezelfde groep hebben chemische eigenschappen die op elkaar lijken.

Opdrachten

A 1

Uit welke deeltjes is een atoom opgebouwd?

A 2

Wat is het verschil tussen het atoomnummer en het massagetal van een atoomsoort?

A 3

Geef met behulp van Binas de namen en symbolen voor:

- a de atoomsoort met atoomnummer 6
- b de atoomsoort met 18 protonen in de kern
- c de atoomsoort met 23 elektronen

A 4

Wat is een isotoop?

A 5

Geef de naam van elk van de atoomsoorten die worden gerekend tot:

- a de halogenen
- b de alkalimetalen
- c de edelgassen

A 6

Schrijf een andere, verkorte, notatie voor de volgende isotopen.

- a radon-220
- b polonium-210
- c goud-197

B 7

Geef de namen en symbolen van de elementen die chemisch gezien enigszins op magnesium lijken. Maak gebruik van Binas tabel 99.

B 8

Neem de tabel 2.13 over en vul de ontbrekende getallen en symbolen in. Raadpleeg je Binas.

symbool	atoomnummer	aantal protonen	aantal elektronen	aantal neutronen	massagetel
N				7	
		3			7
Zn				36	
	17				37
			15	16	

2.13

B 9

Leid met Binas tabel 25 af hoeveel protonen, neutronen en elektronen voorkomen in:

- a een zuurstofatoom met massagetal 16
- b een neonatoom met massagetal 22
- c een waterstofatoom met massagetal 1

B 10

Geef voor elk van de volgende atoomsoorten aan waar X voor staat.

a ${}^{24}_{12}\text{X}$

b ${}^{58}_{28}\text{X}$

B 11

Het atoomnummer wordt bij de notatie van een isotoop vaak weggelaten. Er staat dan bijvoorbeeld ${}^{13}\text{C}$ in plaats van ${}^{13}_6\text{C}$. Leg uit dat dit geen probleem oplevert.

B 12

Leg uit op welke plaats in het periodiek systeem Cl-35 staat en waar Cl-37 staat.

B 13

Hoeveel protonen, neutronen en elektronen zitten in elk van de volgende atomen?

a ${}^{15}_7\text{N}$

b ${}^{60}_{27}\text{Co}$

c ${}^{131}_{53}\text{I}$

B 14

Als regel geldt dat atoomsoorten uit dezelfde groep duidelijke overeenkomsten in eigenschappen vertonen. Leg uit of dit van toepassing is bij de groep C tot en met Pb.

B 15

- a Leid uit de gegevens van Binas tabel 99 af wat de elektronenconfiguratie van silicium is.
- b Leid uit de gegevens van Binas tabel 99 af wat de elektronenconfiguratie van calcium is.
- c Teken met de gegevens uit Binas een atoommodel voor silicium volgens Bohr.

C 16

Lees de tekst in het kader 'Oudste zoogdier' en beantwoord de volgende vragen.

- a Hoeveel protonen en neutronen zijn er in een C-14-isotoop aanwezig?
- b In welke atoomsoort verandert C-14 als het verval?

Enige jaren geleden vingen Urker vissers een groot bot in hun netten: de onderkaak van de legendarische sabeltandtijger. Na onderzoek met de C-14-dateringsmethode bleek het bot 28 000 jaar oud te zijn. Dit kwam als een verrassing, er werd aangenomen dat de sabeltandtijger al veel langer geleden uitgestorven was (figuur 2.14).

- c Stel dat de normale verhouding C-12 : C-14 gelijk is aan $1,0 : 1,2 \cdot 10^{-12}$ en de hoeveelheid C-12 gelijk blijft. Wat is de verhouding C-12 : C-14 dan na één halveringstijd?
- d Wat was deze verhouding ongeveer bij de sabeltandtijger? Rond het aantal halveringstijden af op een geheel getal.



2.14 De sabeltandtijger, ondanks zijn naam geen tijger, maar wel familie van de kactachtigen.

C 17 ★

Uraan is het zwaarste natuurlijke element. In 1976 meldden onderzoekers dat ze in een stuk monaziet, afkomstig van

Madagaskar, drie nieuwe superzware atoomsoorten met de atoomnummers 116, 124 en 126 hadden aangetoond. Dit bericht haalde de voorpagina's van veel kranten. De interpretatie van de meetresultaten waarop de vondst berustte, werd later sterk aangevochten door andere onderzoekers. Sindsdien is van de ontdekking niets meer vernomen. Gebruik het periodiek systeem in je Binas bij het beantwoorden van de volgende vragen.

- a In welke periode en welke groep van het periodiek systeem is de atoomsoort met atoomnummer 116 geplaatst?
- b In welke periode van het periodiek systeem zou de atoomsoort met atoomnummer 124 geplaatst moeten worden?
- c Leg uit of je verwacht dat deze laatste atoomsoort een metaal is of een niet-metaal.
- d Grote atoomkernen, waarvan hier sprake is, zijn zeer instabiel: ze vallen uiteen in kleinere kernen. Verklaar deze instabiliteit van grote atoomkernen aan de hand van de samenstelling van de kernen. Welke deeltjes bevatten ze en welke lading hebben die?



2.15 Monaziet is een mineraal waar verschillende zeldzame elementen in aanwezig kunnen zijn.

Experimenten

2.1 IJzer wordt roest

Wordt ijzer lichter of zwaarder als het reageert met zuurstof?

2.2 De grootte van een molecuul

In dit experiment probeer je de grootte van een oliemolecuul te bepalen.

- Volledige instructie *Chemie Overal* online

Je kunt nu

- het atoommodel van Rutherford en Bohr gebruiken om atomen weer te geven;
- het atoomnummer en het massagetal gebruiken;
- uitleggen wat isotopen zijn;
- het periodiek systeem gebruiken om de elektronenconfiguratie af te leiden.

Sparta ion

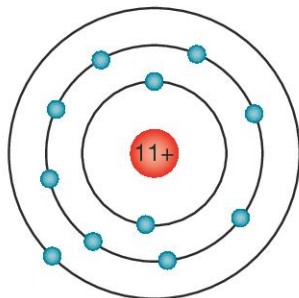
Misschien ben je al hard voorbijgefietst door iemand op een elektrische fiets. De fietsfabrikant Sparta heeft de Sparta ion gemaakt. Hierbij wordt gebruikgemaakt van ionen. Er worden tegenwoordig naast traditionele fietsen ook bijzondere elektrische fietsen gemaakt zoals je hiernaast ziet.



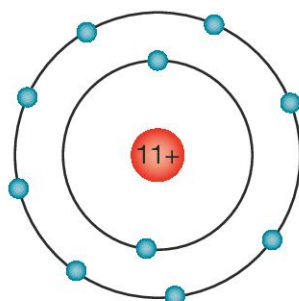
Je leert

- wat ionen zijn en hoe ze ontstaan;
- het verband tussen de lading van een ion en het periodiek systeem;
- wat de octetregel inhoudt.

2.2 Ionen



2.16 Een natriumatoom met elf elektronen (Na)



2.17 Een natriumion met tien elektronen (Na^+)

Ionen

De accu van een elektrische fiets maakt gebruik van ionen. Maar wat zijn ionen? Omdat atomen evenveel protonen als elektronen bevatten, zijn ze elektrisch neutraal. Tijdens een chemische reactie of onder invloed van elektrische stroom verandert de samenstelling van de atoomkern nooit, maar de samenstelling van de elektronenwolk kan wel veranderen. Er kunnen één of meer elektronen worden afgestaan of opgenomen. Het atoom is dan niet meer neutraal, maar heeft een positieve of negatieve lading gekregen.

Positieve ionen

Een atoom kan één of meer van zijn elektronen uit de buitenste schil afstaan. Dit heeft als gevolg dat de positieve lading in de kern groter is dan de negatieve lading in de elektronenwolk. Het atoom als geheel is dan positief geworden. Een atoom met positieve lading noem je een **positief ion**.

In figuur 2.16 is een natriumatoom getekend. Als dit atoom één elektron verliest, wordt er een ion gevormd met een lading $1+$, zie figuur 2.17. Een magnesiumatoom kan twee elektronen verliezen, er ontstaat dan een ion met een lading $2+$. Je gebruikt als notatie voor een ion het symbool van de atoomsoort. De lading van het ion wordt dan *rechtsboven* het symbool gezet, Mg^{2+} .

Negatieve ionen

Een atoom kan één of meer elektronen in de buitenste schil opnemen. Dan is de negatieve lading in de elektronenwolk groter dan de positieve lading in de kern. Het atoom als geheel is dan negatief geworden. Een atoom met negatieve lading noem je een **negatief ion**.

In figuur 2.18 is een fluoratoom getekend. Als dit atoom één elektron opneemt, ontstaat een ion met een lading $1-$, zie figuur 2.19. Een zwavelatoom bijvoorbeeld kan twee elektronen opnemen, er ontstaat dan een ion met lading $2-$.

Elektrovalentie en het periodiek systeem

Atomen kunnen dus een of meerdere elektronen opnemen of afstaan. Elke atoomsoort heeft meestal maar één bepaalde lading. Zo is de lading van een natriumion altijd $1+$ en de lading van een fluoride-ion $1-$. De lading van een ion hangt af van het aantal elektronen dat een atoom kan opnemen of afstaan. Deze lading is de **elektrovalentie** van een atoom.

Metaalionen zijn altijd positief geladen. Metaalatomen hebben dus positieve elektrovalenties. De naam wordt gegeven door de naam van het metaal, gevolgd door *ion*: Na^+ is natriumion, Mg^{2+} is magnesiumion, enzovoort.

Ionen die ontstaan uit niet-metalen zijn meestal negatief geladen. Atomen van niet-metalen hebben vrijwel altijd negatieve elektrovalenties. De naam van deze ionen eindigt met het achtervoegsel *-ide*: Cl^- is chloride-ion, Br^- is bromide-ion, enzovoort.

atoomsoort		
groep	elektrovalentie	lading ion
1	$1+$	$1+$
2	$2+$	$2+$
13	$3+$	$3+$
15	$3-$	$3-$
16	$2-$	$2-$
17	$1-$	$1-$

2.20 Het verband tussen het groepsnummer, de elektrovalentie en de lading van een atoomsoort

De elektronen in de buitenste schillen die het verst verwijderd zijn van de atoomkern zullen de meeste wisselwerking ondervinden met de buitenste elektronen van een ander atoom. De elektronen in de buitenste schil noem je **valentie-elektronen** en deze zijn betrokken bij het vormen en verbreken van bindingen tussen atomen.

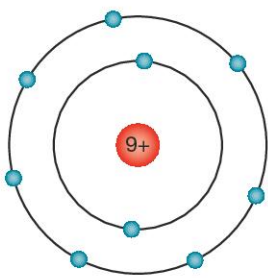
Atoomsoorten zijn in een groep van het periodiek systeem geplaatst vanwege hun gemeenschappelijke chemische eigenschappen. Atoomsoorten hebben deze gemeenschappelijke eigenschappen omdat ze hetzelfde aantal valentie-elektronen hebben.

In Binas tabel 99 kun je met behulp van de elektronenconfiguratie aflezen hoeveel valentie-elektronen een atoomsoort heeft. Atoomsoorten uit dezelfde groep van het periodiek systeem hebben ook dezelfde elektrovalentie. Ze vormen dus ionen met dezelfde lading. Het verband tussen groepsnummer, elektrovalentie en lading van het ion is opgenomen in tabel 2.20. Een atoom uit groep 2, bijvoorbeeld Mg, heeft een elektrovalentie $2+$ en vormt Mg^{2+} -ionen.

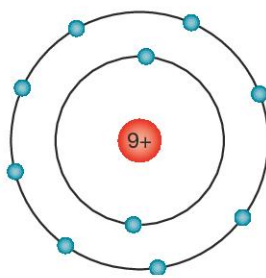
Octetregel

De elementen uit groep 18, de edelgassen, reageren nauwelijks met andere elementen, ze zijn kennelijk heel stabiel. Voor de elementen in groep 18 geldt dat er acht elektronen in de buitenste schil zijn. De uitzondering is helium, omdat de buitenste schil daar met twee elektronen al vol is.

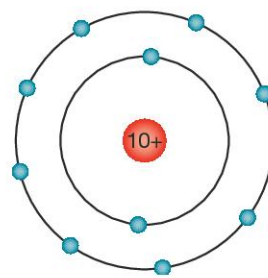
Gilbert Lewis formuleerde in 1916 de octetregel. Volgens de **octetregel** streven atomen door het opnemen, afstaan of delen van elektronen in de buitenste schil naar een achtoomringing, een octet, dus naar acht elektronen. Dit heet ook wel een **edelgasconfiguratie**.



2.18 Fluoratoom met negen elektronen (F)



2.19 Fluoride-ion met tien elektronen (F^-)



2.21 Neonatoom

In figuur 2.17 wordt het natriumion gevormd door het afgeven van een elektron. De elektronenconfiguratie verandert dan van 2, 8, 1 in 2, 8. In figuur 2.19 wordt een fluoride-ion gevormd door het opnemen van een elektron. De elektronenconfiguratie verandert van 2, 7 in 2, 8. Beide ionen hebben nu dezelfde elektronenconfiguratie als neon (figuur 2.21). Heel lang is er gedacht dat edelgassen helemaal niet reageerden met andere stoffen, maar dat is niet helemaal juist. Het is wel zo dat edelgassen, doordat ze een octet in de buitenste schil hebben, nog maar weinig reactief zijn.

Het nut van niets doen

Het uitvinden van de gloeilamp heeft veel tijd gekost. Het idee om vanuit elektriciteit licht te genereren was er al lang, maar men liep tegen enkele praktische problemen op. Het idee achter de gloeilamp is om een metaaldraad onder stroom te zetten. Deze wordt dan heel warm en gaat licht uitzenden. Maar als je een metaaldraad flink verwarmt, dan vliegt hij in brand door de aanwezige zuurstof. Op een gegeven moment plaatste men de draad in een vacuüm gezogen bol, waardoor hij niet meer verbrandde. Later werd de buis gevuld met een edelgas. Dit is omdat edelgassen vrijwel niet reageren (niets doen) en er te weinig zuurstof aanwezig is om de draad te laten verbranden. Tegenwoordig gebruiken we liever andere lampen omdat een gloeilamp niet bepaald efficiënt is. Maar een klein deel van de elektrische energie wordt omgezet in zichtbaar licht. Dat edelgassen vrijwel niet reageren, maakt ze voor meer toepassingen bruikbaar. In 1936 waren zeppelins erg populair. De grootste zeppelin was de Hindenburg. Deze was 245 m lang en 41 m breed. Ter vergelijking: een Boeing 747 is nog geen 71 m lang.

De zeppelin werd zo groot gemaakt omdat men hem wilde vullen met het edelgas helium in plaats van waterstof. Helaas werd de Hindenburg toch gevuld met waterstof omdat Duitsland op dat moment geen helium geleverd kreeg. In 1937 is de Hindenburg vergaan in een grote ramp doordat hij in brand vloog. Tegenwoordig wordt helium of verwarmde lucht in een zeppelin gebruikt.



2.22 Deze zeppelin vloog in 2010 rond boven San Francisco toen de film *Despicable Me* net uitkwam.

● Opdracht C27

Samenvatting

- Een ion ontstaat doordat een atoom één of meer elektronen opneemt of afstaat.
- Een positief ion is een atoom dat elektronen heeft afgestaan.
- Een negatief ion is een atoom dat elektronen heeft opgenomen.
- De elektrovalentie geeft aan hoeveel elektronen een atoom kan opnemen of afstaan. Metaalatomen hebben positieve elektrovalenties. Atomen van niet-metalen hebben vrijwel altijd negatieve elektrovalenties.
- De elektronen in de buitenste schil zijn de valentie-elektronen, ze bepalen de chemische eigenschappen van het atoom. Er is een verband tussen de elektrovalentie van een atoomsoort en de groep van het periodiek systeem waarin deze staat.
- Volgens de octetregel streven atomen door het opnemen, afstaan of delen van elektronen in de buitenste schil naar een achtoomringing, een octet. Dat zijn acht elektronen.

Dit heet ook wel een edelgasconfiguratie.

Opdrachten

A 18

Een atoom kan elektronen afstaan of opnemen.

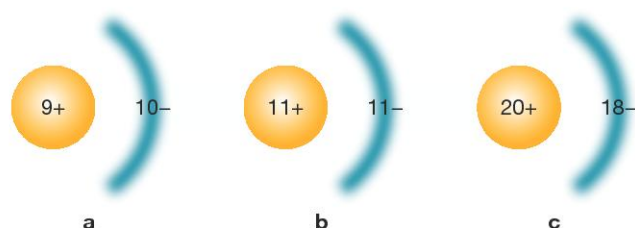
a Hoe heet het geladen deeltje dat hierdoor ontstaat?

Is de lading van het gevormde deeltje positief of negatief, als door het atoom:

- b** elektronen worden opgenomen;
- c** elektronen worden afgestaan?

A 19

Welke van de tekeningen in figuur 2.23 stelt een Na-atom voor, welke een Ca^{2+} -ion en welke een F^{-} -ion?



2.23

A 20

- a** Leg uit of de atoomsoorten uit groep 2 van het periodiek systeem positieve ionen of negatieve ionen vormen.
- b** Dezelfde vraag voor de atoomsoorten uit groep 17.
- c** Dezelfde vraag voor de atoomsoorten ijzer, koper en zuurstof.

B 21

Noteer van elk van de volgende ionen hoeveel protonen en elektronen erin voorkomen.

- a** Be^{2+}
- b** Au^{3+}

B 22

Neem tabel 2.24 over en vul de ontbrekende getallen en symbolen in. Raadpleeg je Binas.

symbool	atoomnummer	aantal protonen	aantal elektronen	aantal neutronen	massagetal
Na^+				12	
		17	18	18	
Ca				20	
O^{2-}				8	
		53	54	74	

2.24

B 23

Geef de notatie voor elk van de volgende ionsoorten. Geef tevens aan hoeveel elektronen het ion bevat.

- a** een eenwaardig positief kaliumion
- b** een tweewaardig negatief sulfide-ion (ontstaan uit een zwavelatoom)

B 24

Beschrijf elk van de onderstaande atoomsoorten volgens het atoommodel van Bohr. Raadpleeg hiervoor Binas tabel 99. Voorspel door gebruik te maken van de octetregel hoeveel elektronen elk van deze atoomsoorten graag wil opnemen of afstaan bij het vormen van een verbinding.

- a** Cl-35
- b** Na-23
- c** Ne-20

B 25

De Sparta ion maakt gebruik van ionen. Deze ionen worden in de accu van de fiets gebruikt om elektrische stroom te leveren. Om elektrische stroom te kunnen geleiden zijn er geladen deeltjes nodig.

- a** Leg op microniveau uit wat het verschil is tussen een atoom en een ion.
- b** Waarom kunnen ionen wel elektrische stroom geleiden en atomen niet?

Elektrische fietsen zijn vaak uitgerust met een Li-ion accu.

- c** Zoek de naam op van de atoomsoort Li.
- d** Wat is de elektrovalentie van Li?
- e** Geef de notatie van een Li-ion.

C 26 ★

Waarom is voor een scheikundige de elektronenwolk van een atoom zoveel interessanter dan de atoomkern?

C 27

Lees de teksten in het kader 'Het nut van niets doen' en beantwoord de volgende vragen.

- a** Welke drie dingen zijn er nodig voor een verbranding?
- b** Waarom zorgt het vullen van de bol van een gloeilamp met een edelgas ervoor dat de gloeidraad niet verbrandt?
- c** Als gloeidraad gebruiken we tegenwoordig vaak wolfram. Waarom denk je dat juist dit metaal wordt gebruikt? Gebruik Binas tabel 40A voor je antwoord.

In 2012 is de gloeilamp verboden en er komt wellicht ook een verbod op halogeenvlampen. De ledlamp is namelijk nog veel zuiniger. Ongeveer 50% van de opgenomen energie wordt omgezet in licht. Dit is bij een gloeilamp slechts 10%. Een groot deel van de energie wordt namelijk omgezet in warmte.

- d** Waarom is het beter voor het milieu om een ledlamp te gebruiken dan een gloeilamp?
- e** Waarom zal het totale energieverbruik bij het gebruik van een ledlamp in plaats van een gloeilamp in de winter minder voordelig zijn dan in de zomer?

Helium is geschikt voor het gebruik in een zeppelin omdat het niet reageert (figuur 2.25).

- f** Aan welke andere eis moet helium voldoen om het te kunnen gebruiken in een zeppelin? Zou het edelgas argon ook gebruikt kunnen worden? Gebruik je Binas.
- g** Waarom kun je verwarmde lucht gebruiken bij een zeppelin?
- h** Verwacht je dat edelgassen vaak ionen vormen?



2.25 Bij een hete luchtballon verwarm je de lucht in de ballon om te stijgen. Het beroemde zelfportret van Van Gogh heeft gediend als voorbeeld voor deze 'Vincent van Gogh Special Shape Ballon'.

Je kunt nu

- uitleggen wat een ion is;
- uitleggen hoe positieve en negatieve ionen ontstaan uit atomen;
- het begrip elektrovalentie toelichten;
- de elektrovalentie van een atoomsoort afleiden uit het periodiek systeem;
- de octetregel uitleggen en toepassen.

Massa's

De massa van een olifant geef je in tonnen en die van een muis in grammen. Bij het gebruik van de eenheid gram krijg je voor de massa van een olifant een onhandig groot getal. De massa-eenheid wordt aangepast aan het toepassingsgebied. Welke massa-eenheid is geschikt voor het uitdrukken van de massa van een atoom?

**Je leert**

- atoommassa's en molecuulmassa's berekenen;
- bij berekeningen werken met significante cijfers.

2.3 Massa's van bouwstenen

Atoommassa

Je lichaamsgewicht druk je uit in kilogram, de massa van een proton of een elektron kun je uiteraard ook uitdrukken in kilogram of in gram. Dat is alleen niet handig, omdat atomen heel klein zijn. Je komt dan op onhandige getallen uit (figuur 2.27a en b). Voor de massa van deze deeltjes gebruik je als eenheid de **atomaire massa-eenheid (u)**. In Binas tabel 5 en 7 vind je dat $1,00 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$. Je drukt de massa van atomen, de **atoommassa**, met symbool A , meestal uit in u.



2.27a Deze leerling weegt $2,71 \cdot 10^{-28} \text{ u}$.

De keuze van de atomaire massa-eenheid is historisch bepaald. Dalton koos in 1803 de massa van een H-atoom als standaard bij de berekening van atoom- en molecuulmassa's. Hij stelde de massa van het H-atoom op 1,0 u en berekende hoeveel keer andere atomen zwaarder zijn. Zo ontstaan relatieve atoommassa's, met symbool A_r . Het zuurstofatoom is 16 keer zwaarder dan het H-atoom, dus de relatieve atoommassa van zuurstof is 16,0 u. Het begrip relatieve atoommassa wordt nog steeds gebruikt. Alleen wordt nu niet meer de massa van één H-atoom als standaard genomen, maar een twaalfde deel van het koolstof-atoom met zes protonen en zes neutronen als kern: C-12. In tabel 2.26 zie je hoe groot de massa van de bouwstenen van atomen is, uitgedrukt in u.

	massa (g)	massa (u)	massa afgerond (u)
proton	$1,672622 \cdot 10^{-24}$	1,007276	1,01
neutron	$1,674927 \cdot 10^{-24}$	1,008665	1,01
elektron	$9,109382 \cdot 10^{-28}$	$5,485799 \cdot 10^{-4}$	$5,49 \cdot 10^{-4}$

2.26 De massa van de bouwstenen van een atoom



2.27b Het babykonijntje weegt ongeveer $5,0 \cdot 10^{-5}$ ton. De eenheid u voor de leerling en de eenheid ton voor het konijntje zijn geen handige eenheden.

Uit de gegevens in tabel 2.26 blijkt dat een proton 1836 keer zo zwaar is als een elektron en een neutron zelfs nog iets zwaarder. De massa van een atoom wordt dus grotendeels bepaald door de massa van de kern. Meestal verwaarloos je de massa van de elektronen en gebruik je als atoommassa de massa van de kern van een atoom.

Je kent nu het begrip massagetal en het begrip atoommassa. Maar let op, dit zijn twee verschillende begrippen. Het **massagetel** is het totaal aantal kerndeeltjes (protonen en neutronen samen), een geheel getal zonder eenheid. De atoommassa wordt uitgedrukt in **atomaire massa-eenheden**. Zo is de massa van een heliumatoom met massagetal 4 gelijk aan 4,002603 u.

Gemiddelde atoommassa

Van magnesium komen er in de natuur drie isotopen voor, namelijk Mg-24, Mg-25 en Mg-26. Deze drie isotopen hebben een verschillend aantal neutronen in de kern en dus verschillende atoommassa's. In tabel 2.28 staat de isotopensamenstelling van magnesium zoals ze in de natuur voorkomt.

isotoop	percentage	atoommassa (u)
Mg-24	78,99	23,98504
Mg-25	10,00	24,98584
Mg-26	11,01	25,98259

2.28 Isotopensamenstelling van natuurlijk magnesium

De gemiddelde atoommassa van een atoomsoort wordt berekend uit de isotopensamenstelling in de natuur. In Binas tabel 99 staan de afgeronde gemiddelde atoommassa's van alle atoomsoorten. Van magnesium is de gemiddelde atoommassa 24,31 u. Dat kun je ook zelf berekenen. Je moet dan bij de berekening van deze gemiddelde atoommassa rekening houden met twee factoren:

- 1 de massa's van de afzonderlijke magnesiumisotopen;
- 2 de percentages waarin de verschillende isotopen in het isotopenmengsel voorkomen.

Je spreekt wel over het gewogen gemiddelde. Je rapportcijfer voor een bepaald vak is ook een gewogen gemiddelde, zie figuur 2.29. Rekenvoorbeeld 1 laat zien hoe je de gemiddelde massa van een magnesiumatoom kunt berekenen.

proefwerken	so's
6,7	7,2
8,4	3,0
	5,8

2.29 Als de proefwerken drie keer meetellen en de schriftelijke overhoringen één keer, is het gemiddelde rapportcijfer een 6,8.

Rekenvoorbeeld 1

Bereken de gemiddelde massa van één magnesiumatoom.

De isotoop Mg-24 weegt bij de berekening zwaarder mee, omdat deze isotoop in de natuur veel vaker voorkomt. Met behulp van tabel 2.28 kun je nu de gemiddelde atoommassa van magnesium berekenen. De massa van 100 Mg-atomen bedraagt:

$$\begin{array}{rcl}
 78,99 \times 23,98504 & = & 1894,58 \text{ u} \\
 10,00 \times 24,98584 & = & 249,858 \text{ u} \\
 11,01 \times 25,98259 & = & \underline{286,068 \text{ u}} \quad + \\
 & & 2430,51 \text{ u}
 \end{array}$$

100 Mg-atomen hebben een massa van 2430,51 u. De afgeronde gemiddelde massa van een Mg-atoom is: $\frac{2430,51 \text{ u}}{100} = 24,31 \text{ u}$.

Ionmassa en molecuulmassa

Een ion ontstaat doordat een atoom elektronen afstaat of opneemt. De massa van deze elektronen mag je verwaarlozen. Een ion heeft dus dezelfde massa als het atoom waaruit het is ontstaan. Met behulp van de (gemiddelde) atoommassa's kun je uitrekenen wat de massa van een molecuul is. Maar je moet dan wel weten uit welke atomen het molecuul bestaat. Je moet de molecuulformule kennen. Als symbool voor de **molecuulmassa** wordt vaak het symbool M_r gebruikt.

Afronden

Bij het optellen en aftrekken van meetwaarden rond je af op het minste aantal decimalen.

Voorbeeld:

$$5,631 + 2,6 = 8,2$$

2.30

Rekenen met meet- en telwaarden

In de scheikunde reken je met twee soorten getallen.

- 1 Getallen die zijn ontstaan door meting, de **meetwaarden**. Meetwaarden zijn getallen met een bepaalde nauwkeurigheid. Een meetwaarde van 1,20 m is nauwkeuriger dan een meetwaarde van 1,2 m. Bij een meetwaarde van 1,20 m weet je zeker dat het niet 1,21 m is, bij een meetwaarde van 1,2 m kan het bijvoorbeeld ook 1,18 m of 1,22 m zijn.
- 2 Getallen die een hoeveelheid aangeven in de vorm van een aantal, de **telwaarden**. Telwaarden zijn exacte waarden, ze hebben een oneindige nauwkeurigheid. Deze spelen geen rol in de nauwkeurigheid van je antwoord bij een berekening.

Telwaarden optellen is eenvoudig omdat ze geen nauwkeurigheid hebben. Dan is de som van 2,0 en 0,823 gelijk aan 2,823. Maar als dat meetwaarden zijn, mag je dat zo niet doen. Als je meetwaarden bij elkaar optelt, moet je rekening houden met de nauwkeurigheid. Je rondt af op het kleinste aantal decimalen achter de komma. In dit geval is $2,0 + 0,823 = 2,8$. Dat is dus anders dan bij wiskunde.

Bij het berekenen van molecuulmassa's tel je de atoommassa's bij elkaar op. Atoommassa's zijn meetwaarden, zodat je bij het berekenen van de molecuulmassa de regels in het kader van figuur 2.30 moet gebruiken.

Rekenvoorbeeld 2

Bereken met Binas tabel 99 de molecuulmassa van waterstofperoxide, H_2O_2 .

	massa (u)
H	1,008
O	16,00
H_2O_2	$2 \times 1,008 + 2 \times 16,00 = 34,02$

De minst nauwkeurige atoommassa is in twee decimalen, dus je antwoord moet ook in twee decimalen.

Rekenvoorbeeld 3

Bereken met de atoommassa's de massa van een deeltje $\text{Ba}(\text{OH})_2$ (figuur 2.31).

	massa (u)
Ba	137,3
O	16,00
H	1,008
$\text{Ba}(\text{OH})_2$	$137,3 + 2 \times 16,00 + 2 \times 1,008 = 171,3$

Gelet op de decimalen van de atoommassa's, heeft dit antwoord één decimaal.



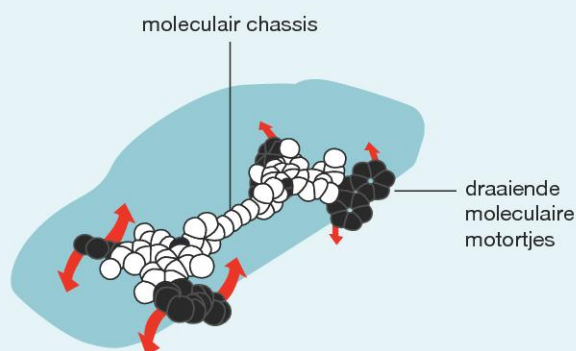
2.31 Als je een klein beetje van een stof die barium bevat in de vlam houdt, krijg je een groene vlam.

Klein, kleiner, kleinst

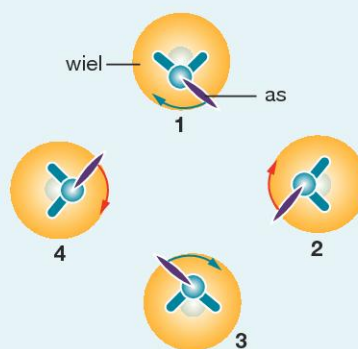
Op 5 oktober 2016 kreeg Ben Feringa, hoogleraar organische chemie in Groningen, een Nobelprijs voor zijn onderzoek naar nanomachines. Dat zijn de kleinste machines ter wereld: één molecuul groot. Eén van de machines die Feringa heeft ontwikkeld is een moleculair autootje. Het molecuul dat hij gebruikt bestaat uit een moleculair chassis waaraan vier wielen zitten. De wielen zijn vlakke moleculaire groepen, die met een dubbele binding, de as, aan het moleculaire chassis zitten. In figuur 2.32a zie je een modelvoorstelling van de kleinste fourwheeldrive ter wereld. Omdat de as een dubbele binding is, is deze draai in principe niet mogelijk. Maar door er ultraviolet licht op te laten vallen verzwakt de binding. Onder invloed van het uv-licht draait het wiel 90°. Onder invloed van warmte draait het weer 90°. Na nog een lichtpuls en een warmtepuls is de draai compleet. In figuur 2.32b is dat schematisch weergegeven. Het wiel is hier het gele deel

en de as is de dubbele binding. De blauwe pijlen geven de lichtpuls aan en de rode pijlen de warmtepuls. De eerste motoren waren nog erg traag, het duurde een uur om een volledige omwenteling te maken. Maar de huidige motoren maken al miljoenen rotaties per seconde.

Scheikundigen in de Verenigde Staten hebben een duikbootje te water gelaten van ook maar één molecuul waarin het door licht aangedreven motortje uit Groningen is verwerkt. Het molecuul bestaat uit het motortje en twee lange zijtakken die als drijfarmen dienen. Ze lieten het motortje een nano-onderzeeër aansturen die door een vloeistof kan varen. Praktische toepassingen zijn er nog niet, de grote vraag is hoe je van zo'n autootje of duikbootje op microniveau naar grotere systemen kunt komen op wellicht macroniveau. Maar de experimenten van Feringa zijn de allereerste stapjes op weg naar de toekomst.



2.32a De kleinste fourwheeldrive ter wereld van Ben Feringa



2.32b Schematische voorstelling van het draaien van het moleculaire wiel

● Opdracht B34

Samenvatting

- Het symbool van de relatieve atoommassa is A_r , de eenheid is de atomaire massa-eenheid (u).
- De massa van een proton is gelijk aan de massa van een neutron en is 1,01 u. De massa van een elektron is verwaarloosbaar. Hierdoor is de ionmassa gelijk aan de atoommassa.
- Als van een atoom meerdere isotopen in de natuur voorkomen, spreek je van de gemiddelde atoommassa van dit atoom.
- De gemiddelde atoommassa wordt bepaald uit de atoommassa's van de isotopen en hun voorkomen in de natuur.
- De molecuulmassa (M_r) is gelijk aan de som van de (gemiddelde) atoommassa's van alle atomen die in het molecuul voorkomen.
- Bij optellen en aftrekken van meetwaarden heeft de uitkomst evenveel decimalen als de meetwaarde met het kleinste aantal decimalen. Telwaarden hebben geen invloed op de nauwkeurigheid van het antwoord.

Opdrachten

A 28 

Laat met een berekening zien dat de massa van een proton 1836 keer groter is dan die van een elektron. Gebruik de gegevens uit tabel 2.26.

A 29

Leg uit of atoommassa's meetwaarden zijn of telwaarden. En zijn massagetalen meetwaarden of telwaarden?

B 30

Geef de antwoorden op de volgende berekeningen met het juiste aantal cijfers achter de komma en gebruik de wetenschappelijke notatie.

- a** $86,3 + 1,42 - 0,09 =$
- b** $5502,3 + 24 + 0,01 =$
- c** $0,0023 + 0,00054 - 0,00121 =$

B 31

Bereken de massa van elk van de volgende deeltjes in u. Gebruik Binas tabel 99.

- a** ammoniak, NH_3
- b** zwavelzuur, H_2SO_4
- c** broom, Br_2
- d** OH^-
- e** Fe^{3+}

B 32

Een hoeveelheid ammoniak (NH_3) bevat $3,63 \cdot 10^{24}$ waterstofatomen.

- a** Bereken hoeveel stikstofatomen aanwezig zijn in die hoeveelheid ammoniak.
- b** Bereken de massa van die hoeveelheid stikstof in u. Gebruik Binas tabel 99.
- c** Bereken de totale massa van de stikstofatomen in gram.

B 33

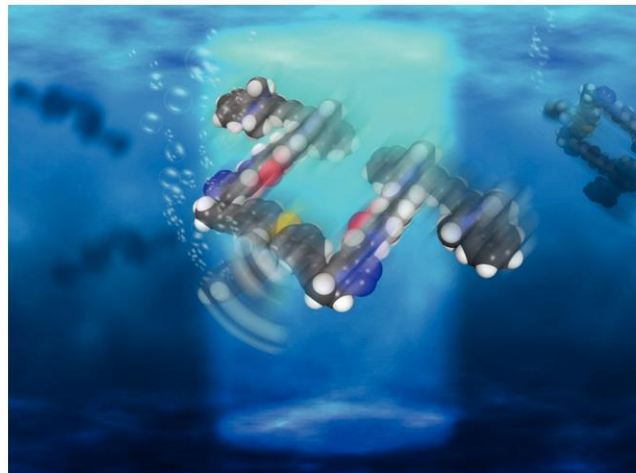
De molecuulmassa, M_r , van het molecuul H_2XO_4 is 145,0 u. X is een onbekende atoomsoort.

- a** Bereken de atoommassa, A_r , van de atoomsoort X.
- b** Wat is de naam van de atoomsoort X?

B 34

Lees de tekst in het kader 'Klein, kleiner, kleinst' en beantwoord de volgende vraag. Chemici uit de Verenigde Staten hebben een duikbootje te water gelaten ter grootte van één molecuul, zie figuur 2.33.

Het molecuul bestaat uit 240 atomen. Stel dat de molecuulformule van dit molecuul $\text{C}_{103}\text{H}_{112}\text{F}_8\text{N}_{12}\text{O}_2\text{P}_2\text{S}_1$ is. Bereken de molecuulmassa van dit molecuul.



2.33

B 35

Van waterstof zijn drie isotopen bekend: H-1, H-2 en H-3. H-2 noem je meestal deuterium, dat wordt aangeduid met het symbool D.

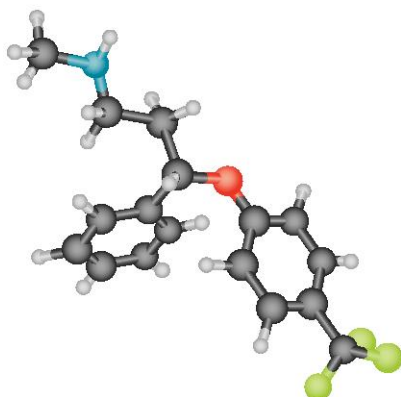
- a** Bereken de molecuulmassa's van H_2O en D_2O . Zie voor de exacte massa van de isotoop H-2 Binas tabel 25.
- b** Bereken hoeveel maal zo groot de massa van een D_2O -molecuul is als die van een H_2O -molecuul.
- c** Leg uit of een D_2O -molecuul groter is dan een H_2O -molecuul of dat beide moleculen evenveel ruimte innemen.
- d** Zoek op wat de dichtheid van 'gewoon water' is bij 293 K. Gebruik Binas tabel 11. Bereken vervolgens de dichtheid van zuiver D_2O bij deze temperatuur.
- e** D_2O wordt ook wel 'zwaar water' genoemd. Verklaar de term 'zwaar water'.

B 36

- a** Zoek op welke isotopen van boor in de natuur voorkomen.
- b** Hoe groot is het massagetal van elk van deze isotopen?
- c** Welke overeenkomsten in atoombouw hebben de boor-isotopen?
- d** Welk verschil in atoombouw hebben de boorisotopen?
- e** Bereken de gemiddelde atoommassa van het element boor zoals het in de natuur voorkomt. Vergelijk je uitkomst met de waarde uit Binas tabel 99.

C 37

Fluoxetine is een stof die op de markt is onder de naam Prozac. Het wordt gebruikt als antidepressivum. In figuur 2.34 zie je een modelvoorstelling van Fluoxetine. Noteer de molecuulformule en bereken de molecuulmassa. Rood = O, zwart/grijs = C, blauw = N, geelgroen = F en wit = H. Zet de atoomsoorten in alfabetische volgorde.



2.34

C 38

Natuurlijk koper bestaat uit twee isotopen: Cu-63 en Cu-65. De gemiddelde atoommassa van koper bedraagt 63,55 u, zie Binas tabel 99.

- a** Zoek in Binas tabel 25 de nauwkeurige massa op van elk van de koperisotopen.

Stel, je hebt duizend koperatomen. Deze duizend koperatomen bestaan voor een deel uit Cu-63 en voor het resterende deel uit Cu-65. Als je het aantal Cu-63 isotopen gelijkstelt aan x , dan is het aantal Cu-65 isotopen gelijk aan $1000 - x$.

- b** Bereken de totale massa van die duizend koperatomen. Gebruik de nauwkeurige atoommassa uit onderdeel a. Je antwoord is een vergelijking met daarin x .

De gemiddelde atoommassa is als volgt gedefinieerd:

$$\text{gemiddelde atoommassa} = \frac{\text{totale massa van de atomen}}{\text{aantal atomen}}$$

- c** Als je de totale massa van de duizend koperatomen invult, evenals de gemiddelde atoommassa en het aantal koperatomen, krijg je een vergelijking met één onbekende. Los deze vergelijking op.
- d** Bereken het percentage Cu-63 in natuurlijk koper.
- e** Vergelijk je antwoord met het gegeven in Binas tabel 25. Stemmen beide waarden overeen?

C 39

De huidige beste schatting van het gewicht van de aarde is 5,972 miljard maal een biljoen ton.

- a** Zet deze waarde om in de wetenschappelijke notatie en gebruik als eenheid kg.

Het is toch een bijzondere gedachte dat zoiets enorm groots als de wereldbol uiteindelijk ook bestaat uit kleine atomen. Het is erg lastig om precies te bepalen hoeveel van elke atoomsoort er in de aarde aanwezig is. Je kunt geen gat boren dat diep genoeg is. Je werkt dus met schattingen. Volgens de huidige schattingen bestaat de massa van de aarde voor 35 massa-% uit ijzer.

- b** Hoeveel kg ijzer is er dan aanwezig in de aardbol? Geef je antwoord in de wetenschappelijke notatie en rond af op één decimaal.
- c** Bereken hoeveel u ijzer dat is. Gebruik Binas tabel 7.
- d** Bereken het aantal ijzeratomen dat in de aardbol aanwezig is.
- e** Stel dat de aarde van puur goud zou zijn en de massa is nog steeds gelijk aan 5,972 miljard maal een biljoen ton. Uit hoeveel goudatomen zou de aarde dan bestaan?



2.35

Je kunt nu

- de atomaire massa-eenheid gebruiken;
- de gemiddelde atoommassa berekenen uit de in de natuur voorkomende isotopen;
- de gemiddelde molecuulmassa berekenen;
- het verschil uitleggen tussen meetwaarden en telwaarden;
- de rekenregel gebruiken die voor optellen en aftrekken geldt.

Kraaltjes

Er zitten heel veel kraaltjes in een doosje. Zo veel dat je ze waarschijnlijk nooit gaat tellen. Als je kraaltjes koopt, dan koop je ze per doosje. Bij het afrekenen tel je het aantal doosjes dat je hebt. Er zitten ook heel veel moleculen in een bepaalde hoeveelheid stof. Welke eenheid kun je daar het beste voor gebruiken?



Je leert

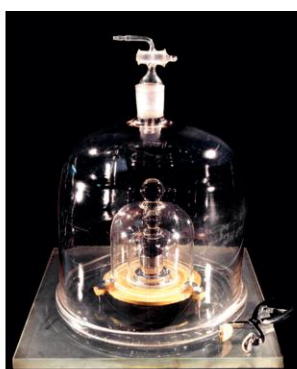
- grootheden en eenheden kennen en eenheden omrekenen;
- rekenen met de eenheid mol.

2.4 De mol

Grootheden en eenheden

Stoffen hebben massa en een volume. Ze hebben een dichtheid en ook een temperatuur. Al deze zaken kun je meten en uitdrukken in een bepaald getal. Een **grootheid** is een gegeven dat meetbaar is. Als je zo'n meetbaar gegeven in een getal uitdrukt, moet achter het getal de **eenheid** staan die bij dit getal hoort.

Het zou erg lastig zijn als elk land zijn eigen eenheden zou hanteren. Daarom is er een **internationaal stelsel van eenheden (SI)**. In dit stelsel zijn basisgrootheden geformuleerd met daarbij behorende grondeenheden, zie tabel 2.36.



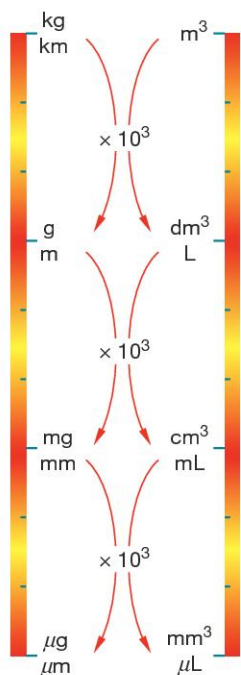
2.37 In Sèvres in Parijs wordt de standaardkilogram bewaard. Alle gewichten moeten hierop worden geijkt.

Naast grondeenheden bestaan er ook **afgeleide eenheden**. Een voorbeeld daarvan is de eenheid van volume. De **SI-eenheid** voor volume is kubieke meter (m^3). De meter (m) is een grondeenheid; de kubieke meter is daarvan afgeleid ($\text{m} \times \text{m} \times \text{m} = \text{m}^3$). Sommige eenheden die niet in het SI zijn opgenomen, zijn wel blijvend erkend. Een voorbeeld zijn de liter (L) en de milliliter (mL) als eenheid voor volume in plaats van dm^3 en cm^3 . De eenheid L en mL gebruik je vooral bij vloeistoffen en dm^3 en cm^3 meestal bij gassen.

basisgrootheid		grondeenheid	
naam	symbool	naam	symbool
lengte	l	meter	m
massa	m	kilogram	kg
tijd	t	seconde	s
temperatuur	T	kelvin	K
hoeveelheid stof	n	mol	mol

2.36 Een aantal basisgrootheden, grondeenheden en symbolen in het SI

Je mag ook voorvoegsels gebruiken om de eenheid te vergroten of te verkleinen. Als eenheid voor massa kun je dan bijvoorbeeld milligram ($= 10^{-3}$ gram) gebruiken. Grootheden, eenheden en vermenigvuldigingsfactoren vind je in Binas tabellen 2, 3A en 4.



2.39 Omrekenen met vermenigvuldigingsfactoren

voorvoegsel	symbool	factor	voorbeeld
mega	M	10^6	1 MW = 10^6 W
kilo	k	10^3	1 km = 10^3 m
milli	m	10^{-3}	1 ml = 10^{-3} L
micro	µ	10^{-6}	1 µL = 10^{-6} L
nano	n	10^{-9}	1 nm = 10^{-9} m

2.38 Voorvoegsels van eenheden

In de scheikunde gebruik je regelmatig vermenigvuldigingsfactoren, zie figuur 2.39. Hieronder volgt een rekenvoorbeeld over omrekenen van factoren.

Rekenvoorbeeld 1

- Hoeveel millimeter is 3,0 km?
- Hoeveel dm^3 komt overeen met 15 m^3 ?
- Hoeveel kilogram komt overeen met 12,5 mg?

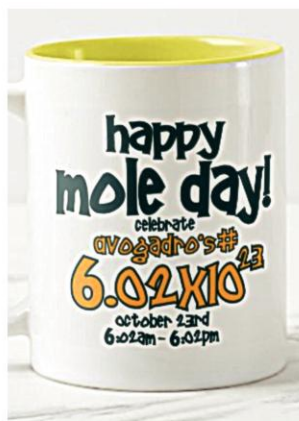
- Van km naar m betekent: vermenigvuldigen met 10^3 . Van m naar mm is ook vermenigvuldigen met 10^3 . Dat wordt:
 $3,0 \text{ km} = 3,0 \times 10^3 \text{ m} = 3,0 \times 10^3 \times 10^3 \text{ mm} = 3,0 \cdot 10^{3+3} \text{ mm} = 3,0 \cdot 10^6 \text{ mm}$
- Van m^3 naar dm^3 is vermenigvuldigen met 10^3 . Let erop dat je een antwoord altijd moet geven in de wetenschappelijke notatie, dat wil zeggen als een getal tussen 1 en 10 gevolgd door een macht van 10.
 $15 \text{ m}^3 = 15 \times 10^3 \text{ dm}^3 = 1,5 \cdot 10^4 \text{ dm}^3$
- Van mg naar g betekent vermenigvuldigen met 10^{-3} . Van g naar kg betekent vermenigvuldigen met 10^{-3} . Hier wordt het dan:
 $12,5 \text{ mg} = 12,5 \times 10^{-3} \text{ g} = 12,5 \times 10^{-3} \times 10^{-3} \text{ kg} = 12,5 \times 10^{-6} \text{ kg} = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$

De mol

Als je een paar atomen of moleculen hebt, kun je die niet zien, niet ruiken en ook niet wegen. Voordat je bijvoorbeeld de stof ammoniak ruikt, heb je al miljarden ammoniakmoleculen moeten inademen. Als je praat over tastbare hoeveelheden van een stof, het **macroniveau**, gaat het om enorm grote aantallen atomen of moleculen. Chemici gebruiken daarom een nieuwe grootheid, de **hoeveelheid stof** met als symbool **n** en als eenheid de **mol**. Deze nieuwe grootheid is ingevoerd omdat het gemakkelijk is om een hoeveelheid stof uit te drukken in een eenheid, waaraan je onmiddellijk kunt zien hoeveel deeltjes erin zitten. Afgesproken is dat één mol stof een pakketje van $6,02214 \cdot 10^{23}$ deeltjes is. Je rondt dit meestal af op $6,02 \cdot 10^{23}$. Dit getal noem je het **getal van Avogadro**, **N_A** .

Waarom zijn aantallen zo belangrijk bij scheikunde?

Reacties geef je weer met reactievergelijkingen. De coëfficiënten in reactievergelijkingen geven de aantallen deeltjes aan die met elkaar reageren en de aantallen deeltjes die ontstaan. Voor het rekenen aan reacties is het handig om een eenheid te hebben die een aantal deeltjes omvat.



2.40 In Engeland zijn dit soort scheikudekoffiebekers te koop.

Als binnen de scheikunde wordt gerekend in aantallen deeltjes, waarom moet dat dan in 'pakketjes' van $6,02 \cdot 10^{23}$ deeltjes?

Om dit te begrijpen gebruik je de massa-eenheid u. Hiervoor geldt: $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g}$. Je kunt dit ook omdraaien, met andere woorden, je kunt ook aangeven hoeveel u overeenkomt met 1 gram:

$$1 \text{ g} = \frac{1 \text{ u}}{1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g}} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ u}$$

Dit getal is precies gelijk aan het aantal deeltjes dat 1 mol stof bevat. Het getal $6,02 \cdot 10^{23}$ is dus niets anders dan de omrekeningsfactor van de massa-eenheid u naar de massa-eenheid gram. De keuze voor $6,02 \cdot 10^{23}$ als aantal deeltjes in een mol stof heeft een groot voordeel zoals uit het volgende rekenvoorbeeld blijkt.



2.41 Nog lang geen mol dominostenen

Rekenvoorbeeld 2

Wat is de massa van één mol zuurstof, O_2 ?

De massa van één molecuul O_2 is $2 \times 16,00 \text{ u} = 32,00 \text{ u}$. Eén mol O_2 -moleculen heeft een massa van $6,02 \cdot 10^{23} \text{ moleculen} \times 32,00 \text{ u} = 1,93 \cdot 10^{25} \text{ u}$.

massa (u)	1,00	$1,93 \cdot 10^{25}$
massa (g)	$1,66 \cdot 10^{-24}$	x

$$x = \frac{1,93 \cdot 10^{25} \text{ u} \times 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g}}{1,00 \text{ u}} = 32,00 \text{ g}$$

Uitgedrukt in gram wordt de massa van 1 mol O_2 32,00 g. De massa van één molecuul O_2 is 32,00 u. De massa van één mol O_2 (uitgedrukt in gram) is in getalwaarde gelijk aan de massa van een molecuul O_2 (uitgedrukt in u).

Voor elke stof kun je de massa van een molecuul uitrekenen in u. Je weet dan ook wat de massa van een mol van die stof in gram is. Deze is namelijk in getalwaarde gelijk. De massa van een mol stof noem je de **molaire massa** met het symbool M en eenheid g mol^{-1} .

Van mol naar deeltjes en van mol naar gram

Het spreekt vanzelf dat de massa van één mol deeltjes afhangt van de massa van één deeltje en dus van de samenstelling van het deeltje. Een mol waterstofmoleculen heeft een veel kleinere massa dan een mol glucosemoleculen. Het omrekenen van mol naar deeltjes en van mol naar gram kun je samenvatten in een rekenschema, zie figuur 2.42. Bij de pijlen staat wat je moet doen om van het ene blok naar het andere blok te gaan.



2.42 Rekenschema

In de derde klas heb je een evenredigheidstabel gebruikt bij het rekenen met massaverhoudingen. Dat kan hier ook. Je maakt een eenvoudige evenredigheidstabel, in deze tabel staan onder elkaar mol en gram. Door gebruik te maken van kruisproducten kun je het antwoord vinden. Hieronder volgen twee rekenvoorbeelden, voorbeeld 3 toont het gebruik van kruisproducten en voorbeeld 4 het rekenschema.



2.43 Hoe groot moet het strand zijn om één mol zandkorrels te bevatten? Dit reken je uit in opdracht B51.

Rekenvoorbeeld 3

Hoeveel gram water komt overeen met 3,0 mol van deze stof?

hoeveelheid stof (mol)	1,00	3,0
massa (g)	$2 \times 1,008 + 1 \times 16,00 = 18,02$	x

$$x = \frac{3,0 \text{ mol} \times 18,02 \text{ g}}{1,00 \text{ mol}} = 54 \text{ g H}_2\text{O}$$

Rekenvoorbeeld 4

Uit hoeveel moleculen bestaat 50 mg vitamine C ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$)?

Je moet eerst uitrekenen hoeveel mol 50 mg vitamine C is. Van mg maak je gram en je rekent de molaire massa van vitamine C uit. In het rekenschema in figuur 2.42 zie je dat om van het blok 'massa' naar het blok 'mol' te gaan, je moet delen door de molaire massa.

50 mg vitamine C is $5,0 \cdot 10^{-2} \text{ g}$ en de molaire massa van vitamine C is $176,12 \text{ g mol}^{-1}$.

$$50 \text{ mg vitamine C} \triangleq \frac{5,0 \cdot 10^{-2} \text{ g}}{176,12 \text{ g mol}^{-1}} = 2,84 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

Je weet nu hoeveel mol vitamine C je hebt. Nu moet je dit omzetten naar hoeveelheid deeltjes. In het rekenschema zie je dat je moet vermenigvuldigen met het getal van Avogadro.

$2,84 \cdot 10^{-4} \text{ mol vitamine C} \triangleq 2,84 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \times 6,02 \cdot 10^{23} \text{ moleculen} = 1,7 \cdot 10^{20} \text{ moleculen vitamine C}$.

Samenvatting

- Iets wat je kunt meten, noem je een grootte. Deze wordt weergegeven door een bepaalde getalwaarde, gevolgd door de eenheid die bij de betreffende grootte hoort.
- Een mol (n) is een hoeveelheid stof, uitgedrukt in een aantal deeltjes. Een mol is een pakketje van $6,02214 \cdot 10^{23}$ deeltjes. Dit getal noem je het getal van Avogadro (N_A).
- Het getal $6,02 \cdot 10^{23}$ is de omrekeningsfactor van de massa-eenheid u naar de massa-eenheid gram. Eén mol deeltjes heeft een massa (uitgedrukt in gram), die in getalwaarde gelijk is aan de massa van één deeltje (uitgedrukt in u).
- De molaire massa (M) is de massa van een mol stof.
- De massa van een hoeveelheid stof kun je omrekenen in mol of in een aantal deeltjes met behulp van een evenredigheidstabel of met het rekenschema.

Opdrachten

A 40 

Reken onderstaande eenheden om naar de grondeenheid en schrijf deze in de wetenschappelijke notatie.

- a** 41,1 km
- b** 0,0535 ML
- c** $6,38 \cdot 10^3$ mg

A 41

Vul de ontbrekende getallen in.

- a** 4,3 g = ... kg
- b** $2 \cdot 10^3$ m = ... km
- c** $4 \cdot 10^6$ kg = ... mg
- d** $5,7 \cdot 10^3$ g = ... kg
- e** 1,12 cm = ... mm
- f** 4,9 mL = ... L
- g** $7,1 \cdot 10^{-3}$ L = ... mL
- h** $6,1 \cdot 10^{-9}$ g = ... μ g
- i** $4,5 \text{ cm}^3$ = ... mL
- j** 123 cm = ... m
- k** 89 μ g = ... g
- l** 125 mL = ... L

B 42

Bereken hoeveel gram overeenkomt met:

- a** 2,7 mol zuurstof
- b** 2,7 mol butaan (C_4H_{10})
- c** 1,22 mmol jood
- d** $3,05 \cdot 10^{-4}$ mol ammoniak

B 43

Bereken met het rekenschema in figuur 2.42 hoeveel mol overeenkomt met:

- a** $4,6 \cdot 10^2$ g stikstof
- b** 8,12 g distikstofmono-oxide
- c** $1,0 \cdot 10^{-2}$ g suiker ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)
- d** 1,2 μ g argon

B 44 

De massa van een gemiddeld ei is 45 gram. Bereken de massa van een mol eieren. Geef je antwoord in de wetenschappelijke notatie en in één decimaal.

B 45

Hoeveelheden van opgeloste stoffen worden vaak weergegeven als massa per volume-eenheid. Bijvoorbeeld: de concentratie aan cholesterol in normaal menselijk bloed is ongeveer 200 mg per 100 mL.

Schrijf deze hoeveelheid op in de volgende eenheden:

- a** mg L^{-1}
- b** $\mu\text{g mL}^{-1}$
- c** g L^{-1}

B 46 

Een korreltje koolstof ter grootte van een speldenknop bestaat uit 10^{19} atomen. De doorsnee van een koolstofatoom is $1,5 \cdot 10^{-10}$ m. De omtrek van de aarde bij de evenaar is 40 075 km. Als je de atomen uit het korreltje koolstof allemaal achter elkaar zou leggen, hoeveel keer zou je ze dan om de aarde heen moeten leggen?

B 47

Bereken hoeveel mol zuurstofatomen voorkomen in:

- a** 5,0 mol waterstofperoxide (H_2O_2)
- b** 20 g zuurstof
- c** 20 g ozon (O_3)
- d** 20 g alcohol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$)

B 48

Bereken met het rekenschema in figuur 2.42 hoeveel moleculen aanwezig zijn in:

- a** 4,2 mol koolstofdioxide
- b** 4,2 mol heptaan (C_7H_{16})
- c** 4,2 g witte fosfor (P_4)
- d** 1,4 mg waterstofsulfide

B 49

Bereken wat de molecuulmassa van chloroform is, als 0,0275 mol een massa heeft van 3,28 gram. Geef je antwoord zonder decimalen.

B 50

Goud wordt verkocht per troy ounce. Een troy ounce is het standaardgewicht aan goud dat wordt gebruikt op de internationale markt en dat 31,1035 g weegt, genoemd naar de oude Franse stad Troyes. Een baar goud is ongeveer 400 troy ounce en heeft een waarde van 395 000 euro.

- a** Bereken de massa in kg van een baar goud.
- b** Bereken hoeveel mol goud een baar bevat.

Een gouden armband weegt 47 g.

- c** Bereken de prijs van het goud in deze armband als hij 82 massa-% goud bevat.

B 51

In figuur 2.43 zie je een stuk strand. Op een lengte van 1 cm passen ongeveer twintig zandkorrels naast elkaar.

a Bereken hoeveel zandkorrels er passen in 1 cm^3 .

Stel, er ligt zand op een strand van 100 m lang, 10 m breed en 2,0 m diep.

b Bereken hoeveel zandkorrels er in dit stuk zand zitten.

c Bereken hoeveel m^2 strand je nodig hebt voor een mol zandkorrels, als het zand 2,0 m diep steekt.

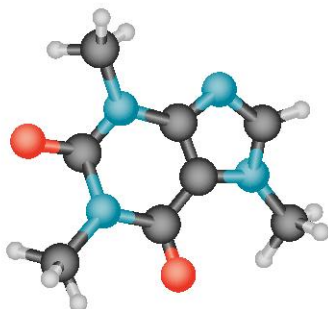
C 52

In figuur 2.44 zie je een molecuulmodel van cafeïne. Gemiddeld zit in een kop koffie ongeveer 125 mg cafeïne.

a Noteer de molecuulformule van cafeïne.

b Bereken hoeveel mol cafeïne in een kop koffie zit.

c Bereken hoeveel moleculen cafeïne dat zijn.



2.44

C 53 ★

In de homeopathie gaat men ervan uit dat een stof die na toediening dezelfde symptomen als de kwaal oplevert in sterk verdunde vorm deze kwaal kan genezen.

Er wordt vaak flink verdund. Om dit verdunnen weer te geven worden vaak codes gebruikt. Zo betekent de code C1 dat er een verdunning is gemaakt van 1 op 100. Dat is 1 deel van de stof op 100 delen water. C2 betekent 1 op 100×100 , ofwel 100^2 . Regelmatig gaat men door tot C30.

a Bereken de verhouding stof : water bij een verdunning C30.

Een suikerklontje weegt meestal rond de 4,4 g. Gebruik voor suiker de molecuulformule $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$.

b Bereken hoeveel mol suiker een suikerklontje bevat.

c Bereken hoeveel suikermoleculen in het klontje aanwezig zijn.

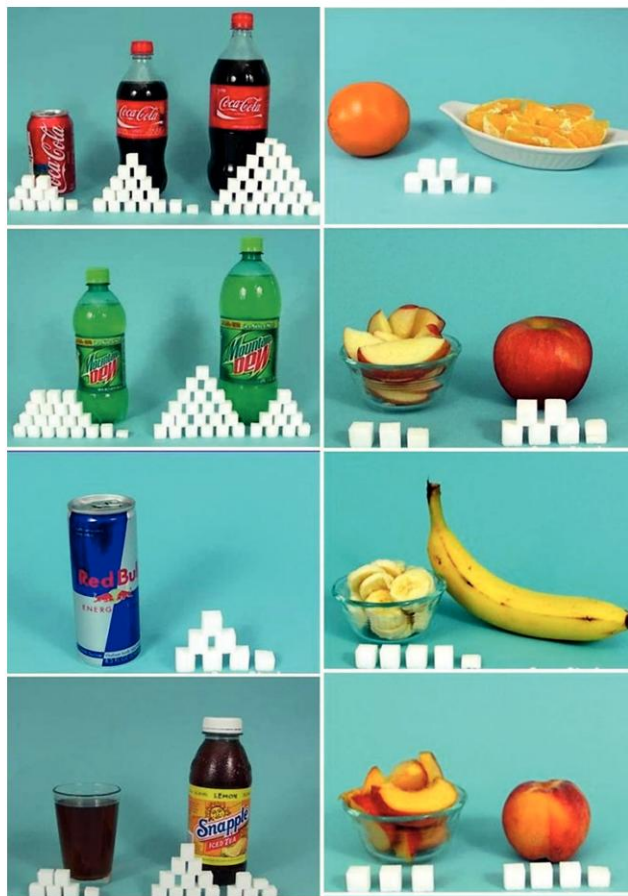
Ga ervan uit dat er een C30-verdunning wordt gemaakt met een suikerklontje.

d Bereken hoeveel watermoleculen je dan nodig hebt.

e Bereken hoeveel gram water dat is.

f Verdunnen met zo veel water is natuurlijk niet mogelijk. Hoe denk je dat dit wordt uitgevoerd?

g Stel dat je een slokje van een C30-verdunning neemt. Denk je dat je dan suikermoleculen binnenkrijgt? Geef een toelichting bij je antwoord.



2.45 Er zit een behoorlijke hoeveelheid suiker in veel voedingsmiddelen.

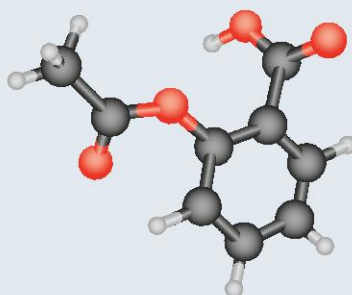
Je kunt nu

- op de juiste manier grondeenheden omrekenen in afgeleide eenheden;
- uitleggen wat het getal van Avogadro is;
- uitleggen welke functie de eenheid mol heeft in de scheikunde en er eenvoudige berekeningen mee uitvoeren;
- uitleggen wat de molaire massa is.

Afsluiting

Oefenopdrachten

- 1 Welk element stelt X voor in de volgende ionen?
 - a X^{2+} met 36 elektronen
 - b X^- met 36 elektronen
- 2 In figuur 2.46 zie je een molecuulmodel van aspirine.
 - a Noteer de molecuulformule van aspirine.
 - b Bereken met het rekenschema in figuur 2.42 hoeveel mol aspirine in een tablet met 500 mg aspirine aanwezig is.
 - c Bereken hoeveel moleculen dat zijn.



2.46

- 3 Laat aan de hand van een berekening zien dat 1,0 kg water niet uit evenveel moleculen bestaat als 1,0 kg alcohol, C_2H_6O .
- 4 Bereken de molecuulmassa van cholesterol als 0,5731 mol een massa heeft van 221,6 gram. Geef je antwoord zonder decimalen.
- 5 **Groene airbag**

Een airbag in een auto is een veiligheidsvoorziening die inzittenden bij een botsing moet beschermen. De airbag wordt dan in zeer korte tijd gevuld met een gas, zie figuur 2.47. In het tekstfragment hieronder wordt een nieuw ontwerp beschreven dat in vergelijking met de huidige airbags een verbetering betekent op milieugebied.



2.47 Nieuwere modellen auto's zijn op veel plaatsen uitgerust met airbags.

Een fabrikant van airbags voor de auto-industrie heeft een nieuw milieuvriendelijk concept ontwikkeld. Het systeem maakt gebruik van de gassen waterstof en zuurstof in combinatie met argon om de airbag op te blazen wanneer een botsing plaatsvindt. Door middel van een ontstekingsmechanisme vindt er een chemische reactie plaats. Na de reactie is de airbag gevuld met een mengsel van waterdamp en argon. Het nieuwe systeem is in 2012 voor een Europese autofabrikant in productie gegaan.

Naar: www.autoliv.com

- a Geef de algemene naam van de atoomsoorten die in groep 18 van het periodiek systeem staan.
- b Geef de vergelijking van de reactie die in het tekstfragment wordt beschreven.

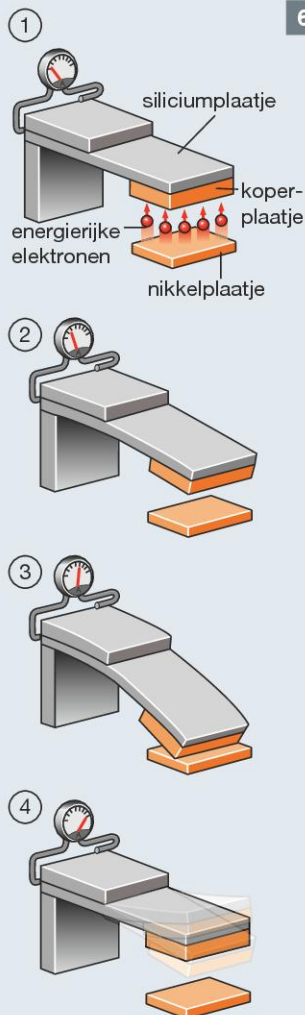
Het blijkt dat er 0,71 gram waterdamp wordt gevormd.

- c Bereken hoeveel watermoleculen zich in 0,71 gram waterdamp bevinden. Gebruik het rekenschema in figuur 2.42.

Naar: CE havo 2016-I

6 Stroom uit straling

Lees het onderstaande tekstfragment en beantwoord daarna de vragen bij deze opgave.



2.48

Amerikaanse onderzoekers maken zeer kleine apparaatjes die straling omzetten in elektriciteit en bij uitstek geschikt zijn voor het leveren van stroom aan microprocessoren. Hieronder wordt de werking van zo'n apparaatje uitgelegd, zie figuur 2.48.

In het apparaatje ligt een dun nikkelplaatje dat uit atomen Ni-63 bestaat, onder het vrij hangende einde van een siliciumplaatje. Ni-63 is een isotoop van Ni die niet stabiel is en deze isotoop zal langzaam vervallen. Daarbij wordt een neutron gesplitst in een proton en een energierijk elektron, een zogenaamd β -deeltje. Bèta-deeltjes springen spontaan over van het nikkel naar een plaatje koper aan de onderkant van het siliciumplaatje (tekening 1).

Daardoor ontstaat een lading in het koper en buigt het vrije einde van het siliciumplaatje door naar het nikkelplaatje (tekening 2). Wanneer koper en nikkel elkaar raken (tekening 3), stromen de elektronen terug in het dunne plaatje nikkel en springt het stukje silicium, met het stukje koper daaraan vast, als een zwiepende duikplank weer omhoog (tekening 4).

De trillingen die daarbij ontstaan worden omgezet in een elektrische stroom.

Het proces (1 tot en met 4) zal zich herhalen totdat alle Ni-63 kernen één bètadeeltje hebben uitgezonden. Dan bestaat het dunne plaatje niet meer uit nikkel, maar uit een ander element.

Naar: Technisch Weekblad

- a Leg uit of het koperplaatje in de situatie van tekening 2 een positieve of een negatieve lading heeft.
- b Uit hoeveel protonen en hoeveel neutronen bestaat de kern van een atoom van het nikkel dat in het apparaatje wordt gebruikt?
- c Leid uit het tekstfragment af uit welk element het dunne plaatje bestaat wanneer alle Ni-63 kernen één bètadeeltje hebben uitgezonden.

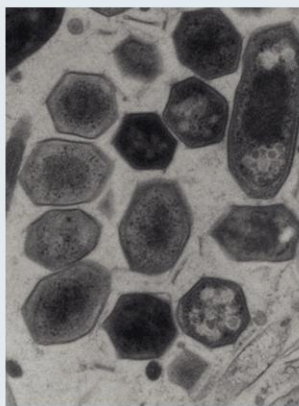
Bron: CE havo 2009-I

7 Silicium komt in de natuur voor als een mengsel van drie isotopen, zie tabel 2.49.

isotoop	voorkomen in de natuur	massa (u)
^{28}Si	92,23%	27,97693
^{29}Si	4,67%	28,97650
Si	3,10%	x

2.49

De gemiddelde atoommassa van silicium is 28,08551 u. Bereken de massa van deze derde isotoop.

8 Zuurstof makende methaangoochelaar

2.50 De bacterie de 'methaangoochelaar' heeft een kenmerkende hoekige vorm.

'Elke reactie waarbij energie vrijkomt, wordt wel ergens door een bacterie benut', stelt de Nijmeegse wetenschapper professor Mike Jetten. Hij ontdekte een bacteriesoort die zuurstof vrijmaakt uit stikstofoxiden, om daar vervolgens methaan mee te verbranden. Deze soort heeft de naam *Methylobacillus oxyfera* ('zuurstofmakende methaangoochelaar') gekregen, zie figuur 2.50. Volgens Jetten vind je deze bacterie in de zuurstofarme modder van bijna elke boerensloot. Zeker als daar een stevig met nitraat bemeste akker naast ligt. De bacterie blijkt enzymen te bezitten voor de stapsgewijze omzetting van nitraat via nitriet tot stikstofmono-oxide.

Volgens Jetten moet de bacterie een nog onbekend enzym bevatten dat stikstofmono-oxide omzet tot stikstof en zuurstof. Dit blijkt uit experimenten waarbij de bacteriën verschillende stoffen kregen toegediend die waren gemerkt met ^{15}N -atomen. Er komt geen zuurstof vrij, want die wordt meteen gebruikt voor de reactie met methaan, dat ook voorkomt in zuurstofarme modder.

Naar: C2W Life Sciences

Bij de reactie van methaan met zuurstof ontstaan dezelfde reactieproducten als bij de volledige verbranding van methaan.

- a** Geef deze reactievergelijking.
- b** Hoeveel protonen en hoeveel neutronen bevat een ^{15}N -aatom?

Bij de experimenten met gemerkte verbindingen (laatste alinea) werd gebruikgemaakt van nitrietionen waarvan de N-atomen ^{15}N -atomen waren. Ook nitrietionen met ^{14}N -atomen die in de natuur verreweg het meeste voorkomen, werden in hetzelfde experiment gebruikt. De N_2 -moleculen die bij het experiment ontstonden, bleken drie verschillende massa's te hebben.

- c** Geef de molecuulmassa's in u van deze drie soorten N_2 -moleculen.

Naar: CE havo 2016-I

Keuzeopdrachten

Hieronder staat een korte beschrijving van drie keuzeopdrachten. Op de site kun je meer informatie vinden. In overleg met je docent kun je één van deze keuzeopdrachten uitvoeren.

1 Nucleair geneeskundige

Je ontdekt in deze opdracht waarmee een nucleair geneeskundige zich bezighoudt. Voor meer informatie over studie en beroep kun je via de site doorklikken naar www.feelthechemistry.nl.

2 Mendelejevs droom

Je onderzoekt hoe chemici tot het opstellen van het periodiek systeem zijn gekomen. Je leert hoe je met behulp van het periodiek systeem allerlei ionen kunt maken zonder dat je ze hebt hoeven leren. Je kunt hierbij de octetregel toepassen en uitleggen.

3 Presentatie van een element

In deze opdracht houd je een presentatie over een bepaald element met behulp van het model van Bohr.

Overzicht begrippen

Atoom	Een atoom bestaat uit een positief geladen kern met daarin protonen en neutronen . In elektronenschillen daaromheen bevinden zich elektronen .
Atoommassa	De atoommassa geef je weer met symbool A , de eenheid is de atomaire massa-eenheid (u) .
Atoommodel	Volgens het atoommodel zijn de bouwstenen van een atoom: • protonen, weergegeven door de letter p • elektronen, weergegeven door e^- • neutronen, weergegeven door de letter n
Atoomnummer	Alle atomen van dezelfde soort hebben hetzelfde atoomnummer. Het atoomnummer geeft het aantal protonen in de kern weer.
Edelgasconfiguratie	Atomen staan elektronen af, nemen ze op of delen elektronen, zodat er uiteindelijk acht elektronen in de buitenste schil zijn: een octet . Dit heet ook wel een edelgasconfiguratie.
Elektronenconfiguratie	De verdeling van de elektronen over de schillen in het atoommodel van Bohr heet de elektronenconfiguratie.
Elektrovalentie	De elektrovalentie van een atoom geeft de grootte van de lading aan van het ion dat uit het atoom kan ontstaan. Alle metaalatomen hebben positieve elektrovalenties. Atomen van niet-metalen hebben vrijwel altijd negatieve elektrovalenties.
Grootheid en eenheid	Iets wat je kunt meten noem je een grootheid. Een grootheid wordt weergegeven door een bepaalde getalwaarde, gevolgd door de eenheid die bij de betreffende grootheid hoort.
Ion	Een ion is een geladen deeltje dat ontstaat doordat een atoom één of meer elektronen opneemt of afstaat.
Isotopen	Isotopen zijn atomen met hetzelfde aantal protonen, maar een verschillend aantal neutronen.
Massagetal	Elk atoom heeft een massagetal. Atomen van hetzelfde element kunnen verschillende massagetallen hebben. Het massagetal is gelijk aan het aantal protonen plus het aantal neutronen.
Mol	Een mol (n) is een hoeveelheid stof, uitgedrukt in een aantal deeltjes. Een mol is een pakketje van $6,02214 \cdot 10^{23}$ deeltjes. Dit getal noem je het getal van Avogadro (N_A) .
Molecuulmassa	De molecuulmassa (M_r) is gelijk aan de som van de (gemiddelde) atoommassa's van alle atomen die in het molecuul voorkomen.
Valentie-elektronen	Valentie-elektronen zijn elektronen die in de buitenste schil van een atoom zitten. De valentie-elektronen bepalen de chemische eigenschappen van een atoom. Er bestaat een verband tussen de elektrovalentie van een atoomsoort en de groep van het periodiek systeem waarin deze staat.

3 Moleculaire stoffen

Inhoud

- 3.1** De bouw van stoffen
Experiment:
3.1 Elektrische geleiding
- 3.2** Binding in moleculen
- 3.3** Binding tussen moleculen
Experimenten:
3.2 Verwarmen van moleculaire stoffen
3.3 Bindingen in water
3.4 Polariteit en lading
- 3.4** Moleculaire stoffen mengen
Experimenten:
3.5 Jood in water, jood in wasbenzine
3.6 Oplossen of niet?
3.7 De ammoniakfontein
3.8 Mentos in cola
- 3.5** Rekenen aan gassen
Experimenten:
3.9 Moleculen in een volume gas
3.10 De dichtheid van alcohol bepalen
3.11 Koolstofdioxidegas in frisdrank

Afsluiting

Overzicht begrippen





Volume van gassen

Heteluchtballonnen zweven over de rivier de Rio Grande in Albuquerque in New Mexico tijdens het jaarlijkse ballonnenfestival. Lucht waarmee de ballonnen worden gevuld bestaat uit moleculaire stoffen. Voor het vullen moet je kunnen rekenen met het volume van gassen.

3

Schrikdraad

Schrikdraad wordt veel gebruikt om een weiland mee af te zetten. Om ervoor te zorgen dat je toch veilig het draad kunt verwijderen of verplaatsen zijn er isolatoren aangebracht. Die waren vroeger altijd van porselein, maar tegenwoordig ook vaak van kunststof.

**Je leert**

- uitleggen waarom een stof wel of niet elektrische stroom geleidt.

3.1 De bouw van stoffen



3.1 Hoogspanningskabels zijn niet met de mast verbonden, maar lopen via isolatoren om de mast heen.

Stoffen en hun eigenschappen

Om stoffen in te delen in groepen kun je bijvoorbeeld gebruikmaken van de stoffeigenschap stroomgeleiding. Niet alle stoffen kunnen stroom geleiden. In elektriciteitskabels wordt koperdraad gebruikt omdat koper een zeer goede stroomgeleider is. Om te voorkomen dat je bij het aanraken van de draden een dodelijke schok krijgt, zit er om de koperdraad een laagje van de kunststof polyvinylchloride, pvc. Pvc is een heel goede isolator. Bij hoogspanningsdraden zorgt een aantal glazen isolatoren voor de isolatie tussen draad en mast, zie figuur 3.1. Deze stoffen geleiden de elektrische stroom niet. Waarom geleiden pvc en glas geen elektrische stroom en koper wel?

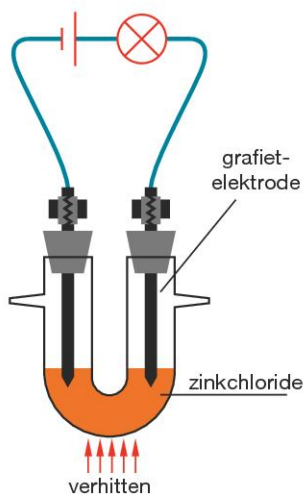
Stroomgeleiding

Stroomgeleiding is een stoffeigenschap op macroniveau. Om stroomgeleiding te verklaren moet je naar de deeltjes van het microniveau kijken. Om de elektrische stroom te geleiden, moeten in een stof geladen deeltjes aanwezig zijn die vrij kunnen bewegen. Om de stroomgeleiding te meten, kun je een experiment uitvoeren met de opstelling in figuur 3.2. Enkele resultaten van dit experiment zijn opgenomen in tabel 3.3.

Met de resultaten van het experiment in de tabel kun je stoffen indelen in groepen. Er is dan een indeling in drie groepen mogelijk:

- 1 stoffen die zowel in de vaste als in de vloeibare fase stroom geleiden;
- 2 stoffen die alleen in de vloeibare fase elektrische stroom geleiden;
- 3 stoffen die niet in de vaste en ook niet in de vloeibare fase elektrische stroom geleiden.

● Experiment 3.1



3.2 Opstelling om stroomgeleiding te meten



3.4 Kristallen komen in veel vormen en kleuren voor.

stof	formule	geleiding van elektrische stroom in:	
		vaste fase	vloeibare fase
kaarsvet	$C_{18}H_{36}O_2$	–	–
tinchloride	$SnCl_2$	–	+
tin	Sn	+	+
paraffine	$C_{24}H_{50}$	–	–
jood	I_2	–	–
koper	Cu	+	+
keukenzout	NaCl	–	+
kamfer	$C_{10}H_{16}O$	–	–
kaliumnitraat	KNO_3	–	+
zink	Zn	+	+

3.3 Welke stoffen geleiden elektrische stroom?

De resultaten van tabel 3.3 zijn uitgewerkt in figuur 3.5. Als je in figuur 3.5 naar de formules van de stoffen kijkt, dan valt het volgende op:

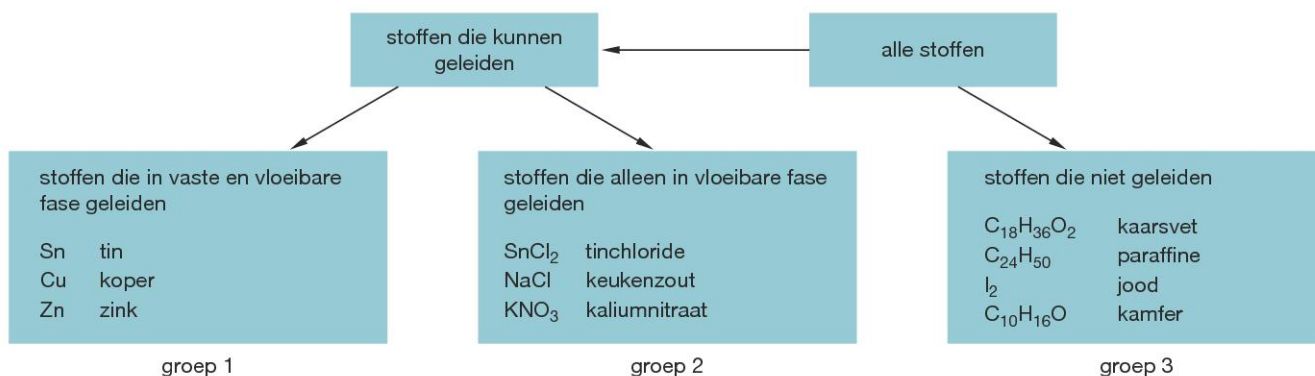
- 1 Alle stoffen uit groep 1 hebben formules waarin alleen metaalatomen voorkomen. Deze stoffen zijn de **metalen**.
- 2 Alle stoffen uit groep 2 hebben formules waarin een combinatie van een metaalatoom met atomen van een of meer niet-metalen voorkomen. Je noemt deze stoffen **zouten**.
- 3 Alle stoffen uit groep 3 hebben formules waarin alleen niet-metaalatomen voorkomen. Dit zijn de **moleculaire stoffen**.

De bouw van vaste stoffen

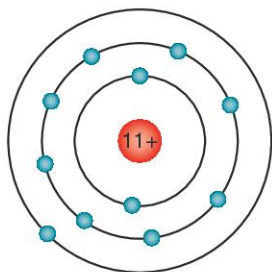
In de vaste fase zitten de bouwstenen van een stof dicht op elkaar gestapeld. Als deze bouwstenen in een regelmatig patroon zijn gestapeld, vormen ze een **kristalrooster**. De bouwstenen van een kristal (figuur 3.4) bepalen of een stof wel of geen elektrische stroom kan geleiden.

Metalen

Bij **metalen** zijn de metaalatomen gestapeld in een kristalrooster dat **metaalrooster** wordt genoemd. Metaalatomen hebben volgens het atoommodel van Bohr weinig elektronen in de buitenste schil. Door de grotere afstand van deze valentie-elektronen tot de kern is de



3.5 Een indeling van de stoffen uit tabel 3.3 op grond van geleiding



3.6 Natrium heeft één elektron in de buitenste schil.

aantrekkingskracht van de kern op de valentie-elektronen minder groot dan op de elektronen in de schillen dicht bij de kern, zie figuur 3.6. Daardoor kunnen de valentie-elektronen uit de schil treden. In het metaalrooster ontstaan dan positieve metaalionen, omringd door negatieve vrij bewegende elektronen.

De positieve metaalionen en de negatieve vrije elektronen trekken elkaar aan. De binding die zo ontstaat, noem je de **metaalbinding**, zie figuur 3.7. De meeste metalen hebben een hoog smeltpunt en de metaalbinding is meestal vrij sterk.

Het metaal geleidt in de vaste fase de elektrische stroom, omdat de elektronen vrij door het rooster kunnen bewegen. De metaalionen zitten op vaste plaatsen. Als het metaal vloeibaar wordt, verliezen de metaalionen de vaste plaats in het rooster en zijn ze ook in staat om elektrische stroom te geleiden. Bij een vloeibaar metaal zorgen dus zowel de vrije elektronen als de metaalionen voor de geleiding.

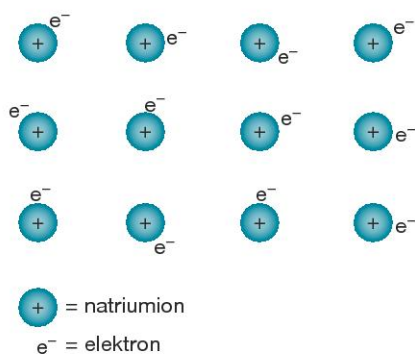
Zouten

Een **zout** geleidt in de vloeibare fase de elektrische stroom. Zouten zijn opgebouwd uit positieve en negatieve ionen. Deze positieve en negatieve ionen trekken elkaar aan en vormen zo de **ionbinding**. Het kristalrooster dat ontstaat, heet een **ionrooster**, zie figuur 3.8. Een zout geleidt geen elektrische stroom in de vaste fase omdat de ionen op een vaste plaats in het rooster zitten. In de vloeibare fase verliezen de ionen de vaste plaats in het rooster en kunnen zich vrij bewegen door het gesmolten zout. Dan treedt wel stroomgeleiding op.

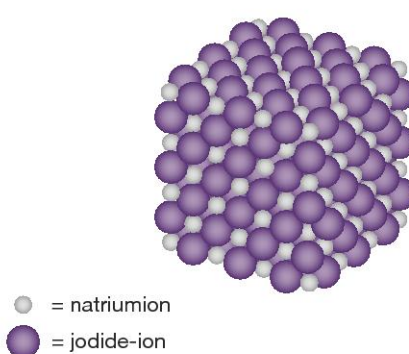
Moleculaire stoffen

Een **moleculaire stof** geleidt in de vaste en in de vloeibare fase geen elektrische stroom. Moleculaire stoffen zijn opgebouwd uit ongeladen moleculen en kunnen geen stroom geleiden. De moleculen in het kristalrooster van een moleculaire stof trekken elkaar aan en deze aantrekkingskracht, de vanderwaalskracht, vormt zo de **vanderwaalsbinding**. Het kristalrooster dat ontstaat heet een **molecuulrooster**, zie figuur 3.9.

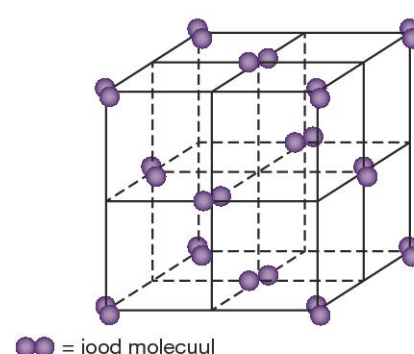
In een molecuulrooster zitten de moleculen tegen elkaar aan, maar omwille van de duidelijkheid is in het model in figuur 3.9 een grotere afstand tussen de moleculen getekend.



3.7 Modelvoorstelling van een metaalrooster van natrium



3.8 Model van de kristalstructuur van natriumjodide (NaI) op het niveau van de kleinste deeltjes



3.9 Model van een molecuulrooster

Ben jij een goede stroomgeleider?

Voor stroomgeleiding heb je een gesloten stroomkring nodig. Om te laten zien dat ook het menselijk lichaam stroom geleidt kun je een speciale 'energy stick' kopen. De stick bevat een kleine batterij, lichtjes en belletjes. De batterij is aan één pool met de lichtjes en de belletjes verbonden en daarna aan een metalen ring aan het uiteinde. De andere pool is met een metalen ring aan het andere uiteinde verbonden. De stroomkring is dus niet gesloten en er gebeurt niets.

Als je nu een kring maakt van drie leerlingen en leerling één pakt een van de metalen uiteinden van de energy stick vast en leerling drie pakt het andere uiteinde vast, gaan plotseling lichtjes in allerlei kleuren branden en de stick maakt geluid. Kennelijk is de stroomkring nu wel gesloten. Voor geleiding zijn vrij bewegende geladen deeltjes nodig. Het menselijk lichaam bestaat voor een groot deel uit vloeistoffen, bloed en lymfevocht. In die vloeistoffen zijn ionen aanwezig die kunnen zorgen voor stroomgeleiding. Ook in het dunne zweetlaagje dat op je handen zit zijn ionen aanwezig. Al die geladen deeltjes

zorgen ervoor dat de stroomkring wordt gesloten. De vloeistof die voor de geleiding zorgt, hier dus bloed, lymfe en zweet, noem je de elektrolyt.

Ook in de scheikunde wordt vaak gebruikgemaakt van elektrische stroom en geleiding. De tak van scheikunde die zich daar mee bezighoudt is de elektrochemie, deze bestudeert de relatie tussen elektrische en chemische processen. Een voorbeeld van een elektrochemisch proces is het verzilveren van een voorwerp. Het te verzilveren voorwerp is dan de ene elektrode en hangt in een oplossing met zilverionen (de elektrolyt). De andere elektrode steekt ook in de oplossing. De elektrische stroombron, die met de elektroden is verbonden, zorgt ervoor dat zilverionen naar het voorwerp toe gaan. Ze kunnen daar elektronen opnemen waardoor ze neutrale zilveratomen worden en zich hechten aan het voorwerp. Zo is het mogelijk allerlei voorwerpen te verzilveren. De dikte van de zilverlaag hangt af van de tijd dat je de stroom aan laat staan en van de hoeveelheid zilverionen in de elektrolyt.



3.10a De energy stick geeft licht en geluid.



3.10b Je eerste valentijnroos verzilverd bewaren?

● Opdracht C10

Samenvatting

- Om elektrische stroom te geleiden zijn geladen deeltjes nodig die vrij kunnen bewegen.
- Op grond van het geleiden van elektrische stroom zijn stoffen in te delen in drie groepen: metalen, zouten en moleculaire stoffen.
- Het kristalrooster van metalen heet metaalrooster. De binding tussen de positieve metaalionen en de negatieve vrije elektronen noem je de metaalbinding.
- Het kristalrooster van zouten heet ionrooster. De binding tussen de positieve en de negatieve ionen is de ionbinding.
- De meeste moleculaire stoffen hebben een molecuulrooster. De binding tussen de moleculen is de vanderwaalsbinding.

Opdrachten

A 1 

Zowel een zout als een metaal bevat in de vaste fase geladen deeltjes.

- a** Hoe komt het dat een zout in de vaste fase geen elektrische stroom geleidt, terwijl een metaal dat wel kan?
- b** Hoe komt het dat een vloeibaar zout wel elektrische stroom geleidt?

Bij stroomgeleiding door een gesmolten zout treedt elektrolyse op.

- c** Leg uit waarom dit bij stroomgeleiding door een metaal onmogelijk is.

B 2

Leg uit welke van de volgende stoffen elektrische stroom kunnen geleiden.

- a** een stukje kalium (K)
- b** een druppel kwik (Hg)
- c** een brokje kaliumfluoride (KF)
- d** een klontje suiker ($C_{12}H_{22}O_{11}$)
- e** een staafje zwavel (S_8)
- f** een druppel kaarsvet ($C_{18}H_{36}O_2$)

B 3

- a** Welke overeenkomst is er op microniveau in de bouw van een metaalrooster en die van een ionrooster?
- b** Beschrijf ook een verschil.

B 4

Misschien heb je vorig jaar geleerd dat alle stoffen uit moleculen bestaan. Leg uit of dat klopt.

B 5

- a** Geef een aluminiumatoom weer met het atoommodel van Bohr.
- b** Hoeveel valentie-elektronen heeft het aluminiumatoom?

B 6

Als je een stuk ijzer met één uiteinde in een vlam houdt, wordt het andere uiteinde snel heet. Bij glas is dat veel minder het geval. Stoffen die elektrische stroom geleiden, zijn vaak ook goede warmtegeleiders. Bedenk een mogelijke verklaring voor het feit dat metalen meestal ook goed warmte geleiden.

B 7

Leg uit of gasvormige stoffen stroom kunnen geleiden.

B 8 

In Dieverbrug, in Drenthe, kun je de monumentale kalkovens in figuur 3.11 nog zien. Ze vormen een rijksmonument en behoren tot ons industrieel erfgoed. In kalkovens werden schelpen, calciumcarbonaat ($CaCO_3$), uit de Waddenzee met turf vermengd en dan omgezet tot kalk (calciumoxide is CaO) ten behoeve van metselspecie.

- a** Geef de reactievergelijking voor de ontleding van calciumcarbonaat in calciumoxide en nog een andere stof.

Calciumoxide kan met water reageren tot calciumhydroxide $Ca(OH)_2$. De reactie van calciumoxide met water is een exotherme reactie. Hiervan wordt gebruikgemaakt in militaire gevechtersrantsoenen. De warmte die bij de reactie vrijkomt, kan worden gebruikt om het rantsoen op te warmen.

- b** Teken het energiediagram van de reactie van calciumoxide met water.

Calciumoxide is opgebouwd uit calciumionen en oxide-ionen.

- c** Welke deeltjes trekken elkaar aan en welke deeltjes stoten elkaar af in het kristalrooster van calciumoxide?
- d** Leg met het atoommodel van Bohr uit wat de lading van het calciumion is en wat de lading van het oxide-ion is. Gebruik Binas tabel 99.



3.11 Oude kalkovens

B 9 ★

Een bekende moleculaire stof waar je tegenwoordig veel over leest, is waterstof H_2 (g). Waterstof kun je gebruiken als brandstof voor de auto. Waterstof wordt geproduceerd met elektrolyse.

- a** Geef de vergelijking voor de elektrolyse van water.

Om de elektrolyse van water goed te laten verlopen moeten ionen in het water aanwezig zijn.

- b** Leg uit dat zuiver water niet door elektrolyse kan worden ontleed.
- c** Bereken hoeveel liter water je moet ontleden om 1,0 kg waterstof te produceren. Gebruik voor de dichtheid van water $1,00 \text{ kg dm}^{-3}$.

Met een volle gastank kun je ongeveer 600 km rijden. De prijs per km als je op benzine of diesel rijdt is ongeveer € 0,10. In een volle gastank past 5,6 kg waterstof. Een kg waterstof kost ongeveer € 10.

- d** Laat door een berekening zien dat je met rijden op waterstof ongeveer even duur uit bent.



3.12 De Mirai van Toyota, de eerste waterstofauto die in serie wordt geproduceerd

Bij verbranding van waterstof ontstaat waterdamp. Dat is net als CO_2 een broeikasgas.

- e** Leg uit dat het niet schadelijk voor het milieu is om waterstof als brandstof te gebruiken.

C 10

Lees de tekst in het kader 'Ben jij een goede stroomgeleider?' en beantwoord de volgende vragen.

- a** Zoek op internet drie ionsoorten op die in bloed voorkomen.

Als je een kring maakt van honderd leerlingen blijken de lichtjes en het geluid in de energy stick niet aan te gaan.

- b** Bedenk een reden waarom de stick dan niet meer werkt.
- c** Leg uit of de stick ook werkt als je heel droge handen hebt.

Je wilt een geliefd voorwerp verzilveren om het te bewaren. De oppervlakte van het voorwerp is $24,0 \text{ cm}^2$ en je wilt er een laagje zilver op aanbrengen van 0,500 mm.

- d** Bereken hoeveel cm^3 zilver je nodig hebt.
- e** Zoek in Binas tabel 8 de dichtheid van zilver op en bereken hoeveel gram zilver je nodig hebt.
- f** Bereken met het rekenschema uit het vorige hoofdstuk hoeveel mol zilver dit is.

Elk zilverion neemt één elektron op om een neutraal zilveratoom te worden.

- g** Bedenk hoeveel mol elektronen je dan nodig hebt om het aantal mol zilver te krijgen dat je nodig hebt voor het verzilveren.

Experiment

3.1 Elektrische geleiding

In dit experiment onderzoek je welke stoffen elektrische stroom geleiden.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- aan de hand van de formule van een stof voorspellen of deze een metaal, zout of moleculaire stof is;
- uitleggen of een stof stroom geleidt;
- de bouw van een metaal beschrijven aan de hand van de begrippen metaalrooster, vrije elektronen en metaalbinding;
- de bouw van een zout beschrijven met de begrippen ion en ionbinding;
- de bouw van een moleculaire stof beschrijven met de begrippen molecuul en vanderwaalsbinding.

Grafeen

Grafeen is een superdun plaatje dat alleen uit koolstofatomen bestaat. Het is volgens wetenschappers een waar wondermateriaal. Het is dun, transparant, sterk én behoorlijk buigzaam. Onlangs is het eerste buigzame display gepresenteerd, vervaardigd uit grafeen. De buigzame telefoon lijkt hiermee dichterbij dan ooit.



Je leert

- van moleculaire stoffen de naam afleiden uit de molecuulformule en andersom;
- hoe een (polaire) atoombinding wordt gevormd;
- de begrippen elektronegativiteit en covalente binding kennen.

3.2 Binding in moleculen

IUPAC

Er bestaan miljoenen moleculaire stoffen en iedere 4,5 seconde wordt er een nieuw molecuul gemaakt. Dag en nacht, zeven dagen per week, week in week uit. Als je dit stukje hebt gelezen, zijn er al weer zeven nieuwe soorten moleculen bijgekomen. Eind 2011 waren er al 64 miljoen moleculen geregistreerd. En al die moleculen moeten een naam hebben (figuur 3.13). Door de International Union of Pure and Applied Chemistry, de IUPAC, zijn regels opgesteld voor de systematische naamgeving in de scheikunde. Hoe moet je de eenvoudige stoffen waar je mee werkt een naam geven?



3.13 Diwaterstofmono-oxide is de systematische naam voor water.

Naamgeving van moleculaire stoffen

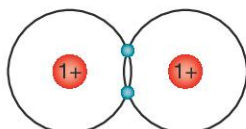
De toepassing van een paar regels van de naamgeving laten we zien bij moleculen die uit twee verschillende atoomsoorten bestaan. We nemen als voorbeeld de stof P_2O_5 . Het aantal atomen in het molecuul geef je aan met numerieke voorvoegsels uit Binas tabel 66C, zie ook tabel 3.14 op de pagina hierna.

Voorbeeld

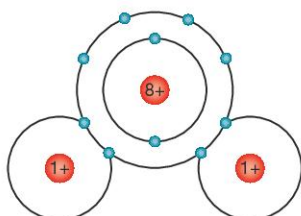
- 1 Het molecuul P_2O_5 heeft twee fosforatomen en je noemt dit difosfor.
- 2 Er zijn ook vijf zuurstofatomen. Als het molecuul is opgebouwd uit twee verschillende atomen eindigt de naam op -ide. Bij zuurstof zeg je pentaoxide. Een S-atoom heet dan sulfide en een Cl-atoom heet chloride.
- 3 De volledige naam van P_2O_5 wordt dan difosforpentaoxide.

index	voorvoegsel
1	mono
2	di
3	tri
4	tetra
5	penta
6	hexa
7	hepta
8	octa

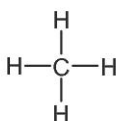
3.14 Numerieke voorvoegsels



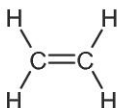
3.15 Model van een waterstofmolecuul



3.16 Modeltekening van een watermolecuul. Het zuurstofatoom deelt twee van de zes valentie-elektronen met waterstof.



a



b

3.17 De structuurformule van methaan (a) en etheen (b)

Heb je maar één atoom van de eerste atoomsoort in de formule, zoals in CO_2 , dan laat je het voorvoegsel *mono* weg. CO_2 is dus volgens de naamgeving monokoolstofdioxide, maar in de praktijk zeg je altijd koolstofdioxide.

Als er van de atoomsoort die niet vooraan staat in de formule maar één atoom aanwezig is, zoals in N_2O , dan moet je *mono* wel opschrijven. Het is distikstofmono-oxide, distikstofoxide mag niet.

Een paar voorbeelden:

NO : stikstofmono-oxide

NO_2 : stikstofdioxide

P_2O_3 : difosfortrioxide

SiCl_4 : siliciumtetrachloride

H_2S : diwaterstofsulfide

Atoombindingen

Als je de naam van een moleculaire stof kent, weet je nog niets over de bouw van het molecuul. Daarvoor moet je weten hoe de binding tussen de atomen in het molecuul tot stand komt. Je gebruikt hiervoor het atoommodel van Bohr en de octetregel uit hoofdstuk 2. Om aan de octetregel te voldoen kan een atoom elektronen delen met een ander atoom en zo de buitenste schil een stabiele edelgasconfiguratie geven.

H_2 is het eenvoudigste molecuul dat er bestaat. Het is opgebouwd uit de kleinste atoomsoort, waterstof, met atoomnummer één. Het waterstofatoom bestaat uit één proton en één elektron en heeft dus één valentie-elektron.

In waterstofgas, H_2 (g), 'deelt' het waterstofatoom een elektron met een ander waterstofatoom. Beide atomen bezitten door dit delen twee elektronen in de K-schil en ze hebben op dat moment de edelgasconfiguratie van helium. Het waterstofatoom kan maar één binding vormen, want het kan maar één elektron met een ander atoom delen. De twee gedeelde elektronen, het gemeenschappelijk elektronenpaar, houden de kernen bij elkaar. Dit noem je een **atoombinding** of **covalente binding**, zie figuur 3.15. De atoombinding is een zeer sterke binding, het kost veel energie om deze te verbreken.

In figuur 3.16 is een watermolecuul getekend met het atoommodel van Bohr. Het zuurstofatoom heeft zes valentie-elektronen. Om te voldoen aan de octetregel moeten er acht elektronen in de buitenste schil zitten en het zuurstofatoom zal twee elektronen moeten delen met andere atomen. In een watermolecuul vormt het zuurstofatoom atoombindingen met twee waterstofatomen. Het aantal elektronen dat een atoom beschikbaar heeft voor de atoombinding noem je de **covalentie** van een atoom. Om de covalentie te weten, bepaal je meestal het aantal elektronen dat er te weinig is ten opzichte van de dichtstbijzijnde edelgasconfiguratie. Dit aantal is af te leiden uit de plaats van het atoom in het periodiek systeem.

Structuurformules

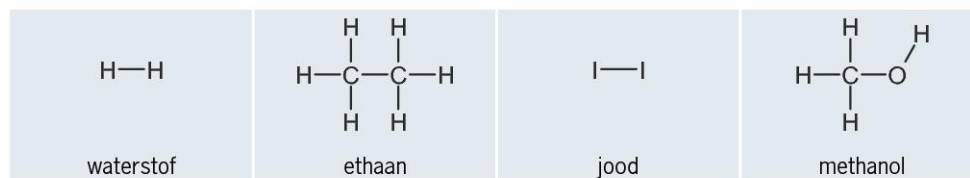
De bouw van een molecuul wordt meestal weergegeven met behulp van een **structuurformule**. In een structuurformule teken je alle atoombindingen. Je geeft ze aan met een streepje, zie figuur 3.17a. Als niet alle bindingsmogelijkheden van een atoom worden gebruikt, heeft dit tot gevolg dat er meer dan één binding tussen twee atomen optreedt, zie figuur 3.17b.

Veel moleculaire stoffen zijn koolstofverbindingen. Dit zijn stoffen die zijn opgebouwd uit een 'skelet' van koolstofatomen, waaraan bijvoorbeeld waterstof-, zuurstof- en/of stikstofatomen zijn gebonden.

In tabel 3.18 zijn van een aantal belangrijke atoomsoorten de covalenties weergegeven. In tabel 3.19 staan structuurformules getekend van een aantal bekende moleculaire stoffen.

symbool	covalentie
H, F, Cl, Br, I	1
O, S	2
N, P	3
C, Si	4

3.18 Covalenties van een aantal atoomsoorten



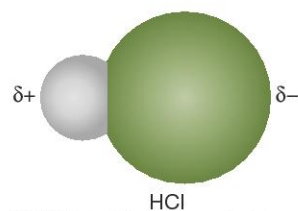
3.19 Structuurformules van een aantal bekende moleculaire stoffen

Polaire en apolaire atoombindingen

Het waterstofmolecuul heeft één atoombinding. Omdat beide waterstofatomen identiek zijn, bevinden de elektronen van het gemeenschappelijk elektronenpaar zich even dicht bij het ene als bij het andere waterstofatoom. Je noemt deze atoombinding **apolair**.

Een waterstofchloridemolecuul bestaat uit één waterstofatoom en één chlooratoom, zie figuur 3.20. Beide atomen hebben één extra elektron nodig om een buitenste schil te krijgen die voldoet aan de octetregel. Ze moeten één elektron delen om dat te bereiken. Het chlooratoom blijkt echter sterker aan het gemeenschappelijk elektronenpaar te trekken dan het waterstofatoom.

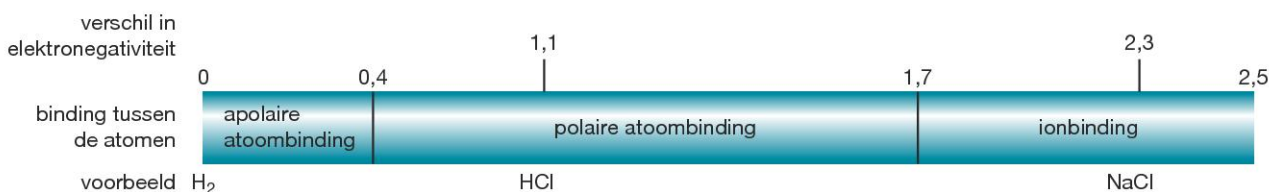
Het gevolg is dat de elektronen van de atoombinding zich meer bij het chlooratoom dan bij het waterstofatoom bevinden. Hierdoor krijgt het chlooratoom een kleine negatieve lading (δ^-), het waterstofatoom krijgt een kleine positieve lading (δ^+). De kleine lading die atomen op deze manier krijgen heet **partiële lading**. De atoombinding noemt je een **polaire atoombinding**.



3.20 Het chlooratoom trekt harder aan het gemeenschappelijk elektronenpaar dan het waterstofatoom.

Om te bepalen welke atoomsoort het sterkst aan de elektronen trekt, gebruik je de **elektronegativiteit**. De elektronegativiteit is een maat voor de kracht waarmee een atoom de elektronen van een atoombinding aantrekt. Het atoom met de hoogste elektronegativiteit trekt sterker aan de elektronen en wordt een beetje negatief geladen. Het andere atoom wordt een beetje positief geladen. In Binas tabel 40A staat van alle atoomsoorten de elektronegativiteit vermeld. De elektronegativiteit van een chlooratoom is bijvoorbeeld 3,2 en van een waterstofatoom 2,1. Het verschil (ΔEN) is 1,1.

Als het verschil in elektronegativiteit (ΔEN) van twee atomen tussen de 0,4 en 1,7 zit, is de atoombinding polair. Bij een verschil kleiner of gelijk aan 0,4 noemt je de atoombinding apolair, zie figuur 3.21. Als het verschil in elektronegativiteit boven de 1,7 is, spreek je niet meer van een atoom-, maar van een ionbinding. Voor natriumchloride, NaCl, is het verschil in elektronegativiteit 2,3. Chloor neemt dan een elektron op van natrium en krijgt een negatieve lading (1^-), natrium een positieve lading (1^+). Je hebt dan een ionrooster en dus een zout.



3.21 Het verschil in elektronegativiteit bepaalt het soort binding.

Het veelzijdig element koolstof

Diamant, grafiet en grafeen zijn heel verschillend en toch zijn ze alle drie opgebouwd uit koolstofatomen.

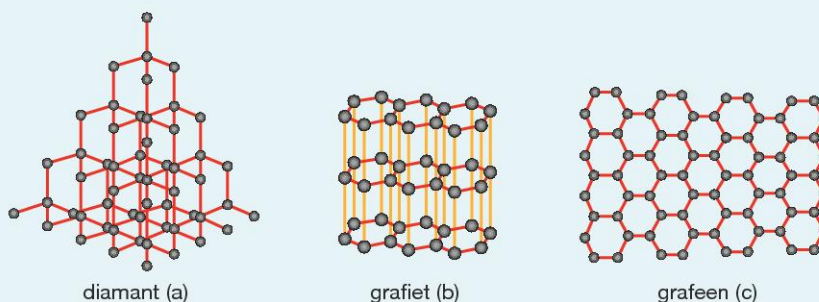
Diamanten ontstaan in de aardmantel op een diepte van 140 tot 300 km waar de temperatuur tussen de 900 en 1500 °C is en de druk 45 000 tot 60 000 atmosfeer is.

Diamant is een van de hardste stoffen die er is en dat hangt nauw samen met de compacte kristalstructuur van de koolstofatomen, waar vier sterke covalente bindingen de C-atomen bijeenhouden, zie figuur 3.22a. Van de gevonden diamanten is 15% bruikbaar voor sieraden, het grootste gedeelte wordt gebruikt in de industrie.

Een andere kristalstructuur van koolstof is grafiet. In tegenstelling tot diamant is grafiet juist een heel zachte vaste stof. Grafiet bestaat uit laagjes koolstofatomen met een zeshoekige structuur, zie figuur 3.22b. In zo'n laagje heeft elk koolstofatoom drie sterke covalente bindingen. Omdat de koolstofatomen eigenlijk vier bindingen moeten hebben, blijft er bij elk koolstofatoom een elektron over. Dat elektron kan zich vrij bewegen en daarom kan

grafiet ook stroom geleiden. De koolstofatomen van een laagje hebben een vanderwaalsbinding met de atomen van een volgend laagje. Die binding is natuurlijk veel minder sterk dan de covalente bindingen binnen het laagje.

Grafeen is een laagje koolstofatomen uit grafiet, het is een velletje van maar één koolstofatoom dik en wordt wel 'nanokippengaas' genoemd, zie figuur 3.22c. Het is heel sterk door de sterke covalente bindingen. En het is een fantastisch goede geleider omdat de vrije elektronen gemakkelijk over het oppervlak kunnen bewegen. In de toekomst zou het silicium kunnen vervangen als basis voor computerchips. Onlangs verscheen een publicatie over een bijzondere toepassing van grafeen. Onderzoekers in China hebben een oplossing met nanodeeltjes grafeen op de bladeren van moerbeibomen gespoten. De zijderupsen die de bladeren eten produceren ineens twee keer zo sterke zijdedraden, die na een hittebehandeling ook nog stroom geleiden. Misschien draag je straks een zijden T-shirt dat als telefoon werkt.



3.22 Kristalstructuren van koolstof

● Opdracht B17

Samenvatting

- Bij de naamgeving van moleculen die uit twee verschillende atoomsoorten bestaan gebruik je een voorvoegsel om de index uit de molecuulformule weer te geven. Daarachter plaats je de naam van de atoomsoort. De naam van de stof eindigt op *-ide*.
- De atoombinding of covalente binding bevindt zich tussen de atomen in de moleculen en wordt gevormd door een gemeenschappelijk elektronenpaar. De covalentie van een atoom geeft het aantal atoombindingen aan dat een atoom kan vormen. Je kunt de covalentie van een atoomsoort afleiden uit de plaats in het periodiek systeem.
- In de structuurformule van een molecuul worden de atoombindingen weergegeven met een streepje. De atoombinding is een sterke binding.
- Een atoombinding is apolair als het verschil in elektronegativiteit $\leq 0,4$ is en polair als het verschil in elektronegativiteit tussen de 0,4 en 1,7 ligt. Als het verschil in elektronegativiteit groter is dan 1,7, spreek je van een ionbinding.

Opdrachten

A 11

Geef de naam van de volgende moleculaire stoffen. Raadpleeg indien nodig Binas tabel 66C.

- a CO
- b N_2O_4
- c PCl_3
- d P_2S_3
- e SF_6
- f Si_3P_4

A 12

- a Geef een stikstofatoom weer met het atoommodel van Bohr.
- b Hoeveel valentie-elektronen heeft een stikstofatoom?
- c Welke covalentie heeft het stikstofatoom en hoeveel atoombindingen kan een stikstofatoom vormen?
- d Teken de structuurformule van een stikstofmolecuul.

B 13

Teken de structuurformules van de volgende stoffen. Maak hierbij gebruik van de covalenties uit tabel 3.18.

- a ammoniak, NH_3
- b zuurstof, O_2
- c ethyn, C_2H_2
- d tetrachloormethaan, CCl_4
- e ethaan, C_2H_6

B 14

- a Teken twee verschillende structuurformules, beide met twee koolstofatomen, zes waterstofatomen en één zuurstofatoom.
- b Leg uit waarom de naam 'dikoolstofhexawaterstofmono-oxide' niet voldoet.

B 15

- a Leg uit of de atoombinding tussen het chlooratoom en het fluoratoom in het molecuul ClF polair is.
- b Zo ja, welk atoom heeft dan een lading δ^- ?
- c Bereken het verschil in elektronegativiteit in een HF-molecuul.
- d Leg uit dat het molecuul HF een polaire atoombinding heeft en geen ionbinding.
- e Hoe zijn de partiële ladingen verdeeld?

B 16

Bekijk de vier stoffen hieronder.

- 1 NaF
- 2 HBr
- 3 CH_4
- 4 BaO

- a Leg uit welke van deze vier stoffen een moleculaire stof is en welke een zout.
- b Geef voor elke stof de naam van de bindingen tussen de deeltjes.
- c Bepaal het verschil in elektronegativiteit bij deze vier stoffen. Maak gebruik van Binas tabel 40A. Leg uit of er sprake is van een polaire atoombinding, een apolaire atoombinding of een ionbinding. Vergelijk je antwoord met je antwoord bij vraag b.

B 17

Lees de tekst in het kader 'Het veelzijdig element koolstof' en beantwoord de volgende vragen. Diamant wordt veel toegepast in de industrie. Het is de hardste stof die we kennen.



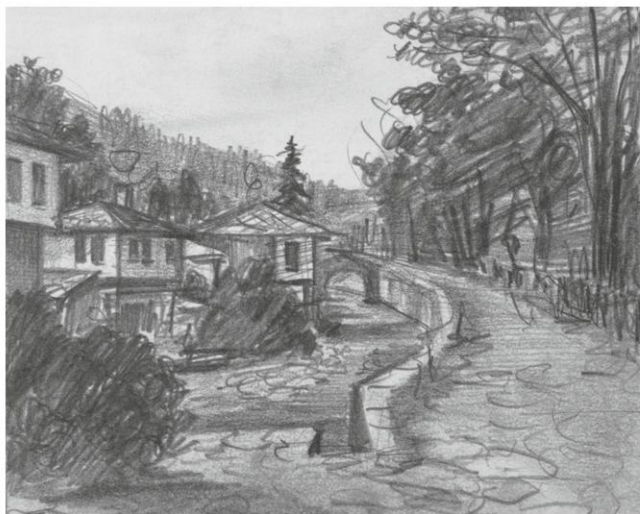
3.23 Boorkoppen die door harde gesteenten moeten boren zijn voorzien van diamanten.

- a Leg aan de hand van figuur 3.22a uit waardoor diamant een van de hardste stoffen is die we kennen.
- b Leg uit dat diamant geen elektrische stroom kan geleiden.

Kijk naar de kristalstructuur van grafiet in figuur 3.22b. Grafiet wordt gebruikt in elektrodes en kan stroom geleiden.

- c Leg uit hoe het mogelijk is dat grafiet stroom geleidt.

Een andere bekende toepassing van grafiet is het gebruik in potloden. De stift van een potlood is gemaakt van een mengsel van grafiet en klei en heeft een houten omhulsel. Het mengsel voor de stift wordt in een oven gebakken. Veel klei en weinig grafiet geeft een hard potlood, veel grafiet en weinig klei geeft een zacht potlood.



3.24

Een standaard kantoorpotlood is HB, de gulden middenweg tussen hard en zacht. Voor het iets nettere schrijfwerk wordt F aanbevolen. Kunstenaars gebruiken meestal zachtere potloden, tot en met 9B. Met een zacht potlood kun je goed schetsen (figuur 3.24). In een zacht potlood zit weinig klei en veel grafiet.

- d** Leg uit dat de verschillende laagjes C-atomen elkaar gemakkelijk los kunnen laten, waardoor grafiet geschikt is voor gebruik in potloden.

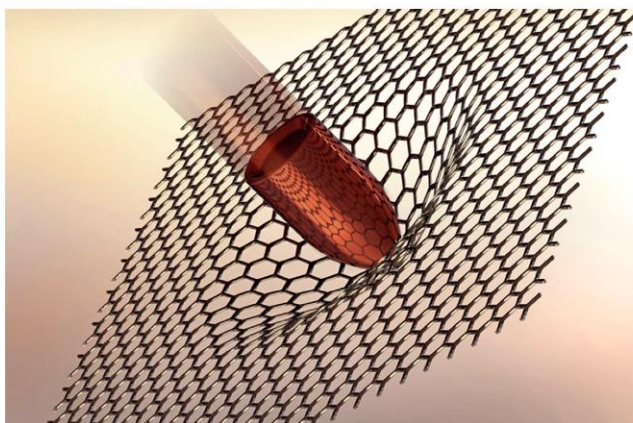


3.25 Politiehonden dragen ook kogelwerende vesten.

Tot nu toe worden kogelwerende vesten in het algemeen gemaakt van Kevlar, een sterke kunststof (figuur 3.25). Nu blijkt uit onderzoek dat grafeen uitermate geschikt is als kogelwerend materiaal. Het is twee keer zo effectief. Er zijn verschillende diktes getest, oplopend van tien tot honderd lagen grafeen. De resultaten zijn veelbelovend, ondanks dat het materiaal neiging heeft te scheuren op de plek waar een projectiel het grafeen raakt (figuur 3.26). Dit is waarschijnlijk op te lossen door grafeen te combineren met andere materialen.

Kijk naar de structuur van grafeen in figuur 3.22c.

- e** Leg uit waardoor grafeen heel sterk is.
f Leg uit dat grafeen een goede geleider is.



3.26 Een modelvoorstelling van een grafeenlaagje dat getroffen wordt door een kogel

Je kunt nu

- bij een gegeven molecuulformule de systematische naam van de stof geven;
- bij een gegeven systematische naam de molecuulformule van de stof geven;
- uitleggen hoe een atoombinding wordt gevormd;
- uitleggen wat de covalentie van een atoom is;
- met elektronegativiteit uitleggen of een atoombinding polair of apolair is.

Vanderwaalskrachten

Een gekko is een reptiel dat over het plafond kan lopen. Op de zolen van zijn poten heeft hij miljoenen microscopisch kleine haartjes, die zich met de zogenaamde vanderwaalskrachten aan iedere oppervlakte kunnen hechten.

**Je leert**

- wat een vanderwaalsbinding, een dipool-dipoolbinding en een waterstofbrug is;
- welke bindingen worden verbroken bij ontleden en verdampen van een stof.

3.3 Binding tussen moleculen



3.27 Water: een bijzondere stof!

Vanderwaalsbinding en faseovergang

Zoals vanderwaalskrachten optreden tussen de haartjes op de poten van een gekko en het oppervlak waar hij over loopt, zo vind je vanderwaalskrachten ook tussen moleculen zoals bijvoorbeeld watermoleculen. Water is als je het vanuit de natuurwetenschappen bekijkt wel een heel bijzondere stof. Kijk bijvoorbeeld eens naar de vorm van de waterdruppels in figuur 3.27, of naar het kookpunt van water: 100 °C. Dit is een erg hoog kookpunt voor een stof waarvan de moleculen een massa hebben van maar 18,02 u. In deze paragraaf gebruiken we faseovergangen zoals het kookpunt om de bindingen *tussen* moleculen te bespreken.

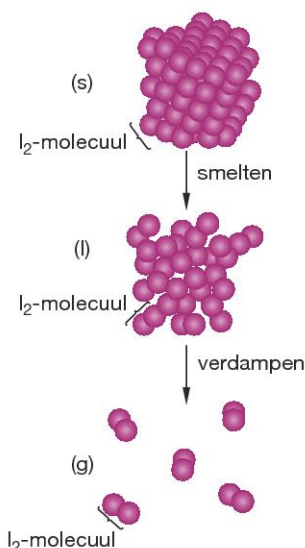
Je kunt faseovergangen het beste begrijpen door uit te gaan van twee elkaar tegenwerkende effecten:

- 1 de aantrekkingskracht tussen de moleculen zorgt voor de **vanderwaalsbinding**;
- 2 een hogere temperatuur houdt in dat moleculen heftiger bewegen, de zogenaamde temperatuurbeweging.

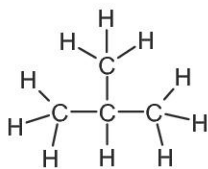
● Experiment 3.2

Als een stof smelt, kun je dat beschouwen als een 'voorlopige overwinning' van de temperatuurbeweging: de moleculen komen vrij uit het molecuulrooster, maar ze laten elkaar niet los. In de vloeistof bestaan nog vanderwaalsbindingen tussen de moleculen.

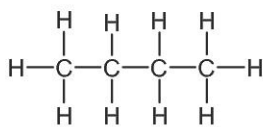
Als een stof verdampt, is de overwinning van de temperatuurbeweging definitief: de moleculen laten elkaar los, de vanderwaalsbinding wordt verbroken. De stof verkeert nu in de gasfase, zie figuur 3.28.



3.28 Model van de fase-overgangen van jood. Bij normale druk gaat jood rechtstreeks over van de vaste fase naar de gasfase.



3.30a 2-methylpropan, kookpunt 261 K



3.30b butaan, kookpunt 273 K



3.31 Knikkers hebben minder raakvlak dan lucifers.

Het smelt- en kookpunt van een moleculaire stof hangt samen met de sterkte van de vanderwaalsbinding. Als je kijkt naar tabel 3.29, dan zie je dat het kookpunt van de stoffen in de tabel van boven naar beneden toeneemt. De vanderwaalsbinding wordt dus sterker als de massa van de moleculen groter is.

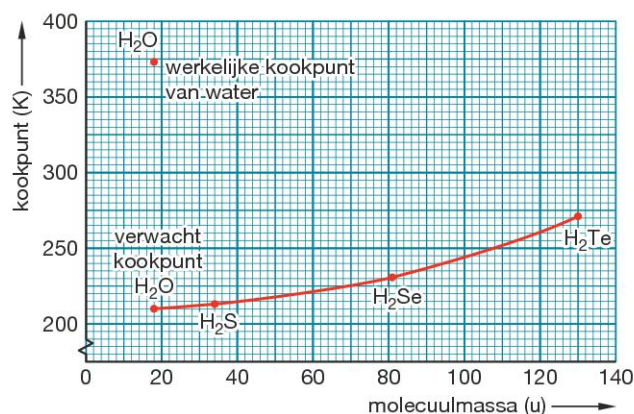
naam en molecuulformule	molecuulmassa (u)	kookpunt (K)
methaan, CH ₄	16,04	112
ethaan, C ₂ H ₆	30,07	185
propaan, C ₃ H ₈	44,09	231
butaan, C ₄ H ₁₀	58,12	273
pentaan, C ₅ H ₁₂	72,15	309
hexaan, C ₆ H ₁₄	86,17	342
heptaan, C ₇ H ₁₆	100,20	372
octaan, C ₈ H ₁₈	114,22	399

3.29 Gegevens van een aantal koolwaterstoffen

Kijk je naar het kookpunt van 2-methylpropan en butaan in figuur 3.30, dan valt op dat het kookpunt van 2-methylpropan lager is, ondanks de gelijke molecuulmassa. Het molecuul 2-methylpropan heeft een rondere vorm, waardoor er minder contactoppervlak is tussen de moleculen en de vanderwaalsbinding zwakker wordt. Je kunt dit vergelijken met knikkers en lucifers. Als je knikkers in een bak doet, is er heel veel open ruimte en maar een klein stukje van de ene knikker zit tegen een andere knikker aan. Met lucifers kun je een hele bak vullen, waarbij er bijna geen ruimte tussen de lucifers zit (figuur 3.31).

Kookpunten en molecuulbouw

Als de molecuulmassa toeneemt, wordt de vanderwaalsbinding sterker. Dat er een grotere samenhang tussen de moleculen op microniveau is, blijkt op macroniveau doordat het kookpunt van stoffen hoger wordt. Er blijken ook uitzonderingen te zijn. In figuur 3.32 zijn de kookpunten van verbindingen van waterstof met atoomsoorten uit groep 16 uitgezet tegen de molecuulmassa. Bij toenemende molecuulmassa in de reeks H₂S, H₂Se en H₂Te stijgt het kookpunt.



3.32 Het kookpunt van water is veel hoger dan je op grond van de vanderwaalsbinding verwacht.

Uitgaande van de molecuulmassa zou je dan verwachten dat het kookpunt van water veel lager ligt dan 373 K. Het verwachte kookpunt zou ongeveer 210 K (−63 °C) zijn.

Er zijn meer uitzonderingen te vinden. In tabel 3.33 zijn van een aantal stoffen de structuurformules en de kookpunten weergegeven.

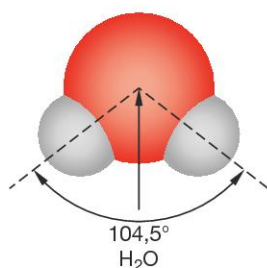
naam en structuurformule	molecuul-massa (u)	kookpunt (K)	naam en structuurformule	molecuul-massa (u)	kookpunt (K)
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$ methaan	16,04	112	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ ethaan	30,07	185
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ ethaan	30,07	185	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ propaan	44,09	231
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{N}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ methaanamine	31,06	267	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{N}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ ethaanamine	45,09	290
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$ methanol	32,04	338	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ ethanol	46,07	351
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{F} \\ \\ \text{H} \end{array}$ fluormethaan	34,03	195	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{F} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ fluorethaan	48,06	235

3.33 De bijdrage van een aantal atomen en atoomgroepen aan het kookpunt van een stof

Je kunt zien dat de bijdrage aan het kookpunt van een F-atoom en een CH_3 -groep vrijwel gelijk is. De aanwezigheid van een NH_2 -groep en in het bijzonder een OH-groep geeft een stof een veel hoger kookpunt dan je op grond van de molecuulmassa zou verwachten. De invloed van een OH-groep op het kookpunt van een stof blijkt eveneens nadrukkelijk uit de volgende voorbeelden.

- Zowel methanol als ethanol heeft één OH-groep. Het verschil is dat ethanol een extra CH_2 -groep heeft. Het verschil in kookpunt is slechts 13 K.
- Ethanol en propaan zijn ongeveer even zwaar. Het kookpunt van ethanol is echter veel hoger. Dit komt doordat ethanol wel een OH-groep heeft en propaan niet.

Wat de oorzaak van deze onverwachte kookpuntverhogingen is, bekijken we met behulp van het watermolecuul.

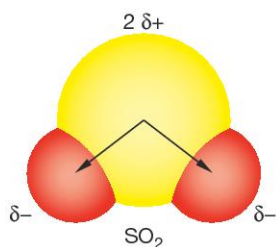


3.34 De bouw van een H_2O -molecuul

Water als polair molecuul

In een watermolecuul zijn twee polaire atoombindingen aanwezig doordat het O-atoom een grotere elektronegativiteit heeft dan de H-atomen.

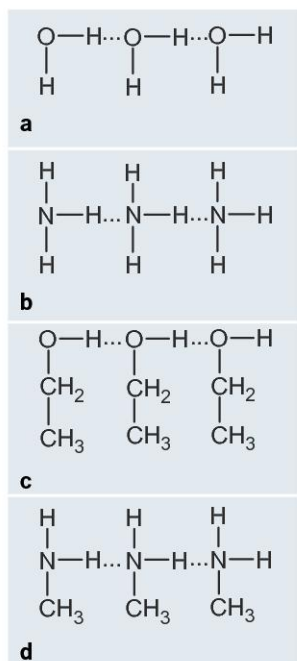
Het H_2O -molecuul is geen lineair molecuul, de hoek tussen de H-atomen is namelijk geen 180° , maar $104,5^\circ$ (figuur 3.34). Het molecuul krijgt een positieve kant (de 'H-kant') en een negatieve kant (de 'O-kant'). Door deze ladingsverdeling in een molecuul trekken de positieve en de negatieve kanten van verschillende H_2O -moleculen elkaar aan.



3.35 De ladingsverdeling in het SO_2 -molecuul

● Experiment 3.3

● Experiment 3.4



3.36 Vereenvoudigde voorstelling van de vorming van waterstofbruggen in water (a), ammoniak (b), ethanol (c) en methaanamine (d)

Moleculen die een ladingsverdeling hebben, noem je **polair**. Het zijn **dipoolmoleculen**. De binding tussen verschillende dipoolmoleculen noem je de dipool-dipoolbinding. Deze **dipool-dipoolbinding** naast de vanderwaalsbinding kan een verklaring zijn voor het hogere kookpunt van water. Maar als je kijkt naar het SO_2 -molecuul in figuur 3.35, ook een niet-lineair molecuul met twee polaire atoombindingen, dan blijkt het kookpunt van de stof SO_2 niet veel hoger te liggen dan je op grond van de molecuulmassa zou verwachten. De dipool-dipoolbinding draagt wel bij aan de kookpuntverhoging, maar niet zo veel dat daarmee het hoge kookpunt van water te verklaren is.

Waterstofbruggen

Kookpunten van stoffen waarvan de moleculen een O-H- of een N-H-binding hebben, zijn onverwacht hoog. Bij deze moleculen is er sprake van een heel sterke dipool-dipoolbinding. De N- en O-atomen hebben een grote elektronegativiteit vergeleken met het H-atoom. Het H-atoom heeft maar één elektron en dit wordt in de atoombinding naar het O- of het N-atoom getrokken. Het positief geladen proton van het H-atoom kan nu heel dicht bij het δ^- geladen O- of N-atoom komen. De heel sterke dipool-dipoolbinding die ontstaat wordt een **waterstofbrug** genoemd.

Je geeft waterstofbruggen met een stippellijn weer, zoals is voorgedaan in figuur 3.36. Let er hierbij op dat je de binding tekent tussen de tegengesteld geladen atomen, dus van de H (δ^+) naar de O of N (δ^-).

De twee H-atomen van een watermolecuul kunnen ieder een waterstofbrug vormen. Dit, gecombineerd met de vanderwaalsbinding verklaart het hoge kookpunt van water.

Mesoniveau

In de scheikunde kijk je naar de eigenschappen van stoffen die je probeert te verklaren aan de hand van de bouwstenen van de stof. Je schakelt daarbij voortdurend tussen het macroniveau (de stof) en het microniveau (de bouwstenen van de stof). Eigenschappen van stoffen kun je niet altijd volledig verklaren vanuit het microniveau. Je moet dan ook kijken naar grotere structuren, naar de wijze waarop de deeltjes van het microniveau, de moleculen, atomen en ionen, onderling gegroepeerd zijn. Je noemt het niveau waarop je dan kijkt het mesoniveau, dat letterlijk tussenniveau betekent. Het zit tussen micro en macro in.

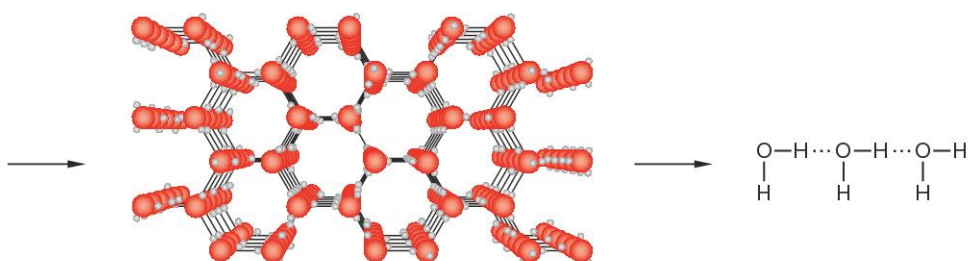
Het hoge kookpunt van water (macroniveau) kun je verklaren met de structuren van het microniveau, maar water heeft nog een bijzondere eigenschap. De vaste stof water, ijs, heeft een kleinere dichtheid dan de vloeistof. Dit is bij de meeste stoffen andersom. Het drijven van ijs op water kun je niet verklaren vanuit de deeltjes van het microniveau, je hebt nu ook de structuur van het mesoniveau nodig.



3.37 De dichtheid van ijs (s) is kleiner dan van water (l).

**macroniveau**

ijs drijft op water, de dichtheid is kleiner dan van water

**mesoniveau**

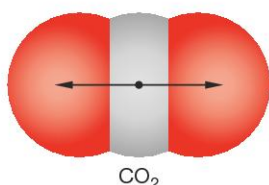
het kristalrooster van ijs met ruimtes door de ordening van de deeltjes van het microniveau

microniveau

watermoleculen met waterstofbruggen

3.38 Macroniveau, mesoniveau en microniveau van water

Waterstofbruggen spelen een belangrijke rol bij de stoffeigenschappen van water. Als je op mesoniveau naar de structuur van ijs kijkt (figuur 3.38), zie je dat de watermoleculen in ijs zodanig gerangschikt zijn dat elk molecuul de H-atomen gericht heeft op O-atomen van andere moleculen. Zo ontstaat een patroon met zeshoekige structuren waartussen holtes zitten. Deze mesostructuur zorgt voor de kleinere dichtheid van ijs vergeleken met water.



3.39 Het CO₂-molecuul

Apolaire moleculen

Moleculen zonder polaire atoombindingen zijn altijd apolair, er is geen ladingsverdeling in het molecuul. Maar het is ook mogelijk dat een molecuul wel polaire atoombindingen heeft, maar dat deze niet leiden tot een polair molecuul. Dit is bijvoorbeeld het geval bij het koolstofdioxidemolecuul (figuur 3.39).

In dit molecuul is er sprake van twee polaire atoombindingen. Het CO₂-molecuul is in tegenstelling tot water een lineair molecuul en de twee polaire atoombindingen liggen nu in elkaars verlengde. Het dipool effect wordt door de bouw van het molecuul opgeheven. Het gevolg is dat CO₂ een **apolair** molecuul is.

Samenvatting

- De vanderwaalsbinding is de binding tussen moleculen. Hoe groter de molecuulmassa van de moleculen van een stof, hoe sterker de vanderwaalsbinding is en hoe hoger het smelt- en kookpunt van de stof.
- Polaire atoombindingen in een molecuul kunnen leiden tot een partiële ladingsverdeling in het molecuul. Dit soort moleculen zijn dipoolmoleculen. De binding tussen deze moleculen heet de dipool-dipoolbinding. Deze binding treedt op naast de vanderwaalsbinding, maar is vaak sterker.
- Tussen moleculen met NH- en/of OH-groepen treedt behalve de vanderwaalsbinding, een extra binding op, die je de waterstofbrug noemt. De waterstofbrug is een redelijk sterke binding en zorgt voor een sterk verhoogd kookpunt.
- Moleculen die geen ladingsverdeling hebben, zijn apolair. Een apolair molecuul kan wel polaire atoombindingen hebben, maar het totale molecuul heeft door de bouw dan geen ladingsverdeling. Tussen deze moleculen is er alleen een vanderwaalsbinding.
- Voor het verklaren van eigenschappen van stoffen zijn ook vaak de structuren van het mesoniveau belangrijk.

Opdrachten

A 18 

Als je een kaars brandt, komt er energie vrij in de vorm van licht en warmte. Veel kaarsen zijn gemaakt van paraffine. Deze stof is vast bij kamertemperatuur, maar wordt bij een beetje extra warmte vloeibaar. Als je het lontje van de kaars aansteekt, zorgt de warmte ervoor dat de paraffine die zich net onder het lontje bevindt vloeibaar wordt. De vloeibare paraffine gaat via de lont naar de vlam toe, waar hij door verdere verwarming verdampt en ontleeft. Vervolgens verloopt een verbrandingsreactie met de aanwezige zuurstof. Hierbij ontstaan koolstofdioxide en water. Beschrijf bij elk van de volgende onderdelen welke bindingen er worden verbroken.

- 1 Het vloeibaar worden van de paraffine net onder de lont.
- 2 Het verdampen van de paraffine die bij de vlam in de lont komt.
- 3 Het ontleden van de paraffine die bij de vlam in de lont komt.
- 4 Het verbranden van de stoffen die bij het ontleden zijn ontstaan.

A 19

Leg uit of de volgende uitspraken juist zijn.

- a Een polair molecuul kan apolaire atoombindingen hebben.
- b Een apolair molecuul kan polaire atoombindingen hebben.
- c Een apolair molecuul moet polaire atoombindingen hebben.

A 20 

Leg uit waarom een zwaveldioxidemolecuul een dipoolmolecuul is en een koolstofdioxidemolecuul niet.

A 21

Bekijk de onderstaande tabel.

naam stof	molecuulmassa (u)	kookpunt (K)
methaan	16,04	112
ethaan	30,07	185
propaan	44,09	231
methanol	32,04	338
fluormethaan	34,03	195

3.40

Fluormethaan en methanol zijn polair, de andere drie stoffen zijn apolair.

- a Teken van alle stoffen uit de tabel de structuurformule.
- b Verklaar waarom het kookpunt van de eerste drie stoffen oploopt.
- c Is de dipool-dipoolbinding tussen fluormethaanmoleculen sterk?
- d Verklaar waarom het kookpunt van methanol veel hoger is.

B 22 

Leg uit of de volgende drie beweringen juist of niet juist zijn.

- I Hoe groter de massa van een molecuul is, hoe sterker de vanderwaalsbindingen tussen de moleculen van die moleculaire stof zijn.
- II De hoogte van het kookpunt van een moleculaire stof is afhankelijk van de sterkte van de atoombindingen in de moleculen van die stof.
- III De hoogte van de ontledingstemperatuur is afhankelijk van de sterkte van de atoombindingen in de moleculen van die stof.

B 23 

Leg uit of je verwacht dat een gekko over het plafond kan lopen als hij natte pootjes heeft.

B 24

- a Zoek in Binas tabel 40A de molecuulformules, de smeltpunten en de kookpunten op van de halogenen fluor, chloor, broom en jood.
- b Bereken de molecuulmassa's van de moleculen van deze stoffen.
- c Maak een diagram waarin de smeltpunten van de halogenen (verticale as) staan uitgezet tegen hun molecuulmassa's (horizontale as).
- d Geef in hetzelfde diagram het verband weer tussen de kookpunten van de halogenen en hun molecuulmassa's.
- e Geef een verklaring voor het verloop van de lijnen die je bij vraag c en d hebt getekend.
- f Hoe kun je met behulp van het getekende diagram bepalen in welke fase elk van de halogenen zich bevindt bij kamertemperatuur (20 °C)?

B 25

Koolstofdissulfide is een stof waarvan de moleculen zijn opgebouwd uit koolstof- en zwavelatomen.

- a** Leid met behulp van de covalenties de structuurformule van koolstofdissulfide af.

Koolstofdissulfide smelt bij 162 K en kookt bij 319 K.

- b** In welke fase verkeert koolstofdissulfide bij kamertemperatuur (25 °C)?

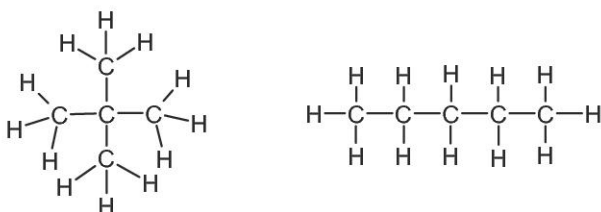
Koolstofdissulfide ontleedt bij een temperatuur die veel hoger is dan 319 K.

- c** Leg uit waardoor de ontledingstemperatuur veel hoger is dan het kookpunt.

B 26

In figuur 3.41 zie je de structuurformules van twee stoffen: 2,2-dimethylpropan en pentaan.

- a** Geef van beide stoffen de molecuulformule en bereken de molecuulmassa.



3.41 De structuurformules van (links) dimethylpropan en (rechts) pentaan

Als je alleen op de molecuulmassa's let, dan verwacht je dat de kookpunten van de twee stoffen gelijk zijn. Dit blijkt niet zo te zijn.

- b** Zoek van beide stoffen het kookpunt op in je Binas en verklaar het verschil.

Pentaan verbrandt spontaan bij een temperatuur van 285 °C. De ontledingstemperatuur ligt veel hoger.

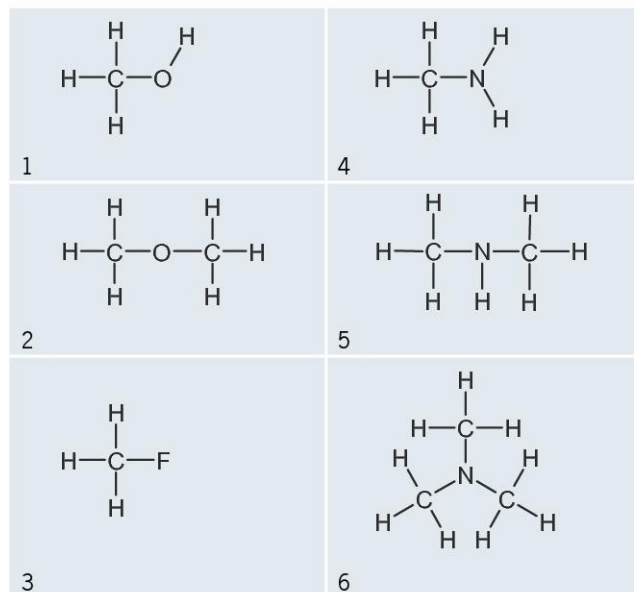
- c** Welke bindingen worden verbroken bij het verbranden van pentaan?
d Probeer een verklaring te bedenken voor het feit dat pentaan bij een lagere temperatuur kan verbranden dan ontleden.

B 27

Leg uit waarom er bij moleculen met één polaire atoombinding altijd sprake is van een dipoolmolecuul.

B 28

Bekijk de onderstaande stoffen met de gegeven structuurformules.



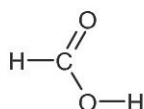
- a** In welke van de zes stoffen treedt in de vloeibare fase waterstofbrugvorming op?
b Laat voor de stoffen in het antwoord bij vraag a zien hoe de vorming van die waterstofbruggen tot stand komt. Gebruik structuurformules. Teken steeds drie moleculen en geef de waterstofbruggen weer met stippellijntjes.

B 29

In figuur 3.36 zie je waterstofbruggen getekend tussen moleculen van steeds één stof. De vorming van waterstofbruggen tussen bijvoorbeeld ammoniakmoleculen (NH₃) en moleculen water is een verklaring voor het feit dat ammoniak zo goed oplost in water. Teken de waterstofbruggen tussen drie watermoleculen en drie ammoniakmoleculen in een oplossing van ammoniak in water. Gebruik in je tekening structuurformules.

B 30 ★

Niet alleen een O-atoom van een OH-groep, maar ook een O-atoom van een C=O-groep kan deelnemen aan de vorming van een waterstofbrug. Beide mogelijkheden doen zich voor in de stof methaanzuur. Deze stof heeft de volgende structuurformule:



De waterstofbrugvorming tussen moleculen methaanzuur is zo effectief dat de moleculen zelfs tijdens het verdampen van de vloeistof niet van elkaar loskomen.

Net boven het kookpunt bestaat methaanzuur vrijwel geheel uit 'dubbelmoleculen': twee door waterstofbruggen verbonden moleculen. Teken de structuurformule van zo'n dubbelmolecuul

B 31

Bij vrijwel alle stoffen daalt de dichtheid tijdens het smelten.

a Leg uit waarom dit zo is.

Wanneer ijs smelt, stijgt de dichtheid. Dit betekent dat de dichtheid van water bij 0 °C groter is dan die van ijs bij deze temperatuur (figuur 3.42).

b Probeer voor dit afwijkende gedrag van ijs een verklaring te vinden. Maak hierbij gebruik van figuur 3.38.

c Leg uit of je bij het antwoord van vraag b gebruikmaakt van het microniveau of het mesoniveau of beide.



3.42 Voor ijsberen is het van levensbelang dat ijs drijft op water. Ze moeten op het ijs jagen om aan voedsel te komen.

C 32

Van methaan kun je vier verschillende verbindingen met chloor afleiden. Alle vier zijn het giftige stoffen. Hiernaast zie je een overzichtje.

naam en formule	kookpunt	oplosbaarheid in water
chloormethaan, CH ₃ Cl	-24,2 °C	5,325 g L ⁻¹
dichloormethaan, CH ₂ Cl ₂	40 °C	17,5 g L ⁻¹
trichloormethaan, CHCl ₃	61,2 °C	slecht
tetrachloormethaan, CCl ₄	77 °C	slecht

a Zoek van elk van deze stoffen op waar ze voor worden/worden gebruikt.

b Leg voor elk van de stoffen uit welke bindingen er in en tussen de moleculen in de stof optreden.

c Verklaar de verschillen in oplosbaarheid in water met behulp van je antwoord bij b.

Tetrachloormethaan heet in de volksmond ook wel vlekkenwater.

d Leg uit dat dit een verkeerde benaming is.

Experimenten

3.2 Verwarmen van moleculaire stoffen

Je onderzoekt wat er gebeurt bij het verwarmen van de moleculaire stoffen kamfer en pvc.

3.3 Bindingen in water

Je ontwerpt een experiment waarbij je de bindingen tussen watermoleculen onderzoekt.

3.4 Polariteit en lading

In dit demonstratie-experiment zie je het effect van elektrostatische krachten tussen een vloeistof en een geladen buisje.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- het verband uitleggen tussen de molecuulmassa en de sterkte van de vanderwaals-binding;
- het verband uitleggen tussen smelt- en kookpunt en de sterkte van de vanderwaals-binding;
- het verschil uitleggen tussen ontleden en verdampen;
- verklaren waarom kookpunten van bepaalde moleculaire stoffen sterk afwijken;
- uitleggen wat een dipool-dipoolbinding inhoudt;
- uitleggen wat waterstofbruggen zijn;
- aan de structuurformule van een stof herkennen of deze stof waterstofbruggen kan vormen.

Olie en water

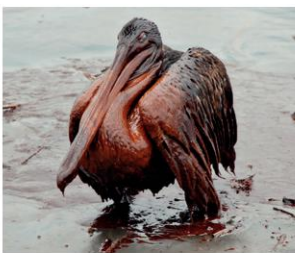
Bij een olieramp komt olie in het water terecht. De moleculaire stof olie mengt niet met water en grote hoeveelheden spoelen aan op de kust. Om de milieuschade te herstellen kun je speciale moerasgrassen planten, die in bio-afbreekbare zakken zitten. De grond in de zakken bevat micro-organismen die olie opeten.

**Je leert**

- de relatie tussen micro- en macroniveau bij het oplossen van een stof;
- dat een verdelingsevenwicht ontstaat wanneer een stof zich kan verdelen over meerdere oplosmiddelen.

3.4 Moleculaire stoffen mengen

● Experiment 3.5



3.43 Olie tast de waterdichte vetlaag van de veren van vogels aan.

Oplossen

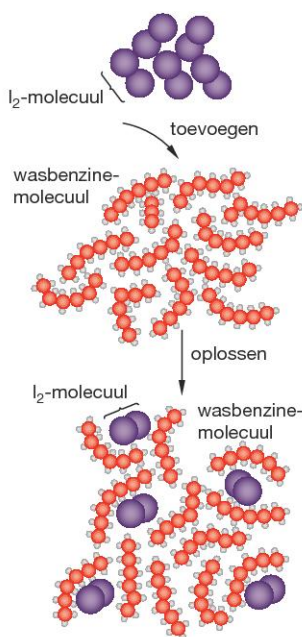
Zoals je hierboven zag, mengt olie niet met water. Olie lost wel op in wasbenzine. Er zijn ook stoffen die in meerdere oplosmiddelen oplossen. In experiment 3.5 zie je dat de stof jood zowel in wasbenzine als in water oplost. Maar er gaat meer jood in de wasbenzinelag zitten dan in de waterlaag. Om dit te begrijpen moet je eerst weten wat er op microniveau gebeurt als een stof oplost.

Voordat jood oplost in wasbenzine zitten er tussen de joodmoleculen vanderwaalsbindingen. Dit geldt ook voor wasbenzine. Als je de stoffen bij elkaar voegt, worden de vanderwaalsbindingen tussen de joodmoleculen verbroken, evenals de vanderwaalsbindingen tussen de moleculen in wasbenzine. Vervolgens vormen zich weer nieuwe vanderwaalsbindingen tussen de joodmoleculen en de moleculen van wasbenzine, zie figuur 3.44.

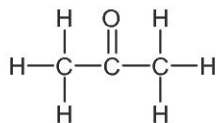
Als jood oplost in water, worden er tussen de watermoleculen niet alleen vanderwaalsbindingen verbroken, maar ook waterstofbruggen. Omdat jood geen waterstofbruggen kan vormen, zullen tussen de joodmoleculen en de watermoleculen alleen vanderwaalsbindingen kunnen ontstaan. De stof jood lost daardoor niet goed op in water.

De moleculen van de stof jood zijn apolair, net als wasbenzine, maar watermoleculen zijn polair. De stof alcohol lost goed op in water, want de moleculen van beide stoffen zijn polair en kunnen ook waterstofbruggen vormen. Deze worden in dit geval zowel verbroken als gevormd. Je kunt met behulp van de bouw van moleculen en de bindingen tussen moleculen op microniveau voorspellen hoe stoffen zich bij het mengen gedragen.

- Experiment 3.6
- Experiment 3.7
- Experiment 3.8



3.44 Modeltekening van het oplossen van jood in wasbenzine



3.45 De structuurformule van aceton

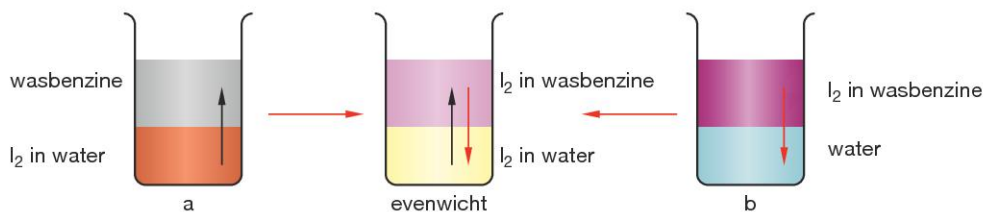
De eigenschappen van de stoffen op macroniveau kun je ook hier verklaren met behulp van de bouw van de moleculen op microniveau. Stoffen met polaire moleculen lossen goed op in oplosmiddelen met polaire moleculen.

Stoffen die goed oplossen in water noem je **hydrofiel stoffen**. **Hydrofobe stoffen** lossen juist niet goed op in water. De olie van de olieramp in het begin van de paragraaf is een hydrofobe stof. Sommige stoffen zijn zowel hydrofiel als hydrofoob. Een voorbeeld daarvan is aceton, zie figuur 3.45.

Aceton lost wel op in water, maar kan geen waterstofbruggen vormen, omdat het geen OH- of NH-groep heeft. Bepaalde groepen, waaronder de C=O-groep, kunnen wel 'meedoen' met waterstofbruggen. Groepen die dit kunnen noem je waterstofbrug ontvangende groepen. Ze vormen zelf geen waterstofbruggen, maar kunnen wel een waterstofbrug ontvangen van de OH- en NH-groepen. Aceton lost ook goed op in wasbenzine. Er worden bij het oplossen in wasbenzine namelijk geen waterstofbruggen tussen acetonmoleculen verbroken, alleen vanderwaalsbindingen.

Dynamisch evenwicht

Bij het oplossen van jood in experiment 3.5 gaat er meer jood in de wasbenzine laag zitten dan in de waterlaag. De stof verdeelt zich over de twee lagen.



3.46 Modeltekening van de verdeling van jood over een tweelagensysteem van wasbenzine en water. De twee begintoestanden a en b leiden tot hetzelfde evenwicht.

In beker glas a van figuur 3.46 heb je een oplossing van I_2 in water en daar schenk je een laagje wasbenzine op. De snelheid waarmee I_2 van de waterlaag naar de wasbenzine laag gaat is in het begin groot. Naarmate er I_2 uit de waterlaag verdwijnt, neemt die transport-snelheid af. In de wasbenzine zit nog geen I_2 . De snelheid waarmee I_2 van de wasbenzine laag naar de waterlaag gaat is dan ook in het begin nul. Na verloop van tijd wordt die snelheid groter.

Op een bepaald tijdstip veranderen de concentraties I_2 niet meer. Je noemt deze situatie **evenwicht**. Er gaan nog wel I_2 -moleculen van de ene laag naar de andere, maar per tijdseenheid gaat evenveel I_2 van de waterlaag naar de wasbenzine laag als omgekeerd. Een dergelijk evenwicht is een **dynamisch evenwicht**. Als je zoals in beker glas b begint met een laag water en je schenkt daarop een oplossing van I_2 in wasbenzine, dan ontstaat er uiteindelijk hetzelfde evenwicht.

Het aantal moleculen dat per seconde verhuist van de ene naar de andere vloeistoflaag is afhankelijk van de concentratie. Er is afgeleid dat bij evenwicht de verhouding van de I_2 -concentraties in beide vloeistoffen altijd dezelfde waarde heeft. Als je de concentratie van de joodmoleculen opgelost in water, $\text{I}_2(\text{aq})$, deelt door de concentratie joodmoleculen opgelost in wasbenzine, $\text{I}_2(\text{wasbenzine})$, dan krijg je een constante waarde:

$$\frac{\text{concentratie } \text{I}_2(\text{aq})}{\text{concentratie } \text{I}_2(\text{wasbenzine})} = \text{constant}$$

In dit voorbeeld, waarbij het gaat om het zich verdelen van een stof over twee lagen, spreek je van een **verdelingsevenwicht**.

Bolletje of schijfje: hoe transporteer je medicijnen?

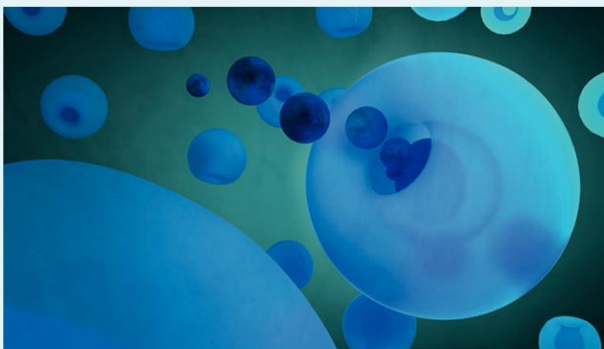
Er wordt veel onderzoek gedaan naar het transport van medicijnen in het lichaam. Vooral bij medicijnen tegen kanker zou het fijn zijn als je het medicijn zodanig kunt transporteren dat het zijn lading pas bij de tumor afgeeft, zodat gezond weefsel geen schade oploopt. Zo'n capsule kun je je voorstellen als een pakketje gevuld met geneesmiddel dat zich door het bloed verplaatst. Uit recent onderzoek aan de Radboud Universiteit in Nijmegen blijkt dat ook de vorm van de heel kleine capsules voor medicijnafgifte van belang is.

De stoffen waar de capsules van worden gevormd zijn polymeren, lange ketens van dezelfde moleculen die zijn gekoppeld. Voor de capsules gebruik je polymeren die uit blokken van twee verschillende moleculen bestaan, namelijk polaire moleculen en apolaire moleculen. Een deel van de ketens wordt daardoor hydrofiel en andere delen worden hydrofoob. Het mooie van de capsules is dat ze zich grotendeels spontaan vormen. Als je polymeren oplost in een bepaald oplosmiddel en je voegt daar water aan toe,

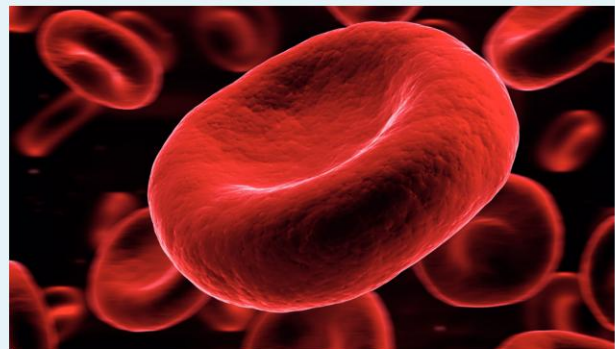
dan vouwen de hydrofobe delen van de polymeerketen zich naar binnen en de hydrofiel delen vouwen zich naar buiten. Daardoor ontstaat een bolletje dat aan de buitenkant hydrofiel is en aan de binnenkant hydrofoob (figuur 3.47a). Voor transport door het bloed is het van belang dat een capsule hydrofiel is, want anders lost hij niet op in het bloed, terwijl de binnenkant hydrofoob moet zijn omdat de meeste medicijnen hydrofoob zijn.

Zolang er minder water is dan oplosmiddel vormen zich bolletjes, maar als er meer water is ontstaan staafjes. Als het percentage water nog groter wordt, ontstaan schijfjes. De wand van de capsule is een membraan en doorlaatbaar, maar als er meer water is trekken de hydrofobe delen sterker naar elkaar toe en wordt het membraan ondoorlaatbaar. Inmiddels weten onderzoekers dat de vorm belangrijk is voor het transport. Schijfjes zijn misschien wel beter, de rode bloedcellen zijn ook schijfjes (figuur 3.47b). Die vorm hebben ze niet voor niets.

Bron: kennislink.nl



3.47a Polymeerbolletjes met medicijnafgifte



3.47b Rode bloedcellen

● Opdracht C37

Samenvatting

- Bij het oplossen van een stof worden de bindingen tussen de moleculen van deze stof verbroken. De moleculen vormen nieuwe bindingen met moleculen van het oplosmiddel.
- Hydrofobe stoffen lossen goed op in hydrofobe oplosmiddelen. Hydrofiel stoffen lossen goed op in hydrofiel oplosmiddelen.
- Als een stof zich kan verdelen over meerdere oplosmiddelen ontstaat uiteindelijk een verdelingsevenwicht. Een verdelingsevenwicht is een dynamisch evenwicht.

Opdrachten

A 33

Gebruik bij deze opdracht tabel 3.33 uit paragraaf 3.3.

- Teken met behulp van structuurformules wat er op moleculair niveau gebeurt als methaanamine oplost in water. Teken twee methaanaminemoleculen en drie watermoleculen.
- Voer de opdracht bij vraag a ook uit voor het oplossen van ethanol in water.

B 34

Een reageerbuis vul je voor een kwart met benzeen, C_6H_6 . Daarna voeg je evenveel water toe en vervolgens een schepje zwavelpoeder. Je schudt het mengsel flink en wacht dan een paar minuten. De dichtheid van vloeistoffen vind je in Binas tabel 11.

- Leg uit of benzeen een hydrofiele of een hydrofobe vloeistof is.
- Leg uit of zwavel zal oplossen in water of in benzeen.
- Beschrijf wat je na een paar minuten waarneemt in de reageerbuis.

B 35

In cola is CO_2 opgelost. Als de fles is gesloten ontstaat er na verloop van tijd een evenwicht tussen de CO_2 opgelost in de cola en de CO_2 opgelost in de lucht boven de cola.

- Wat kun je zeggen over de CO_2 -concentratie in de cola bij evenwicht?
- Geef de formule voor het evenwicht van de concentratie CO_2 in de cola en die in de lucht boven de cola.

B 36 

Aardolie is een mengsel van zeer veel verschillende koolwaterstoffen, waarvoor je de formule C_xH_y kunt gebruiken.

- Leg uit waarom aardolie niet mengt met water.

Om te voorkomen dat een aardolievlek intact blijft en op de kust aanspoelt, kun je proberen de olie met het zeewater te mengen.

- Welk voordeel kan zo'n mengsel hebben boven een vlek op het water?
- Op welke wijze kan het mengen van aardolie met water worden gerealiseerd?

C 37

Lees de tekst in het kader 'Bolletje of schijfje: hoe transporteer je medicijnen?' en beantwoord de volgende vragen.

- Leg uit waarom dit onderzoek naar medicijntransport belangrijk is.

Hieronder staat een schematische weergave van een klein deel van het polymeer. De rode delen zijn hydrofoob en de groene delen zijn de hydrofiele delen van het polymeer.

- Geef met een modeltekening aan hoe het polymeer zich vouwt tot een bolletje als er water aan de oplossing van het polymeer wordt toegevoegd.



3.48

De eigenschappen van het polymeer veranderen door een verandering van de structuur, je bestudeert hier de relaties tussen de structuur en de eigenschappen van een stof.

- Leg uit of je denkt dat jouw model een model op microniveau is of op mesoniveau.
- Bedenk een reden waarom medicijnafgifte beter verloopt als de capsule een schijfje is dan wanneer de capsule een bolletje is.

Soms worden hydrofobe geneesmiddelen opgelost in olie en onderhuids geïnjecteerd. Je zou misschien verwachten dat een deel van het geneesmiddel onderhuids blijft zitten.

- Waarom zal uiteindelijk toch al het geneesmiddel in het bloed terechtkomen?

C 38

Rick voert een mengbaarheidsexperiment uit en vindt daarbij de volgende resultaten:

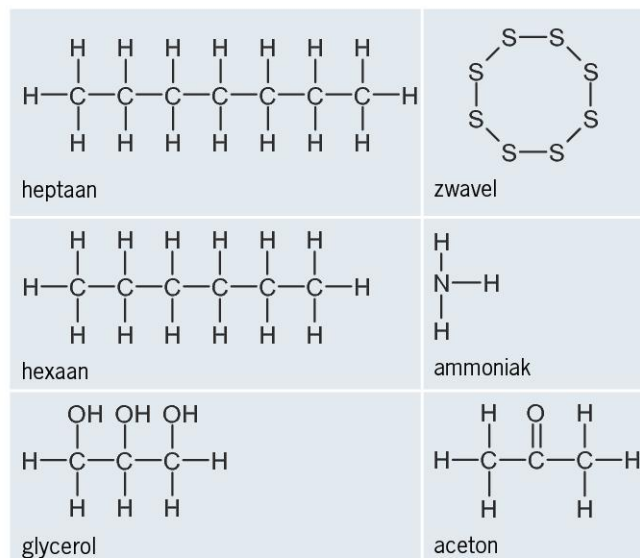
- Heptaan mengt niet met water.
- Zwavel lost op in heptaan.
- Hexaan lost niet op in vloeibare ammoniak.
- Glycerol mengt niet met hexaan.

In tabel 3.49 staan de structuurformules van de moleculen van de stoffen.

- Leg met behulp van deze structuurformules uit of de bijbehorende stoffen hydrofiel of hydrofoob zijn.
- Verklaar met je antwoord bij vraag a de resultaten van de proef van Rick.
- Leg uit of je verwacht dat hexaan in heptaan oplost.

Vervolgens voert Rick nog twee experimenten uit. Deze hebben als resultaat:

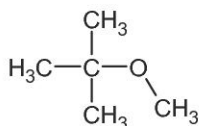
- Aceton mengt wel met hexaan.
 - Aceton mengt wel met water.
- d** Is een acetonmolecuul polair of apolair?
- e** Teken een watermolecuul en een acetonmolecuul en geef de waterstofbrug tussen beide moleculen met een stippellijntje weer.



3.49

C 39 MTBE ★

Vroeger werd tetra-ethyllood (TEL) aan benzine toegevoegd om te voorkomen dat het brandstofmengsel in de motor te vroeg ontbrandde. Omdat het giftige lood schadelijk bleek te zijn voor de katalysator en via de uitlaten van de auto's in het milieu terecht kwam, werd in 1988 overgeschakeld op loodvrije benzine. In plaats van TEL werd er MTBE aan de benzine toegevoegd. Hieronder staat de structuurformule van MTBE:



MTBE lost veel slechter op in water dan in benzine. Toch is gebleken dat in de omgeving van benzinestations in de Verenigde Staten MTBE in het grondwater terecht komt en uiteindelijk ook in het drinkwater.

- a** Leg aan de hand van de structuurformule van MTBE uit dat deze stof slechter in water oplost dan in benzine.
- b** Leg uit hoe het mogelijk is dat er toch MTBE in drinkwater terecht komt.

MTBE is een giftige stof, die bovendien een nare smaak geeft aan het drinkwater. Volgens een richtlijn van de Amerikaanse overheid mag de MTBE-concentratie in drinkwater niet hoger zijn dan $2,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$.

Bij de analyse van het water uit een drinkwaterreservoir met een inhoud van $5,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ bleek daarin 150 kg MTBE aanwezig te zijn.

- c** Ga door middel van een berekening na of het drinkwater in dit reservoir voldoet aan de richtlijn van de Amerikaanse overheid.

Naar: CE havo 2013-II

Experimenten

3.5 Jood in water, jood in wasbenzine

In dit experiment bekijk je hoe een hoeveelheid jood zich over twee vloeistoffen verdeelt.

3.6 Oplossen of niet?

Met behulp van de structuurformules onderzoek je of een aantal stoffen hydrofiel of hydrofoob is.

3.7 De ammoniakfontein

Ammoniak lost zo snel op in water dat er een fontein kan ontstaan.

3.8 Mentos in cola

Als er een mentos in een fles cola wordt gedaan, blijft er niet veel cola over.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- uitleggen waarom de stof jood beter in een wasbenzine laag oplost dan in een waterlaag;
- aan de hand van het polair of apolair zijn van moleculen bepalen of stoffen met deze moleculen wel of niet goed oplossen in een hydrofiel of hydrofoob oplosmiddel;
- uitleggen wat er gebeurt als een stof zich kan verdelen over meerdere oplosmiddelen.

Perslucht

Dankzij de beschikbaarheid van perslucht bij het duiken kun je de wereld onder water prima bestuderen. Om te weten hoelang je onder water kunt blijven moet je wel weten hoeveel liter zuurstof gas bij normale druk beschikbaar is.

**Je leert**

- dat het volume van een mol gas voor alle gassen gelijk is;
- rekenen met het molair volume.

3.5 Rekenen aan gassen

- Experiment 3.9
- Experiment 3.10



3.50 Hoeveel dm^3 CO_2 bevat een fles cola eigenlijk?

Het volume van een mol gas

De meeste gassen zijn moleculaire stoffen. Lucht bijvoorbeeld bestaat voornamelijk uit de moleculaire stoffen N_2 en O_2 . Als je gaat duiken neem je een fles samengeperste lucht mee. In cola is de moleculaire stof CO_2 opgelost. Die kan zich in een dichte fles verdelen over de luchtlaag boven in de fles en de cola, er ontstaat dan een verdelingsevenwicht. Maar als je de fles openmaakt, zal uiteindelijk alle CO_2 uit de fles ontsnappen (figuur 3.50).

In een experiment worden drie ballonnen met hetzelfde volume gevuld met de gassen waterstof (ballon 1), zuurstof (ballon 2) en koolstofdioxide (ballon 3). Stel dat je elke ballon uit het experiment vult met $1,00 \text{ dm}^3$ gas. Als je nu tijdens het vullen ook de massa bepaalt van elk gas, vind je het volgende:

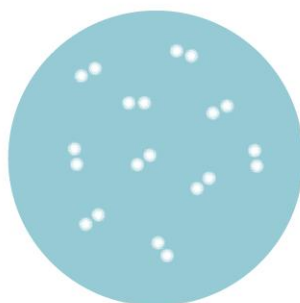
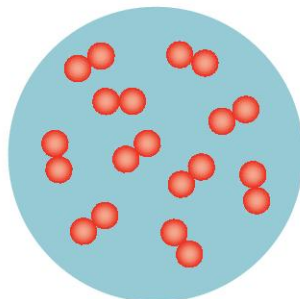
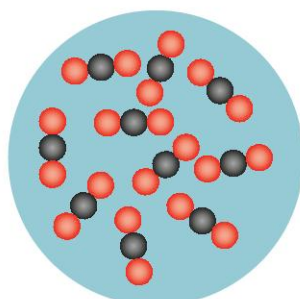
- $1,00 \text{ dm}^3$ waterstof heeft een massa van $0,0846 \text{ g}$;
- $1,00 \text{ dm}^3$ zuurstof heeft een massa van $1,344 \text{ g}$;
- $1,00 \text{ dm}^3$ koolstofdioxide heeft een massa van $1,85 \text{ g}$.

Je kunt nu uitrekenen hoeveel mol van elk gas in de ballonnen aanwezig is.

Ballon 1:

massa H_2 (g)	2,016	0,0846
hoeveelheid stof H_2 (mol)	1,00	x

$$x = \frac{0,0846 \text{ g} \times 1,00 \text{ mol}}{2,016 \text{ g}} = 0,0420 \text{ mol } \text{H}_2$$

 H_2 massa: $n \times 2,016 \text{ g}$  O_2 massa: $n \times 32,00 \text{ g}$  CO_2 massa: $n \times 44,01 \text{ g}$

3.51 Verschillende gassen bij gelijke temperatuur, volume en druk

Ballon 2:

massa O_2 (g)	32,00	1,344
hoeveelheid stof O_2 (mol)	1,00	x

$$x = \frac{1,344 \text{ g} \times 1,00 \text{ mol}}{32,00 \text{ g}} = 0,04200 \text{ mol } \text{O}_2$$

Ballon 3:

massa CO_2 (g)	44,01	1,85
hoeveelheid stof CO_2 (mol)	1,00	x

$$x = \frac{1,85 \text{ g} \times 1,00 \text{ mol}}{44,01 \text{ g}} = 0,0420 \text{ mol } \text{CO}_2$$

Uit deze berekeningen blijkt dat in $1,00 \text{ dm}^3$ van elk van de drie gassen evenveel mol aanwezig is. Een hoeveelheid stof van $0,0420 \text{ mol}$ komt overeen met $0,0420 \times 6,02 \cdot 10^{23} = 2,53 \cdot 10^{22}$ moleculen. Je kunt ook zeggen dat in $1,00 \text{ dm}^3$ van elk van de drie gassen evenveel moleculen aanwezig zijn. Dit is weergegeven in figuur 3.51.

Eenzelfde hoeveelheid moleculen van verschillende gassen neemt dus in de gasfase evenveel ruimte in. Omdat de moleculen dan een erg grote afstand tot elkaar hebben, heeft de grootte van het molecuul geen invloed meer op het aantal moleculen dat in een bepaalde volume past. Dit blijkt te gelden voor *alle* gassen en staat bekend als de **wet van Avogadro**.

Significante cijfers

Als je nog eens kijkt naar de berekening van het aantal mol H_2 , O_2 en CO_2 , dan valt je misschien op dat achter de $0,042$ nog een 0 staat. Waarom doen we dat? In hoofdstuk 2 heb je geleerd hoe je moet afronden bij het optellen en aftrekken van getallen. In dit geval ben je aan het delen en vermenigvuldigen.

Ook hiervoor gelden regels, deze wijken af van de regels bij optellen en aftrekken. Je werkt bij vermenigvuldigen en delen met **significante cijfers**. Dit zijn alle cijfers die iets zeggen over de nauwkeurigheid van een **gemeten waarde**. In de verhoudingstabel voor de berekening van het aantal mol CO_2 zijn alle significante cijfers rood gemaakt. Je ziet dat een nul soms wel significant is en soms niet. Nullen waarmee een getal begint, zijn nooit significant. Het aantal mol gas ($1,00$) is in dit voorbeeld geen meetwaarde, er is exact één mol gas. De molaire massa is namelijk de massa in gram van één mol stof. Je mag hier eigenlijk een eindeloze hoeveelheid nullen achter denken.

Het eindantwoord van een vermenigvuldiging of deling heeft evenveel significante cijfers als de gemeten waarde met het kleinste aantal significante cijfers. In deze berekening is dat de massa van CO_2 , die is namelijk $1,85 \text{ g}$. Dat is een gemeten waarde in drie cijfers. Daarom is de uitkomst van de berekening in drie cijfers $0,0420 \text{ mol}$ en niet $0,042 \text{ mol}$. Voor O_2 is de uitkomst van de berekening in vier significante cijfers, namelijk $0,04200 \text{ mol}$.

● Experiment 3.11

Rekenen aan het volume van een mol gas

Bij het experiment met de ballonnen komt $1,00 \text{ dm}^3$ gas overeen met $0,0420 \text{ mol}$. Je kunt dit natuurlijk ook omdraaien. Dan zie je hoe groot het volume is van één mol gas onder deze omstandigheden:

hoeveelheid gas (mol)	0,0420	1,00
volume (dm ³)	1,00	x

$$x = \frac{1,00 \text{ dm}^3 \times 1,00 \text{ mol}}{0,0420 \text{ mol}} = 23,8 \text{ mol dm}^3$$

1,00 mol gas heeft onder deze omstandigheden een volume van 23,8 dm³. Dit is het **molair volume (V_m)** van een gas. In het experiment is V_m = 23,8 dm³ mol⁻¹.

In een formule uitgedrukt: 1,00 mol gas $\triangleq$ (1,00 $\times$ V_m) dm³

Of omgekeerd: 1,00 dm³ gas $\triangleq$ $\frac{1,00}{V_m}$ mol



3.52 Hoeveel mol gas zou er nodig zijn om deze ballon te vullen?

Het molair volume is afhankelijk van de temperatuur en van de druk. Zo neemt één mol gas bij 25 °C en 1 bar een volume in van 24,5 dm³. Neemt de temperatuur toe, dan wordt V_m groter omdat een gas uitzet bij verhoging van de temperatuur. Als je de druk verhoogt, wordt V_m kleiner omdat de moleculen dichter naar elkaar toe worden gedrukt. Meestal wordt het molair volume bepaald onder zogenaamde standaarddruk (p₀). Standaarddruk komt overeen met 1,013 bar (= 1,013 · 10⁵ Pa).

In Binas tabel 7A staan twee waarden vermeld voor het molair volume, beide bepaald bij p = p₀.

De theorie over berekeningen die je tot nu toe in dit boek bent tegengekomen, vatten we samen in een rekenschema, zie figuur 3.53. Let op dat je bij het omrekenen van de massa naar het volume dus twee verschillende situaties hebt. Bij vaste stoffen en vloeistoffen gebruik je de dichtheid, bij gasen gebruik je meestal het molair volume. Hierna volgen twee rekenvoorbeelden met het molair volume.

Rekenvoorbeeld 1

Het volume van een mol gas is onder bepaalde omstandigheden 24,5 dm³ mol⁻¹.

a Hoeveel liter neemt 2,5 mol stikstofgas in?

b Hoeveel liter neemt 2,5 mol koolstofdioxidegas in?

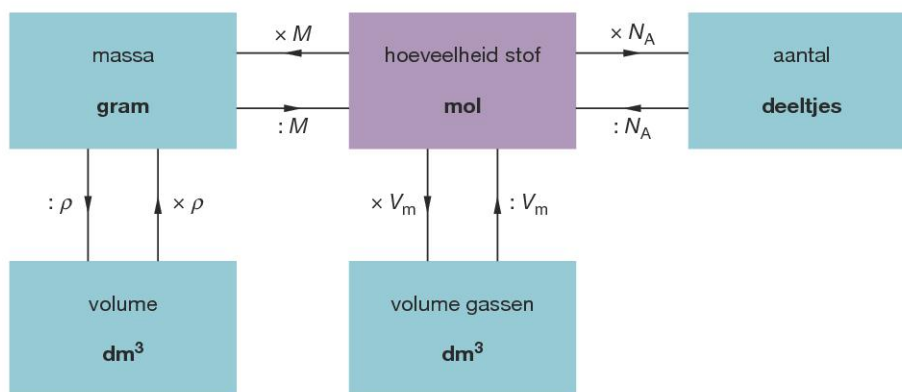
a Je moet van mol gas naar aantal liters, dus naar aantal dm³. Je moet vermenigvuldigen met V_m.

hoeveelheid gas (mol)	1,00	2,5
volume gas (dm ³)	24,5	x

$$x = \frac{24,5 \text{ dm}^3 \times 2,5 \text{ mol}}{1,00 \text{ mol}} = 61 \text{ dm}^3 = 61 \text{ L}$$

Het eindantwoord moet in twee significante cijfers omdat dit het kleinste aantal significante cijfers in de gemeten waarden is.

b Dit is ook 61 L. Het maakt niet uit welk gas je hebt, bij gelijke omstandigheden neemt ieder gas een gelijk volume in.



3.53 Rekenschema van mol naar gram, naar deeltjes en naar gasvolume



3.54 Het nieuwe koken met vloeibare stikstof. Je kunt zo een gerecht heel snel bevriezen, waardoor er een krokant laagje ontstaat.

Rekenvoorbeeld 2

Onder bepaalde omstandigheden is het molair volume van een gas $30,0 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$. Hoe groot is de massa van $10,0 \text{ dm}^3$ stikstof onder deze omstandigheden?

Voor deze berekening gebruik je het rekenschema en niet de verhoudingstabellen. Eerst moet je in het rekenschema van dm^3 gas naar mol gas, dus delen door V_m .

$$10,0 \text{ dm}^3 \triangleq \frac{10,0 \text{ dm}^3}{30,0 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 0,3333 \text{ mol N}_2$$

Vervolgens moet je van mol naar gram, dus vermenigvuldigen met de molaire massa van stikstof. De molaire massa van $\text{N}_2 = 28,02 \text{ g mol}^{-1}$.

$$0,3333 \text{ mol N}_2 \triangleq 0,3333 \text{ mol} \times 28,02 \text{ g mol}^{-1} = 9,34 \text{ g N}_2$$

Afronden op het juiste aantal significante cijfers doe je altijd pas na alle delingen en vermenigvuldigingen. In dit geval rond je af op drie significante cijfers.

Samenvatting

- Bij constante temperatuur en druk bevatten gelijke volumes van verschillende gassen evenveel moleculen en dus evenveel mol gas.
- Bij vermenigvuldigen en delen heeft de uitkomst van de berekening evenveel significante cijfers als de gemeten waarde met het kleinste aantal significante cijfers.
- Nullen waarmee een getal begint zijn nooit significant.
- Het volume van één mol gas, het molair volume (V_m), is voor alle gassen hetzelfde, bij gelijke temperatuur en druk.

Opdrachten

A 40

Waarom is de dichtheid van zuurstof bij dezelfde temperatuur en druk groter dan de dichtheid van waterstof?

A 41

Alle volgende getallen stellen meetwaarden voor. Bereken elke opgave in het juiste aantal significante cijfers.

- a $0,06 \times 2,4 = \dots$
 b $\frac{2 \cdot 10^8}{4,1 \cdot 10^3} = \dots$
 c $\frac{9,8 \cdot 10^{-2} \times 1,03 \cdot 10^5}{6 \cdot 10^2} = \dots$

A 42

Het molair volume bij 298 K en $p = p_0$ is te vinden in Binas. Bereken hoeveel mol onder deze omstandigheden overeenkomt met:

- a $12,0 \text{ dm}^3$ koolstofdioxide c $18,0 \text{ dm}^3$ ozon (O_3)
 b $4,0 \text{ dm}^3$ lucht d $1,0 \text{ dm}^3$ argon

B 43

Alle volgende getallen stellen meetwaarden voor. Bereken beide opgaven in het juiste aantal significante cijfers. Denk aan de regels bij optellen en aftrekken.

- a $\frac{6,45 \cdot 10^{-2} \times 3,17}{(25,3 + 1,25) \times 1,00 \cdot 10^{-3}} = \dots$
 b $\frac{4,75 + 2,37}{(106,3 - 0,75) \times 5,34 \cdot 10^3} = \dots$

B 44

Het molair volume van een gas bij 20 °C en 1 bar is $24,0 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$. Bereken onder deze omstandigheden met het rekenschema het volume van:

- a 2,0 mol methaan
 b 0,30 mol knalgas (een mengsel van waterstof en zuurstof in de volumeverhouding 2 : 1)
 c 0,060 mol waterstof
 d 2,5 mol koolstofmono-oxide

B 45

Vijf gelijke ballonnen zijn elk met $1,00 \text{ dm}^3$ van één van de volgende gasen gevuld.

- | | |
|-----------|-----------|
| 1 methaan | 4 propaan |
| 2 neon | 5 lucht |
| 3 helium | |

- a Bereken met het rekenschema de massa van de inhoud van elke ballon ($V_m = 22,2 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$).
 b Leg uit wat er met elk van de vijf ballonnen zal gebeuren als je ze in de lucht loslaat.

B 46

- a Bereken de massa in gram van 1,00 L water bij 100 °C, als gegeven is dat de dichtheid van water bij deze temperatuur $0,958 \text{ g mL}^{-1}$ bedraagt.

Bij 100 °C en 1 bar is het molair volume $31,1 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$.

- b Bereken hoeveel dm^3 waterdamp ontstaat als 1,00 liter water wordt omgezet in waterdamp bij deze temperatuur en druk.

B 47

- a Zoek in Binas de dichtheid op van de vloeistoffen water en benzeen.
 b Bereken voor beide vloeistoffen het volume in mL van 1,00 g stof.
 c Bereken voor beide vloeistoffen het volume in mL van 1,00 mol stof. De molecuulformule van benzeen is C_6H_6 .
 d Wat is je conclusie uit de uitkomsten bij vraag c?

B 48

Sjaak heeft bij het destilleren van wijn 1,00 gram ethanol, $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$, verkregen. Tijdens de destillatie werd de temperatuur op 80 °C gehouden. Het molair volume is bij deze omstandigheden $29,5 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$. Gebruik bij deze opgave het rekenschema.

- a Zoek de dichtheid van ethanol op in je Binas.
 b Bereken hoeveel milliliter vloeibare ethanol Sjaak heeft verkregen na afkoelen.
 c Bereken hoeveel milliliter ethanolgas er door de opstelling is gegaan.
 d Bereken hoeveel ethanolmoleculen er in 1,00 gram ethanol zitten.
 e Zitten er meer, minder of evenveel ethanolmoleculen in de bij vraag c berekende hoeveelheid gas?

B 49 **Coca-cola**

Coca-cola is wereldwijd de bekendste frisdrank. De drank is in 1886 door de apotheker Pemberton ontwikkeld tijdens de Amerikaanse drooglegging.

Een van de ingrediënten 'Merchandise 7x' is altijd geheim gebleven en volgens de legende alleen bij een kleine groep ingewijden bekend. Coca-Cola werd oorspronkelijk verkocht in kruikjes, als dikke siroop die je zelf moest aanlengen met water.

Nadat een barman op een gegeven moment het idee had om de siroop te mengen met koolzuurhoudend water is coca-Cola ontstaan zoals we hem nu kennen.

De coca-Cola die wij drinken bevat gemiddeld 7 g CO₂ per liter.

- a** Bereken het volume van 7 g CO₂-gas bij 298 K en $p = 1$ bar. Gebruik Binas tabel 7A.

Als je een bekerglas van 1 L met coca-Cola hebt zonder CO₂ en je probeert het bij vraag a berekende volume CO₂ op te lossen, dan lukt dat niet.

- b** Leg uit met behulp van Binas tabel 44A waarom dat niet lukt.
c Wat moet je doen om alle berekende CO₂ op te lossen?

C 50 Duiken ★

Persluchtflessen die bij duiken worden gebruikt bevatten een hoeveelheid lucht die onder grote druk in de fles is geperst. In een persluchtfles van 12 L bevindt zich lucht onder een druk van 300 bar. De buitenlucht heeft maar een druk van 1,00 bar. Bij gelijkblijvende temperatuur heeft het product van druk $\times$ volume een constante waarde, $p \times V = \text{constant}$.

- a** Bereken hoeveel liter lucht van 1,00 bar is samengeperst in een fles van 12 L met een druk van 300 bar.

De hoeveelheid lucht die de mens inademt per keer is afhankelijk van conditie en lichaamsgewicht. Ga er hier van uit dat een duiker bij iedere inademing gemiddeld 800 mL lucht inademt met een frequentie van 16 keer per minuut.

- b** Bereken hoeveel uur je een persluchtfles kunt gebruiken voordat hij leeg is.

Lucht bestaat vrijwel geheel uit stikstof en zuurstof in een volumeverhouding van 4 : 1. Als je niet diep duikt, komt de lucht via de ademautomaat uit de fles met een druk van 1,00 bar. Het molair volume van lucht onder deze omstandigheden is 24,5 dm³ mol⁻¹. Gebruik het rekenschema bij je berekeningen.

- c** Bereken met behulp van je antwoord bij vraag a hoeveel gram zuurstof er in de persluchtfles zit.

Ook de zuurstofopname van de mens is weer afhankelijk van conditie en lichaamsgewicht. Stel dat bij de duiker gemiddeld 1200 mL zuivere zuurstof per minuut door de longen wordt opgenomen.

- d** Bereken hoeveel gram zuurstof er per minuut door de longen wordt opgenomen.
e Bereken hoelang je theoretisch met een persluchtfles zou kunnen doen.
f Geef een reden waarom dit antwoord niet klopt met je antwoord bij vraag b.

C 51

In een gasmeetspuit wordt precies 100,0 cm³ CO₂ (g) afgemeten. Bij de omstandigheden van deze proef heeft deze hoeveelheid CO₂ een massa van 0,176 g. Bereken V_m bij deze omstandigheden.



3.55 Ook bij de brandweer is perslucht nodig.

Experimenten

3.9 Moleculen in een volume gas

Bevatten gelijke volumes van verschillende gassen evenveel moleculen?

3.10 De dichtheid van alcohol bepalen

Je bepaalt op verschillende manieren de dichtheid van alcohol.

3.11 Koolstofdioxidegas in frisdrank

Je bepaalt de hoeveelheid koolstofdioxidegas die zich in frisdrank bevindt.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- uitleggen waarom een gelijke hoeveelheid aan moleculen in de gasfase bij dezelfde temperatuur en druk een gelijk volume inneemt;
- rekenen met het molair volume.

Afsluiting

Oefenopdrachten

- 1 a Geef voor elk van onderstaande stoffen aan of het een moleculaire stof, een zout of een metaal is.
- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 zilver (Ag) | 5 zwavel (S ₈) |
| 2 joodchloride (ICl) | 6 loodchloride (PbCl ₂) |
| 3 natriumsulfide (Na ₂ S) | 7 water (H ₂ O) |
| 4 kalium (K) | 8 nikkel (Ni) |
- b Geef aan welke stoffen elektrische stroom kunnen geleiden. Vermeld ook de fase waarin stroomgeleiding kan optreden.

- 2 De stof met formule SOCl₂ is een kleurloze vloeistof die smelt bij –105 °C en kookt bij 79 °C. Als je de stof mengt met water, treedt er een *reactie* op. Hierbij ontstaan zwaveldioxide (SO₂) en waterstofchloride (HCl).

- a Waarom reken je SOCl₂ tot de moleculaire stoffen?

In SOCl₂ heeft zuurstof de covalentie 2 en beide chlooratomen hebben de covalentie 1. In SOCl₂ zijn het zuurstofatoom en de chlooratomen direct aan het zwavelatoom gebonden.

- b Leid af dat zwavel in SOCl₂ *niet* de covalentie kan hebben die het meestal heeft, namelijk 2.

- c Als SOCl₂ mengt met water, welke soort binding(en) wordt (worden) er dan verbroken?

- d Stel de vergelijking op voor de reactie tussen SOCl₂ en H₂O. Lees daarvoor de informatie uit het begin van de opgave nog eens goed door.

3 Geheimzinnige vulkaanramp

Op 21 augustus 1986 kwamen in het dunbevolkte gebied rondom het Nyos-meer in Kameroen circa 1700 mensen om het leven. Mensen en dieren waren in hun slaap gedood. Het was een geheimzinnige ramp, omdat er geen gewonden of getuigen waren. Geologen kwamen er pas na een maand achter dat in die nacht zo'n 80 miljoen m³ CO₂ uit de diepte van het vulkanische meer moet zijn opgestegen. De CO₂-fontein moeten minstens tien meter hoog zijn geweest.

- a Bereken de molecuulmassa van koolstofdioxide.

Stel dat lucht exact voor 20% uit zuurstof en 80% uit stikstof bestaat.

- b Bereken de gemiddelde molecuulmassa van lucht.

- c Leg uit of het mogelijk is dat 1,00 L CO₂ (g) evenveel moleculen bevat als 1,00 L lucht (g).

- d Beredeneer welk gas de grootste dichtheid heeft, CO₂ of lucht.

- e Leg uit wat de oorzaak van het overlijden van mens en dier is geweest.

Het Nyos-meer wordt niet alleen door regenwater gevoed, maar ook door bronnen onder in het meer. Deze bronnen brengen ook voortdurend CO₂ in het meer.

De CO₂ lekt waarschijnlijk weg uit het magma in de kraterbodem onder het meer. Het CO₂ hoopt zich onder in het 200 m diepe Nyos-meer op. Op een diepte van 200 m is het water veel kouder dan aan de oppervlakte.

- f Geef twee redenen waarom het opgeloste CO₂ zich ophoopt op de bodem van het meer.



3.56 De ontgassing van het Nyos-meer. Bij het ontgassen ontstaan 20 m hoge fontein.

Waarschijnlijk is bij de ramp in 1986 het onderliggende water door een aardverschuiving naar boven gekomen, waarna de opgehoopte CO_2 in één keer is vrijgekomen. Inmiddels heeft men een soort 'schoorsteen' in het meer aangebracht, waardoor de CO_2 geleidelijk weglekt.

g Alleen een schoorsteen plaatsen is niet voldoende. Leg uit wat men nog meer moet doen om te zorgen dat het opgeloste CO_2 weglekt.

In die bewuste nacht steeg $80 \text{ miljoen m}^3 \text{ CO}_2$ uit de diepte van het vulkanische meer op.

h Bereken hoeveel mol CO_2 dat is.

i Bereken hoeveel ton CO_2 is opgestegen.

4 Zonnecellen



3.57 Een bijzonder zonnecelproject, een boom met zonnebladeren

Voor de productie van zonnecellen en de productie van chips in de computerindustrie is zeer zuiver silicium nodig. Dit zuivere silicium wordt gemaakt door onzuiver silicium te laten reageren met chloorgas. Er ontstaat dan SiCl_4 . Dit SiCl_4 laat men daarna reageren met waterstofgas, waarbij zeer zuiver silicium en waterstofchloridegas ontstaan.

Bij de productie van SiCl_4 ontstaan in kleine hoeveelheden ook de stoffen Si_2Cl_6 en Si_3Cl_8 . De kookpunten van de drie verbindingen zijn in bovenstaande volgorde 57, 145 en 210°C .

a Zijn de drie siliciumverbindingen moleculair of zijn ze opgebouwd uit ionen? Leg uit of dit klopt met de kookpunten.

b Geef de structuurformules en de namen van de drie siliciumverbindingen.

c Verklaar de verschillen in kookpunt.

Voor de productie van zeer zuiver silicium is alleen SiCl_4 bruikbaar.

d Hoe kan men SiCl_4 uit het mengsel verkrijgen?

5 Narcose



3.58 Kinderen krijgen van tevoren een oefensetje mee.

Ethoxyethaan, een stof die je gewoonlijk ether noemt, werd vroeger gebruikt als verdovingsmiddel bij medische ingrepen. Omdat ethoxyethaan goedkoop is en er geen dure apparatuur nodig is, gebruiken medici in ontwikkelingslanden het nog steeds. Een nadeel van ethoxyethaan is de vluchtigheid. De vloeistof verdampt gemakkelijk en vormt dan met lucht een explosief mengsel. De dichtheid van de ethoxyethaandamp is groter dan de dichtheid van lucht. De molecuulformule van ethoxyethaan is $\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$.

a Bereken de molaire massa van ether.

b Zoek in Binas op bij welke temperatuur in $^\circ\text{C}$ ether kookt.

c Laat door berekening zien hoeveel mol $1,00 \text{ dm}^3$ etherdamp bevat (omgerekend naar $T = 273 \text{ K}$, $p = p_0$). Gebruik het rekenschema.

d Leg met behulp van de dichtheid uit wat het gebruik van ethoxyethaan extra gevaarlijk maakt.



6 In tabel 3.60 zie je de smelt- en kookpunten van een aantal stoffen.

a Geef de fase (s, l, g) van de vijf stoffen bij 25°C .

b Bij welke van deze stoffen worden in de vloeibare fase waterstofbruggen gevormd? Teken voor elk van deze stoffen de structuurformules van drie moleculen, die door waterstofbruggen zijn verbonden.



3.59 Hydrazine wordt onder andere gebruikt als raketbrandstof.

c Hoe verklaar je dat het kookpunt van ethaanthiol *lager* is dan dat van ethaan-1,2-diol?

stof	structuurformule	stof	structuurformule
hydrazine smeltpunt 275 K kookpunt 387 K	$\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \diagdown & / \\ & \text{N} - \text{N} \\ & / & \diagdown \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$	ethaan-1,2-diol smeltpunt 260 K kookpunt 470 K	$\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{O}-\text{C} & - & \text{C}-\text{O}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$
dichloormethaan smeltpunt 178 K kookpunt 313 K	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	ethaanthiol smeltpunt 129 K kookpunt 310 K	$\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & - & \text{C}-\text{S}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$
methanal (formaldehyde) smeltpunt 181 K kookpunt 254 K	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \end{array}$		

3.60



7

Stikstof

De binding tussen de twee stikstofatomen van een stikstofmolecuul is één van de sterkste bindingen in de natuur. Losse stikstofatomen zijn daardoor moeilijk te maken en verbindingen met stikstof, bijvoorbeeld in kunstmest, kunnen momenteel alleen bij hoge druk en hoge temperatuur en met behulp van katalysatoren worden geproduceerd. In de jaren zestig werd ontdekt dat bacteriën in de grond wel stikstof uit de lucht kunnen onttelen. Dertig jaar hebben chemici geprobeerd de vaardigheid van deze bacteriën in een laboratorium na te bootsen. Dat lijkt nu eindelijk te zijn gelukt.

Onderzoekers hebben met behulp van een molybdeenverbinding stikstofmoleculen bij normale temperatuur en druk gesplitst in losse stikstofatomen. Molybdeen is een metaal dat ook aanwezig is in het enzym dat bacteriën gebruiken om stikstof te onttelen.

De atomen in een molecuul N_2 zijn zeer sterk aan elkaar gebonden en dat hangt samen met de covalentie van N-atomen.

a Geef de covalentie van het stikstofatoom en leid daaruit af dat de atomen in een molecuul N_2 zeer sterk aan elkaar zijn gebonden.

In de tekst wordt gesproken over het 'ontleden' van stikstof. De term ontleden is in dit geval onjuist.

b Geef aan waarom deze term hier onjuist is.

Een bepaald soort kunstmest bevat ammoniumsulfaat. Om deze stof te maken wordt eerst ammoniak bereid uit stikstof en waterstof.

c Geef de reactievergelijking van deze ammoniakbereiding.

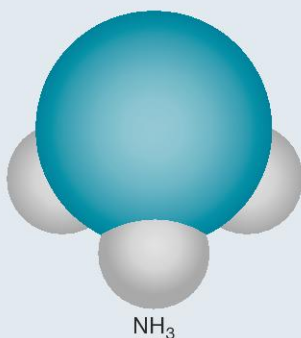
d Welke soort bindingen komen voor in ammoniakmoleculen?

e Hoe wordt de binding genoemd tussen de ammoniakmoleculen in vloeibaar ammoniak?

In figuur 3.61 is de ruimtelijke bouw van het ammoniakmolecuul weergegeven. De waterstofatomen steken naar onderen uit.

f Leg uit of de 'N-kant' een beetje positief of een beetje negatief is geladen.

g Leg uit waarom ammoniak heel goed oplost in water.

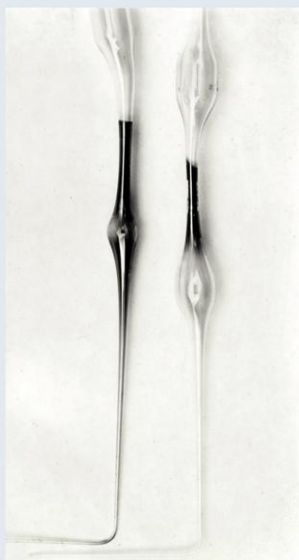


3.61 De ruimtelijke bouw van het ammoniakmolecuul



8

Arseen aantonen



3.62 Twee voorbeelden van een arseenspiegel in een glazenbuisje

Voor 1840 was rattengif in de vorm van wit di-arseeentrioxide een favoriet vergif omdat het smaakloos was, eenvoudig was toe te voegen aan levensmiddelen en bovenal niet aan te tonen was. Dat werd anders na 1840 door de invoering van de marshtest. Die test toont het arseen aan dat in het rattengif zit. Sindsdien gebruikt een forensisch instituut van de politie die test als bij een sterfgeval wordt vermoed dat er sprake is van vergiftiging met rattengif.

Bij de test ontstaat het gas AsH_3 dat, in een vlam gebracht, ontleedt. Het laat daarbij een zwartglanzende arseenspiegel achter op een glasplaatje.

a Geef de formule van di-arseeentrioxide.

Het is soms moeilijk van elementen in het periodiek systeem vast te stellen of het een metaal of een niet-metaal is. Dit is ook het geval bij arseen. Zo kun je je afvragen of de vaste stof di-arseeentrioxide zal geleiden of niet.

b Maakt het voor een voorspelling van de elektrische geleiding van di-arseeentrioxide uit of arsenicum een metaal is of een niet-metaal? Leg je antwoord uit.

Arseentrihydride is een gas.

c Leg uit of je met dit gegeven kunt zeggen of arseen een metaal is of niet.

Niet iedere spiegelende stof is per definitie een metaal. Denk maar aan glas met een donkere achtergrond of de zon op een nat wegdek.

d Hoe kun je van de arseenspiegel experimenteel nagaan of deze een metaalspiegel is?

e Leg uit wat volgens het periodiek systeem de uitkomst zal zijn van dit experiment.

Keuzeopdrachten

Hieronder staat een korte beschrijving van drie keuzeopdrachten. Op de site staat meer informatie. In overleg met je docent kun je één of meer van deze keuzeopdrachten uitvoeren.

1

Metallurgie

Bij deze opdracht zoek je uit wat metallurgie is en denk je na over het kunststoftijdperk. Je krijgt ook inzicht in de milieueffecten van de productieprocessen.

2

Piepschuim

Hoe luchtig is piepschuim? Je voert een spectaculair experiment uit en bepaalt daarmee het volumepercentage lucht in verpakkingsmateriaal.

3

Duiksport

In de duiksport moet je ervoor zorgen dat je voldoende zuurstof bij je hebt. Meestal maak je gebruik van cilinders met samengeperste lucht. Deze opdracht gaat over de factoren die van invloed zijn op de tijd die je onder water kunt doorbrengen, de diepte die je kunt bereiken en de manier waarop je veilig weer aan de oppervlakte kunt komen.

Overzicht begrippen

Apolaire moleculen	Moleculen die geen polaire atoombindingen hebben, of waarin de aanwezige polaire atoombindingen elkaars effect opheffen.
Atoombinding	Bij moleculaire stoffen ontstaat een atoombinding of covalente binding als atomen elektronen met elkaar delen. Het aantal elektronen dat kan worden gedeeld heet de covalentie van een atoom. Een binding tussen atomen met een verschil in elektronegativiteit van $\leq 0,4$ is een apolaire atoombinding . Als het verschil in elektronegativiteit tussen 0,4 en 1,7 ligt, is er een polaire atoombinding . Bij een verschil in elektronegativiteit groter dan 1,7 heb je een ionbinding.
Hydrofiele stoffen	Stoffen die uit polaire moleculen bestaan en goed oplossen in water.
Hydrofobe stoffen	Stoffen die uit apolaire moleculen bestaan en niet goed oplossen in water.
Indeling van stoffen	1 metalen, met een metaalrooster. De binding tussen de atomen is een metaalbinding. 2 zouten, met een ionrooster. De binding tussen de bouwstenen is een ionbinding. 3 moleculaire stoffen, met een molecuulrooster. De binding tussen de moleculen is de vanderwaalsbinding.
Mesoniveau	Het mesoniveau omvat de structuren tussen het micro- en het macroniveau. Je gebruikt het mesoniveau om stofeigenschappen te verklaren vanuit de manier waarop de deeltjes van het microniveau zijn geordend tot grotere structuren.
Molair volume (V_m)	Het volume dat 1,00 mol gas heeft onder bepaalde omstandigheden van temperatuur en druk.
Polaire moleculen	Moleculen die een ladingsverdeling hebben binnen het molecuul zijn polair . Het zijn dipool-moleculen . De binding tussen verschillende dipoolmoleculen is de dipool-dipoolbinding . De heel sterke dipool-dipoolbinding die ontstaat als er een OH- of een NH-groep in een molecuul aanwezig is, heet een waterstofbrug .
Significante cijfers	Bij berekeningen met meetwaarden wordt de nauwkeurigheid van de einduitkomst gegeven in een bepaald aantal cijfers dat betekenis heeft. Dat aantal cijfers wordt bepaald door de meetwaarde met de minste cijfers.
Structuurformule	Modeltekening om de bouw van een molecuul weer te geven. De atomen worden weergegeven met hun symbool, de bindingen tussen de atomen met een streepje.
Verdelingsevenwicht	Een verdelingsevenwicht is een dynamische evenwicht waarbij een opgeloste stof zich verdeelt over twee oplosmiddelen. Bij evenwicht blijven de concentraties van de opgeloste stof in de beide oplosmiddelen constant. De transportsnelheden van een stof tussen de twee oplosmiddelen zijn bij dit evenwicht aan elkaar gelijk.
Wet van Avogadro	Gelijke volumina van verschillende gassen hebben bij dezelfde temperatuur en druk een gelijk aantal moleculen.

4 Zouten en zoutoplossingen

Inhoud

- 4.1** Zouten, namen en formules
Experiment:
4.1 Zoutkristallen
- 4.2** Zouten in water
Experimenten:
4.2 Oplossen van natriumchloride
4.3 Oplosbaarheid van zouten
4.4 Kleuren van ionen
4.5 Hydratatie van ionen
4.6 Calciumoxide en water
- 4.3** Zouthydraten
Experimenten:
4.7 Kristalwater
4.8 Hard gips
4.9 Kristalwater in soda

4.4 Molariteit

Afsluiting

Overzicht begrippen





Zouten

Door het indampen van prehistorische zoutmeren zijn grote zoutlagen ontstaan. Bij de winning van het zout ontstaan ondergrondse grotten. In de grotten in Zipaquirá bij Bogota in Colombia is deze zoutkathedraal gevestigd.

4

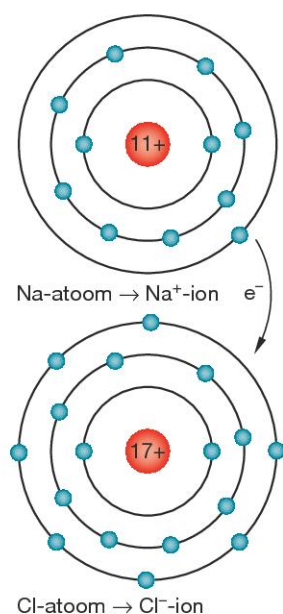
Kristallen

Zouten zijn er in verschillende vormen en maten. Keukenzout bestaat uit kubusvormige, kleine kristalletjes. De parels hiernaast bestaan ook uit zouten, vooral het zout aragoniet. Aragoniet is kleurloos en bestaat uit naaldvormige kristalletjes.

**Je leert**

- hoe zouten worden gevormd;
- een aantal ionsoorten kennen en hoe een ionrooster ontstaat;
- hoe je namen en formules van zouten opstelt.

4.1 Zouten, namen en formules



4.1 Vorming van een natriumion en een chloride-ion

Vorming van een zout

Een belangrijke groep stoffen naast de moleculaire stoffen zijn de zouten. Zouten komen in allerlei vormen op aarde voor. Zo bestaan de parels hierboven uit zouten, maar ook mineralen en allerlei soorten gesteente bestaan uit zouten. Om de vorming van een zout te begrijpen kun je het atoommodel van Bohr en de octetregel gebruiken. Volgens de octetregel streven atomen door het opnemen of afstaan van elektronen naar acht elektronen in de buitenste schil.

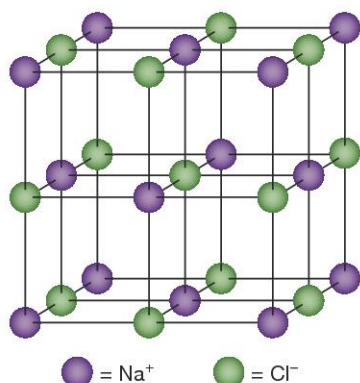
Als voorbeeld nemen we natriumchloride. Bij de reactie tussen het metaal natrium en het niet-metaal chloor ontstaan de ionen die de bouwstenen zijn voor het zout natriumchloride. Een natriumatoom heeft de elektronenconfiguratie 2, 8, 1. Om aan de octetregel te voldoen moet natrium een elektron afstaan. Er ontstaat dan een Na^+ -ion met een elektronenconfiguratie 2, 8. Dit is dezelfde elektronenconfiguratie als neon. Een chlooratoom heeft de elektronenconfiguratie 2, 8, 7. Chloor neemt een elektron op, waardoor er een Cl^- -ion ontstaat met een elektronenconfiguratie 2, 8, 8, de edelgasconfiguratie van argon (figuur 4.1). De ionen die zo ontstaan vormen samen het zout natriumchloride.

De ionbinding

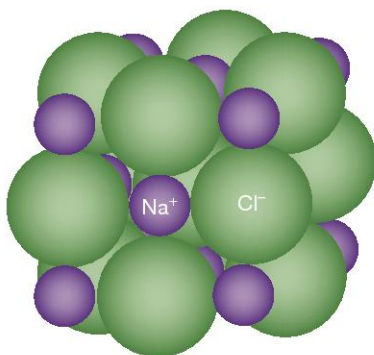
De positieve natriumionen en negatieve chlooratomen trekken elkaar aan door hun tegengestelde lading, een proces dat je aanduidt met elektrostatische krachten. Omdat het hierbij om sterke krachten gaat, ontstaat er tussen de ionen een sterke **ionbinding**. Er wordt een **ionrooster** gevormd, waarin de positieve en negatieve ionen regelmatig zijn gerangschikt. De ionbinding is

over het algemeen een sterkere binding dan de vanderwaalsbinding en de waterstofbrug. Daardoor is het smelt- en kookpunt van zouten meestal hoger dan van moleculaire stoffen. Zouten verschillen onderling ook in hun smeltpunten en kookpunten. Dat betekent dat de sterkte van de ionbinding afhankelijk is van de soort ionen die in het zout voorkomen.

In figuur 4.2a en b zie je twee modellen van het ionrooster van natriumchloride op microniveau. De lijnen in het model zijn alleen getekend om duidelijk aan te geven dat de stapeling van ionen volgens een regelmatig patroon gaat. Ook op macroniveau is te zien dat natriumchloride uit kubische kristallen bestaat, zie figuur 4.2c.



a



b



c

4.2 Dat natriumchloride een kristalstructuur heeft is zichtbaar op microniveau in het doorkijkmodel (a) en het ruimtevullend model (b), maar ook op macroniveau (c).

● Experiment 4.1

Positieve en negatieve ionen

Metaalatomen hebben positieve elektrovalenties en komen als positieve ionen voor in een zout. De naam van het metaalion ontstaat door achter de naam van het metaal het woord *ion* te plaatsen. Zo vormt het metaal cesium, Cs, positief geladen cesiumionen. Omdat cesium in groep 1 van het periodiek systeem staat, is de elektrovalentie van het cesiumatoom 1+. De formule van het cesiumion is dus Cs^+ . Ionen die uit één atoomsoort bestaan noemt men **enkelvoudige ionen**. In tabel 4.3 staan de formules en namen van de enkelvoudige positieve ionen die je moet kennen.

In deze tabel, maar ook in Binas tabel 40A, kun je zien dat sommige metalen meer dan één elektrovalentie hebben. Zo kan een tinion voorkomen als Sn^{2+} en als Sn^{4+} . Deze twee ionsoorten moet je ook in de naamgeving van elkaar onderscheiden. Beide zijn immers tinionen. Daarom zet je achter de naam van de atoomsoort een Romeins cijfer dat aangeeft om welke ionlading het gaat. Voor tin geeft dat:

Sn^{2+} : tin(II)ion

Sn^{4+} : tin(IV)ion

naam	formule	naam	formule	naam	formule
aluminiumion	Al^{3+}	koperion	Cu^{2+}	mangaan(IV)ion	Mn^{4+}
bariumion	Ba^{2+}	kwik(I)ion	Hg^+	natriumion	Na^+
calciumion	Ca^{2+}	kwik(II)ion	Hg^{2+}	tin(II)ion	Sn^{2+}
goud(I)ion	Au^+	lithiumion	Li^+	tin(IV)ion	Sn^{4+}
goud(III)ion	Au^{3+}	lood(II)ion	Pb^{2+}	uraan(III)ion	U^{3+}
ijzer(II)ion	Fe^{2+}	lood(IV)ion	Pb^{4+}	uraan(VI)ion	U^{6+}
ijzer(III)ion	Fe^{3+}	magnesiumion	Mg^{2+}	zilverion	Ag^+
kaliumion	K^+	mangaan(III)ion	Mn^{2+}	zinkion	Zn^{2+}

4.3 Namen en formules van enkelvoudige positieve ionen

naam	formule
fluoride-ion	F^-
chloride-ion	Cl^-
bromide-ion	Br^-
jodide-ion	I^-
oxide-ion	O^{2-}
sulfide-ion	S^{2-}

4.4 Namen en formules van enkelvoudige negatieve ionen

Niet-metalen kunnen zowel in moleculaire stoffen als in zouten voorkomen. Niet-metalen hebben vrijwel altijd negatieve elektrovalenties. De naam van het niet-metaalion ontstaat door achter de naam van het niet-metaal het woord *ide* te plaatsen. Het niet-metaal seleen, Se, vormt negatief geladen selenide-ionen. Omdat seleen in groep 16 van het periodiek systeem staat, is de elektrovalentie van het seleenatoom 2-. De formule van het selenide-ion is dus Se^{2-} . In tabel 4.4 staan de formules en namen van de enkelvoudige negatieve ionen die je moet kennen. Hier kun je zien dat bij de niet-metaalionen O^{2-} en S^{2-} de naamgeving afwijkt van de regel die hierboven staat.

Als in één ion twee of meer verschillende atoomsoorten voorkomen, spreek je van een **samengesteld ion**. Er bestaan zowel positieve als negatieve samengestelde ionen. De atomen waaruit een samengesteld ion is opgebouwd zijn via atoombindingen aan elkaar gekoppeld. Het samengesteld ion heeft één of meer elektronen afgestaan of opgenomen en is daarom niet neutraal, maar geladen.

In tabel 4.5 vind je de namen en formules van een aantal veelvoorkomende samengestelde ionen. Een aantal van deze ionen vind je ook terug in Binas tabel 66B.

samengestelde positieve ionen		samengestelde negatieve ionen			
naam	formule	naam	formule	naam	formule
ammoniumion	NH_4^+	acetaat	CH_3COO^-	permanganaat	MnO_4^-
		carbonaat	CO_3^{2-}	sulfaat	SO_4^{2-}
		fosfaat	PO_4^{3-}	sulfiet	SO_3^{2-}
		hydroxide-ion	OH^-	thiosulfaat	$S_2O_3^{2-}$
		nitraat	NO_3^-	waterstofcarbonaat	HCO_3^-
		nitriet	NO_2^-		

4.5 Namen en formules van samengestelde ionen

Namen en formules van zouten

Als je de namen van de ionen kent, is de **systematische naam** van een zout hieruit gemakkelijk af te leiden. De naam van het positieve ion staat steeds voorop, gevolgd door de naam van het negatieve ion.



4.6 IJzer(III)chloride of $FeCl_3$

Zoutformules

De ionen in een zout zijn in een zodanige verhouding aanwezig dat de stof als geheel elektrisch neutraal is. De formule van een zout geeft de verhouding aan waarin de ionen in het zout aanwezig zijn. Een zoutformule noem je dan ook een **verhoudingsformule**. Als je weet uit welke ionen een bepaald zout bestaat, kun je de verhoudingsformule van de desbetreffende stof opstellen. Zie de drie voorbeelden die volgen.

Voorbeeld 1: de verhoudingsformule van ijzer(III)chloride

IJzer(III)chloride bestaat uit ijzer(III)ionen (Fe^{3+}) en chloride-ionen (Cl^-). Per ijzer(III)ion heb je drie chloride-ionen nodig om de stof elektrisch neutraal te maken, dat is een verhouding van 1: 3. De verhoudingsformule van ijzer(III)chloride is dan $Fe^{3+}(Cl^-)_3$ of $FeCl_3$.

$FeCl_3$ is een fel oranje zout, zie figuur 4.6.



4.7 De triviale naam van calciumfluoride is fluoriet. Van zichzelf is het een kleurloos mineraal, maar door de aanwezigheid van andere zouten wordt het groen, paars of blauw.

Voorbeeld 2: de verhoudingsformule van aluminiumoxide

Aluminiumoxide bestaat uit aluminiumionen (Al^{3+}) en oxide-ionen (O^{2-}). Om de stof elektrisch neutraal te maken is de verhouding Al^{3+} : O^{2-} gelijk aan 2 : 3. De verhoudingsformule van aluminiumoxide is dan $(\text{Al}^{3+})_2(\text{O}^{2-})_3$ of Al_2O_3 .

Voorbeeld 3: de verhoudingsformule van bariumfosfaat

Bariumfosfaat bestaat uit bariumionen (Ba^{2+}) en fosfaationen (PO_4^{3-}). Om de stof elektrisch neutraal te maken is de verhouding Ba^{2+} : PO_4^{3-} gelijk aan 3 : 2. De verhoudingsformule van bariumfosfaat is dan $(\text{Ba}^{2+})_3(\text{PO}_4^{3-})_2$ of $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$. Je ziet dat het fosfaation in de formule tussen haakjes is blijven staan. Zonder haakjes zou er namelijk $\text{Ba}_3\text{PO}_{42}$ staan en dat is natuurlijk fout. Bovendien geldt dat de index 2 van toepassing is op het gehele samengestelde ion.

Triviale namen

Een aantal zouten heeft naast de officiële, systematische naam ook nog een **triviale naam**. Die worden in de dagelijkse praktijk veel gebruikt. In figuur 4.7 zie je de triviale naam van calciumfluoride. Een overzicht van triviale namen met de bijbehorende systematische naam vind je in Binas tabel 66A.

Samenvatting

- In een ionrooster wordt tussen de ionen een ionbinding gevormd. De ionbinding is een sterke binding, daarom hebben zouten hogere kook- en smeltpunten dan moleculaire stoffen.
- Een enkelvoudig ion is een geladen deeltje dat uit één atoomsoort bestaat. Bestaan er van een atoomsoort meerdere elektrovalenties, dan gebruik je een Romeins cijfer om de lading aan te geven. Een samengesteld ion is een geladen deeltje dat uit meerdere atoomsoorten bestaat.
- De systematische naam van een zout krijg je door eerst de naam van het positieve ion te nemen, gevolgd door de naam van het negatieve ion.
- De formule van een zout geef je weer in een verhoudingsformule, waarbij de ionen in een dusdanige verhouding voorkomen, dat het zout elektrisch neutraal is.

Glas

Al duizenden jaren verwarmen mensen een mengsel van zand, potas en kalk. Het doorzichtige materiaal dat na afkoeling ontstaat heet glas. Het soort glas dat het meest wordt gebruikt (standaardglas) heet officieel natronkalkglas en bestaat uit een mengsel van de zouten siliciumdioxide, magnesiumoxide, aluminiumoxide en natriumoxide. Glas wordt bij een temperatuur van ongeveer 550 °C week. Bij deze temperatuur trekken de ionen elkaar nog steeds sterk aan, maar kun je het glas wel in allerlei vormen buigen en blazen. Dat is een eigenschap waar een glasblazer dankbaar gebruik van maakt.

Voor laboratoriumdoeleinden is dit glas niet geschikt. Door het natriumoxide te vervangen door kaliumoxide vervormt het glas pas bij een veel hogere temperatuur. Dit glas wordt ook wel Boheems glas genoemd. Vervang je een deel van het siliciumdioxide door B_2O_3 , dan krijg je pyrex-glas. Dit glaswerk is prima bestand tegen grote temperatuurwisselingen en wordt daarom gebruikt voor het maken van onder andere beverglazen en erlenmeyers.

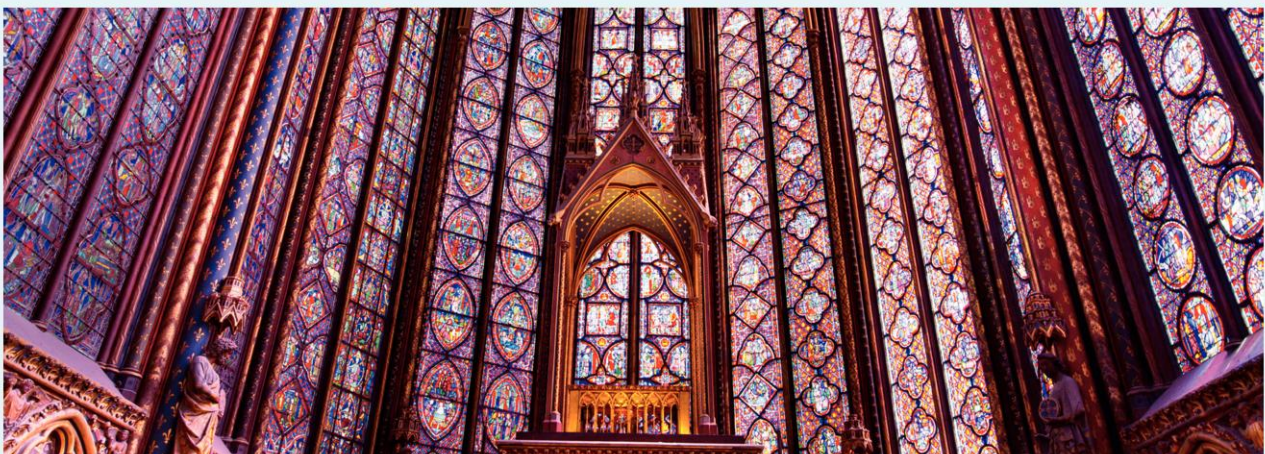
Vanaf de middeleeuwen worden er prachtige gebrandschilderde ramen gemaakt (figuur 4.8). Voor deze ramen is gekleurd glas nodig. Om glas te kleuren worden zouten aan het glasmengsel toegevoegd. Zo zorgt bijvoorbeeld ijzer(II)oxide voor een groene kleur, koper(I)oxide voor een rode kleur en kobalt(II)oxide voor een blauwe kleur. In de middeleeuwen was het maken van gekleurd glas een zaak van proberen en veel geluk. Men kende de chemische samenstelling en concentraties van de kleurstof-

fen niet die nodig waren om de gewenste kleur te krijgen. Ook nu nog kan een glasmaker niet precies zeggen welke kleurintensiteit zijn mengsel zal opleveren. Dit hangt te veel af van de temperatuur in de glasoven, de tijdsduur van het bakken en de toegevoegde kleurconcentratie.

In de beeldende kunsten is glas ook een veelgebruikt materiaal. Een bekende glaskunstenaar op dit terrein is de Amerikaan Dale Chihuly (figuur 4.9). Zijn uitzonderlijk mooie glassculpturen en glasinstallaties, die soms bestaan uit duizenden onderdelen, worden in de hele wereld tentoongesteld.



4.9 Glaskunst van Dale Chihuly



4.8 Gebrandschilderde ramen in de Saint-Chapelle in Parijs

● Opdracht B9

Opdrachten

A 1

De officiële naam van keukenzout is natriumchloride.

- Uit welke atoomsoorten is keukenzout opgebouwd?
- Hoe heten de kleinste deeltjes waaruit natriumchloride is opgebouwd?
- Geef de elektronenconfiguratie van de deeltjes in natriumchloride.
- Hoeveel protonen en elektronen bevatten deze deeltjes?

B 2

Als je op een pak keukenzout kijkt, kom je ook ingrediënten als kaliumjodide of natriumjodide tegen.

- In welke groep en in welke periode van het periodiek systeem vind je de elementen kalium en jodium terug?
- Leg uit of de stof kaliumjodide op grond van de plaats in het periodiek systeem tot de zouten behoort.
- Leg uitgaande van hun plaats in het periodiek systeem uit welke lading de deeltjes bezitten in de stof kaliumjodide.
- Wat is de massa van een kaliumion en een jodide-ion?

B 3

Geef de naam en de verhoudingsformule van het zout dat bestaat uit de volgende ionen.

- natriumionen en bromide-ionen
- kwik(II)ionen en jodide-ionen
- koperionen en acetaationen
- ammoniumionen en sulfietionen
- aluminiumionen en sulfaationen
- kaliumionen en carbonaationen

B 4

Geef eerst de formules van de ionen waaruit de volgende zouten bestaan en leid daaruit de verhoudingsformule van dat zout af. Maak hierbij gebruik van Binas tabel 40A en 66B.

- natriumsulfaat
- kopercarbonaat
- magnesiumchloraat
- lithiumhydroxide
- natriumwaterstofcarbonaat
- zilveroxalaat

B 5

Strontium is een ionsoort die niet in tabel 4.3 genoemd wordt. De meest voorkomende verschijningsvormen zijn de mineralen celestiet, SrSO_4 en strontianiet, SrCO_3 . Leid uit de formules van deze mineralen de lading van een strontiumion af.

B 6 

Geef eerst de formules van de ionen waaruit de volgende zouten bestaan en leid daaruit de verhoudingsformule van dat zout af.

- magnesiumoxide
- zinknitraat
- calciumfosfaat
- aluminiumsulfide
- ammoniumnitriet
- ijzer(III)sulfiet

B 7 

Geef van de volgende zouten de formules van de ionen waaruit het zout is opgebouwd en geef het zout vervolgens de juiste naam.

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| a $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ | d $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ |
| b $\text{Pb}(\text{NO}_2)_2$ | e CuO |
| c $\text{Mn}(\text{OH})_2$ | f BaF_2 |

B 8

Geef de systematische naam en de bijbehorende verhoudingsformule van de volgende stoffen. Maak hierbij gebruik van Binas tabel 66A.

- | | |
|-----------------------|-------------------|
| a bruinsteen | d potas |
| b helse steen | e salpeter |
| c loodperoxide | f vlugzout |

B 9

Lees de tekst in het kader 'Glas' en beantwoord de volgende vragen.

- Geef de verhoudingsformule van alle zouten die in de tekst worden genoemd als bestanddeel van glas.

De ionen in het ionrooster van een zout gaan een interactie aan met licht, waardoor sommige zouten een kleur krijgen.

- Is dit een proces op macro- of op microniveau?
- Leg uit of de stoffeigenschap 'kleur' het macro- of het microniveau betreft.

In de tekst wordt siliciumdioxide genoemd als één van de zouten in standaardglas.

- Leg uit waarom de naam siliciumdioxide niet passend is als deze stof een zout is.
- Als je aanneemt dat een siliciumion meerdere ladingen kan aannemen, wat is dan de passende naam van het zout siliciumdioxide?

B 10

In tabel 4.10 vind je een overzicht van de smelt- en kookpunten van een tweetal verbindingen.

- Geef van elke stof aan of deze een moleculaire stof of een zout is.
- Welke bindingen vind je in deze stoffen?
- Waarom heeft het zout een hoger kook- en smeltpunt dan de moleculaire stof?

formule	smeltpunt (K)	kookpunt (K)
CCl_4	250	350
PbI_2	675	1227

4.10

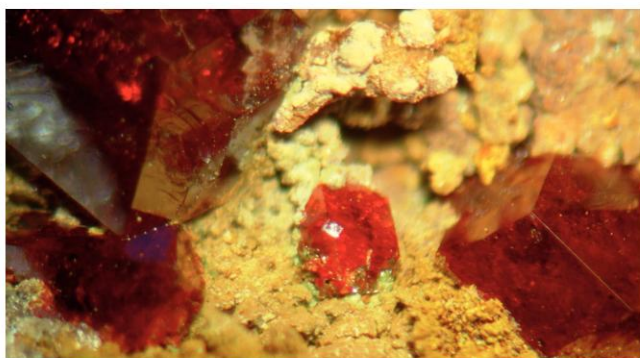
B 11

De stof magnesiumsulfide is opgebouwd uit Mg^{2+} -ionen en S^{2-} -ionen.

- Welke deeltjes in een MgS -kristal trekken elkaar aan en welke deeltjes stoten elkaar af?
- Leg uit of de aantrekkingskracht tussen Mg^{2+} -ionen en S^{2-} -ionen groter is dan die tussen Na^+ -ionen en Cl^- -ionen.
- Zoek in Binas 42A de smeltpunten op van NaCl en MgS . Probeer het verschil tussen beide waarden te verklaren.

C 12 ★

Zouten die in de natuur voorkomen, noem je ook wel mineralen. De wetenschap die daarbij hoort heet mineralogie. Deze zouten zijn vaak geen simpele combinaties van één soort positieve met één soort negatieve ionen. Borniet, vernoemd naar de Oostenrijkse mineraloog Von Born, heeft de verhoudingsformule Cu_5FeS_4 .



4.11 Cupriet uit de Hilarionmijn in Griekenland

- Als het ijzerion in borniet de lading 3+ heeft, wat is dan de lading van het koperion?

Calciumhydroxyapatiet is het mineraal dat op de buitenkant van de tandkroon zit. In de volksmond heet dit tandglazuur. Calciumhydroxyapatiet bestaat uit calcium-, fosfaat- en hydroxide-ionen.

- Hoe groot is de waarde van n als je de formule van calciumhydroxyapatiet schrijft als $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_n\text{OH}$?

C 13 ★

Cupriet is een mineraal dat bestaat uit koper(I)oxide, Cu_2O (s). Het koper(I)ion wordt in tabel 4.3 niet genoemd, omdat het in de natuur bijna niet voorkomt. De naam van het mineraal cupriet is afgeleid van cuprum, de Latijnse naam voor koper. Cupriet heeft een bruinrode, paarsrode, rode of zwarte kleur en een mooie diamantglans, zie figuur 4.11.

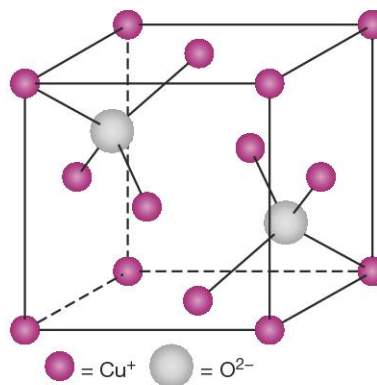
- Leid met behulp van figuur 4.12 de verhoudingsformule van cupriet af.
- Geef van zowel figuur 4.11 als figuur 4.12 aan of het een voorstelling op macro- of microniveau is.

Experiment

4.1 Zoutkristallen

In dit experiment maak je zoutkristallen en onderzoek je de invloed van de temperatuur op de groei van de kristallen.

- Volledige instructie Chemie Overal online



4.12 Het ionrooster van koper(I)oxide

Je kunt nu

- uitleggen hoe een zout wordt gevormd uit een metaalatoom en een niet-metaalatoom;
- uitleggen hoe een ionbinding tot stand komt en hoe een ionrooster eruitziet;
- de naam en formule geven van een aantal veelvoorkomende enkelvoudige en samengestelde ionen;
- de verhoudingsformule van een zout opstellen.

Loopneus

Iedereen heeft weleens last van een loopneus. Misschien grijp je dan meteen naar een neusspray. Veel neussprays bevatten een simpele zoutoplossing. Het vastzittende slijm wordt hierdoor verdund, waardoor je weer gemakkelijker kunt ademen.

**Je leert**

- hoe zouten oplossen in water;
- hoe metaaloxiden reageren met water.

4.2 Zouten in water

● Experiment 4.2

Water als oplosmiddel voor zouten

Oplossingen van zouten hebben allerlei toepassingen, bijvoorbeeld als hoofdbestanddeel van neusspray of als infuusvloeistof. Als je experiment 4.2 hebt uitgevoerd, heb je gemerkt dat de oplosbaarheid van keukenzout, NaCl, sterk afhangt van het gekozen oplosmiddel. Het NaCl lost alleen goed op in water, in alle andere oplosmiddelen lost NaCl niet of slechts matig op. Hoe kun je dit verklaren?

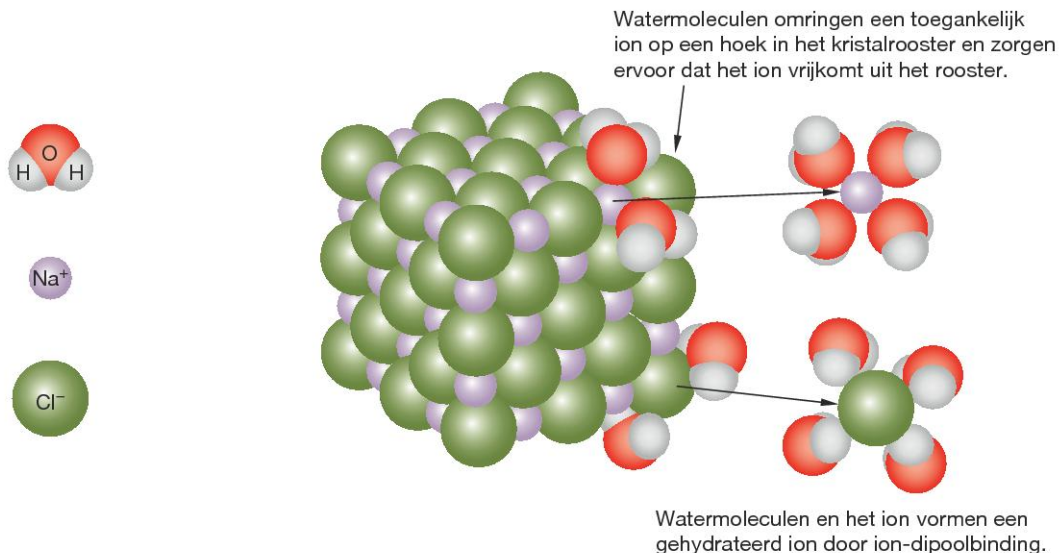


4.13 Stalactieten bestaan vooral uit calciumcarbonaat. Het slecht oplosbare calciumcarbonaat sijpelt met het grondwater mee omlaag en blijft dan achter op de stalactiet.

Watermoleculen zijn dipoolmoleculen. Dat betekent dat waterstofatomen in de watermoleculen een kleine positieve lading (δ^+) hebben en de zuurstofatomen een kleine negatieve lading (δ^-). De negatieve kant van de watermoleculen keert zich naar de positieve Na^+ -ionen. De positieve kant van de watermoleculen keert zich naar de negatieve Cl^- -ionen. De ionen die op de hoekpunten van het NaCl-kristal zitten, zijn minder sterk gebonden en daardoor kunnen de watermoleculen het ionrooster van NaCl afbreken. In figuur 4.14 wordt het oplossen van NaCl in water schematisch weergegeven.

Bij het oplossen ontstaan nieuwe bindingen tussen de ionen en de watermoleculen. Omdat het gaat om een binding tussen een ion en dipoolmoleculen, heten deze bindingen **ion-dipoolbindingen**. Het omringen van ionen door watermoleculen noem je **hydratatie**. Ionen die zijn omhuld door een mantel van watermoleculen heten gehydrateerde ionen. De watermantel wordt weergegeven door achter de formule van het ion (aq) te zetten. Dit is de afkorting van aqua, het Latijnse woord voor water.

Niet elk zout is even goed oplosbaar in water. Als de ionbindingen te sterk zijn, lukt het de watermoleculen niet om ionen los te krijgen uit het rooster. Een voorbeeld van zo'n zout is calciumcarbonaat (figuur 4.13). In Binas tabel 45A kun je vinden of een zout goed, matig of slecht oplosbaar is.



4.14 Modelvoorstelling van het oplossen van NaCl in water

Oplossen en indampen

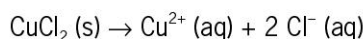
Het oplossen en indampen van zouten kun je in een vergelijking weergeven.

Oplossen van zouten

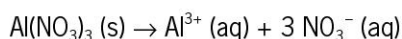
Voor het oplossen van NaCl kun je een **oplosvergelijking** opstellen. Omdat het zout niet reageert met water, maar erin oplost, komt water ook niet voor in de vergelijking.



Bij het oplossen van een zout in water wordt elk ion afzonderlijk gehydrateerd. Los je de stof CuCl_2 (s) op in water, dan krijg je in de oplossing per Cu^{2+} -ion twee Cl^- -ionen. In de oplosvergelijking komt daarom de coëfficiënt 2 voor Cl^- (aq) te staan.

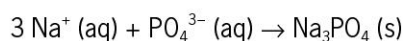
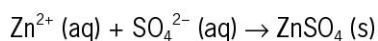


Hieronder staat nog een voorbeeld van een oplosvergelijking.



Indampen van zoutoplossingen

Als je een zoutoplossing verwarmt, verdampt het water. De positieve en de negatieve ionen van het zout vormen dan weer een ionrooster. Bij dit indampen gebeurt het tegenovergestelde van wat er gebeurt bij het oplossen van een zout. Kijk maar naar de volgende twee **indampvergelijkingen**.



● Experiment 4.3

Oplosbaarheid

De stoffeigenschap **oplosbaarheid** geeft de hoeveelheid stof aan die kan oplossen in een oplosmiddel van een bepaalde temperatuur. Onder Binas tabel 45A staat beschreven wanneer een zout goed, matig of slecht oplosbaar is. Als voorbeeld berekenen we of calciumhydroxide goed, matig, of slecht oplosbaar is in water.



a



b

4.15 Titanium(IV)oxide, ook wel titaanwit genoemd, is een veelgebruikt wit pigment (b) in bijvoorbeeld wegmarkeringsverf (a). Voor een dergelijke toepassing is het belangrijk dat titaanwit niet oplost in water.

- Experiment 4.4
- Experiment 4.5
- Experiment 4.6

De oplosbaarheid van calciumhydroxide in water van 20 °C bedraagt 1,73 g per liter. Om een uitspraak over de oplosbaarheid te kunnen doen, moet je deze hoeveelheid calciumhydroxide eerst omrekenen naar het aantal mol calciumhydroxide.

De molaire massa van calciumhydroxide is 74,10 g mol⁻¹.

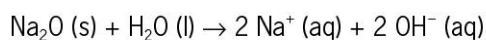
$$1,73 \text{ g calciumhydroxide} \triangleq \frac{1,73 \text{ g}}{74,10 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0233 \text{ mol calciumhydroxide}$$

Volgens Binas tabel 45A heeft een matig oplosbaar zout een oplosbaarheid van minder dan 0,1 mol L⁻¹ en meer dan 0,01 mol L⁻¹. Uit de bovenstaande berekening kun je concluderen dat calciumhydroxide inderdaad matig oplosbaar is. Als de maximale hoeveelheid calciumhydroxide is opgelost, noem je de oplossing **verzadigd**. Is dat niet het geval, dan noem je de oplossing **onverzadigd**. In Binas tabel 45B staat van een aantal zouten de oplosbaarheid in water.

Metaaloxiden en water

De meeste metaaloxiden lossen slecht op in water (figuur 4.15). Bij de metaaloxiden Na₂O, K₂O, CaO en BaO vind je in Binas tabel 45A de letter 'r'. Dat betekent dat deze zouten reageren met water. De O²⁻-ionen worden hierbij omgezet in OH⁻-ionen.

Als voorbeeld volgen hieronder de vergelijkingen van de reacties tussen natriumoxide en water en tussen calciumoxide en water. Aangezien het metaaloxide met water reageert, moet H₂O (l) als beginstof in de reactievergelijking worden opgenomen.



Oplossingen van hydroxiden worden vaak met hun triviale namen aangeduid, zie tabel 4.16. Natronloog kun je op twee verschillende manieren maken. Door natriumhydroxide op te lossen in water, maar ook door natriumoxide te laten reageren met water. Alleen in het laatste geval is er sprake van een chemische reactie.

triviale naam	systematische naam
natronloog	natriumhydroxideoplossing
kaliloog	kaliumhydroxideoplossing
kalkwater	calciumhydroxideoplossing
barietwater	bariumhydroxideoplossing

4.16 Triviale namen van oplossingen van hydroxiden

Samenvatting

- Als een zout oplost in water komen de ionen los van elkaar en worden ze omringd door watermoleculen. Dit proces heet hydratatie. Opgeloste ionen geef je aan met (aq).
- Het oplossen van een zout geef je weer in een oplosvergelijking. Het indampen van een zout geef je weer in een indampvergelijking.
- De stoffeigenschap oplosbaarheid geeft de maximale hoeveelheid van een stof aan die kan oplossen in een liter oplosmiddel van een bepaalde temperatuur.
- Metaaloxiden zijn slecht oplosbaar in water, of reageren met water. Als ze reageren ontstaan er oplossingen met hydroxide-ionen.

Warmtepad

Als je het in de winter koud hebt, kun je gebruikmaken van een warmtepad (figuur 4.17). De warmtepad bestaat uit een vloeistof met daarin een metalen muntje in een plastic omhulsel. Als je het metalen muntje indeukt, wordt de oplossing hard en straalt ze warmte uit. Vervolgens kun je een half uur genieten van lekkere warme handen.

De meeste warmtepaden bevatten een oververzadigde oplossing van natriumacetaat. Een oververzadigde oplossing is een oplossing waarin meer stof is opgelost dan volgens de oplosbaarheid mogelijk is.

Je zou verwachten dat bij een oververzadigde oplossing niet al het natriumacetaat oplost. Toch is dit wel het geval. Zo'n oplossing kun je maken door het water tijdens het oplossen te verwarmen, zodat de oplosbaarheid toeneemt. Als de oplossing later afkoelt, blijft al het natriumacetaat in oplossing. Pas als er een kleine hoeveelheid energie wordt toegevoegd, wordt het natriumacetaat weer vast. Deze hoeveelheid energie komt uit het knikken van het muntje.

Het vast worden van een zout in oplossing noemt je kristalliseren. Het kristalliseren is een exotherm proces,

waardoor de warmtepad warm wordt. De pad blijft een half uur lang warmte afgeven, waarna hij weer afkoelt.

Om de pad te hergebruiken kun je hem simpelweg tien minuten verwarmen in een pan kokend water of even in de magnetron, waardoor het natriumacetaat weer oplost (figuur 4.18).



4.18 Hergebruik van een warmtepad



4.17 Warmtepad

● Opdracht B19

Opdrachten

A 14

- a Wat is hydratatie?
- b Wat is het verschil tussen een indampvergelijking en een oplosvergelijking?

B 15

Geef de vergelijkingen voor het oplossen in water van de volgende stoffen. Gebruik Binas tabel 45A.

- | | |
|--------------------|---------------------|
| a zinkchloride | e natriumfosfaat |
| b ammoniumnitraat | f ijzer(III)sulfaat |
| c magnesiumsulfaat | g kaliumoxide |
| d kopercarbonaat | h calciumacetaat |

B 16

Geef de vergelijkingen voor het indampen van een oplossing van:

- | | |
|------------------|------------------|
| a kaliumchloride | c ammoniumjodide |
| b natriumsulfiet | d kaliumfosfaat |

B 17

Ga na welke deeltjes voorkomen in:

- a een oplossing van kaliumbromide in water;
- b een oplossing van glucose, $C_6H_{12}O_6$, in water.
- c Leg uit waarom je een KBr-oplossing *niet* mag weergeven als KBr (aq).
- d Leg uit waarom je een glucoseoplossing *wel* mag weergeven als $C_6H_{12}O_6$ (aq).

B 18

Calciumchloride is een in water goed oplosbaar zout.

- a Geef de oplosvergelijking voor het oplossen van calciumchloride.

De ionen die ontstaan worden in water gehydrateerd. Neem aan dat elk ion wordt gehydrateerd door vier watermoleculen.

- b Teken een calciumion en een chloride-ion die zijn omringd door watermoleculen.

B 19

Lees de tekst in het kader 'Warmtepaden' en beantwoord de volgende vragen. De oplosbaarheid van natriumacetaat in water van 25 °C is 365 g L⁻¹. In een warmtepad van 100 mL is 53 g opgelost.

- a Geef de verhoudingsformule van natriumacetaat.
- b Bereken met hoeveel gram natriumacetaat de oplossing in de warmtepad oververzadigd is.

Per kilogram natriumacetaat dat kristalliseert komt er 278 kJ aan warmte vrij.

- c Bereken hoeveel warmte er in totaal vrijkomt in de warmtepad als alle natriumacetaat kristalliseert.

De warmte zorgt dat de temperatuur van de pad stijgt. De begintemperatuur is 20 °C. Om 1,0 kg van het mengsel in een warmtepad 1 °C in temperatuur te laten stijgen is 2,75 kJ nodig. De massa van het mengsel in de pad is 153 g.

- d Bereken de maximale temperatuur van de pad. Gebruik je uitkomst bij c.

B 20

Geef de vergelijking van het proces dat verloopt als je:

- a natriumhydroxide mengt met water;
- b natriumoxide mengt met water.
- c Geef de triviale naam van de oplossing die in beide gevallen ontstaat.

C 21

Een oplossing van kopersulfaat in water heeft een lichtblauwe kleur.

- a Welke ion is verantwoordelijk voor deze kleur? Gebruik Binas tabel 65B.
- b Teken het ion, gehydrateerd door vijf watermoleculen, dat de blauwe kleur veroorzaakt.

Een ammoniakmolecuul is net als een watermolecuul een dipoolmolecuul.

- c Geef een ruimtelijke tekening van een ammoniakmolecuul en geef daarin aan welke kant van het molecuul een lading $\delta+$ heeft en welke kant een lading $\delta-$ heeft.

Als aan de oplossing van kopersulfaat een oplossing van ammoniak in water wordt toegevoegd, verandert de lichtblauwe kleur van de oplossing in een donkerblauwe kleur.

- d Geef met behulp van Binas tabel 65B de formule van het deeltje dat deze donkerblauwe kleur veroorzaakt.
- e Maak een tekening van dit deeltje en geef daarin duidelijk aan hoe de ammoniakmoleculen zijn gericht ten opzichte van het ion.

C 22

Nicole voegt 30,0 g bariumnitraat toe aan 300 g water.

- a Geef de formule van bariumnitraat.

- b** Leg met een berekening uit of het verkregen mengsel van bariumnitraat en water helder of troebel is. Gebruik hierbij een gegeven uit Binas tabel 45B.

Karlijn voegt 65,0 g aluminiumsulfaat toe aan 0,150 kg water. Na enige tijd roeren blijft het mengsel troebel.

- c** Bereken hoeveel water Karlijn aan het mengsel moet toevoegen om juist een heldere oplossing te krijgen.

C 23

Lees het volgende tekstfragment.

Rood kwik

Er verschenen de afgelopen jaren met enige regelmaat artikelen over rood kwik in de pers, zonder dat bewijzen boven tafel kwamen over het bestaan ervan, of over de vermeende chemische eigenschappen. Rood kwik is een chemische verbinding met de formule $\text{Hg}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$. Er zou een kleine kernfusiebom mee kunnen worden gemaakt, een soort atoombom in broekzakformaat, luidt een van de claims. Dr. D. IJdo, werkzaam aan de Universiteit Leiden, lacht meewarig om de vermeende eigenschappen. Vanwege de hardnekkige berichtgeving heeft hij het materiaal maar eens door een van zijn studenten laten maken.

De bereiding is eenvoudig, eerst zuiver kwikoxide (HgO) en antimoonoxide (Sb_2O_3) in de juiste hoeveelheden mengen, daarna het mengsel verhitten in een atmosfeer met alleen zuurstof en klaar is Kees. Na twee dagen is er zuiver $\text{Hg}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$ gevormd. 'We hebben een grammetje gemaakt', zegt IJdo laconiek.

Naar: de Volkskrant

Rood kwik kan worden opgevat als een zout dat bestaat uit drie ionsoorten: O^{2-} -ionen, Hg^{2+} -ionen en antimoonionen.

- a** Leid uit de formule van rood kwik de lading van deze antimoonionen af.
- b** Geef de reactievergelijking voor de vorming van rood kwik volgens de in de tekst beschreven bereidingswijze.

Naar: CE havo 2002-I

C 24

Wat niet veel mensen weten, is dat het vrijheidsbeeld in New York van koper is gemaakt en oorspronkelijk roodbruin van kleur was (figuur 4.19). Door jarenlange blootstelling aan vochtige lucht is er een corrosielaag ontstaan van verschillende koperzouten, zoals malachiet, $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$.

- a** Leid uit de formule van malachiet de lading van de koperionen af.

De oorspronkelijke massa van het gebruikte koper was 60 000 pond, oftewel 27 216 kg. Door de corrosielaag is deze massa flink toegenomen.

- b** Bereken de massatoename van het beeld. Ga ervan uit dat het koper alleen is omgezet in malachiet en dat alleen de buitenste 10% van de koperlaag is gecorrodeerd.



4.19 Op deze ingekleurde foto zie je de oorspronkelijke kleur van het vrijheidsbeeld.

Experimenten

4.2 Oplossen van natriumchloride

In dit experiment onderzoek je welke oplosmiddelen geschikt zijn voor het oplossen van natriumchloride.

4.3 Oplosbaarheid van zouten

Je onderzoekt welke zouten goed oplosbaar zijn in water en welke niet.

4.4 t/m 4.6 Onderzoek aan ionen

In deze experimenten onderzoek je welke ionen een kleur geven in oplossing, of zouten ook in andere oplosmiddelen gehydrateerd kunnen worden en bestudeer je het effect van de reactie tussen calciumoxide en water.

- Volledige instructie *Chemie Overal* online

Je kunt nu

- uitleggen waarom veel zouten goed oplosbaar zijn in water;
- de oplos- en indampvergelijking van een willekeurig zout opstellen;
- toelichten wat een verzadigde en een onverzadigde oplossing is;
- de reactievergelijking geven van de reactie tussen een metaaloxide en water en de triviale naam van de oplossing noemen die daarbij ontstaat.

Cement

Een bekend bouw materiaal is cement. Cement bestaat uit speciale zouten die hard worden als je er water aan toevoegt. Het uitharden is een langdurig proces. Een muur mag je maar 1 meter per dag op metselen, omdat anders de druk op het natte cement te groot wordt.



Je leert

- wat zouthydraten zijn en hoe ze worden gevormd;
- enkele toepassingen van zouthydraten.

4.3 Zouthydraten

● Experiment 4.7

● Experiment 4.8

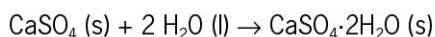


4.20 Gipsverband bestaat uit verband met calciumsulfaat.

Zouthydraten en kristalwater

Iedereen kent wel het gipsverband dat wordt aangebracht als je een botbreuk opgelopen hebt (figuur 4.20). Cement en gips zijn allebei voorbeelden van zouthydraten. Voor het maken van een gipsverband wordt het zout calciumsulfaat in een verband verwerkt. Wanneer aan het verband water wordt toegevoegd, worden de watermoleculen opgenomen in het ionrooster van het calciumsulfaat, waardoor het op dezelfde manier uithardt als cement.

Er bestaan meer zouten die in staat zijn om water op te nemen in hun ionrooster. Zouten die water hebben opgenomen noem je **zouthydraten**. Het water dat is gebonden in het rooster noem je **kristalwater**. Zouthydraten krijgen een speciale naam en formule. In het geval van gips kan het calciumsulfaat twee watermoleculen per calciumsulfaateenheid opnemen. De naam wordt dan calciumsulfaatdihydraat. In de formule wordt de hoeveelheid kristalwater achter de formule van het zout gezet, gescheiden door een punt. De verhoudingsformule van calciumsulfaatdihydraat is dan $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (s). In een reactievergelijking weergegeven wordt dit:



Zou je het gips verwarmen, dan verdampt het kristalwater weer uit het gips, waardoor er weer calciumsulfaat ontstaat. Het gips wordt dan weer zacht. Het verwijderen van het kristalwater is een endotherm proces, wat betekent dat het opnemen van kristalwater juist een exotherm proces is. De formules en de kleuren van een aantal hydraten kun je terugvinden in Binas tabel 65B. In Binas tabel 45B staan de formules van enkele hydraten.

● Experiment 4.9



4.21a Wit kopersulfaat wordt blauw als je er water aan toevoegt.

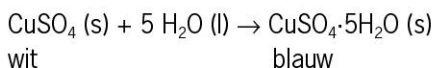


4.21b Ook als kristal is kopersulfaatpentahydraat felblauw van kleur.

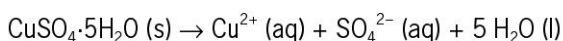
Toepassingen van zouthydraten

Naast cement en gips zijn er nog andere toepassingen van zouthydraten, zoals het aantonen van water met wit kopersulfaat. Wanneer aan kopersulfaat een kleine hoeveelheid water wordt toegevoegd, worden de watermoleculen opgenomen in het ionrooster. Kopersulfaat is oorspronkelijk wit van kleur, maar kleurt blauw door het opnemen van water (figuur 4.21).

In blauw kopersulfaat is elk koper(II)ion omringd door vijf watermoleculen. De formule van blauw kopersulfaat is dan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (s). De naam van dit zout is kopersulfaatpentahydraat. Het opnemen van kristalwater door wit kopersulfaat geef je als volgt weer:



Voeg je meer water toe dan het ionrooster kan opnemen, dan lost het blauwe kopersulfaat op in het water:



Als je deze oplossing voorzichtig indampst, ontstaat weer blauw kopersulfaat. Bij verder verwarmen van het hydraat ontstaat weer wit kopersulfaat.

Een totaal andere toepassing van zouthydraten is gebruik als faseovergangsmateriaal, of PCM, zie het contextkader in paragraaf 1.3. Het smeltpunt van een zouthydraat ligt doorgaans een stuk lager dan het smeltpunt van een normaal zout. Daarnaast is er veel energie voor nodig om een zouthydraat te laten smelten. Door deze twee eigenschappen is een zouthydraat geschikt als middel om de omgevingstemperatuur stabiel te houden.

PCM's worden bijvoorbeeld toegepast in wintersportkleding (figuur 4.22). Als je intensief sport, straalt je lichaam veel warmte uit. In de kleding zijn kleine bolletjes van een PCM verwerkt die de warmte van je lichaam opnemen en daardoor smelten. Tijdens deze faseovergang blijft de temperatuur nagenoeg gelijk. Zodra je stilstaat en minder warmte afgeeft, stolt het zouthydraat weer en staat daarbij de opgenomen warmte langzaam af. Je krijgt het daardoor minder snel koud.

Naast wintersportkleding wordt deze techniek ook toegepast in bijvoorbeeld airconditioning in bedrijfspanden, bij gekoeld transport van organen, in astronautenpakken en bij koeling van computersystemen.



4.22 In wintersportkleding worden zouthydraten verwerkt om de temperatuur stabiel te houden.

Onmogelijk leven

De Atacama woestijn in Chili is de droogste en oudste woestijn ter wereld. De woestijn bestaat voornamelijk uit steenlandschap, zoutmeren, zand en zure lava. Het is een van de meest onherbergzame terreinen in de wereld (figuur 4.23).

Om deze reden is het een uitermate geschikte plaats om onderzoek te doen naar de voorwaarden voor het ontstaan van leven. Ruimtevaartorganisatie NASA heeft hier meerdere experimenten uitgevoerd vanwege de gelijkenissen met een planeet als Mars. Eén van de raadsels waar zij mee te kampen had, was hoe de micro-organismen in de woestijn aan water komen. Vrijwel de enige bron van water zijn mistbanken die aan komen drijven vanuit de kustlijn.

Het bleek dat veel micro-organismen groeien rond gesteenten waar veel haliet in voorkomt. Haliet is een mineraal dat uit vrijwel zuiver natriumchloride bestaat.

Het haliet is in staat om vocht uit de lucht in zijn kristalrooster op te nemen. De luchtvochtigheidsgraad die heerst in de woestijn is nagenoeg nul, waardoor er nergens vloeibaar water ontstaat. Zodra er mistbanken binnendrijven, onttrekt het haliet zo sterk water uit de lucht, dat er vloeibaar water ontstaat rond de halietkristallen. De micro-organismen maken vervolgens gebruik van dit water voor hun eigen groei en energiehuishouding.



4.23 Guanaco's, een soort lama's, leven op die plekken in de woestijn waar 's winters sneeuw valt.

● Opdracht C33

Samenvatting

- Zouthydraten zijn zouten die water hebben opgenomen in hun ionrooster. Het water dat wordt gebonden heet kristalwater.
- Het opnemen van kristalwater is een exotherm proces en het afstaan is een endotherm proces.
- Zouthydraten worden veel gebruikt als bouw materiaal, bij botbreuken en als temperatuurbuffer.

Opdrachten

A 25 

Een tissue kan water opnemen. Gaat het in dit geval om kristalwater?

A 26

Geef de systematische namen van de volgende stoffen.

- a** bitterzout, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- b** hypo, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- c** aluin, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

B 27

Geef de formules van de volgende stoffen.

- a** chroomaluin
- b** kopervitriool
- c** Mohr's zout

B 28

Geef de reactievergelijking voor de vorming van de onderstaande zouthydraten uit het watervrije zout. Maak gebruik van Binas tabel 66A en 66B.

- a** glauberzout
- b** soda
- c** thio

B 29

Je lost een hoeveel kopersulfaat en natriumsulfaat op in aparte bekers. De oplossing van kopersulfaat blijkt blauw te kleuren.

- a** Leg uit of het Cu^{2+} -ion de blauwe kleur kan veroorzaken.

In ether kan een kleine hoeveelheid water oplossen.

- b** Hoe kun je met kopersulfaat nagaan of ether watervrij is?

B 30 

Aan een hoeveelheid calciumsulfaatpoeder wordt een willekeurige hoeveelheid water toegevoegd.

- a** Leg uit of er dan altijd hard gips ontstaat.

Een hoeveelheid gips wordt tot poeder gemalen. Aan dit poeder wordt water toegevoegd.

- b** Leg uit of dit poeder zo weer hard gips kan worden.

B 31

Magnesiumchloride kan water uit de lucht opnemen. De gevormde kristallen bevatten zes watermoleculen rondom elk Mg^{2+} -ion.

- a** Geef de formule van dit zouthydraat.

Magnesiumchloride is hygroscopisch, dat wil zeggen dat het water bindt. Als lucht erg veel waterdamp bevat, kan het magnesiumchloride gaan vervloeien. Het lost dan op.

- b** Geef de vergelijking voor het oplossen van magnesiumchloridehexahydraat.

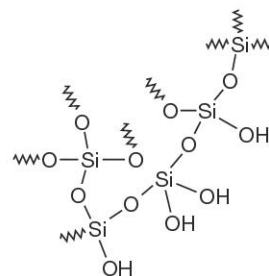
B 32

Calciumchloride is een zout dat wordt gebruikt om waterdamp uit de lucht op te nemen. Hierbij ontstaat het hydraat calciumchloridehexahydraat.

- a** Bereken hoeveel gram water kan worden opgenomen door 15 gram CaCl_2 .

Silicagel is een andere vaste stof die wordt gebruikt om waterdamp uit de lucht te binden. Een fabrikant van silicagel zegt over de werking van deze stof het volgende: 'Silicagel is een polymeer, dat bestaat uit een groot poreus netwerk van siliciumatomen en zuurstofatomen. De adsorptie van water berust onder andere op de vanderwaalsbinding.' In figuur 4.24 is een gedeelte van dit poreuze netwerk weergegeven.

- b** Geef de naam van het type binding tussen de Si-atomen en de O-atomen in silicagel.



4.24 Silicagel

Uit de afbeelding kan worden afgeleid dat bij het binden van water, behalve de vanderwaalsbinding, ook een ander soort binding een rol speelt.

- c** Leg met behulp van figuur 4.24 uit welke soort binding dat is.

Silicagel heeft als voordeel dat het kan worden hergebruikt. Daarom wordt silicagel onder andere toegepast in de zogenoemde vocht slurpende pinguïn. Deze pinguïn is gevuld met silicagel en kan bijvoorbeeld worden gebruikt om waterdamp uit een vochtige kast te verwijderen.

Op de buik van de pinguïn is een vilten hartje aangebracht. Dit vilten hartje bevat de stof kobaltchloride. Wanneer de silicagel in de pinguïn is verzadigd met water, neemt het vilten hartje vocht op. Daardoor verkleurt het van blauw naar rood. Dit is het signaal om de pinguïn vijf minuten in de magnetron te zetten bij 600 watt. Het gebonden water verdampt en het hartje wordt weer blauw. De pinguïn kan daarna opnieuw worden gebruikt.

- d** Geef de vergelijking van de reactie die optreedt wanneer het vilten hartje in de magnetron van rood naar blauw verandert. Maak daarbij gebruik van gegevens uit Binas tabel 65B.

Bron: CE havo 2011-I

C 33

Lees de tekst in het kader 'Onmogelijk leven' en beantwoord de volgende vragen. Haliet, NaCl , onttrekt sterk water aan de lucht (figuur 4.25). Doordat haliet maar twee watermoleculen kan opnemen per Na^+ -ion, raakt het ionrooster al snel verzadigd en ontstaat er een dun laagje water op het kristal.

- Geef de naam en de formule van het hydraat dat ontstaat.
- Bereken hoeveel mL vloeibaar water ontstaat wanneer 10,0 g haliet, 20,0 g water onttrekt uit de lucht. Gebruik hierbij de volgende gegevens:
 - er ontstaat pas vloeibaar water als het ionrooster van haliet volledig verzadigd is met kristalwater;
 - de dichtheid van water is $0,998 \text{ g mL}^{-1}$.



4.25 Een bijzondere soort haliet is Himalayazout. Dit is ongeveer 500 miljoen jaar geleden ontstaan, en is het oudste zout ter wereld.

C 34 ★

Kobaltchloride is een rode vaste stof met de systematische naam kobaltchloridehexahydraat. Fred lost een kleine hoeveelheid van dit kobaltchloridehexahydraat op in water. Er ontstaat een roze oplossing.

- Leg uit of het ontstaan van een gekleurde oplossing plaatsvindt op macro- of microniveau.
- Geef de vergelijking voor het oplossen van kobaltchloridehexahydraat in water.
- Geef met behulp van een tekening weer hoe het deeltje, dat verantwoordelijk is voor de roze kleur, is opgebouwd. Gebruik hierbij de structuurformules van minstens vier watermoleculen.

Fred gebruikt de roze oplossing als inkt. Hij schrijft met een vulpen met deze inkt een tekst op een vel wit papier. Fred laat vervolgens de inkt langzaam drogen. De tekst is nu vrijwel niet meer te lezen. Daarna houdt Fred het papier voorzichtig boven een hete gasvlam, waarbij hij ervoor zorgt dat het papier niet in brand vliegt. Na enige tijd wordt zijn tekst duidelijk leesbaar, in mooie blauwe letters.

- d** Leg met behulp van een reactievergelijking uit hoe te verklaren is dat de onzichtbare tekst weer leesbaar wordt. Raadpleeg Binas tabel 65A.

Experimenten

4.7 Kristalwater

In dit experiment gebruik je kopersulfaat om de aanwezigheid van water aan te tonen.

4.8 Hard gips

Je voert een experiment uit om te ontdekken hoe hard gips ontstaat.

4.9 Kristalwater in soda

Je bepaalt het massapercentage kristalwater in soda.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- uitleggen wat wordt bedoeld met de begrippen zouthydraat en kristalwater;
- de reactievergelijking opstellen voor de vorming van een zouthydraat;
- de reactievergelijking opstellen voor het oplossen van een zouthydraat.

Medicatie

Als je als arts of apotheker medicatie verzorgt voor een patiënt, is het belangrijk dat je de juiste concentratie van het medicijn geeft. Een te lage concentratie kan te weinig effect geven, terwijl een te hoge concentratie levensgevaarlijk kan zijn.

**Je leert**

- de concentratie van een oplossing aan te geven;
- rekenen aan de concentratie van zouten en ionen in een oplossing.

4.4 Molariteit



4.26 Gekleurde oplossingen met verschillende concentraties opgelost kopersulfaat

Molariteit

In hoofdstuk 2 heb je geleerd dat een hoeveelheid stof uitgedrukt kan worden in mol. Los je een hoeveelheid stof op in water (figuur 4.26), dan wordt de concentratie van de verkregen oplossing uitgedrukt in het aantal mol opgeloste stof per liter oplossing. Dit heet **molariteit**.

Molariteit wordt weergegeven met de hoofdletter M met als eenheid mol L^{-1} of mmol mL^{-1} . In formule is de molariteit van een opgeloste stof als volgt weer te geven:

$$\text{molariteit} = \frac{\text{hoeveelheid opgeloste stof (mol)}}{\text{volume oplossing (L)}}$$

Rekenvoorbeeld 1

Een bepaald merk huishoudazijn bevat 45 g azijnzuur, CH_3COOH , per 1,0 liter. Hoe groot is de concentratie azijnzuur uitgedrukt in mol L^{-1} ?

Om de molariteit uit te rekenen, reken je eerst de hoeveelheid azijnzuur om naar het aantal mol. De molaire massa van azijnzuur is $60,05 \text{ g mol}^{-1}$.

$$45 \text{ g azijnzuur} \triangleq \frac{45 \text{ g}}{60,05 \text{ g mol}^{-1}} = 0,75 \text{ mol azijnzuur}$$

$$\text{De molariteit is dan } \frac{0,75 \text{ mol}}{1,0 \text{ L}} = 0,75 \text{ mol L}^{-1}.$$



a



b

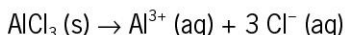
4.27 Aluminiumchloride als vast zout (a) en als oplossing (b)

De molariteit van een stof kun je op verschillende manieren noteren:

- $0,75 \text{ M CH}_3\text{COOH}$, dit betekent dat je een oplossing hebt waarin de azijnzuurconcentratie $0,75 \text{ mol L}^{-1}$ is. Je zegt ook wel: de azijnzuurconcentratie is $0,75 \text{ molair}$.
- $[\text{CH}_3\text{COOH}] = 0,75 \text{ M}$, ook dit betekent dat de azijnzuurconcentratie $0,75 \text{ molair}$ is. Bij het gebruik van de vierkante teksthaken zet je tussen de haken de formule van het deeltje dat in de oplossing voorkomt.

Rekenen met molariteit

Als je de molariteit van een zoutoplossing weet, kun je ook de concentratie in mol per liter van de ionen berekenen. Neem bijvoorbeeld het oplossen van aluminiumchloride (figuur 4.27). De oplosvergelijking is:



De verhouding waarin AlCl_3 verdwijnt en Al^{3+} en Cl^- ontstaan is $1 : 1 : 3$. Je kunt ook zeggen:



Omdat één mol een 'pakketje' van $6,02 \cdot 10^{23}$ deeltjes is, mag je ook stellen: uit 1 mol AlCl_3 ontstaan 1 mol Al^{3+} -ionen en 3 mol Cl^- -ionen. De coëfficiënten in de oplosvergelijking geeft het aantal ionen weer dat ontstaat, maar ook het *aantal mol ionen*. Een oplossing van aluminiumchloride mag je daarom niet noteren als $[\text{AlCl}_3]$, maar wel als $[\text{Al}^{3+}]$ en $[\text{Cl}^-]$.

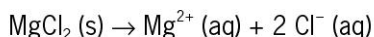
Hierna volgen nog twee voorbeelden van berekeningen met molariteit.

Rekenvoorbeeld 2

Je lost 25 g magnesiumchloride op tot 2,0 L oplossing.

- Bereken de molariteit van de oplossing.
- Bereken de concentratie van de magnesiumionen en de chloride-ionen.

a Allereerst stel je de oplosvergelijking op:



Voor ieder Mg^{2+} -ion dat ontstaat tijdens het oplossen komen er twee Cl^- -ionen vrij. Je rekt 25 g MgCl_2 om naar mol, de molaire massa van MgCl_2 is $95,21 \text{ g mol}^{-1}$.

$$25 \text{ g MgCl}_2 \triangleq \frac{25 \text{ g}}{95,21 \text{ g mol}^{-1}} = 0,2626 \text{ mol MgCl}_2$$

$$\text{De molariteit van de MgCl}_2\text{-oplossing is dan: } \frac{0,2626 \text{ mol}}{2,0 \text{ L}} = 0,13 \text{ mol L}^{-1}.$$

- b** Uit de coëfficiënten van de oplosvergelijking lees je af dat er 0,2626 mol Mg^{2+} -ionen (figuur 4.28) en $(2 \times 0,2626) = 0,5252 \text{ mol Cl}^-$ -ionen zijn ontstaan. De concentratie van de magnesiumionen en de chloride-ionen is:

$$[\text{Mg}^{2+}] = \frac{0,2626 \text{ mol}}{2,0 \text{ L}} = 0,13 \text{ mol L}^{-1}$$

$$[\text{Cl}^-] = \frac{0,5252 \text{ mol}}{2,0 \text{ L}} = 0,26 \text{ mol L}^{-1}$$



4.28 Magnesium is een belangrijk sporenelement voor het menselijk lichaam. Voedingsmiddelen waarin magnesium aanwezig is, zijn bijvoorbeeld zonnebloempitten en noten.

Rekenvoorbeeld 3

Volgens Binas tabel 44 heeft zuurstof een oplosbaarheid in water van $1,38 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ bij 293 K. Hoeveel gram zuurstof ontwijkt er per liter water als dit op een zonnige dag in temperatuur stijgt tot 40 °C?

Zoals je weet neemt de oplosbaarheid van een gas in een oplosmiddel af naarmate de temperatuur van het oplosmiddel stijgt. Dit zie je ook als je Binas tabel 44 bekijkt. De oplosbaarheid van zuurstof bij 40 °C (= 313 K) bedraagt $1,03 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$.

Per liter water ontwijkt er $1,38 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} - 1,03 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} = 0,35 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$. De molaire massa van zuurstof is $32,00 \text{ g mol}^{-1}$.

Er ontwijkt $0,35 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \times 32,00 \text{ g mol}^{-1} = 0,0112 \text{ g}$ zuurstof.

Afgerond op het juiste aantal significante cijfers ontwijkt er 0,011 g zuurstof per liter water. Het afnemen van de hoeveelheid zuurstof in het water heeft gevolgen voor de vissen. Om vissterfte te voorkomen wordt het water soms belucht, zie figuur 4.29.



4.29 Beluchting van een kweekvijver voor garnalen in Zuid-Amerika om het zuurstofgehalte op peil te houden.

Samenvatting

- De molariteit M van een oplossing druk je uit in het aantal mol opgeloste stof per liter oplossing, of in het aantal mmol opgeloste stof per milliliter oplossing.
- De molariteit van een opgelost deeltje kun je in een verkorte weergave noteren. Je zet dan vierkante haken om de formule van dit deeltje. Omdat een zout splitst in ionen bij het oplossen, kun je bij zouten deze notatie alleen op ionen toepassen.
- De coëfficiënten in een oplosvergelijking geven de molverhouding aan waarin het zout verdwijnt en de ionen ontstaan.

Opdrachten

A 35 

Wat versta je onder het begrip molariteit?

A 36

Waarom mag je de concentratie kaliumnitraat wel noteren als 0,1 M KNO_3 , maar niet als $[\text{KNO}_3] = 0,1 \text{ M}$?

B 37

Een glucosemeter wordt gebruikt om de bloedsuiker van diabetespatiënten te meten. Een glucosemeter geeft een waarde aan van $5,7 \text{ mmol L}^{-1}$. Bereken de hoeveelheid glucose, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, uitgedrukt in g L^{-1} .

B 38

Bereken hoeveel gram stof je moet oplossen om de volgende oplossingen te verkrijgen.

- a** 8,00 liter 0,221 M H_2O_2 -oplossing
- b** 1,23 liter 0,840 M NH_3 -oplossing
- c** 60 mL 0,14 M Br_2 -oplossing

B 39

Je lost 3,78 g NaCl op tot 3,00 liter oplossing.

- a** Geef de vergelijking voor het oplossen van NaCl.
- b** Bereken de molariteit van deze NaCl-oplossing.
- c** Bereken de concentratie van de natriumionen in mol L^{-1} .

B 40

Je lost 17 gram ijzer(II)chloride op tot 1,42 liter oplossing.

- a** Geef de vergelijking voor het oplossen van ijzer(II)chloride.
- b** Bereken de molariteit van de FeCl_2 -oplossing.
- c** Bereken de concentratie van de chloride-ionen in deze oplossing in mol L^{-1} .

B 41

Michel wil de concentratie ijzer(III)ionen bepalen in een ijzer(III)sulfaatoplossing met een onbekende concentratie. Hiervoor maakt hij een serie oplossingen met een bekende concentratie en meet met een zogenaamde spectrofotometer de intensiteit van de kleur van de oplossing. Hij verkrijgt de onderstaande resultaten.

molariteit	intensiteit	molariteit	intensiteit
Fe^{3+} (M)	kleur	Fe^{3+} (M)	kleur
0,050	0,198	0,200	0,782
0,100	0,405	0,250	0,992
0,150	0,583	onbekend	0,673

- a** Welke kleur heeft een oplossing van ijzer(III)sulfaat?
- b** Maak een grafiek waarin je de molariteit op de x-as uitzet tegen de intensiteit op de y-as.
- c** Bepaal aan de hand van deze grafiek de molariteit van de ijzer(III)ionen in de onbekende oplossing.

B 42

Het begrip molariteit wordt meestal gebruikt voor oplossingen. Maar je kunt het ook gebruiken voor mengsels van gassen. Je kunt bijvoorbeeld spreken over de molariteit van koolstofmono-oxide in lucht. Dan bedoel je het aantal mol CO per liter lucht. In 2,50 liter lucht wordt $1,0 \cdot 10^{-3}$ mol CO aangetroffen. Bereken de molariteit van CO in de lucht.

B 43

Peter mengt 100 mL 0,10 M suikeroplossing (A) met 150 mL 0,25 M suikeroplossing (B).

- a** Bereken hoeveel mol suiker in 100 mL van oplossing A zit.
- b** Bereken hoeveel mol suiker in 150 mL van oplossing B zit.
- c** Bereken hoeveel mol suiker het mengsel van A en B bevat.
- d** Bereken de molariteit van de suiker in het mengsel van A en B.

B 44

Je hebt een glucoseoplossing waarmee je drie proeven uitvoert.

- Proef 1: je neemt 500 mL van de beginoplossing en voegt 100 mL water toe.
- Proef 2: je neemt 500 mL van de beginoplossing en schenkt 100 mL hiervan weg.
- Proef 3: je dampst 100 mL van de beginoplossing in totdat er nog maar 50 mL over is.

Beantwoord nu voor elk van de drie proefjes de volgende vragen.

- a** Leg uit wat er gebeurt met de molariteit van de glucoseoplossing.
- b** Leg uit wat er gebeurt met de hoeveelheid opgeloste glucose.

C 45

Op de website van coca-cola staat het volgende geschreven over fosforzuur. Fosforzuur geeft coca-cola zijn krachtige, frisse smaak en intensiveert de aanwezige aroma's. 100 mL coca-cola bevat 54 mg fosforzuur.

- a Geef de formule van fosforzuur. Gebruik Binas tabel 66B.

Additieven zoals fosforzuur mogen pas worden toegevoegd aan voedingsmiddelen als ze zijn voorzien van een E-nummer.

- b Wat is de functie van het toevoegen van additieven aan voedingsmiddelen?
c Wat is het E-nummer van fosforzuur? Gebruik je Binas.
d Bereken de molariteit van fosforzuur in coca-cola.

Als handelsoplossing wordt fosforzuur verkocht met de volgende eigenschappen:

- massapercentage fosforzuur: 85%
 - dichtheid: $1,7 \text{ kg L}^{-1}$
- e Bereken de molariteit van fosforzuur in deze handelsoplossing.

C 46

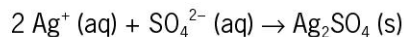
Hormonen zijn stoffen die een groot aantal processen in je lichaam regelen. Androsteron is een mannelijk hormoon dat in zeer kleine hoeveelheden in de urine wordt aangetroffen. In 15,0 liter urine zit slechts 15 mg androsteron. De molaire massa van androsteron is $290,4 \text{ g mol}^{-1}$.

- a Bereken hoeveel mol androsteron in 15,0 liter urine zit.
b Bereken de molariteit van androsteron in urine.

C 47

Cosmetica- en verzorgingsproducten zoals shampoo en make-upremover bevatten vaak verschillende soorten

sulfaten vanwege hun ontvettend vermogen. Deze sulfaten kunnen echter schadelijk zijn voor de gezondheid als ze in hoge concentratie in drinkwater voorkomen. Er worden daarom nu sulfaatvrije shampoos geproduceerd (figuur 4.30). Daarnaast worden sulfaten vaak uit drinkwater verwijderd door toevoeging van andere zouten. Er wordt dan bijvoorbeeld een oplossing van zilvernitraat toegevoegd, waardoor de volgende reactie optreedt:



Het gevormde zilversulfaat is slecht oplosbaar en vormt dan een vast zout. Dit zout is eenvoudig uit het drinkwater te verwijderen door het te filtreren.

- a Leg uit of je de sulfaten ook kunt verwijderen met een ijzer(II)nitraatoplossing.

Er wordt aan 1,0 L drinkwater 20 mL 0,100 M zilvernitraatoplossing toegevoegd. Het ontstane zilversulfaat wordt gefiltreerd en blijkt een massa te hebben van 225 mg.

- b Bereken of het toegevoegde zilvernitraat in overmaat aanwezig was.

De maximumnorm voor de sulfaatconcentratie in drinkwater is 77 mmol L^{-1} .

- c Bereken of deze norm overschreden werd bij het drinkwater van vraag b, voor het toevoegen van het zilvernitraat.



4.30 Sulfaatvrije shampoos

Je kunt nu

- rekenen met de molariteit van een stof in oplossing;
- toelichten dat de molariteit van een opgelost zout niet gelijk hoeft te zijn aan de molariteit van de ionen van dat zout.

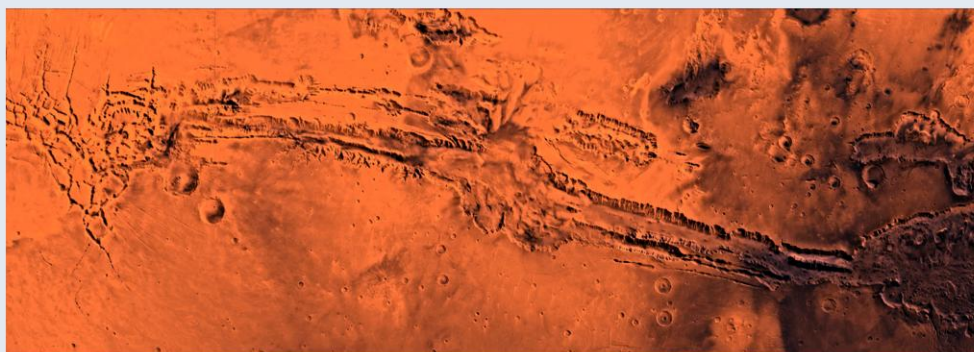
Afsluiting

Oefenopdrachten

1 Mars

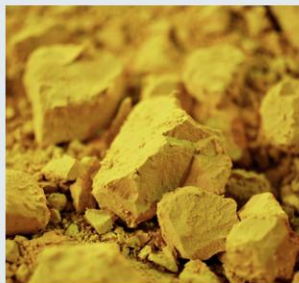
Het aardoppervlak van Mars is herkenbaar aan zijn typische rode kleur (figuur 4.31). Deze kleur wordt veroorzaakt door een laag ijzer(III)oxide waar het gehele oppervlak mee bedekt is. Onder deze laag bestaat het oppervlak vooral uit basalt, een donker gesteente dat ontstaat als lava afkoelt. In het basalt komen veel van dezelfde mineralen voor die ook op aarde voorkomen, zoals magnesiumoxide, aluminiumoxide en calciumsulfide.

Geef de verhoudingsformules van alle zouten die in de bovenstaande tekst genoemd zijn.



4.31 Oppervlakte van Mars

2 Uraanerts



4.32 Yellowcake

Uraniet is het uraanerts dat het meest op aarde voorkomt. Het bestaat voornamelijk uit uranium(IV)oxide (UO_2). Voor gebruik wordt dit verwerkt tot het zogenaamde 'yellowcake' (figuur 4.32), dit bevat 70 tot 80 massa-% uraniumoxide (U_3O_8). Uit het uraanerts wordt U-235 gewonnen, de isotoop die nodig is voor gebruik in kernreactoren. Voor dit U-235 moeten grote hoeveelheden erts gedolven worden, want slechts 0,7% van al het uranium bestaat uit deze uraniumisotoop.

In het uraanoxide, U_3O_8 , komen onder andere U^{4+} -ionen voor.

a Hoeveel protonen en hoeveel elektronen bevat een U^{4+} -ion?

Behalve U^{4+} -ionen komen in U_3O_8 ook uraanionen voor met een andere lading.

b Leid uit de formule U_3O_8 af of dit U^{3+} -ionen of U^{6+} -ionen zijn.

Een belangrijk tussenproduct bij de bereiding van uraan uit uraanerts is uranyl nitraat. Deze stof bestaat uit uranylionen en nitraationen. De formule van het uranylion is UO_2^{2+} .

c Geef de formule van uranyl nitraat.

Bron: CE havo 2011-I

3 Loodverbindingen

4.33 Een met loodglans bewerkte keramische kruik uit Syrië uit de eerste eeuw na Christus

Lood komt in de aardkorst alleen voor in verbindingen. In deze verbindingen kunnen Pb^{2+} - en Pb^{4+} -ionen voorkomen. De loodverbinding die het meest voorkomt, wordt galena of galeniet (loodglans, figuur 4.33) genoemd. Galeniet is een stof die al in de oudheid bekend was bij de Babyloniers en Egyptenaren. Het is een van de belangrijkste loodertsen en heeft de formule PbS . Om zijn donkergrijze kleur werd galeniet als pigment gebruikt. Zo werd gemalen galeniet in veel Arabische landen als oogschaduw gebruikt.

a Geef de systematische naam van PbS .

Een andere loodverbinding die in de aardkorst voorkomt, is pyromorfiet. Deze verbinding kun je weergeven met de verhoudingsformule $\text{Pb}_5\text{Cl}(\text{PO}_4)_3$. In deze verbinding komen lood-ionen uitsluitend als Pb^{2+} -ionen voor. Pyromorfiet kan worden opgevat als een mengsel van twee loodzouten. Uit de formule van pyromorfiet is af te leiden in welke verhouding deze twee loodzouten voorkomen.

b Geef de formules van de twee loodzouten waaruit pyromorfiet bestaat en geef aan in welke molverhouding ze voorkomen. Noteer je antwoord als volgt:

formule zout 1: ...

formule zout 2: ...

verhouding zout 1: zout 2 = ... : ...

Naar: CE havo 2000-II

**4**

Sander voegt 10,3 g kaliumsulfaat toe aan 75 g water. Na enige tijd roeren blijft de vloeistof troebel. Sander filtreert de suspensie en droogt het residu. Hij houdt 0,9 g vaste stof over.

a Bereken de oplosbaarheid van kaliumsulfaat in water, uitgedrukt in het aantal mol stof per kilogram water.

b Komt de waarde, berekend bij vraag a, overeen met Binas? Geef een verklaring voor een eventueel verschil.

**5****Hoestdrank**

Hieronder is een deel van het etiket van een hoestdrank weergegeven.



4.34 Het zoethout in de hoestdrank komt uit de wortelstok van een plant. Het bevat de zoetstof glycyrrhizinezuur, een stof die dertig keer zoeter is dan suiker.

TE GEBRUIKEN BIJ SLIJMHOEST

De ammoniumchloride (20 mg/mL) in hoestdrank vergemakkelijkt het ophoesten, terwijl de drop een verzachtende werking op de keel heeft.

250 mL oplossing

Werkzame bestanddelen:

- ammoniumchloride
- ammoniak
- zoethout
- anijs

Omschudden vlak voor gebruik

a Laat met een berekening zien dat ammoniumchloride 33,73 massa-% ammoniumionen bevat.

b Bereken het aantal mg ammoniumionen in een dosis van 20 mL hoestdrank. Gebruik hierbij het gegeven dat ammoniumchloride 33,73 massa-% ammoniumionen bevat.

★ 6 Wijn zonder droesem

In wijn kan bij lage temperaturen een bezinksel ontstaan dat 'droesem' wordt genoemd. Droesem bestaat voornamelijk uit onopgeloste zouten zoals kaliumwaterstoftartraat en calciumtartraat. Deze stoffen worden gevormd uit wijnsteenzuur dat in de wijn aanwezig is. Een tartraation ontstaat als wijnsteenzuur twee H^+ -ionen afstaat en het heeft de formule $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6^{2-}$.

- Geef de verhoudingsformule van calciumtartraat.
- Leg aan de hand van een berekening uit dat calciumtartraat behoort tot de slecht oplosbare zouten. Gebruik hierbij de informatie over het begrip 'slecht oplosbaar' uit Binas tabel 45A. Neem aan dat de oplosbaarheid van calciumtartraat $0,38 \text{ g L}^{-1}$ is.

Naar: CE havo 2016-II

7 Zandcement

Betonnen vloeren worden vaak afgewerkt met een laag zandcement (figuur 4.36). Bij het aanmaken van het zandcement meng je cement en zand met water. Vervolgens reageren de zouten uit het cement met het water tot hydraten. Bij het hydrateren van cement nemen de zouten water op in hun kristalrooster. Dat noem je ook wel het verharden (uitharden) van cement. Dit leidt uiteindelijk tot kristalroosters met een grote hardheid en het gevormde cement is dan ook zeer hard.

Bij de reactie van het cement met water ontstaat naast het hydratatieproduct ook calciumhydroxide (gebluste kalk).

De reactievergelijking van de hydratatie van een bepaalde cementsoort is:



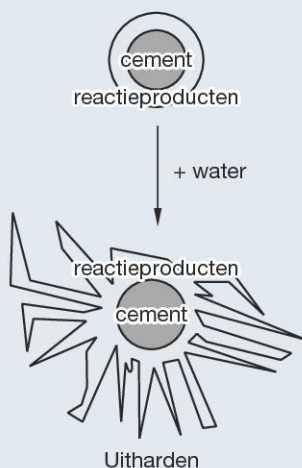
Een ander cementmateriaal heeft de formule Ca_2SiO_4 .

- Stel de reactievergelijking op voor de hydratatie van dit cement. Hierbij ontstaan dezelfde reactieproducten als in het voorbeeld.

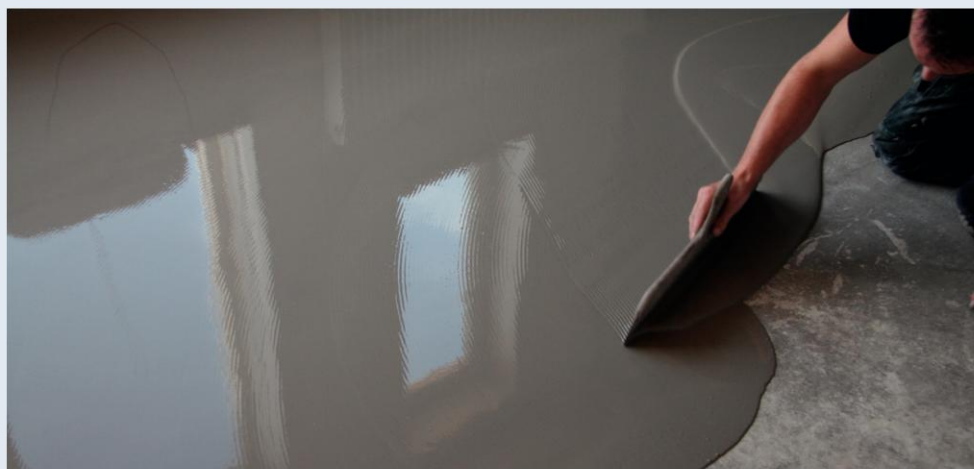
Bij het uitharden van cement als het calciumsilicaat, Ca_3SiO_5 , wordt omgezet in calciumsilicaattrihydraat, ontstaan grote kristallen met een draderige structuur. Hiernaast staat in figuur 4.35 een model van het uithardende cement.

Door de vorm kunnen deze kristallen veel water binden, want de kristallen hebben een grote oppervlakte-inhoudverhouding. Daardoor ontstaat de sterke structuur zoals je die van beton kent.

- Leg uit waarom er voldoende water aanwezig moet zijn bij de hydratatie van cement.

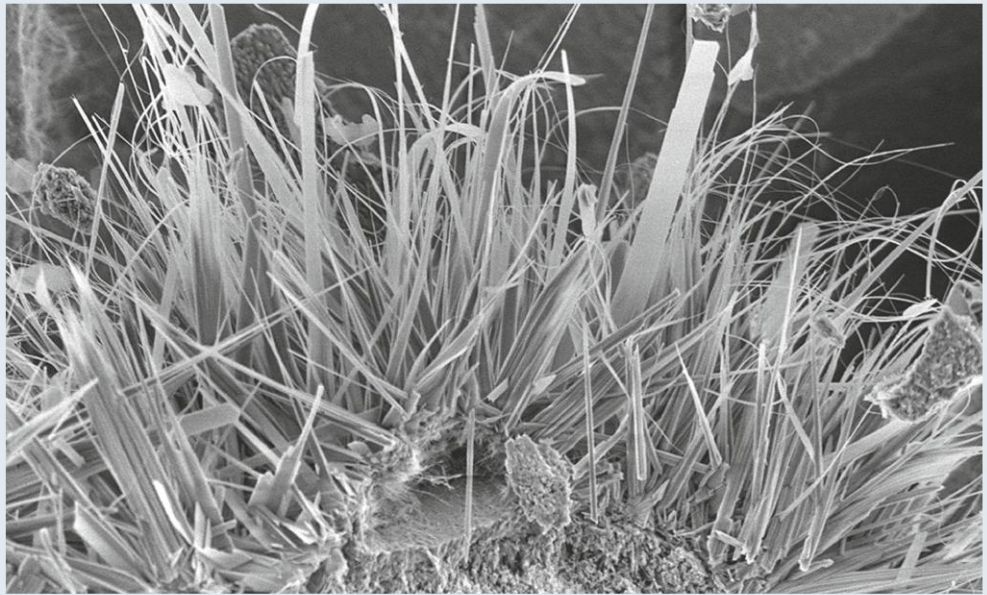


4.35 Model van de kristalstructuur die ontstaat bij het uitharden van cement



4.36 Een laag zandcement fungeert als dekvloer.

In figuur 4.37 zie je een beeld van de structuur die ontstaat bij uitharden van cement. Dit beeld is gemaakt met een speciaal soort microscoop, een elektronenmicroscoop.



4.37 Cementvezels onder een elektronenmicroscoop

c Leg uit of figuur 4.37 een opname op microniveau of op mesoniveau is.

Bij de hydratatie van portlandcement ontstaan verschillende vormen cementsteen als hydratatieproduct. Stel dat portlandcement voor 100% uit het cementmineraal Ca_2SiO_4 bestaat.

d Bereken hoeveel ton cementsteen met formule $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ er maximaal kan ontstaan bij de hydratatie van 5,00 ton portlandcement.

Bron: Module Zelfherstellend beton

Keuzeopdrachten

Hieronder staat een korte beschrijving van vier keuzeopdrachten. Op de site staat meer informatie. In overleg met je docent kun je één of meer van deze keuzeopdrachten uitvoeren.

1 Halfedelstenen

In deze opdracht maak je kennis met een aantal halfedelstenen. Je leert iets over de samenstelling van halfedelstenen en hun betekenis.

2 Formules van ionen

Je leert in deze opdracht dat je met behulp van het periodiek systeem en de kennis die je in dit hoofdstuk hebt opgedaan zelf formules van ionen kunt opstellen.

3 Alcoholcontrole

De politie voert regelmatig alcoholcontroles uit en ze meet dan in eerste instantie het volumepercentage alcohol in de uitgeademde lucht. Hoe werkt zo'n alcoholbepaling en hoe bereken je hoeveel alcohol iemand heeft gedronken?

4 Gas in frisdrank

Hoeveel gas zit er eigenlijk opgelost in een liter frisdrank? Je ontwerpt een eigen experiment om daar achter te komen.

Overzicht begrippen

Hydratatie

Wanneer een zout oplost, komen de ionen los uit het ionrooster en worden ze omringd door watermoleculen. Er worden dan **ion-dipoolbindingen** gevormd tussen de ionen en de watermoleculen. Achter de formule van het ion schrijf je dan (aq).

Indampvergelijking

Bij het indampen van een zoutoplossing ontstaat het vaste zout. Dit kun je weergeven in een indampvergelijking.

Ionen

Ionen zijn positief en negatief geladen deeltjes die zich rangschikken in een **ionrooster**, tussen de positieve en negatieve ionen vormt zich de **ionbinding**.

Ionen die uit één atoomsoort bestaan zijn **enkelvoudige ionen**. Als ze uit meerdere atoomsoorten bestaan zijn het **samengestelde ionen**.

Molariteit

De concentratie van een stof in oplossing kun je uitdrukken in mol per liter of in mmol per milliliter. Dit noem je de molariteit.

$$\text{molariteit} = \frac{\text{hoeveelheid opgeloste stof (mol)}}{\text{volume oplossing (L)}}$$

Oplosbaarheid

De oplosbaarheid geeft de maximale hoeveelheid stof aan die oplost in een liter water. Je kunt de oplosbaarheid van veel zouten vinden in Binas tabel 45B.

Als in een oplossing de maximale hoeveelheid stof is opgelost, dan is dit een **verzadigde oplossing**. Zo niet, dan is de oplossing **onverzadigd**.

Oplosvergelijking

Het oplossen van een zout kun je weergeven in een oplosvergelijking. De ionen schrijf je na de pijl los van elkaar, gevolgd door de notatie (aq). Het omgekeerde van de oplosvergelijking is de **indampvergelijking**.

Systematische naam

De naam van een zout geef je aan met de naam van het positieve ion, gevolgd door de naam van het negatieve ion. Dit noem je de systematische naam. Naast een systematische naam hebben veel zouten ook een **triviale naam**.

Verhoudingsformule

In een zout komen de ionen altijd in een zodanige verhouding voor, dat het zout elektrisch neutraal is. De formule van een zout noem je daarom ook wel een verhoudingsformule.

Zouten

Zouten zijn stoffen die uit geladen deeltjes, de ionen bestaan.

Zouthydraat

Sommige zouten kunnen watermoleculen opnemen in hun ionrooster. Als dit is gebeurd, noem je deze stoffen zouthydraten. Het water dat is opgenomen, is het **kristalwater**.

5 Reacties van zouten

Inhoud

5.1 Neerslagreacties

Experimenten:

- 5.1 Samenvoegen van zoutoplossingen
 - 5.2 Het vormen van een neerslag
 - 5.3 Ionen in zeewater
 - 5.4 Aantonen van calcium- en sulfationen
-

⊕ 5.2 Neerslagreacties toegepast

Experimenten:

- 5.5 Ionen verwijderen
 - 5.6 Zouten maken
 - 5.7 Welk zout is het (1)?
 - 5.8 Welk zout is het (2)?
 - 5.9 Vlamkleuring
 - 5.10 Dopingschandaal
-

5.3 Rekenen aan reacties

Experiment:

- 5.11 Koper uit koperoxide
-

Afsluiting

Overzicht begrippen





Pigmenten

Voor het verven van deze stoffen in een textielfabriek in Pakistan zijn pigmenten gebruikt. Vaak zijn deze pigmenten zouten die mooie kleuren geven. De kleuren worden veroorzaakt door de aanwezigheid van metaalionen in het pigment.

5

Neerslag

Onder neerslag versta je in het dagelijks leven regen of sneeuw. In de scheikunde is het een stof die niet oplost in het reactiemengsel en dus bezinkt. Op deze manier kun je bijvoorbeeld verfstoffen maken zoals porfyrienen, opgebouwd uit metaal- en niet-metaalionen. In de natuur komen deze verfstoffen ook voor, de kleuren van de veren van de Turaco uit Nieuw-Guinea ontstaan door porfyrienen.



Je leert

- wat een neerslagreactie is;
- wat een dynamisch evenwicht is.

5.1 Neerslagreacties

● Experiment 5.1

● Experiment 5.2



5.1 Neerslag van lood(II)jodide

	NO_3^-	I^-
Pb^{2+}	g	s
K^+	g	g

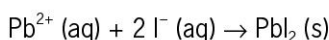
5.2 De combinaties van ionen

Neerslagreacties

In paragraaf 4.2 heb je al geleerd dat je in Binas tabel 45A kunt zien of een zout goed, slecht of matig oplosbaar is. Je vindt daar voor elke combinatie van ionen met een g, een s of een m aangegeven wat de oplosbaarheid is. De letter s bij een combinatie van ionen betekent ook dat als die twee soorten ionen in oplossing bij elkaar komen er een vaste stof ontstaat. Zo kun je in de tabel zien dat als je oplossingen met calcium- en carbonaationen mengt de vaste stof CaCO_3 ontstaat. Een neerslag ontstaat wanneer samengevoegde ionsoorten een slecht oplosbaar zout vormen.

Een toepassing van de oplosbaarheidstabel zie je in experiment 5.1. In dit experiment worden twee zoutoplossingen samengevoegd. De twee oplossingen bevatten de ionen Pb^{2+} , NO_3^- , K^+ en I^- en zijn beide kleurloos. Als je de oplossingen bij elkaar schenkt, ontstaat er een gele, vaste stof (figuur 5.1). De gevormde vaste stof noem je een **neerslag**. De reactie die plaatsvindt heet dan ook een **neerslagreactie**. Om te weten welke reactie er is verlopen, maak je een klein oplosbaarheidstabelletje van de ionen. In Binas tabel 45A zoek je op welke letters je bij de vier combinaties van ionen zet.

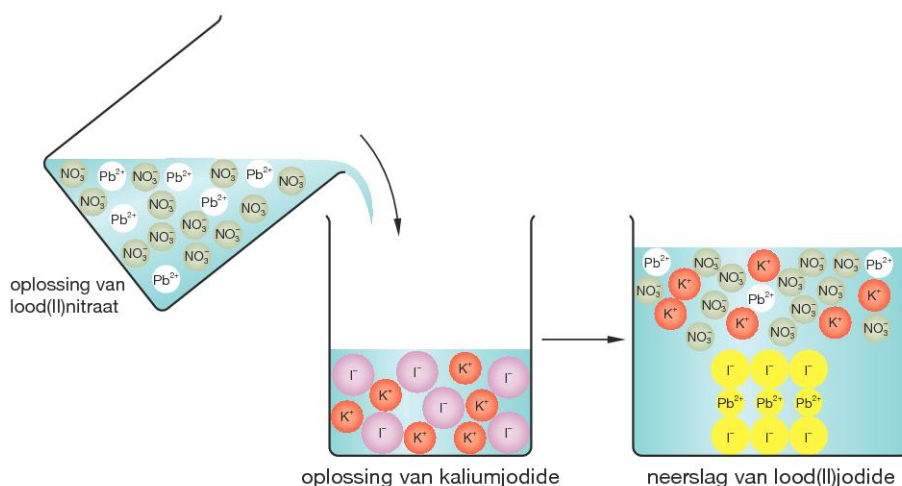
Je ziet dat bij één van de vier combinaties de letter s staat, namelijk die van Pb^{2+} -ionen en I^- -ionen, zie tabel 5.2. Dit betekent dat deze twee ionsoorten niet naast elkaar in één oplossing kunnen voorkomen. Ze zullen dus met elkaar reageren, zoals in figuur 5.3 in een modeltekening is weergegeven. De vergelijking van de reactie tussen de ionen heet een **neerslagvergelijking**. De vergelijking voor de hier besproken neerslagreactie is:





5.4 Als een oplossing van magnesiumsulfaat en een oplossing van natriumnitraat worden samengevoegd, ontstaat er geen neerslag.

Bij de K^+ -ionen en NO_3^- -ionen staat steeds de letter g. Dat betekent dat deze twee ionsoorten ongehinderd in de oplossing kunnen blijven. Er gebeurt dus niets mee, vandaar dat ze ook niet in de reactievergelijking voorkomen.



5.3 Modelvoorstelling van de vorming van een neerslag van lood(II)jodide

	SO_4^{2-}	NO_3^-
Mg^{2+}	g	g
Na^+	g	g

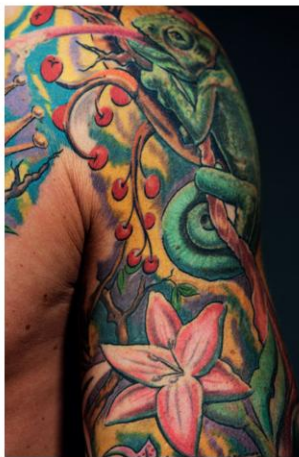
5.5 De combinaties van ionen bij figuur 5.4. Alle combinaties zijn goed oplosbaar.

Ook oplossingen van magnesiumsulfaat en van natriumnitraat zijn beide helder en kleurloos. Bij het samenvoegen van de twee oplossingen is er geen verandering waarneembaar (figuur 5.4). Dit is in overeenstemming met de gegevens uit het oplosbaarheidstabeltje 5.5. Bij alle vier de combinaties van ionen staat de letter g. Er zal dus geen neerslagreactie optreden. Een voorbeeld van het gebruik van zouten waarbij geen neerslagreactie mag optreden is in een aquarium, zie figuur 5.6. Zowel in het voedsel van de vissen als in de producten om het water helder te houden zitten zouten. Een neerslagreactie is dan een ongewenste reactie. Zo wil je bijvoorbeeld geen ijzer(III)ionen en hydroxide-ionen in je aquarium hebben, omdat deze dan ijzer(III)hydroxide vormen, zie voorbeeld 1.

● Experiment 5.3



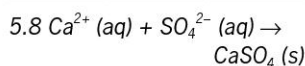
5.6 Aquarium met opgeloste zouten, er ontstaat geen ongewenste neerslagreactie.



5.7 IJzer(III)hydroxide wordt wel geel ijzeroxide genoemd en wordt gebruikt in tatoeage-inkt.

● Experiment 5.4

	NO_3^-	SO_4^{2-}
Ca^{2+}	g	m
Na^+	g	g



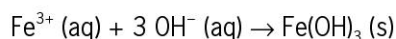
Voorbeeld 1

Je voegt een oplossing van ijzer(III)nitraat bij een oplossing van natriumhydroxide. Er ontstaat een bruin neerslag. Geef de vergelijking van de neerslagreactie.

In de oplossing zitten Fe^{3+} , NO_3^- , Na^+ en OH^- -ionen.

	OH^-	NO_3^-
Fe^{3+}	s	g
Na^+	g	g

De ionen die een neerslag vormen zijn: Fe^{3+} en OH^- . De neerslagreactie is:



Dynamisch evenwicht

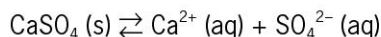
Bij neerslagreacties verdwijnen er dus ionen uit de oplossing, maar verdwijnen alle ionen of blijven er toch nog ionen van het neergeslagen zout in de oplossing achter? Als je experiment 5.4 hebt uitgevoerd, dan heb je gezien dat bij het samenvoegen van een oplossing van calciumnitraat en een oplossing van natriumsulfaat een neerslag ontstaat. Je kunt uit Binas tabel 45A en tabel 5.8 hier links aflezen dat het gaat om calciumsulfaat.

Als je de suspensie filtreert en je verdeelt het filtraat over twee schone reageerbuizen, dan kun je onderzoeken of er nog calcium- en sulfaationen aanwezig zijn. De conclusie bij dit experiment is dat er zowel calcium- als sulfaationen in de oplossing aanwezig blijven. Blijkbaar heeft maar een deel van de ionen met elkaar gereageerd om een neerslag van calciumsulfaat te vormen. Voor slecht en matig oplosbare zouten geldt dat er altijd nog ionen in de oplossing achterblijven. Na bezinken gaan er per tijdseenheid evenveel ionen vanuit het neergeslagen zout de oplossing in als er ionen vanuit de oplossing neerslaan. De concentratie van de ionen in de oplossing blijft constant.

In hoofdstuk 3 heb je al gezien dat een dynamisch evenwicht ontstaat als de stof jood zich verdeelt over de oplosmiddelen water en wasbenzine.

Bij slecht en matig oplosbare zouten stelt zich ook een dynamisch evenwicht in. Omdat het hier om twee omkeerbare reacties gaat, noem je het een **chemisch evenwicht**. Bij het evenwicht van de zouten bevinden de stoffen die deelnemen aan het evenwicht zich niet allemaal in dezelfde toestand, je noemt dit een **heterogeen evenwicht**. Bevinden alle stoffen zich wel in dezelfde toestand, bijvoorbeeld allemaal opgelost in water, dan spreek je van een **homogeen evenwicht**. Een chemisch evenwicht is dus een voorbeeld van een dynamisch evenwicht.

De reactievergelijking voor het chemisch evenwicht in experiment 5.3 geef je als volgt weer:



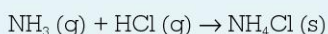
Omdat de reactie zowel naar rechts als naar links tegelijkertijd verloopt, schrijf je een dubbele pijl. Deze situatie geldt voor elke verzadigde oplossing, wanneer ook vast zout aanwezig is. We houden voorlopig bij neerslagreacties geen rekening met evenwichten, tenzij dit expliciet vermeld staat.

Drop

In Nederland wordt heel veel drop gegeten. Nederland is daarin een uitzondering, er zijn maar weinig landen waar drop wordt gezien als een lekker snoepje.

Het belangrijkste bestandsdeel van drop is blokdropsap, dat wordt gemaakt van het wortelsap van de zoethoutplant. In dat wortelsap zit de stof glycyrrhizinezuur, een zoetstof die dertig tot vijftig keer sterker is dan suiker en een belangrijk aandeel in de dropsmaak heeft. Een nadeel van glycyrrhizinezuur is dat het de bloeddruk verhoogt. Dit komt doordat het zuur ervoor zorgt dat de nieren meer natriumzouten vasthouden. De hoeveelheid natriumionen in je lichaam wordt daardoor hoger, wat een hogere bloeddruk tot gevolg heeft.

Een ander belangrijk bestanddeel van drop is de stof salmiak. Salmiak is de triviale naam voor het zout ammoniumchloride, NH_4Cl . Als je salmiak wilt maken, kun je gebruikmaken van de volgende reactie:



5.9a Als de damp van zoutzuur en ammoniak met elkaar in aanraking komt, ontstaat er salmiak.

Het bijzondere aan deze reactie is dat de beginstoffen ammoniak en waterstofchloride corrosief en giftig zijn. Het zijn beide gasvormige stoffen waar je voorzichtig mee om moet gaan. Het product is een smakelijk zout en het zorgt voor de zoute smaak aan drop (figuur 5.9a).

Naast zoethoutsap en salmiak is er een emulgator nodig. In goede drop is de emulgator Arabische gom, deze gom zorgt ook voor de elastische eigenschappen van drop. Arabische gom wordt gewonnen uit vocht van de stammen en takken van de boom *Acacia Senegal*. Deze boom groeit in de Sahelstreek in Afrika. Op bepaalde momenten in het seizoen die niet te voorspellen zijn gaat de boom bloeden. De schors barst dan open en op de boom verschijnen dikke bollen gom, zie figuur 5.9b. De bollen worden geoogst en gebruikt bij de dropproductie. Ook voor de productie van coca-cola is Arabische gom een onmisbaar ingrediënt.



5.9b Arabische gomballen op de stam van de boom

● Opdracht C9

Samenvatting

- Binas tabel 45A geeft informatie over de oplosbaarheid van zouten in water.
- Een neerslagreactie is een reactie tussen ionen die niet naast elkaar in een oplossing kunnen voorkomen. De gevormde vaste stof is het neerslag.
- De vergelijking die de reactie tussen de ionen weergeeft, noem je een neerslagvergelijking. In deze vergelijking staan alleen de ionen die de vaste stof vormen.
- Bij een neerslagreactie blijven er altijd nog ionen in de oplossing. Er ontstaat een chemisch evenwicht. De concentraties van de ionen zijn constant. Een evenwicht wordt in een vergelijking weergegeven met een dubbele pijl.

Opdrachten

A 1 

Wat wordt verstaan onder een chemisch evenwicht?

B 2 

Je maakt een oplossing van natriumsulfaat en een oplossing van lood(II)nitraat.

a Geef de vergelijkingen voor het oplossen van deze twee zouten.

De twee zoutoplossingen worden samengevoegd. Hierbij ontstaat een neerslag.

b Geef een uitleg op microniveau waarom er een neerslag ontstaat.

c Geef de vergelijking van de neerslagreactie.

De suspensie wordt vervolgens gefiltreerd.

d Welke ionen bevinden zich in elk geval in het filtraat?

Na filtreren van het neerslag damp je het filtraat in.

e Welk zout zal in ieder geval na indampen van het filtraat overblijven? Geef de vergelijking van dit indampproces.

B 3

Je maakt een oplossing van ijzer(III)nitraat. De oplossing heeft een gele kleur.

a Geef de vergelijking voor het oplossen van dit zout.

b Is het ontstaan van deze kleur een proces op micro- of op macroniveau?

Een ion heeft geen kleur. Toch zorgt de aanwezigheid van bepaalde ionen wel voor een bepaalde kleur.

c Welk ion zorgt voor de gele kleur? Gebruik Binas tabel 65B.

Vervolgens maak je een oplossing van natriumfluoride.

De oplossing is kleurloos.

d Geef de vergelijking voor het oplossen van dit zout.

De oplossingen worden samengevoegd. Er ontstaat een neerslag. Tijdens het bezinken ontstaat er een gele oplossing boven het neerslag.

e Geef de vergelijking van de neerslagreactie.

Als je dit filtreert en je voegt aan het filtraat een oplossing van natriumfosfaat toe, ontstaat er een neerslag.

f Leg uit met behulp van het chemisch evenwicht waarom er een neerslag ontstaat.

B 4

Sjaak voegt wat magnesiumcarbonaat en water samen in een reageerbuis. Er ontstaat een suspensie. Vervolgens filtreert hij. Het filtraat verdeelt hij over twee schone reageerbuizen. Aan de ene voegt hij een oplossing van natriumhydroxide toe, aan de andere een oplossing van calciumnitraat. In beide reageerbuizen ontstaat een neerslag.

a Geef voor de beide reageerbuizen aan welke neerslagreactie optreedt.

b Leg uit welke deeltjes in het begin in de suspensie aanwezig waren.

B 5

Een oplossing van bariumhydroxide en een oplossing van aluminiumsulfaat worden samengevoegd. Er ontstaat een wit neerslag. Geef de neerslagreacties.

B 6 

Alies doet een schepje calciumcarbonaat in water en ziet dat het niet oplost. Rick zegt: 'Er ontstaat een neerslag.' Leg uit of Ricks opmerking juist is.

B 7

Geef voor elk van de volgende processen de vergelijking van de reactie die daarbij optreedt.

a Aan kaliumoxide wordt water toegevoegd.

b Je bereidt de vaste verfstof chromaatgeel door oplossingen van lood(II)nitraat en kaliumchromaat samen te voegen. Zie Binas tabel 66B.

C 8 

In één oplossing bevinden zich de volgende ionen: Ag^+ , Cu^{2+} , Fe^{2+} en Ca^{2+} . Aan deze oplossing wordt een overmaat van een NaBr-oplossing toegevoegd, waardoor neerslag A ontstaat. Na filtreren wordt aan het filtraat een Na_2S -oplossing toegevoegd, waardoor neerslag B ontstaat. Ook dit neerslag wordt gefiltreerd, waarna aan het filtraat een Na_2CO_3 -oplossing wordt toegevoegd. Hierbij ontstaat neerslag C.

Leg met neerslagvergelijkingen uit wat de samenstelling is van de neerslagen A, B en C.

C 9

Lees de tekst in het kader 'Drop' en beantwoord de volgende vragen. Slecht oplosbare zouten kun je maken door een neerslagreactie. Als je vervolgens filtreert blijft het zout over. Het maken van goed oplosbare zouten is lastiger.

- a** Waarom is het lastig om een goed oplosbaar zout te maken bij het samenvoegen van zoutoplossingen?
- b** Welke bindingen zijn er *in* waterstofchloridemoleculen aanwezig?

Ammoniumchloride is een zout. In ammoniumchloride zijn dus ionbindingen aanwezig.

- c** Waarom is het vreemd dat ammoniumchloride een zout is? Waar bestaat een zout meestal uit?
- d** Geef het oplossen van ammoniumchloride weer in een oplosvergelijking.

De oplosbaarheid van ammoniumchloride kun je vinden in Binas tabel 45B.

- e** Bereken hoeveel mol ammoniumchloride je kunt oplossen in 150 mL water. Ga ervan uit dat de dichtheid van water gelijk is aan $1,0 \text{ kg L}^{-1}$.

C 10 ★

Van Vincent van Gogh is bekend dat hij vaak oudere werken overschilderde. Er is een nieuwe techniek ontwikkeld waarmee je deze verstopte werken zichtbaar kunt maken. Met röntgenstraling van verschillende golflengte bestralen onderzoekers een schilderij en ze meten de fluorescentie van de verfpigmenten, zie figuur 5.10. Verfpigmenten zijn zouten met mooie kenmerkende kleuren, die in de schilderkunst worden gebruikt. Vooral de stof titaan(IV)oxide wordt veel gebruikt. Deze stof heeft een witte kleur. Voor de kleuren rood, oranje en geel worden veel cadmiumverbindingen gebruikt. Cadmiumselenide is een rood pigment en cadmiumsulfide geeft een gele kleur aan de verf.

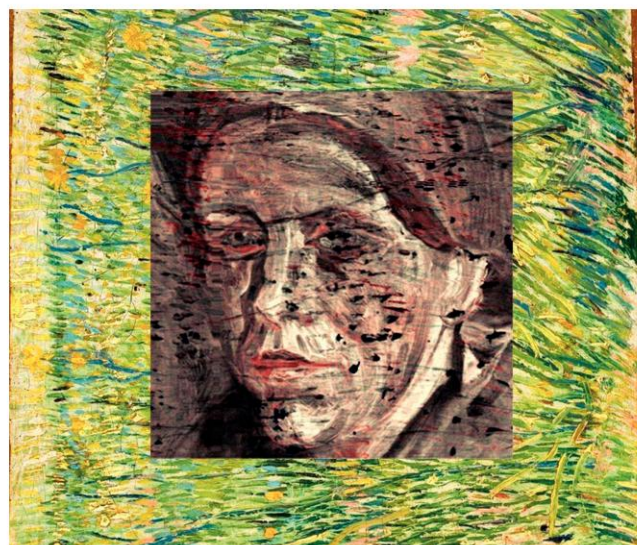
- a** Geef de formules van de drie hierboven genoemde zouten. Gebruik eventueel Binas tabel 40A voor de lading van de ionen.

Omdat cadmiumverbindingen giftig zijn, werd er gezocht naar alternatieven. Door Van Gogh werden pigmenten gebruikt als loodantimonaat, $\text{Pb}(\text{SbO}_3)_2$ of $\text{Pb}(\text{SbO}_4)_2$, een mooi geel pigment en het rode kwik(II)sulfide. Kwik(II)sulfide kun je maken door middel van een neerslagreactie van twee zoutoplossingen.

- b** Welke twee ionen moeten in ieder geval in deze zoutoplossingen aanwezig zijn?

Naast deze twee ionen wordt vaak gekozen voor natrium- en nitraationen. Je gebruikt dan een oplossing van een natriumzout en een oplossing van een niraatzout.

- c** Waarom wordt vaak voor juist deze zouten gekozen?



5.10 Portret onder het schilderij 'Grasgrond' van Vincent van Gogh

Experimenten

5.1 Samenvoegen van zoutoplossingen

Je onderzoekt wat er gebeurt als je oplossingen van zouten samenvoegt.

5.2 Het vormen van een neerslag

Je onderzoekt welke ionsoorten samen een neerslag vormen.

5.3 Ionen in zeewater

Je onderzoekt in dit experiment welke ionen voorkomen in zeewater.

5.4 Aantonen van calcium- en sulfaationen

Verdwijnen alle ionen van het neergeslagen zout uit de oplossing bij een neerslagreactie?

- Volledige instructie *Chemie Overal* online

Je kunt nu

- het neerslaan van een zout in een neerslagreactie weergeven;
- bepalen welke ionen een neerslag vormen bij het samenvoegen van zoutoplossingen;
- uitleggen wat een chemisch evenwicht is.

Rioolwaterzuivering

Bij een rioolwaterzuivering worden ionen verwijderd die niet in het milieu mogen. Eén van deze ongewenste ionen is het fosfaat. Door de toenemende schaarste aan fosfaaterts is er de laatste tijd veel aandacht voor dit ion. Het fosfaat wordt in een rioolwaterzuivering neergeslagen als het zout struviet en kan weer worden gebruikt in meststoffen.

**Je leert**

- ionsoorten uit een oplossing verwijderen;
- een zout maken;
- ionsoorten in een oplossing aantonen.

+ 5.2 Neerslagreacties toegepast

● Experiment 5.5

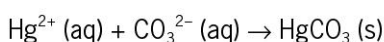
5.11 Struviet

Het verwijderen van ionen uit een oplossing

De neerslagreacties die je in de vorige paragraaf hebt leren kennen kun je gebruiken om fosfaationen te verwijderen uit een oplossing zodat je fosfaten kunt hergebruiken. In deze paragraaf leer je drie belangrijke toepassingen van neerslagreacties kennen:

- een ionsoort verwijderen uit een oplossing;
- een zout maken;
- een ionsoort aantonen in een oplossing.

Er zijn chemische fabrieken waarin kwikverbindingen worden gebruikt. Hierdoor bevat het afvalwater van deze fabrieken kwik(II)zouten in niet te verwaarlozen concentraties. Kwikverbindingen zijn erg schadelijk voor de gezondheid. Kwik behoort tot de zware metalen en zo'n fabriek krijgt geen vergunning om haar afvalwater op het oppervlaktewater te lozen. Eerst moeten de Hg^{2+} -ionen worden verwijderd. Dit kan bijvoorbeeld door de kwik(II)ionen neer te slaan met een geschikte negatieve ionsoort, zoals carbonaationen, zie tabel 5.12. Door toevoegen van een natriumcarbonaatoplossing aan het fabrieksafvalwater treedt de volgende reactie op:



Het neerslag wordt gefiltreerd, waarna het filtraat kan worden geloosd als het geen andere schadelijke stoffen bevat. Voor elk Hg^{2+} -ion dat in dit voorbeeld is verwijderd, zijn twee Na^+ -ionen in de plaats gekomen, maar die zijn minder belastend voor het milieu.

	CO_3^{2-}
Hg^{2+}	s
Na^+	g

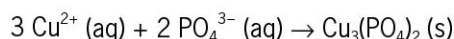
5.12 Met carbonaationen kun je kwik(II)ionen laten neerslaan.

De overheid controleert regelmatig of het geloosde afvalwater van chemische fabrieken voldoet aan de voorschriften.

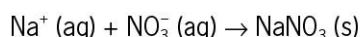
Om een ionsoort te verwijderen moet je dit ion combineren met een ion met tegengestelde lading, zodat er een slecht oplosbaar zout kan neerslaan. Omdat je in oplossing werkt, moet het toegevoegde zout uiteraard zelf oplosbaar zijn. Hierbij is het handig te bedenken dat natrium- en kaliumzouten en nitraten altijd goed oplosbaar zijn.

Het maken van zouten

Als je een bepaald zout nodig hebt dat niet op voorraad is, kun je het zelf maken. Als je koperfosfaat (figuur 5.13a) wilt maken, moet je een oplossing met koperionen samenvoegen met een oplossing met fosfaationen. Dat kan bijvoorbeeld een kopernitraatoplossing en een natriumfosfaatoplossing zijn. Door een natriumzout en een nitraatzout te kiezen, weet je zeker dat er uitsluitend koperfosfaat zal neerslaan, zie tabel 5.13b. De volgende reactie treedt op:



Het gevormde neerslag wordt gefiltreerd, nagespoeld met water en vervolgens gedroogd. Wil je een goed oplosbaar zout maken, bijvoorbeeld natriumnitraat, dan kun je het filtraat van het hierboven beschreven experiment indampen:



Belangrijk is dat er geen overmaat aan koper- of fosfaationen wordt gebruikt omdat één van deze ionsoorten dan in het filtraat aanwezig is. Bij het indampen ontstaan er dan ook andere zouten.

Het aantonen van ionen in een oplossing

Stel dat je een witte vaste stof hebt waarvan je weet dat het of natriumsulfiet of natriumsulfaat is. Als je wilt bepalen welke van de twee het is, kun je als volgt te werk gaan.

- Je lost een klein beetje van de stof op in water. De verkregen oplossing bevat nu in ieder geval Na^+ -ionen en verder of SO_3^{2-} -ionen of SO_4^{2-} -ionen.
- Je voegt een zoutoplossing toe met een positieve ionsoort die slechts met één van beide negatieve ionen kan reageren. Je neemt bijvoorbeeld een zinknitraatoplossing. Als er een neerslag ontstaat, kan dat alleen zinksulfiet zijn. Zinksulfaat is immers goed oplosbaar, zie tabel 5.14.

Zie je een neerslag, dan was de beginstof natriumsulfiet. Ontstaat er geen neerslag, dan was de beginstof natriumsulfaat.

● Experiment 5.6



5.13a Koperfosfaat is in de rotsen bij Lubumbashi in Kongo gemakkelijk te winnen.

	NO_3^-	PO_4^{3-}
Cu^{2+}	g	s
Na^+	g	g

5.13b

	SO_3^{2-}	SO_4^{2-}
Zn^{2+}	s	g
Na^+	g	g

5.14

● Experiment 5.7 t/m 5.10

Samenvatting

- Je kunt neerslagreacties gebruiken om ongewenste ionen uit een oplossing te verwijderen. Het neerslag filtreer je af en het filtraat kun je lozen.
- Een slecht oplosbaar zout maak je door het samenvoegen van twee oplossingen die de ionsoorten bevatten van het zout dat je wilt maken en twee andere ionsoorten, die geen neerslag geven. Het gevormde neerslag is het zout.
- Een goed oplosbaar zout maak je op dezelfde manier, maar nu zijn de ionsoorten die niet reageren het zout dat je wilt maken. Na filtreren damp je het filtraat in.
- Je toont een ionsoort in een oplossing aan door er een oplossing aan toe te voegen met een ion dat uitsluitend reageert met de aan te tonen ionsoort.

Duurzaam plassen

Ieder Nederlands gezin produceert veel afvalwater. Dit afvalwater wordt ingedeeld in drie stromen: water uit de douche noemt men grijs water, uit het riool komt zwart water en urine is geel water. Er zijn gebieden in Nederland waarin dit water apart wordt verzameld.

In urine zitten een heleboel verbindingen waarin stikstof en fosfor aanwezig zijn. Beide zijn nodig voor het maken van kunstmest. Vooral fosfaat wordt steeds schaarser en we spoelen hiervan dagelijks ongeveer 500 mg per persoon door de wc. Zeker nuttig om dit uit onze urine terug te winnen.

Je kunt het fosfaat uit urine halen door het te laten reageren met magnesiumionen. Het fosfaat slaat dan neer en vormt struviet, $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ of $\text{KMgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. De urine met neergeslagen struviet kun je via leidingen naar een groot vat leiden en daar kun je het uit de urine halen. Een probleem bij dit proces is dat de struviet ervoor kan zorgen dat leidingen verstopt raken.



5.15a Op Pinkpop 2016 is plassen een duurzaam initiatief. Er wordt fosfaat uit de urine gewonnen.

In een fabriek in Nederland, genaamd SaNiPhos, gebeurt dit daarom op een andere manier. Per vrachtwagen wordt ingezamelde urine naar de fabriek getransporteerd om daar vervolgens verwerkt te worden. De fabriek verwerkt ongeveer 1500 m^3 urine per jaar, wat goed is voor 5 ton struviet. Het bedrijf wil ook aan de slag met plaszuilen bij evenementen. Bij Pinkpop komt er in drie dagen ongeveer 100 m^3 urine vrij. Daar valt een heleboel fosfaat terug te winnen (figuur 5.15a).

Bij een nieuwe in Berlijn ontwikkelde methode wordt met behulp van MgCl_2 het fosfaat in het rioolwater in de zuiveringsinstallatie als struviet neergeslagen. Daarna wordt het gescheiden van het rioolslib, waarna het rioolslib verder wordt ontwaterd en verbrand. In Amsterdam staat een nieuwe fosfaatinstallatie 'FOSvaatje' waar het struviet uit het Amsterdamse rioolslib verwijderd wordt (figuur 5.15b).

Bron: *Chemische Feitelijkheden en Kennislink*



5.15b In 2013 is in Amsterdam de struvietinstallatie FOSvaatje in bedrijf genomen. Deze installatie produceert momenteel ongeveer 900 ton struviet per jaar.

● Opdracht B19

Opdrachten

A 11

Waarom gebruik je om een positief ion te verwijderen meestal een oplossing van een natrium-, kalium- of ammoniumzout en voor het verwijderen van een negatief ion een nitraat?

B 12 

Leg uit hoe je lood(II)ionen uit een afvalwaterstroom kunt verwijderen. Geef de vergelijking van de reactie.

B 13

Beschrijf hoe je de volgende zouten kunt maken uit oplossingen van andere zouten.

- a** bariumcarbonaat
- b** zilverbromide
- c** zinknitraat

B 14 

Leg uit hoe je kunt aantonen welke van de volgende twee zouten er in een reageerbuis zit. Je mag gebruikmaken van demiwater en van oplossingen van zouten. Geef de oplos- en reactievergelijking(en).

- a** natriumcarbonaat of calciumcarbonaat
- b** kaliumsulfaat of kopersulfaat
- c** natriumbromide of magnesiumbromide

B 15

Een leerling krijgt op een practicum drie reageerbuizen, genummerd 1, 2 en 3, waarin zich witte vaste stoffen

bevinden. Het gaat om de volgende zouten: calciumchloride, calciumnitraat en calciumfosfaat. De leerling moet onderzoeken welk zout in welke buis zit.

Beschrijf hoe de leerling te werk kan gaan. Licht je antwoord toe met reactievergelijkingen.

B 16 

Als pigment voor verf worden allerlei kleurige zouten gebruikt (figuur 5.16). Zo bevat de verfsoort 'chromaatgeel' het gele zout lood(II)chromaat als pigment. Verf bestaat verder uit een bindmiddel en een oplosmiddel voor deze stof.

Pas aangebrachte verf verspreidt een typische lucht, die pas wegtrekt als de verf geheel droog is. Leg uit welke component van de verf deze geur veroorzaakt, het pigment, het bindmiddel of het oplosmiddel?

B 17

Als de stof natriumchloride is verontreinigd met natriumcarbonaat, dan bevindt zich een klein beetje natriumcarbonaat bij een grote hoeveelheid natriumchloride.

- a** Leg uit hoe je kunt nagaan of natriumchloride is verontreinigd met natriumcarbonaat.
- b** Idem of natriumcarbonaat is verontreinigd met natriumchloride.
- c** Leg uit hoe je kunt nagaan of een stof natriumcarbonaat is of natriumchloride.



5.16 Verfpigmenten op een markt in India

B 18

Beredeneer hoe je kunt aantonen of:

- a** zinkacetaat is verontreinigd met lood(II)acetaat;
- b** zinknitraat is verontreinigd met zinkoxide;
- c** ammoniumsulfaat is verontreinigd met ammoniumfosfaat.

B 19

Lees de tekst in het kader 'Duurzaam plassen' en beantwoord de volgende vragen.

- a** Geef de systematische naam van beide vormen van struviet.
- b** Geef het ontstaan van struviet in een neerslagreactie weer. Ga er hierbij van uit dat de formule van struviet $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ is.
- c** Bereken hoeveel kg fosfaat er teruggewonnen kan worden uit 1500 m^3 urine.

5000 m^3 urine staat gelijk aan ongeveer 13 miljoen plasbeurten.

- d** Hoeveel gram fosfaat kan er gemiddeld worden teruggewonnen uit één plasbeurt?

Als een rioolwaterzuiveringsbedrijf het afvalwater ontdoet van fosfaationen, dan wil zo'n onderneming dit uiteraard zo goedkoop mogelijk uitvoeren. Een van de afvalproducten van de glasindustrie is het zout calciumchloride.

- e** Leg uit of dit (goedkoop te verkrijgen) zout kan worden toegepast bij het defosfateringsproces.

B 20 Wasversterker ★

Klassieke zeepn zoals toiletzeep bevatten meestal het zout natriumstearaat ($\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}$). Dit zout is redelijk oplosbaar in water. Bij het oplossen ontstaat het stearaation. Dit ion heeft net als een emulgatormolecuul een lange apolaire staart en een polaire kop.

De apolaire staart kan zich hechten aan het apolaire vuil en de polaire kop zorgt ervoor dat het vuil loslaat van de kleding.

- a** Waarom kun je niet zeggen dat een emulgatormolecuul een hydrofiele kop en een hydrofobe staart heeft? Gebruik in je antwoord de woorden microniveau en macroniveau.

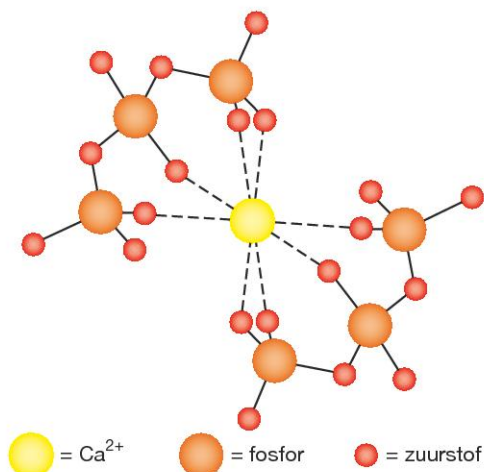
Hard water is water waarin veel calciumionen aanwezig zijn.

- b** Als een oplossing van natriumstearaat aan hard water wordt toegevoegd, ontstaat een neerslag van kalkzeep. Geef de reactievergelijking van de vorming van kalkzeep.

Vroeger werd meestal de stof natriumtrifosfaat als 'ingebouwde waterontharder' gebruikt, zie figuur 5.17.

Een calciumion wordt volledig ingekapseld door twee trifosfaationen, waardoor het niet langer kan deelnemen aan neerslagreacties. Het afgebeelde 'sandwich'-complex heeft een netto negatieve lading. Daardoor lost het goed op in water en wordt het niet op het wasgoed afgezet. Fosfaten zijn slecht voor het milieu, daarom gebruiken we tegenwoordig andere stoffen.

- c** Geef de vergelijking voor het oplossen van natriumtrifosfaat, $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, in water.
- d** Geef de vergelijking van de reactie tussen calciumionen en trifosfaationen.
- e** Waardoor treedt geen kalkzeepvorming op in waswater waarin zich natriumtrifosfaat of een soortgelijke stof bevindt?
- f** Waarom noem je natriumtrifosfaat een wasversterker?



5.17 Structuur van een calciumtrifosfaatcomplex

C 21 ★

Het zout natriumnitraat is heel goed oplosbaar in water. Je komt het daarom niet vaak in de natuur tegen. Bij de kust van Chili bevinden zich eilanden waar vrijwel nooit regen valt. De mest van zeevogels is daar al vele jaren opgestapeld. De mestlaag die daardoor is ontstaan bestaat uit chilisalpeter en is voornamelijk natriumnitraat. Als je het zout natriumnitraat zelf zou willen maken, kun je gebruikmaken van neerslagreacties.

Arend wil het goed oplosbare zout natriumnitraat maken. Om dit te doen voegt hij een oplossing van natriumsulfaat en bariumnitraat bij elkaar. Er ontstaat een neerslag.

- a** Geef het ontstaan van dit neerslag in een reactievergelijking weer.

Arend zegt: 'De ion-dipoolbindingen zijn verbroken en er zijn ionbindingen gevormd.'

- b** Leg uit wat Arend hiermee bedoelt.

- c Leg uit welke bindingen in het geval van het ontstaan van een neerslag sterker zijn, de ion-dipoolbindingen of de ionbindingen?

Arend filtreert het neerslag en dampet de oplossing in.

- d Geef het indampen in een reactievergelijking weer.

Het is goed mogelijk dat er ook nog een ander zout ontstaat naast natriumnitraat.

- e Leg uit waarom er ook nog een ander zout kan ontstaan. Gebruik in je uitleg het woord overmaat.
- f Wat zou je kunnen doen om het ontstaan van een ander zout te voorkomen? Denk je dat er dan volledig zuiver natriumnitraat kan ontstaan?

Om natriumnitraat te maken kun je natriumcarbonaat laten reageren met de vloeistof salpeterzuur (HNO_3). Er ontstaat dan ook water en koolstofdioxide.

- g Geef dit in een reactievergelijking weer.



5.18 In de Atacama-woestijn in Chili heeft de artist Mario Irarrázabal deze sculptuur gemaakt van ijzer en cementzouten.

C 22

Om het gebruik van Binas tabel 45A en 65B duidelijk te maken aan zijn leerlingen, legt meneer Koopmans hun het volgende probleem voor.

Je krijgt drie reageerbuizen, voor een kwart gevuld, waarin de volgende kleurloze oplossingen zitten:

- in buis 1 zit natriumsulfaat
- in buis 2 zit zinkchloride
- in buis 3 zit kwik(II)nitraat
- in buis 4 zit een kleurloze oplossing van stof X

In tabel 5.19 staan de waarnemingen van de leerlingen na het mengen van de eerste drie oplossingen met de oplossing van stof X.

Leg uit wat de verhoudingsformule van stof X is en licht je antwoord toe met reactievergelijkingen.

nummer	naam	waarneming
1	natriumsulfaat	wit neerslag
2	zinkchloride	geen verandering
3	kwik(II)nitraat	roodachtig neerslag

5.19

Experimenten

5.5 Ionen verwijderen

Je onderzoekt hoe je bepaalde ionsoorten uit een oplossing kunt verwijderen.

5.6 Zouten maken

Je maakt zelf een aantal zouten uit oplossingen van andere zouten.

5.7 en 5.8 Welk zout is het?

Je onderzoekt welk zout er in een reageerbuis zit.

5.9 Vlamkleuring

Je onderzoekt de kleuren die zouten aan een vlam geven.

5.10 Dopingschandaal

In deze onderzoeksopdracht voer je experimenten bij een dopingschandaal uit.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- beschrijven hoe je ongewenste ionsoorten uit een oplossing kunt verwijderen;
- een zout maken uit verschillende oplossingen van andere zouten en dit proces beschrijven met woorden en reactievergelijkingen;
- met experimenten aantonen welk zout er in een bepaald buisje zit.

Hoeveel ontstaat er?

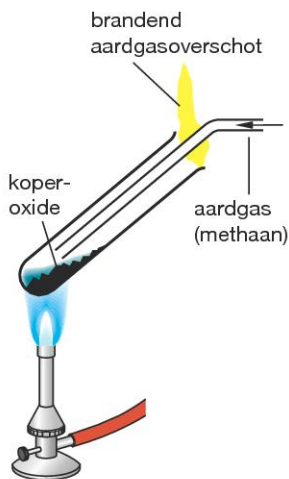
Hoeveel gram neerslag ontstaat er als je zoutoplossingen samenvoegt? Hoeveel m³ lucht is minimaal nodig voor de volledige verbranding van één liter benzine? Hoeveel ton ijzer kun je maken uit 1 ton ijzererts? Centraal in deze paragraaf staat hoe je de antwoorden op deze vragen berekent.

**Je leert**

- berekeningen aan reacties uitvoeren;
- een overmaat van een beginstof berekenen;
- het rekenschema gebruiken.

5.3 Rekenen aan reacties

● Experiment 5.11

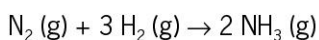


5.20 Proefopstelling voor de reactie van koperoxide met methaan

Rekenen aan reacties

Voor alle berekeningen uit de introductie is de eenheid mol cruciaal. In hoofdstuk 2 heb je de mol leren kennen. In hoofdstuk 4 heb je gezien dat bij het oplossen van een zout de coëfficiënten in de oplosvergelijking de molverhouding aangeven waarin het zout verdwijnt en de ionen ontstaan. De regel coëfficiëntenverhouding = molverhouding geldt voor alle reacties.

Je noemt de verhouding waarin beginstoffen reageren en reactieproducten ontstaan de **stoichiometrische verhouding**. Maar we zullen bij berekeningen de eenvoudigere term **molverhouding** gebruiken. De reactievergelijking van de vorming van ammoniak uit de elementen is:



Uit de reactievergelijking leid je af dat 1 mol N₂ reageert met 3 mol H₂, waarbij 2 mol NH₃ ontstaat. Je zegt: de molverhouding in deze reactie is N₂ : H₂ : NH₃ = 1 : 3 : 2.

Als je weet wat de massa van de beginstoffen is, kun je deze omrekenen naar het aantal mol en met behulp van de molverhouding kun je uitrekenen hoeveel ammoniak ontstaat. In experiment 5.11 onderzoek je hoeveel koper er maximaal kan ontstaan uit een bepaalde hoeveelheid koperoxide (figuur 5.20). Als je koperoxide laat reageren met een overmaat methaan, dan ontstaan de stoffen koper, koolstofdioxide en waterdamp. Je spreekt van een overmaat als van één van de beginstoffen meer aanwezig is dan voor de reactie nodig is. Na afloop van het experiment vergelijk je de experimenteel bepaalde hoeveelheid koper met de berekende hoeveelheid koper. We gebruiken dit experiment om in rekenvoorbeeld 1 te laten zien hoe je zo'n berekening uitvoert.

Bij deze berekeningen kun je gebruikmaken van het rekenschema, zie figuur 5.23 op de volgende pagina. Je kunt bij deze berekeningen ook de verhoudingstabellen blijven gebruiken. In de rekenvoorbeelden die volgen is het rekenschema gebruikt.



5.21 Rekenen met de mol?



5.22 Deze reusachtige mol was een drama. Het kunstwerk in Best bleek van inferieur Chinees brons en scheurde. Reparatiekosten: $1,0 \cdot 10^{-19}$ mol euro.

Rekenvoorbeeld 1

Ga door berekening na dat er bij de omzetting van 2,0 g koperoxide 1,6 g koper ontstaat.

Bij berekeningen aan reacties voer je een aantal stappen uit.

Stap 1: stel de reactievergelijking op.

Stap 2: reken de massa of het volume van de gegeven stof om naar het aantal mol.

Stap 3: leid de molverhouding af.

Stap 4: bereken het aantal mol gevraagde stof.

Stap 5: reken het aantal mol stof om naar de gevraagde eenheid.

Stap 1: de reactievergelijking:



Stap 2: bereken hoeveel mol CuO overeenkomt met 2,0 g. De molaire massa van CuO is $79,545 \text{ g mol}^{-1}$.

$$2,0 \text{ g CuO} \triangleq \frac{2,0 \text{ g}}{79,545 \text{ g mol}^{-1}} = 0,02514 \text{ mol CuO}$$

Stap 3: leid de molverhouding af.

De molverhouding CuO : Cu = 4 : 4 = 1 : 1.

Stap 4: bereken het aantal mol Cu.

Er ontstaat 0,02514 mol Cu.

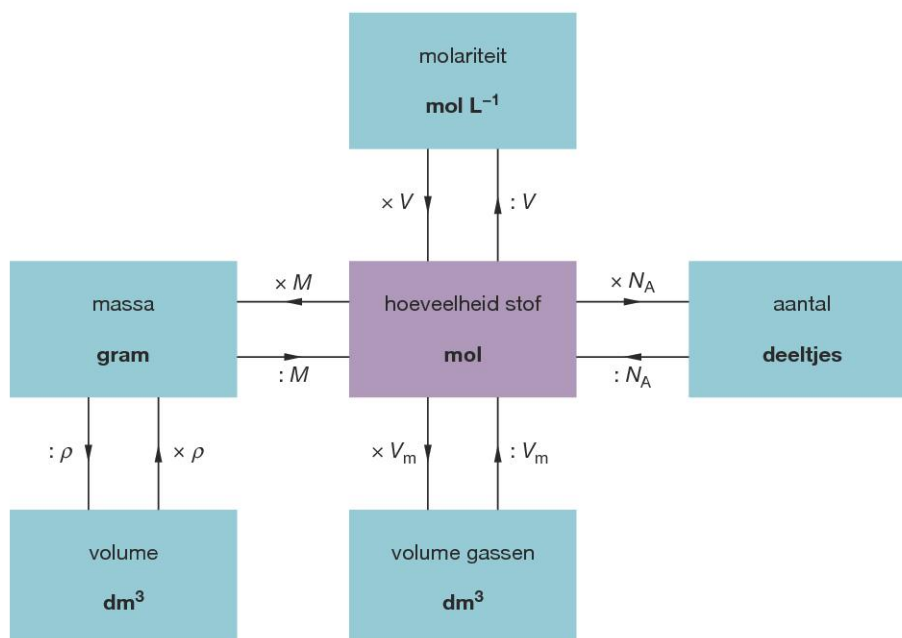
Stap 5: reken de hoeveelheid koper van mol om naar gram.

De molaire massa van Cu is $63,55 \text{ g mol}^{-1}$.

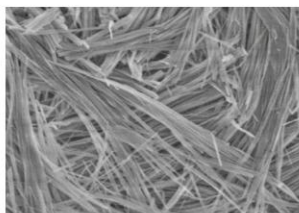
$$0,02514 \text{ mol Cu} \triangleq 0,02514 \text{ mol} \times 63,55 \text{ g mol}^{-1} = 1,6 \text{ g Cu}$$

Uit 2,0 g koperoxide is 1,6 g koper te maken. Vergelijk deze *berekende* hoeveelheid met de *experimenteel* bepaalde hoeveelheid.

Er werd in dit experiment veel meer methaan over het koperoxide geleid dan nodig is voor de reactie. Het methaan dat niet reageert, wordt verbrand. Je hebt dus een overmaat methaan gebruikt om er zeker van te zijn dat alle koperoxide reageert. In rekenvoorbeeld 2 reken je uit wat je minimaal nodig hebt om alle koperoxide te laten reageren.



5.23 Rekenschema van mol naar gram, deeltjes, molariteit en gasvolume



5.24 Met een speciale elektronenmicroscop zijn deze beelden van nanodraadjes koperoxide gemaakt. Onderzoekers hopen deze draadjes te kunnen gebruiken bij metingen aan gassen.

Rekenvoorbeeld 2

Je kunt ook uitrekenen hoeveel dm³ methaan er heeft gereageerd.

Bereken hoeveel dm³ methaan heeft gereageerd met 2,0 g koperoxide. Bij $T = 298 \text{ K}$ en $p = p_0$ geldt dat V_m gelijk is aan $24,5 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$.

Stap 1 en stap 2 heb je al uitgevoerd, 2,0 g CuO komt overeen met 0,02514 mol CuO.

Stap 3: leid de molverhouding af.

De molverhouding $\text{CuO} : \text{CH}_4 = 4 : 1$.

Stap 4: bereken het aantal mol CH₄.

Het aantal mol CH₄ is $\frac{0,02514 \text{ mol}}{4} = 0,006285 \text{ mol CH}_4$.

Stap 5: reken de hoeveelheid methaan van mol om naar dm³ gas.

$0,006285 \text{ mol CH}_4 \triangleq 0,006285 \text{ mol} \times 24,5 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} = 0,15 \text{ dm}^3$

2,0 g koperoxide reageert met 0,15 dm³ methaan.

Rekenen aan zouten

Met het rekenschema kun je ook rekenen aan neerslagreacties. Als je een overmaat van een oplossing van kopernitraat toevoegt aan een oplossing van natriumsulfide, kun je uitrekenen hoeveel mol neerslag er ontstaat. Je kunt dan ook uitrekenen hoeveel mol koperionen er na de reactie over is. Bij de berekening moet je er wel op letten dat je niet alleen het aantal mol stof moet uitrekenen dat je oplost, maar ook het aantal mol ionen dat in de oplossing aanwezig is.

De berekening staat uitgebreid voorgedaan in rekenvoorbeeld 3. De uitwerking van de drie deelvragen van het rekenvoorbeeld is opgesplitst in drie aparte kaders.



5.25 Als je koper toevoegt aan een kleurloze oplossing van salpeterzuur ontstaan bruine dampen en de blauwe oplossing van kopernitraat.

Rekenvoorbeeld 3

Je maakt een oplossing van kopernitraat door 6,2 g op te lossen in 250 mL water.

a Bereken hoeveel mol Cu^{2+} - en NO_3^- -ionen in de oplossing aanwezig is.

Vervolgens maak je een oplossing van natriumsulfide door 1,4 g op te lossen in 250 mL water.

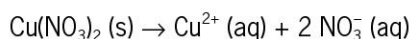
b Bereken hoeveel mol Na^+ - en S^{2-} -ionen in de oplossing aanwezig is.

De twee oplossingen worden samengevoegd. Er ontstaat een neerslag. Als je dit neerslag een tijdje laat staan, zie je boven de neerslag een lichtblauwe heldere oplossing.

c Bereken hoeveel mol kopersulfide ontstaat en hoeveel mol overmaat koperionen er in het mengsel aanwezig is, nadat de oplossingen zijn samengevoegd.

Uitwerking rekenvoorbeeld 3a

Stap 1: de oplosvergelijking is:



Stap 2: bereken hoeveel mol kopernitraat overeenkomt met 6,2 g.

De molaire massa van $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ is $187,56 \text{ g mol}^{-1}$.

$$6,2 \text{ g Cu}(\text{NO}_3)_2 \triangleq \frac{6,2 \text{ g}}{187,56 \text{ g mol}^{-1}} = 3,306 \cdot 10^{-2} \text{ mol Cu}(\text{NO}_3)_2$$

Stap 3: leid de molverhouding af.

De molverhouding $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 : \text{Cu}^{2+} : \text{NO}_3^- = 1 : 1 : 2$.

Stap 4: bereken het aantal mol Cu^{2+} en NO_3^- .

Het aantal mol Cu^{2+} -ionen is $3,3 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$, het aantal mol NO_3^- -ionen is:

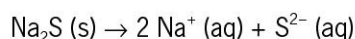
$$3,306 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \times 2 = 6,6 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$



5.26 Amsterdam in sepia (bruinige kleuren). In de fotografie wordt natriumsulfide gebruikt om sepiafoto's te maken. Bij dit proces wordt het zilver in de zwart-witfoto met onder andere natriumsulfide omgezet in zilver sulfide dat de bruine tint veroorzaakt. Tegenwoordig wordt deze bruine kleur meestal digitaal nagemaakt.

Uitwerking rekenvoorbeeld 3b

Stap 1: de oplosvergelijking is:



Stap 2: bereken hoeveel mol natriumsulfide overeenkomt met 1,4 g.

De molaire massa van Na_2S is $78,045 \text{ g mol}^{-1}$.

$$1,4 \text{ g Na}_2\text{S} \triangleq \frac{1,4 \text{ g}}{78,045 \text{ g mol}^{-1}} = 1,794 \cdot 10^{-2} \text{ mol Na}_2\text{S}$$

Stap 3: leid de molverhouding af.

De molverhouding $\text{Na}_2\text{S} : \text{Na}^+ : \text{S}^{2-} = 1 : 2 : 1$.

Stap 4: bereken het aantal mol Na^+ - en S^{2-} -ionen.

Het aantal mol Na^+ -ionen is $1,794 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \times 2 = 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$.

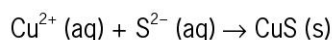
Het aantal mol S^{2-} -ionen is $1,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$.



5.27 Koperverbindingen behoren tot de meest kleurige zouten die je in de natuur kunt vinden. Het groene mineraal is malachiet, $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$, en het blauwe is chrysocolla, $\text{CuO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Uitwerking rekenvoorbeeld 3c

Stap 1: de neerslagreactie is:



Stap 2: deze stap heb je berekend bij vraag a en b.

Stap 3: leid de molverhouding af.

De molverhouding $\text{Cu}^{2+} : \text{S}^{2-} : \text{CuS} = 1 : 1 : 1$.

Stap 4: bereken het aantal mol CuS en het aantal mol Cu^{2+} -ionen.

Als $1,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol S}^{2-}$ -ionen heeft gereageerd, dan is er $1,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol CuS}$ ontstaan.

Er zijn $1,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol Cu}^{2+}$ -ionen verdwenen en er is nog $3,3 \cdot 10^{-2} - 1,8 \cdot 10^{-2} = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol Cu}^{2+}$ -ionen over.

Samenvatting

- De coëfficiënten in een reactievergelijking geven de molverhouding (stoichiometrische verhouding) aan waarin de beginstoffen verdwijnen en de reactieproducten ontstaan.
- Als na de reactie een van de beginstoffen nog aanwezig is, is deze stof in overmaat aanwezig geweest.
- Bij het rekenen aan reacties kun je het stappenplan volgen.

Vuurwerk

Vuurwerk is in de zevende eeuw uitgevonden in China en het werd gebruikt om boze geesten weg te jagen. Ook nu nog is China wereldwijd de grootste producent van vuurwerk. De vier veelvoorkomende effecten die vuurwerk teweegbrengt zijn geluid, licht, rook en rondwarrelend materiaal zoals bijvoorbeeld confetti.

Het licht bij vuurwerk is vaak gekleurd. Deze kleuren ontstaan door wat je pyrotechnische units noemt. Als deze worden ontstoken, ontstaat er een intens licht. Deze units bestaan uit vijf onderdelen.

Allereerst is er een brandstof aanwezig die ervoor zorgt dat de unit kan verbranden. Daarnaast is er een stof die zuurstof produceert om het verbranden van de brandstof te versnellen. De kleur wordt veroorzaakt door chemicaliën, vrijwel altijd metalen. Er is een stof die alles bij elkaar houdt, een soort bindmiddel en er is een stof die chlooratomen kan leveren. Deze zorgen ervoor dat de kleur van de vlam sterker wordt.

Je kunt vrij eenvoudig bepalen welke kleur een bepaalde stof in vuurwerk geeft. Als je een beetje van de stof op een entnaald doet en deze in een vlam houdt, dan zal er een kleur ontstaan, zie figuur 5.28b.

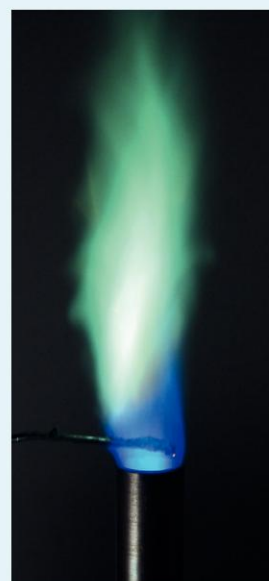
Deze kleur ontstaat in principe ook bij het ontsteken van het vuurwerk. In de tabel hieronder vind je een aantal stoffen met de kleur die ze in vuurwerk produceren.

De felst brandende units heten *mag stars*. In tegenstelling tot wat je waarschijnlijk zou denken is hierin vaak geen magnesium aanwezig. Het gebruik van magnesium geeft wat praktische bezwaren. Daarom wordt meestal aluminium gebruikt. Zuiver magnesium wordt niet zo vaak gebruikt, maar een legering van aluminium en magnesium, genaamd magnalium, is wel bruikbaar.

kleur	metaal	voorbeeld van een stof die wordt gebruikt in vuurwerk
rood	strontium of lithium	SrCO_3 of Li_2CO_3
oranje	calcium	CaCl_2
geel	natrium	NaNO_3
groen	barium	BaCl_2
blauw	koper	CuCl_2
indigo	cesium	CsNO_3
violet	kaliom of rubidium	KNO_3 of RbNO_3



5.28a Een ets van de 'Royal Fireworksdisplay' op de rivier de Theems in Londen in 1749



5.28b De groenblauwe kleur van koper in een vlam

● Opdracht B31

Opdrachten

B 23

Paul lost 0,21 mol ammoniakgas op in 2,3 L water.

- Bereken hoeveel ammoniakmoleculen er worden opgelost.
- Bereken hoeveel liter ammoniakgas er wordt opgelost. Ga uit van standaardomstandigheden ($p = p_0$ en $T = 273,15 \text{ K}$).
- Bereken hoeveel gram ammoniakgas er wordt opgelost.
- Bereken de molariteit van de ammonia.

B 24 Bauxiet 

Bauxiet is de naam van het erts waaruit aluminium wordt gemaakt. Het bestaat voor een groot deel uit aluminiumhydroxide dat eerst wordt omgezet in aluminiumoxide en daaruit wordt door elektrolyse van het gesmolten aluminiumoxide het metaal aluminium gemaakt. Dit laatste is een zeer energie-intensief proces; daarom worden aluminiumfabrieken vaak naast elektriciteitscentrales gebouwd. Gebruik bij deze opgave het rekenschema.

- Geef de reactievergelijking voor de elektrolyse van aluminiumoxide (Al_2O_3). Bij deze reactie ontstaan alleen aluminium en zuurstof.

Uit een hoeveelheid bauxiet is 550 kg aluminiumoxide verkregen.

- Bereken hoeveel mol aluminiumoxide dat is.
- Bereken hoeveel mol aluminium daaruit door elektrolyse ontstaat.
- Bereken hoeveel kilogram aluminium er is ontstaan.

B 25 

In rekenvoorbeeld 1 in deze paragraaf staat de reactie van koperoxide met aardgas. Bij deze reactie ontstaat ook koolstofdioxide. Gebruik bij deze opgave het rekenschema.

- Bereken hoeveel dm^3 koolstofdioxide er is ontstaan bij de reactie van koperoxide met methaan, uit rekenvoorbeeld 1. Stel V_m op $24,0 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$.
- Bereken tevens hoeveel liter water bij deze reactie is ontstaan. De dichtheid van water is $1,00 \text{ g mL}^{-1}$.
- Vergelijk je antwoorden van vraag a en b en geef aan wat je opvalt.

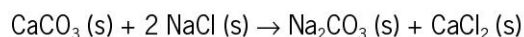
B 26 Soda

Natriumcarbonaat, soda, wordt gebruikt bij de fabricage van glas. Deze stof komt weinig voor in de natuur. Voordat soda in grote hoeveelheden ter beschikking kwam, gebruikte men potas, een mengsel van zouten met als belangrijkste

zout kaliumcarbonaat. Dit was echter niet in zuivere vorm voorhanden, maar was aanwezig in houtas.

Om deze stof te vervaardigen had men buitengewoon veel hout nodig, wat leidde tot ontbossing op grote schaal en tot een schaarste aan houtas.

Omdat de productie van glas toenam, zocht men naar een proces om soda uit keukenzout te maken. Dit leidde tot het solvayproces, waarbij in een aantal stappen soda wordt gemaakt uit calciumcarbonaat (kalksteen) en natriumchloride (keukenzout). De totaalreactie van dit proces is:



- Bereken hoeveel ton natriumchloride reageert met 1,00 ton calciumcarbonaat.
- Bereken hoeveel ton natriumcarbonaat wordt gevormd.

B 27

Als gemiddelde molecuulformule voor gewone benzine kun je C_7H_{16} gebruiken.

- Geef de reactievergelijking voor de volledige verbranding van benzine.
- Bereken hoeveel m^3 lucht ten minste nodig zal zijn om 1,0 L benzine ($T = 293 \text{ K}$) volledig te verbranden. Stel het molair volume op $24,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$ en neem aan dat lucht 21,2 volume-% zuurstof bevat.

B 28

De productie van ijzer uit ijzererts verloopt in hoogovens. Een hoogoven is een schachtvormige oven met een hoogte van ongeveer vijftig meter. In deze oven wordt ijzererts (Fe_2O_3) met behulp van cokes (koolstof) in een aantal stappen omgezet in vloeibaar ijzer en koolstofdioxide. Het vloeibare ijzer wordt onder aan de oven afgetapt. Gebruik bij deze opgave het rekenschema.

- Geef de reactievergelijking voor de totaalreactie van dit proces.

In een hoogoven wordt 250 ton ijzererts (Fe_2O_3) gebracht.

- Bereken hoeveel ton cokes nodig is om al dit ijzererts te laten reageren.
- Bereken hoeveel ton ijzer er ontstaat.

B 29

Anton lost 3,6 g kopernitrat op in 150 mL water. Bereken de concentratie van de koperionen en van de nitraationen.

B 30

Lees de tekst in het kader 'Vuurwerk' en beantwoord de volgende vragen. Voor de kleureffecten in siervuurwerk zijn ingewikkelde chemische reacties nodig. Bij deze reacties ontstaat energie die wordt uitgezonden in de vorm van licht. Vaak wordt er aan het mengsel ook een chloorverbinding toegevoegd waaruit bij hogere temperaturen chlooratomen ontstaan. Deze kunnen met bijvoorbeeld de bariumverbinding reageren tot chloriden. Een deel van de energie die vrijkomt bij deze reactie zal worden uitgezonden als licht.

- Leg uit of hier sprake is van een exotherme of een endotherme reactie.
- Geef de formule van een chlooratoom en van bariumchloride.

Barium is een zwaar metaal en dus giftig. In Nederland zit er verhoudingsgewijs veel barium in vuurwerk. In 2016 zat er gemiddeld 22,61 g barium in een kilogram vuurwerk. De totale uitstoot aan barium wordt geschat op $2,8 \cdot 10^5$ kg.

- Bereken hoeveel mol barium er in 2016 werd uitgestoten bij het afsteken van het vuurwerk.



5.29 Barium zorgt voor een groene kleur in vuurwerk.

C 31

Je voegt 25 mL 0,10 M AgNO_3 -oplossing en 15 mL 0,030 M MgCl_2 -oplossing bij elkaar. Er ontstaat een neerslag van zilverchloride.

- Geef de reactievergelijking.
- Bereken welke ionsoort in overmaat aanwezig is, Ag^+ of Cl^- ?
- Bereken hoeveel gram AgCl maximaal kan ontstaan.

Neem aan dat AgCl volledig onoplosbaar is. Het neerslag van zilverchloride wordt gefiltreerd.

- Bereken de concentratie van elk van de ionen in het filtraat in mol L^{-1} .

C 32 Airbag

Als een auto botst, kunnen airbags uitklappen. De schok van een botsing brengt een reactie op gang, waardoor een airbag zich binnen 0,03 seconde vult met een gas. De opgeblazen airbag vult de ruimte tussen de bestuurder en het stuurwiel, waardoor de bestuurder extra wordt beschermd tijdens de botsing.

In een airbag bevindt zich de vaste stof natriumazide, NaN_3 . Bij ontleding van deze stof ontstaan natrium en stikstofgas.

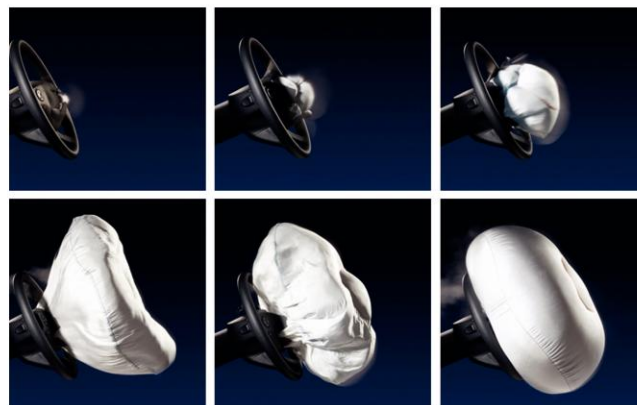
- Geef de reactievergelijking van deze ontleding.

Omdat natrium een erg reactieve stof is, die tot complicaties bij een ongeval kan leiden, bevat een airbag eveneens een hoeveelheid ijzer(II)oxide. Deze stof reageert met het gevormde natrium onder vorming van ijzer en natriumoxide.

- Geef de reactievergelijking van deze reactie.

Een airbag wordt tijdens een botsing gevuld met 90 dm^3 stikstofgas. Het molair volume bedraagt $23 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$.

- Bereken hoeveel gram natriumazide minimaal in de airbag aanwezig moet zijn geweest.
- Bereken hoeveel gram ijzer(II)oxide minimaal nodig was om alle gevormde natrium 'onschadelijk' te maken.



5.30 Het opvullen van een airbag

C 33 ★

Kaliumchromaat (K_2CrO_4) is een stof die wordt gebruikt om de chloride-ionenconcentratie in een oplossing te bepalen. In het zout kaliumchromaat bevinden zich kaliumionen en chromaationen. Gebruik bij deze opgave het rekenschema.

- Geef het oplossen van kaliumchromaat in een vergelijking weer.

Om de chloride-ionenconcentratie te bepalen laat je eerst een oplossing van zilvernitraat met de chloride-ionen reageren. Hierbij ontstaat een wit neerslag.

- Geef het ontstaan van dit neerslag in een vergelijking weer.

Als alle chloride-ionen hebben gereageerd, gaan de zilverionen een reactie aan met de chromaationen die ook al in de oplossing aanwezig waren. Hierbij ontstaat zilverchromaat. Dit neerslag heeft een roodbruine kleur.

c Geef het ontstaan van dit neerslag in een vergelijking weer.

Omdat de chloride-ionen eerst neerslaan met de zilverionen ontstaat het neerslag van zilverchromaat pas als alle zilverionen op zijn. Als je weet hoeveel zilverionen je hebt toegevoegd totdat je een roodbruine kleur krijgt, kun je bepalen hoeveel chloride-ionen er in de oplossing aanwezig waren.

d Leg uit hoe je dat kunt bepalen.

Kaliumchromaat kan op verschillende manieren worden geproduceerd. Bij één methode laat je een reactie optreden tussen chromiet (FeCr_2O_4), kaliumcarbonaat en zuurstof. De andere producten van deze reactie zijn naast kaliumchromaat, ijzer(III)oxide en koolstofdioxide.

e Geef de vergelijking van deze reactie.

De reactie wordt uitgevoerd door gebruik te maken van 180 kg chromiet, 306 kg kaliumcarbonaat en 80,0 kg zuurstof. Na afloop van de reactie heb je 200 kg kaliumchromaat. Het rendement van de reactie kun je bepalen door de hoeveelheid kaliumchromaat die is ontstaan, de opbrengst, te delen door de hoeveelheid kaliumchromaat die maximaal kon ontstaan, de theoretische opbrengst.

f Bereken de theoretische opbrengst van deze reactie.

g Bereken het rendement van deze reactie in procent.

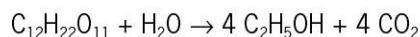


5.31 Kaliumchromaat

C 34 ★

Bio-ethanol kun je gebruiken als alternatieve brandstof. Het is alcohol, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, dat is gewonnen uit een biologisch product, zoals bijvoorbeeld suikerbieten. In dat geval wordt de suiker uit de biet gehaald door dunne reepjes suikerbiet te koken met water.

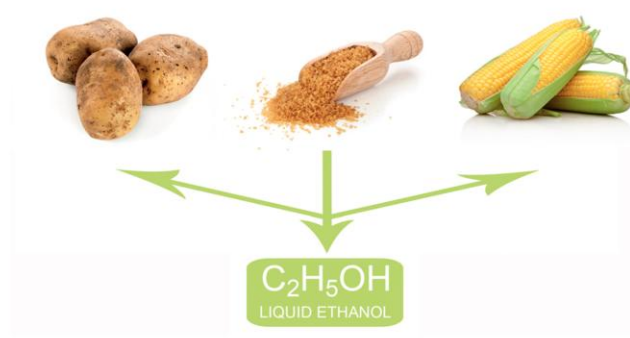
De zo verkregen suikeroplossing wordt vervolgens door fermentatie met gist omgezet tot bio-ethanol en koolstofdioxide:



Ga er in deze opdracht van uit dat 16% van de massa van de suikerbiet suiker is.

a Bereken hoeveel liter zuivere bio-ethanol je kunt verkrijgen uit 250 kg suikerbieten. Ga er bij je berekening van uit dat de dichtheid van bio-ethanol $0,800 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ is. Gebruik bij deze opgave het rekenschema.

b Bereken hoeveel m^3 koolstofdioxide ontstaat bij dit proces (298 K; $p = p_0$).



5.32 Bio-ethanol wordt gewonnen uit biologische producten.

Experiment

5.11 Koper uit koperoxide

Je onderzoekt hoeveel koper er maximaal kan ontstaan uit een bepaalde hoeveelheid koperoxide.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- de molverhouding afleiden uit de coëfficiënten van de reactievergelijking;
- het rekenschema gebruiken;
- met behulp van de molverhouding berekeningen uitvoeren aan reacties;
- een overmaat van een beginstof berekenen.

Afsluiting

Oefenopdrachten

1

Bariumsulfaat



5.33 Bariet

Een schoenmaker uit Bologna experimenteerde in 1604 met een mineraal dat in de buurt van de stad was gevonden. Toen hij het mineraal verhitte, ontstond een fosforescerende substantie ofwel een lichtsteen. Deze stenen staan bekend als Bolognastenen. Het mineraal was onzuiver bariumsulfaat.

Bariet, de triviale naam voor bariumsulfaat, wordt gebruikt als pigment voor witte verf en ook als contrastmiddel bij het maken van röntgenfoto's.

Quinty wil 5,0 g van het zout bariumsulfaat maken.

Ze gebruikt een oplossing van bariumnitraat en een oplossing van natriumsulfaat. Beide oplossingen zijn 0,50 M. Als ze de oplossingen samenvoegt, ontstaat er een neerslag.

- Geef de vergelijking van de neerslagreactie.
- Bereken hoeveel milliliter van beide oplossingen ze minimaal moet samenvoegen om 5,0 g bariumsulfaat te maken. Ga ervan uit dat de neergeslagen stof volledig onoplosbaar is.

2

De stof bismut(III)sulfide kan worden gemaakt door bismut(III)ionen te laten reageren met waterstofsulfide (H_2S). Er ontstaan ook waterstofionen.

- Geef de bereiding van bismut(III)sulfide in een reactievergelijking weer.

De bismut(III)ionen komen van een bismut(III)zout, bijvoorbeeld bismut(III)nitraat.

- Geef het oplossen van bismut(III)nitraat in een oplosvergelijking weer.

Het is ook mogelijk om bismut(III)sulfide te maken uit de elementen.

- Geef dit proces met een reactievergelijking weer.

3

Waterstof



5.34 Waterstofsulfide is de geur van rotte eieren.

In de zoektocht naar nieuwe brandstoffen is ook veel onderzoek gedaan naar waterstof. Bij de verbranding van waterstof komt alleen water vrij en dat maakt waterstof tot een schone brandstof. Het nadeel is dat waterstof niet in de natuur voorkomt en moet worden gemaakt door bijvoorbeeld de elektrolyse van water. Dit proces kost weer veel energie.

In deze opgave vergelijk je waterstof met een traditionele brandstof, zoals benzine. Benzine is een mengsel van koolwaterstoffen, stoffen waarvan de moleculen uit koolstof en waterstof bestaan. Uitgaande van superbenzine mag je de 'gemiddelde' formule C_8H_{18} gebruiken.

- Geef de reactievergelijking voor de volledige verbranding van waterstof en van benzine.
- Leg uit welk verschil je opvalt tussen deze twee reactievergelijkingen.

Van beide stoffen verbrand je 2,00 kg. Gebruik bij deze opgave het rekenschema.

- Bereken hoeveel mol C_8H_{18} overeenkomt met 2,00 kg.
- Bereken hoeveel mol H_2 overeenkomt met 2,00 kg.
- Bereken het volume in dm^3 als beide stoffen in de gasfase zouden zijn bij $T = 298 \text{ K}$ en $p = p_0$.
- Bereken hoeveel gram H_2O er ontstaat bij de verbranding van 2,00 kg van elk van deze stoffen.
- Bereken hoeveel gram CO_2 ontstaat bij de verbranding van 2,00 kg benzine.
- Bereken hoeveel $\text{dm}^3 \text{ CO}_2$ overeenkomt met het berekende bij vraag g ($T = 298 \text{ K}$, $p = p_0$).

- i Wat is het grootste voordeel van het gebruik van H_2 als brandstof?
- j Noem minstens twee nadelen van het gebruik van waterstof.



5.35 Deze drone gebruikt waterstof als brandstof.

- 4** Een leerling schenkt in een reageerbuis wat lood(II) nitraatoplossing. Vervolgens voegt hij natriumsulfaatoplossing toe. Hierbij ontstaat een neerslag. Neem aan dat de neergeslagen stof volledig onoplosbaar is.
- a** Geef de vergelijking van de neerslagvorming.

De leerling filtreert het neerslag af.

- b** Leg uit welke twee ionsoorten het filtraat in elk geval bevat.

Indien de leerling één van de zoutoplossingen in overmaat heeft toegevoegd, zal het filtraat nog een derde ionsoort bevatten. Om dit te onderzoeken verdeelt hij het filtraat over twee reageerbuizen I en II. In reageerbuis I schenkt hij daarna een bariumnitraatoplossing. Er ontstaat geen neerslag. In reageerbuis II schenkt hij een natriumcarbonaatoplossing. Nu ontstaat er witte neerslag.

- c** Beredeneer welke zoutoplossing de leerling in overmaat heeft toegevoegd, de lood(II)nitraatoplossing of de natriumsulfaatoplossing?

- 5** Een leerling krijgt van zijn docent een zoutoplossing. Zij geeft hem de opdracht te onderzoeken welke positieve ionsoort in de oplossing aanwezig is. Bij dit onderzoek mag de leerling gebruikmaken van drie bekende zoutoplossingen: een natriumchloride-oplossing, een natriumjodide-oplossing en een bariumnitraatoplossing. De leerling voegt een voor een deze drie verschillende oplossingen toe aan drie aparte reageerbuizen met daarin de onbekende oplossing. De resultaten daarvan zijn weergegeven in de volgende tabel.

toegevoegd	resultaat
natriumchloride-oplossing	geen neerslag
natriumjodide-oplossing	oranje neerslag
bariumnitraatoplossing	geen neerslag

5.36

Leg uit welke positieve ionsoort de onbekende zoutoplossing bevat.



6

Wie zorgt er voor de planten?

Als je kamerplanten water moet geven is kraanwater alleen vaak niet goed genoeg. Je moet plantenvoeding in het gietwater doen.

Je bestudeert het etiket van de fles plantenvoeding in figuur 5.37. Je wilt weten hoeveel water je moet geven.

- Leg uit of je met het etiket van de fles kunt afleiden hoeveel water je per week aan de planten moet geven.
- Bereken met de gegevens van het etiket de dichtheid in g mL^{-1} van de oplossing met plantenvoeding in de fles.
- Hoe komt het dat deze dichtheid groter is dan die van water?

2,5% Nitraat-N betekent *niet* dat er in 100 g oplossing 2,5 g nitraationen zit, maar dat in de aanwezige nitraationen 2,5 g N-atomen zit. Voor de 1,54% ammonium-N geldt hetzelfde.

- Bereken hoeveel mol nitraationen en hoeveel mol ammoniumionen er in 100 g plantenvoeding zit.

Er zit natuurlijk geen K_2O in de oplossing. Het is een oude manier van stofaanduiding, toen mestsamenstellingen nog in oxides werden uitgedrukt.

- Geef de vergelijking van de reactie die verloopt als K_2O in water wordt gedaan.

De zin op het etiket '6,0% water oplosbaar K_2O ' gaat in tegenstelling tot de gegevens over N gewoon over de stof K_2O . In 100 g oplossing zit 6,0 gram K_2O .

- Bereken hoeveel mol kaliumionen in 100 g plantenvoeding is opgelost.

Dat er P_2O_5 in de plantenvoeding zou zitten, is ook zo'n ouderwetse aanduiding. De zogenaamde P_2O_5 -moleculen zijn allang omgezet in fosfaationen.

- Bereken het aantal mol fosfaationen dat nu aanwezig is in 100 g plantenvoedsel.

De oplossing is natuurlijk elektrisch neutraal. Je rekent na of de aantallen positieve en negatieve ladingen aan elkaar gelijk zijn.

- Bereken daartoe eerst de totale lading van de fosfaationen. Bedenk dat het fosfaation een lading 3- heeft.
- Controleer of het aantal mol positieve lading en het aantal mol negatieve lading aan elkaar gelijk is.

Uit de berekeningen volgt dat er waarschijnlijk ammoniumfosfaat en kaliumnitraat is gebruikt om de oplossing te maken, maar dat er volgens het etiket meer nitraationen dan kaliumionen zijn. Men kan in de fabriek op drie manieren voor die extra nitraationen gezorgd hebben. Er is extra toegevoegd:

- gewoon losse nitraationen;
- bijvoorbeeld calciumnitraat;
- ammoniumnitraat.

- Leg bij alle drie de antwoorden uit of ze juist kunnen zijn.

7

De stof lithiumhydroxide wordt geproduceerd door lithiumcarbonaat te laten reageren met calciumhydroxide. Lithiumhydroxide, een witte vaste stof, is te verkrijgen in de watervrije vorm, maar ook als lithiumhydroxidemonohydraat.

- Geef de reactievergelijking van dit proces. Naast lithiumhydroxide ontstaat nog één andere stof.

Oplossing van meststoffen:

4,0% N totaal
2,5% nitraat-N
1,54% ammonium-N

6,0% wateroplosbaar K_2O
2,6% wateroplosbaar P_2O_5



Inhoud 500 mL (= 0,58 kg)
1x per week
10 mL per liter water

5.37 Etiket van een fles plantenvoeding

Lithiumhydroxide kan met koolstofdioxide reageren waarbij lithiumcarbonaat en water ontstaan. Dit wordt gebruikt in onderzeeërs en in de ruimtevaart om de uitgeademde lucht te ontdoen van koolstofdioxide.

- b** Geef dit proces in een reactievergelijking weer.
- c** Leg uit waarom men in de ruimtevaart watervrij lithiumhydroxide gebruikt.
- d** Bereken hoeveel dm^3 koolstofdioxidegas kan reageren met 2,50 kg lithiumhydroxide bij $T = 298 \text{ K}$ en $p = p_0$. Gebruik het rekenschema bij je berekening.

- 8** De stof ijzer(III)chloride heeft meerdere toepassingen. Zo wordt het toegepast in een rioolwaterzuivering. Daarnaast wordt het gebruikt bij de productie van printplaten. Hiertoe reageert eerst ijzer(III)chloride met koper tot ijzer(II)chloride en koper(I)chloride. Vervolgens reageert de ontstane koper(I)chloride met ijzer(III)chloride tot ijzer(II)chloride en koper(II)chloride.

- a** Geef deze reacties in twee verschillende reactievergelijkingen weer.
- b** Hoeveel mol ijzer(III)chloride is er nodig om met dit proces 1 mol koper(II)chloride te maken?

Ijzer(III)chloride is goed oplosbaar in water. Evi lost 40 mg ijzer(III)chloride op en vult aan tot 250 mL water.

- c** Welke kleur krijgt deze oplossing?
- d** Bereken de concentratie van de ijzer(III)ionen en van de chloride-ionen.

Evi wil alle ijzer(III)ionen laten neerslaan en voegt daarom aan de oplossing natronloog toe.

- e** Geef het ontstaan van dit neerslag in een reactievergelijking weer.
- f** Bereken hoeveel mol hydroxide-ionen er minimaal nodig zijn om alle ijzer(III)ionen te laten neerslaan.



5.38 Bij etsen gebruikte men vroeger vaak een oplossing van ijzer(III)chloride.

Keuzeopdrachten

Hieronder staat een korte beschrijving van drie keuzeopdrachten. Op de site staat meer informatie. In overleg met je docent kun je één of meer van deze keuzeopdrachten uitvoeren.

1 Waterzuivering

Je verdiept je bij deze opdracht in de vervuiling van het oppervlaktewater en de werking van een installatie voor de zuivering van afvalwater. Nadere informatie, vragen en opdrachten vind je op de site.

2 Samenstelling van verf

In deze opdracht onderzoek je de samenstelling van verschillende soorten verf. Je leert iets over de verschillende kleurstoffen die daarbij worden gebruikt.

3 Milieudeskundige

Je ontdekt in deze opdracht waarmee een milieudeskundige zich bezighoudt. Als je meer informatie wilt over studies en beroepen kun je via de site doorklikken naar www.feelthechemistry.nl.

Overzicht begrippen

Chemisch evenwicht

Als zich een chemisch evenwicht heeft ingesteld, verlopen twee omkeerbare reacties tegelijkertijd met dezelfde snelheden. De concentraties van de ionen zijn constant. Een evenwicht wordt in een vergelijking weergegeven met een dubbele pijl.

Heterogeen evenwicht

Als de stoffen die deelnemen aan een evenwicht zich niet allemaal in dezelfde toestand bevinden, spreek je van een **heterogeen evenwicht**.

Homogeen evenwicht

Als de stoffen die deelnemen aan een evenwicht zich wel in dezelfde toestand bevinden, spreek je van een **homogeen evenwicht**.

Molverhouding

De regel coëfficiëntenverhouding = molverhouding geldt voor alle reacties. Je noemt de verhouding waarin beginstoffen reageren en reactieproducten ontstaan de **stoichiometrische verhouding** of **molverhouding**.

Neerslagreactie

Een neerslagreactie is een reactie tussen ionen die niet naast elkaar in een oplossing kunnen voorkomen. Je noemt de gevormde vaste stof een **neerslag**. De vergelijking die de reactie tussen de ionen weergeeft, noem je een **neerslagvergelijking**. In deze vergelijking staan alleen de ionen die de vaste stof vormen.

Stappenplan rekenen aan reacties

Bij berekeningen aan reacties voer je een aantal stappen uit.

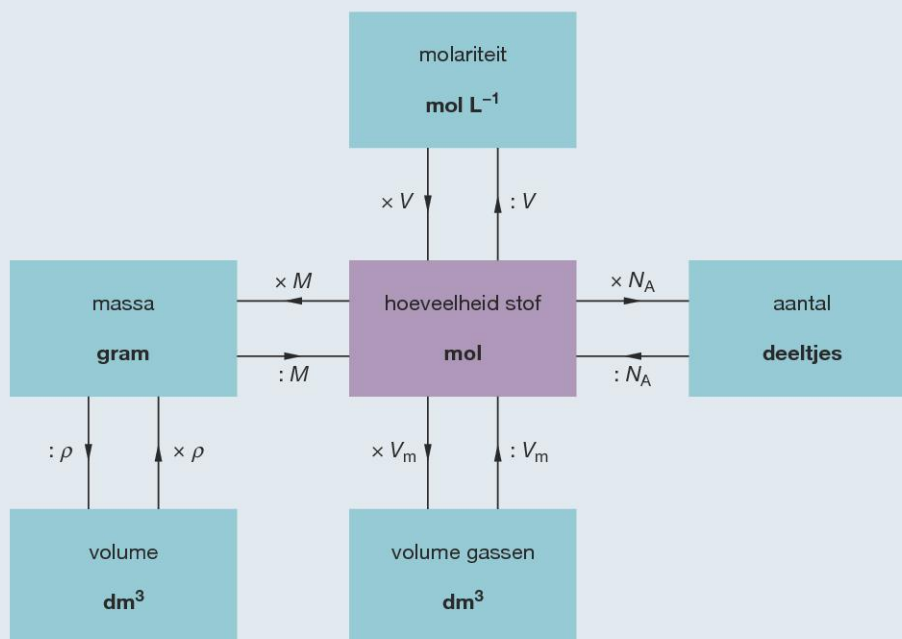
Stap 1: stel de reactievergelijking op.

Stap 2: reken de massa of het volume van de gegeven stof om naar het aantal mol.

Stap 3: leid de molverhouding af.

Stap 4: bereken het aantal mol gevraagde stof.

Stap 5: reken het aantal mol stof om naar de gevraagde eenheid.



5.39 Rekenschema van mol naar gram, deeltjes, molariteit en gasvolume

6 Koolstofchemie

Inhoud

- 6.1** Koolwaterstoffen
Experimenten:
6.1 Eenvoudige alkanen bouwen
6.2 Bouwen van stoffen met de formule C_5H_{10}

- 6.2** Systematische namen

- 6.3** Karakteristieke groepen I
Experiment:
6.3 De productie van ethanol uit glucose

- 6.4** Karakteristieke groepen II

- 6.5** Esters
Experimenten:
6.4 Synthese van een ester
6.5 Zeep maken

Afsluiting

Overzicht begrippen





Chemie van het leven

De stoffen waaruit levende wezens zijn opgebouwd, zoals hier de zeedieren in het Great Barrier Reef in Australië, zijn verbindingen waarin koolstof voorkomt. Koolstofchemie werd daarom vroeger wel 'Chemie van het leven' genoemd.

6

Aardgas

Dit gigantische gat in de grond brandt al sinds 1971. Het is ontstaan door gasboringen van de Sovjet-Unie, maar de grond werd instabiel en stortte in. Wetenschappers staken het opborrelende gas aan en dachten dat het na enkele dagen uitgebrand zou zijn. Dat was een misrekening, deze 'Door to Hell' in Turkmenistan brandt nog steeds.

**Je leert**

- koolwaterstoffen herkennen en indelen op basis van hun structuur;
- voor enkele groepen koolwaterstoffen de algemene formule geven en uitleggen wat isomerie is.

6.1 Koolwaterstoffen



6.1 Brandend ijs. Ook in ijs zit soms methaan opgeslagen. Als het ijs smelt, komt het methaan vrij en kan worden verbrand.

Koolstofchemie

Het aardgas, CH_4 , dat opborrelt in de 'Door to Hell' in Turkmenistan is een van de eenvoudigste koolstofverbindingen. De chemie die zich bezighoudt met het bestuderen van koolstofverbindingen wordt wel **organische chemie** genoemd. Dit is een oude naam die is gevormd doordat men dacht dat koolstofverbindingen alleen konden ontstaan uit organisch materiaal van mensen, dieren of planten. Tegenwoordig spreken we liever van **koolstofchemie**. Een belangrijke bron van koolstofverbindingen is aardolie. Aardolie bestaat uit ruim honderd-duizend verschillende koolstofverbindingen. Maar ook in het laboratorium worden talloze koolstofverbindingen gemaakt, waardoor het aantal bekende verbindingen explosief is toegenomen. Het werd dan ook nodig deze koolstofverbindingen onder te verdelen in klassen die bepaalde eigenschappen met elkaar gemeen hebben. Een voorbeeld van zo'n klasse zijn de **koolwaterstoffen**. Tot de koolwaterstoffen behoren alle verbindingen die uitsluitend bestaan uit koolstofatomen en waterstofatomen.

Koolwaterstoffen

Binnen de klasse van de koolwaterstoffen kun je weer verschillende groepen onderscheiden, zoals je in deze paragraaf ziet.

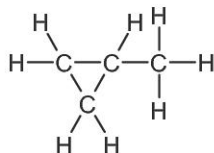
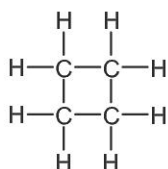
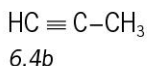
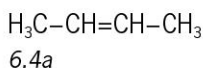
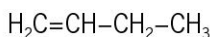
Homologe reeksen

De koolwaterstoffen kun je onderverdelen in **homologe reeksen**. In één homologe reeks is de verhouding tussen het aantal C-atomen en het aantal H-atomen in de moleculen gelijk. Een voorbeeld van zo'n homologe reeks zijn de **alkanen** met de algemene formule $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$, zie tabel 6.2.

alkanen		
algemene formule: C_nH_{2n+2}		
n	formule	naam
1	CH_4	methaan
2	C_2H_6	ethaan
3	C_3H_8	propaan
4	C_4H_{10}	butaan

6.2 Formules van alkanen afgeleid van de algemene formule

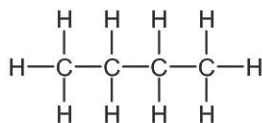
- Experiment 6.1
- Experiment 6.2



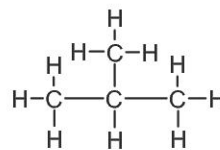
6.4c

Onvertakte en vertakte koolwaterstoffen

Een andere onderverdeling is in vertakte en onvertakte koolwaterstoffen. In een **onvertakt** koolwaterstofmolecuul is elk C-atoom met een of twee andere C-atomen verbonden. In een **vertakt** koolwaterstofmolecuul komt minstens één C-atoom voor dat met drie of vier andere C-atomen is verbonden (figuur 6.3).



onvertakt



vertakt

6.3 Een onvertakt en een vertakt koolwaterstofmolecuul

Een molecuul CH_4 kan maar op één manier opgebouwd zijn. Dat geldt ook voor C_2H_6 en C_3H_8 . Pas bij C_4H_{10} kom je een probleem tegen. Dan kun je namelijk twee verschillende koolstofskeletten maken, de ene onvertakt, de andere vertakt, zie figuur 6.3.

Uit vier C-atomen en tien H-atomen kun je twee verschillende moleculen bouwen. Dat wil zeggen dat er twee verschillende stoffen bestaan die allebei de molecuulformule C_4H_{10} hebben. Dit verschijnsel heet **isomerie** en de twee verschillende stoffen zijn **isomeren**. Naarmate je meer C-atomen ter beschikking hebt om een koolstofskelet te bouwen, zijn er meer mogelijkheden en neemt het aantal isomeren toe.

Verzadigde en onverzadigde koolwaterstoffen

In een **verzadigd** koolwaterstofmolecuul komen uitsluitend enkele atoombindingen voor tussen C-atomen. De eenvoudigste groep verzadigde koolwaterstoffen zijn de **alkanen** (figuur 6.2).

In een **onverzadigd** koolwaterstofmolecuul komen één of meer *dubbele* atoombindingen tussen C-atomen voor. Je kunt, rekening houdend met de covalentie van C en H, voor bijvoorbeeld C_4H_8 twee structuurformules opstellen, zie figuur 6.4a. De eenvoudigste groep onverzadigde koolwaterstoffen zijn de **alkenen**.

Er zijn ook onverzadigde stoffen met een drievoudige binding tussen twee C-atomen. De mogelijke structuurformule voor de verbinding C_3H_4 zie je in figuur 6.4b. De eenvoudigste groep zijn de **alkynen**.

Cyclische koolwaterstoffen

Cyclische koolwaterstoffen zijn stoffen met moleculen waar een ring van C-atomen in voorkomt. De eenvoudigste groep zijn de **cycloalkanen**. Voor C_4H_8 , waarvan de structuurformules in figuur 6.4a staan, kun je nog twee structuurformules tekenen, die zie je in figuur 6.4c. Cycloalkanen zijn dus isomeer met de alkenen, ze hebben dezelfde molecuulformule, maar een andere structuurformule.

Als in het molecuul een ring voorkomt, spreek je van een **cyclische verbinding**. Onvertakte en vertakte ketens noem je ook wel **acyclisch** of **niet-cyclisch**.

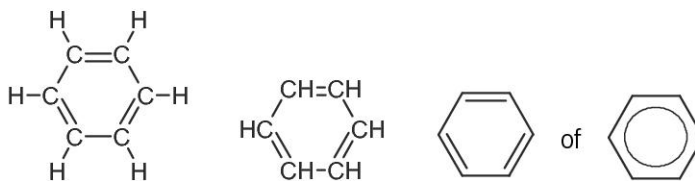
Aromaten

Sommige koolwaterstoffen bevatten een bijzondere ringstructuur, die is afgeleid van de stof benzeen. Deze stof met molecuulformule C_6H_6 neemt in de koolstofchemie een aparte plaats in door zijn bijzondere eigenschappen.

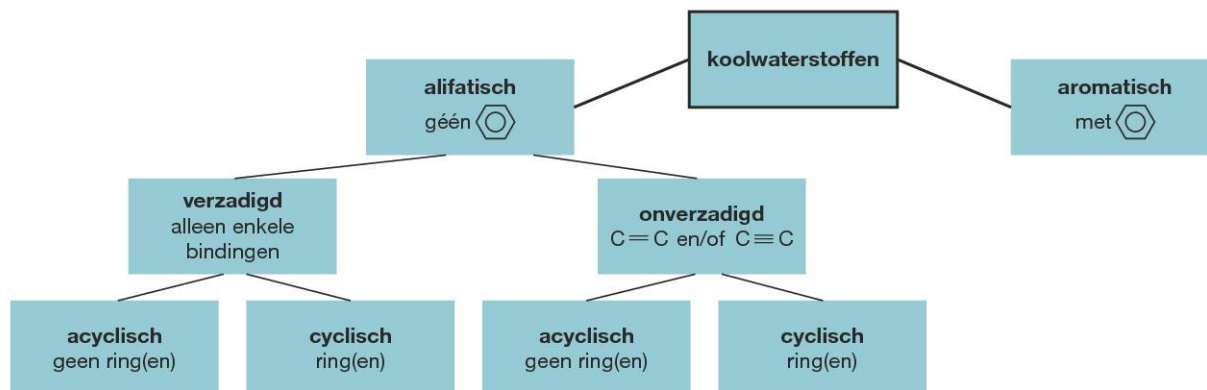
De structuurformule van **benzeen** wordt vaak sterk vereenvoudigd weergegeven:



6.5 In 1865 droomde de Duitse chemicus Kekulé van een slang die in zijn eigen staart beet. Zo kwam hij op het idee dat de structuurformule van benzeen, C_6H_6 , een ring is.



De eerste drie structuren wekken de indruk dat benzeen een stof zou zijn met drie dubbele bindingen op vaste plaatsen in het molecuul. Je zou verwachten dat een dubbele band de atomen sterker naar elkaar toetrekt en dus voor een kortere bindingsafstand zorgt. Nu blijkt de afstand tussen alle C-atomen in benzeen gelijk te zijn. De zes 'extra' elektronen verdelen zich dus kennelijk gelijkmatig over alle C-atomen. Ze worden meestal weergegeven met een cirkel binnen een regelmatige zeshoek, die de ring van zes C-atomen voorstelt (figuur 6.5). Bij chemische reacties gedraagt benzeen zich door deze zes elektronen heel anders dan andere onverzadigde verbindingen. Stoffen waarvan de moleculen een benzeenring bevatten worden **aromaten** genoemd. Die naam hebben ze te danken aan de sterke geur die sommige aromaten hebben. Aromaten vormen een belangrijke grondstof in de industrie. Alle koolwaterstoffen die geen benzeenstructuur bevatten, noem je **alifatische koolwaterstoffen**. De indeling van alle koolwaterstoffen is afgebeeld in figuur 6.6.



6.6 Indeling van koolwaterstoffen naar algemene kenmerken

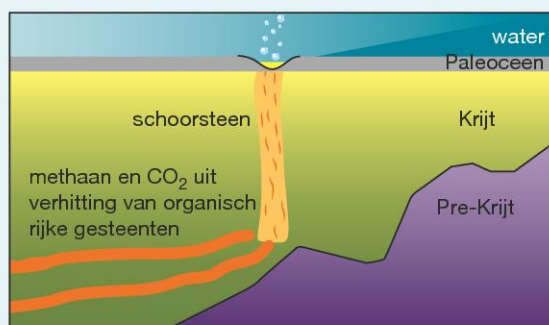
Samenvatting

- Verbindingen die uitsluitend bestaan uit koolstofatomen en waterstofatomen heten koolwaterstoffen. Ze kunnen vertakt of onvertakt zijn.
- Een homologe reeks is een groep stoffen die dezelfde algemene formule hebben.
- Isomerie is het verschijnsel dat verschillende stoffen dezelfde molecuulformule hebben, maar verschillende structuurformules.
- Een alkaan is een verzadigde koolwaterstof. Een alkeen is een onverzadigde koolwaterstof met een dubbele binding tussen twee C-atomen. Een alkyn is een onverzadigde koolwaterstof met een drievoudige binding tussen twee C-atomen.
- In een cyclische verbinding komt een ring van koolstofatomen voor. Cycloalkanen zijn isomeer met alkenen.
- Benzeen en de verbindingen die zijn afgeleid van benzeen noem je aromatisch. Alle stoffen waar geen benzeenring in voorkomt noem je alifatisch.

Methaanutbarstingen hielden de aarde warm

Toen het paleoceen eindigde en het eoceen begon, zo'n 56 miljoen jaar geleden, begon de temperatuur op de toch al warme aarde plotseling te stijgen. Binnen enkele duizenden jaren kwam er minimaal vijf graden Celsius bij. Het was het begin van een tropische periode die meer dan 80 000 jaar zou duren, de warmste periode uit de afgelopen 100 miljoen jaar.

Wetenschappers hebben zich lang afgevraagd hoe die hoge temperaturen zo lang stand konden houden. Nu lijkt er een antwoord te zijn op dat raadsel. De warmte werd vastgehouden door methaangas, dat vrijkwam bij grote gasuitbarstingen op de zeebodem voor de kust van Noorwegen. Methaan (CH_4) is een broeikasgas dat tot 34 keer sterker is dan koolstofdioxide (CO_2), maar ook sneller vervalst. Na pakweg een eeuw is het grotendeels omgezet in CO_2 .



6.7 Ontstaan van de enorme methaanutbarstingen in het eoceen



6.8 Eohippus, een klein paardje van 38 cm uit het eoceen. Door de warmte konden kleinere dieren beter overleven dan grote en vele diersoorten krompen in deze periode.

Dat het gas miljoenen jaren geleden bij enorme methaanutbarstingen uit de bodem van de Noordzee omhoogkwam, was al bekend. De zeebodem is nog altijd bedekt met honderden kraters, die nu afgedekt zijn door sedimenten.

Het gebied voor Noorwegen was in die tijd vulkanisch actief. De hete magma verspreidde zich op grote diepte in horizontale richting door de ondergrond en verhitte het gesteente eromheen. Omdat dit gesteente rijk was aan organisch materiaal zoals plantenresten, vormden zich hierbij grote hoeveelheden methaangas. De druk in de bodem liep daardoor steeds verder op, tot het gas met gigantische ontploffingen vrijkwam.

Ook tegenwoordig komt het broeikasgas methaan uit de grond omhoog, maar dan op het vasteland. In de permanent bevroren bodem (de permafrost) rondom de Noordelijke IJszee ligt ongeveer 1500 miljard ton koolstof opgeslagen in de vorm van CO_2 en methaan. De verwachting is dat vijf tot vijftien procent hiervan deze eeuw nog vrijkomt door het ontdooien van deze bodems. Methaan kan opgeslagen zitten in het ijs in de grond. Het feit dat ijs de eigenschap heeft om kleine gasmoleculen vast te houden kun je verklaren door de structuur van ijs op mesoniveau te bekijken. Door H-bruggen ontstaat er een zeshoekige structuur in de vaste stof met holtes waarin deze kleine moleculen passen. Bij het ontdooien van de ijsstructuur komen deze gasmoleculen vrij.

Bron: NEMO Kennislink, Marlies ter Voorde



6.9 Methaan uit de hydraten op de bodem van de Noordelijke IJszee

● Opgave C7

Opdrachten

A 1

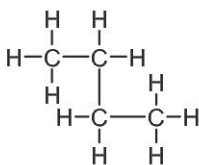
- a** Wat is isomerie? Geef een voorbeeld.
b Geef de molecuulformule van de volgende verbindingen.



B 2

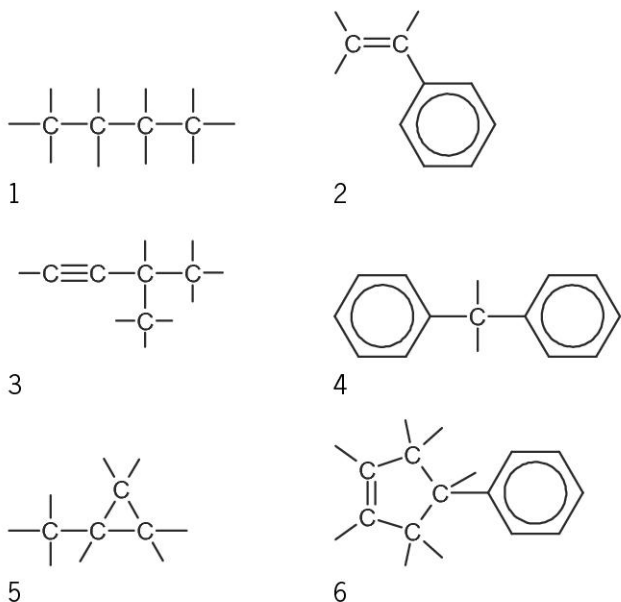
Hieronder zie je een structuurformule bij de molecuulformule C_4H_{10} .

- a** Is dit een vertakt of een onvertakt alkaan?
b Is deze verbinding verzadigd of onverzadigd?
c Teken de structuurformule van een isomeer van deze stof.



B 3

In figuur 6.10 staan de structuren van een zestal koolwaterstoffen. De waterstofatomen zijn in deze formules niet getekend.



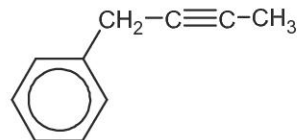
6.10

- a** Welke van de zes verbindingen noem je aromatisch?
b In welke verbinding(en) komt een alifatische ring voor?
c Welke verbinding(en) is (zijn) onverzadigd?

- d** In welke verbinding(en) treedt een vertakking op van een acyclische keten van C-atomen?
e Geef de molecuulformule van elk van de zes verbindingen.

B 4

Noteer zo veel mogelijk kenmerken van de volgende verbinding. Raadpleeg hierbij figuur 6.6.



B 5

Veel stoffen die je dagelijks gebruikt zijn koolstofverbindingen.

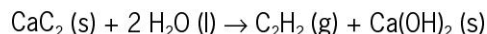
- a** Zoek op internet een aantal stoffen uit het dagelijks leven die de atoomsoort koolstof bevatten.
b Leg uit hoe het komt dat er heel veel verschillende koolstofverbindingen bestaan.

Je kunt met een proef aantonen of een stof de atoomsoort koolstof bevat.

- c** Beschrijf deze proef en de bijbehorende waarnemingen.

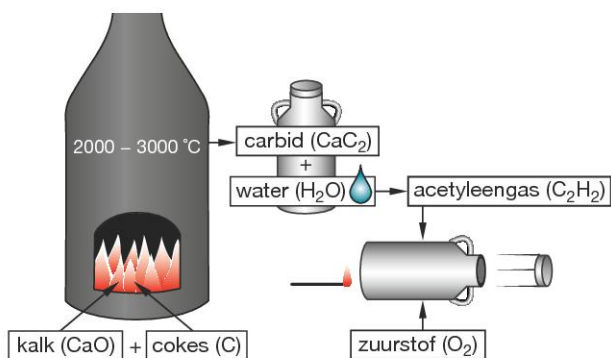
B 6 Carbid ★

Carbidschieten vormt een steeds populairder alternatief voor vuurwerk. Het wordt gebruikt bij het melkbusschieten rond oud en nieuw. Carbid wordt gemaakt in enorme elektrische ovens, door calciumoxide en koolstof te vermengen en te verhitten tot 2000 tot 3000 °C. Daarbij reageren de stoffen tot carbid. Door water toe te voegen aan carbid komt er met een licht gesis een chemische reactie op gang:



Het gas acetyleen dat ontstaat, is brandbaar. Het reageert uiterst heftig met de zuurstof in de bus. Het gasmengsel zet uit en met een daverende knal wordt het deksel van de melkbus weggeschoten. Dit proces is schematisch weergegeven in figuur 6.11.

In het linkergedeelte van figuur 6.11 staat de productie van carbid. Deze weergave is niet compleet. Niet vermeld is de verbinding die als gas bij de carbidproductie ontstaat.



6.11

Welk gas bij de carbideproductie zou kunnen ontstaan, kan uit de figuur worden afgeleid?

- a** Geef de formules van twee verbindingen (gassen) die mogelijk bij de carbideproductie ontstaan.

De 'hardste knal' wordt verkregen wanneer de molverhouding acetyleen : zuurstof gelijk is aan 1 : 1. Bij deze verhouding kan geen volledige verbranding optreden.

- b** Geef de vergelijking van een mogelijke reactie die optreedt in de melkbus wanneer acetyleen en zuurstof reageren in de molverhouding 1 : 1. Ga ervan uit dat alle acetyleen reageert.

Wietse en Tjitske gaan een middagje carbidschieten. Voor dat ze beginnen, berekenen ze hoeveel carbide minstens nodig is voor de 'hardste knal'. Zij gebruiken een melkbus met een inhoud van 30 dm³ en nemen het volgende aan:

- lucht bevat 21 volumeprocent zuurstof;
 - 1,0 mol zuurstof heeft bij deze omstandigheden een volume van 23 dm³;
 - 1,0 mol zuurstof reageert met 1,0 mol acetyleen;
 - uit 1,0 mol carbide ontstaat 1,0 mol acetyleen;
 - er ontsnappen geen gassen uit de melkbus voordat het deksel wordt weggeschoten.
- c** Bereken hoeveel mol zuurstof aanwezig is in de melkbus die ze gebruiken en die uitsluitend is gevuld met lucht.
- d** Bereken hoeveel gram carbide met water moet reageren om de 'hardste knal' te geven. Gebruik bij je berekening het antwoord op vraag c en bovenstaande gegevens.

Bron: CE havo 2010-I

C 7

Lees de tekst in het kader 'Methaanuitbarstingen hielden de aarde warm' en beantwoord de volgende vragen. Methaan (CH₄) is een broeikasgas dat tot 34 keer sterker is dan koolstofdioxide (CO₂).

- a** Leg uit wat een broeikasgas is en geef aan hoe zo'n gas bijdraagt aan de opwarming van de aarde.

De grote hoeveelheden methaanijs in de oceaانبodem zijn door veranderingen in de warme Golfstroom instabiel geworden. Hierdoor komt het methaan als gas vrij in het water en voor een deel wellicht ook in de atmosfeer. Voor de kust van Noord-Amerika is op de oceaانبodem zo'n 1,7 gigaton koolstof zich vrij aan het maken uit het ijs. Een gigaton is een miljard ton.

- b** Bereken hoeveel miljoen ton koolstof vrijkomt als 0,5% de komende tien jaar vrijkomt.
- c** Bereken hoeveel mol koolstof dit is.
- d** Bereken hoeveel miljoen ton methaan dan vrijkomt.

Waterstofatomen in watermoleculen kunnen H-bruggen vormen en zuurstofatomen in watermoleculen kunnen twee H-bruggen ontvangen.

- e** Maak een modeltekening op mesoniveau van ijs, waarbij je duidelijk laat zien dat er een zeshoekige structuur ontstaat.

Experimenten

6.1 Eenvoudige alkanen bouwen

Je bouwt molecuulmodellen en tekent structuurformules van een aantal verschillende alkanen.

6.2 Bouwen van stoffen met de formule C₅H₁₀

Hoeveel verschillende molecuulmodellen kun je bouwen met de formule C₅H₁₀?

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- uitleggen welke stoffen koolwaterstoffen heten;
- koolwaterstoffen indelen met gebruikmaking van hun algemene structuurkenmerken;
- met voorbeelden de volgende begrippen toelichten: homologe reeks, isomerie, vertakt en onvertakt, verzadigd en onverzadigd, cyclisch en acyclisch, aromatisch en alifatisch.

Systematische naamgeving

De groei van de Nederlandse bevolking heeft ertoe geleid dat er een systeem nodig was om elke Nederlander te kunnen registreren. Dat is met een burgerservicenummer mogelijk. Ook in de koolstofchemie was een systeem nodig om de miljoenen verbindingen te registreren, de systematische naamgeving.

**Je leert**

- de systematische naam afleiden uit de structuurformule van koolwaterstoffen;
- de structuurformule afleiden uit de systematische naam van koolwaterstoffen;
- de naam en structuurformule van isomere verbindingen geven als de molecuulformule bekend is.

6.2 Systematische namen

Namen van alkanen

Zoals je alle Nederlanders niet meer met een individuele naam kunt registreren, zo is dit ook in de koolstofchemie onmogelijk. Een internationale vereniging van scheikundigen, de 'International Union of Pure and Applied Chemistry' (figuur 6.12) heeft daarom regels opgesteld om toch elke stof een naam te kunnen geven. De IUPAC verdeelt alle stoffen in groepen, die een aantal kenmerken gemeen hebben en leidt daaruit een naam af. In deze paragraaf leer je de IUPAC-regels toepassen op de grote klasse van de koolwaterstoffen. De naamgeving van de koolwaterstoffen is gebaseerd op die van de alkanen.



6.12

naam	molecuulformule
methaan	CH_4
ethaan	C_2H_6
propaan	C_3H_8
butaan	C_4H_{10}
pentaan	C_5H_{12}
hexaan	C_6H_{14}
heptaan	C_7H_{16}
octaan	C_8H_{18}
nonaan	C_9H_{20}
decaan	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$

6.13 De eerste tien onvertakte alkanen

In paragraaf 1 heb je gezien dat er twee verschillende stoffen bestaan met molecuulformule C_4H_{10} . Deze stoffen moeten ook verschillende namen hebben en deze namen moet je zelf kunnen afleiden. Voor de **systematische naamgeving** van alkanen bestaan regels die in de hele wereld worden gebruikt.

Naamgeving van onvertakte alkanen

De namen van de onvertakte alkanen moet je uit je hoofd leren. Die vormen de basis voor de naamgeving van de vertakte alkanen. Je vindt een overzicht van de namen en formules van de eerste tien onvertakte alkanen in tabel 6.13.

Naamgeving van vertakkingen

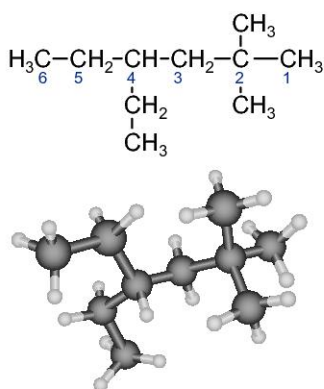
Om de naam van een vertakt alkaan af te leiden, moet je de namen van een aantal vertakkingen kennen. De vertakkingen die je moet kennen, vind je in tabel 6.14. Je noemt deze vertakkingen **alkylgroepen**.

vertakking		naam van de alkylgroep	vertakking		naam van de alkylgroep
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}- \\ \\ \text{H} \end{array}$	of: $\text{H}_3\text{C}-$	methyl-	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C}- \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$	of: $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	propyl
$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	of: $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-$	ethyl-	$\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & - & \text{C}- \\ & & \\ \text{H} & & \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ & & \\ & & \text{H} \end{array}$	of: $\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	(1-methylethyl)- of isopropyl

6.14 Naamgeving van een aantal alkylgroepen

Regels voor de naamgeving van alkanen

In figuur 6.15 staat de structuurformule van een vertakt alkaan waarvan je de naam moet afleiden.



6.15 Structuurformule en molecuulmodel van ...

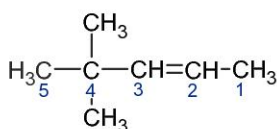
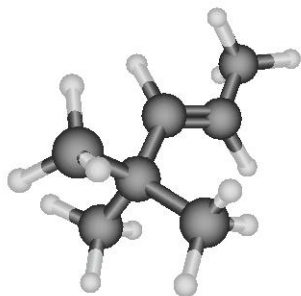
- 1 Zoek de langste onvertakte keten van C-atomen op. Dit wordt de hoofdketen: de stam.
De onvertakte keten telt zes C-atomen.
- 2 De naam van het onvertakte alkaan met evenveel C-atomen als de stam, wordt de stam-naam. Deze stamnamen vind je in tabel 6.13.
De stamnaam wordt hexaan.
- 3 Nummer de C-atomen van de langste keten om de plaats te bepalen van de zijgroepen. Het nummeren van de hoofdketen kan van rechts naar links of omgekeerd.
 - 1 van links naar rechts: 3, 5, 5
 - 2 van rechts naar links: 2, 2, 4
 Alleen de tweede nummering is toegestaan, omdat 2 een kleiner getal is dan 3. Je komt bij deze tweede nummering eerder bij een zijketen dan bij de eerste nummering.
Zie figuur 6.15.
- 4 Elke zijgroep wordt vóór de naam van de hoofdketen vermeld, voorafgegaan door het nummer van het C-atoom waaraan deze vast zit. De namen van de zijgroepen vind je in tabel 6.14.
In dit voorbeeld heb je te maken met één ethylgroep, op C-atoom 4 en twee methylgroepen, allebei op C-atoom 2.
- 5 Komt eenzelfde zijgroep vaker voor, dan gebruik je de voorvoegsels *di* (twee keer), *tri* (drie keer), *tetra* (vier keer), enzovoort.
De methylgroep komt twee keer voor, dus gebruik je het voorvoegsel di: dimethyl.
- 6 Bij meerdere zijgroepen wordt de alfabetische volgorde aangehouden.
Ethyl- komt alfabetisch voor methyl- (voor het bepalen van de alfabetische volgorde telt het voorvoegsel niet mee).
- 7 In de naam van het alkaan worden getallen gescheiden door een komma en tussen een getal en een letter komt een streepje.

De naam van het voorbeeldmolecuul wordt dan 4-ethyl-2,2-dimethylhexaan.

In Binas-tabel 66D vind je de regels voor de naamgeving.

algemene formules	
naam	formule
alkanen	C_nH_{2n+2}
alkenen	C_nH_{2n}
alkadiënen	C_nH_{2n-2}
alkynen	C_nH_{2n-2}
cycloalkanen	C_nH_{2n}

6.16 Algemene formules van een aantal klassen van koolwaterstoffen



6.17 Structuurformule en 3D-model van het alkeen uit voorbeeld 1

Alkenen en alkynen

Alkenen hebben een dubbele binding in hun structuur. De algemene formule is C_nH_{2n} (tabel 6.16). De naamgeving van de alkenen is afgeleid van die van de alkanen. Er zijn twee verschillen:

- 1 de uitgang van de naam is niet *-aan*, maar *-een*;
- 2 de plaats van een dubbele binding wordt aangegeven met een cijfer.

Om de naam van een vertakt alkeen af te leiden, pas je de regels van de alkanen toe. Je gebruikt hierbij ook tabel 6.13 en 6.14. Dat doen we hieronder aan de hand van een voorbeeld.

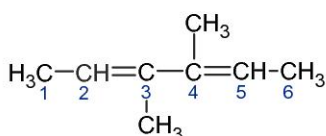
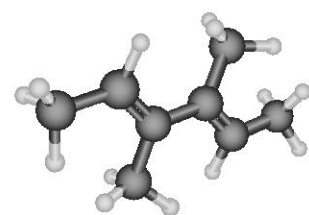
Voorbeeld 1

Geef de naam van het alkeen in figuur 6.17.

- 1 Zoek de langste onvertakte keten van C-atomen waarin de dubbele binding voorkomt. De stamnaam wordt: *penteen*.
- 2 Nummer de C-atomen van de stam. Begin aan die kant waar je het eerst een dubbele binding tegenkomt. Het toekennen van een zo laag mogelijk plaatsnummer aan de dubbele binding heeft voorrang boven de regels die gelden bij het nummeren van zijgroepen. De dubbele binding zit tussen het tweede en derde C-atoom: *pent-2-een*.
- 3 De naam van elke zijgroep wordt apart vóór de naam van de hoofdketen vermeld, zoals je dat bij de alkanen ook deed. De naam wordt: *4,4-dimethylpent-2-een*.

Alkadiënen

Als er twee dubbele bindingen in het molecuul optreden, spreek je van een **alkadieen**. De algemene formule is C_nH_{2n-2} . Er moeten dubbele bindingen in de hoofdketen voorkomen. Dat hoeft niet altijd de langste keten te zijn, zoals dat bij alkanen wel het geval is.



6.18 Structuurformule en 3D-model van het alkadieen uit voorbeeld 2

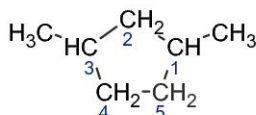
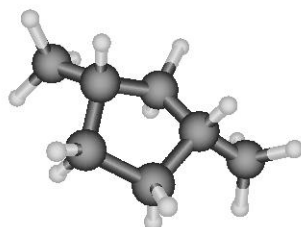
Voorbeeld 2

Geef de naam van het alkadieen in figuur 6.18.

- 1 Zoek de langste onvertakte keten van C-atomen op waar beide dubbele bindingen in voorkomen. De stamnaam van het alkadieen wordt: *hexadieen*.
- 2 Nummer de C-atomen van de langste keten. Begin aan die kant waar je het eerst een dubbele binding tegenkomt. De dubbele bindingen zitten tussen het tweede en derde C-atoom en het vierde en vijfde C-atoom: *hexa-2,4-dieen*.
- 3 Er zijn twee zijgroepen, de naam is *3,4-dimethylhexa-2,4-dieen*.

Alkynen

Een koolwaterstof met één drievoudige binding in het molecuul noem je een **alkyn**, de uitgang van de naam wordt dan *-yn*. De algemene formule is C_nH_{2n-2} . Verder zijn de regels van toepassing zoals vermeld bij de alkenen.



6.19 Structuurformule en 3D-model van het cycloalkaan uit voorbeeld 3

Cycloalkanen

In het skelet van een cycloalkaan komt één ring voor. De algemene formule is C_nH_{2n} (tabel 6.16). De systematische naamgeving van de cycloalkanen is afgeleid van die van de alkanen. Het enige verschil is de aanwezigheid van het voorzetsel *cyclo*.

Hoe je de naam van een vertakt cycloalkaan af moet leiden, zie je in voorbeeld 3.

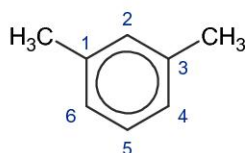
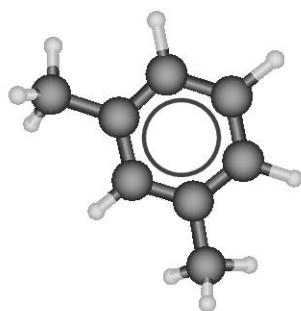
Voorbeeld 3

Geef de naam van het cycloalkaan in figuur 6.19.

- 1 Zoek de ring van C-atomen op. De stamnaam van het cycloalkaan is: *cyclopentaan*.
- 2 Nummer de C-atomen van de ring. Begin bij een zijgroep en nummer in de richting waarin je het eerst een volgende zijgroep tegenkomt.
- 3 Noteer de zijgroepen zoals je dat bij de alkanen hebt geleerd. De naam is: *1,3-dimethylcyclopentaan*.

Cycloalkenen

Als in een cycloalkaan een dubbele binding voorkomt, heet de stof een cycloalkeen en is de algemene formule C_nH_{2n-2} . De naamgeving van de cycloalkenen volgt de regels van de cycloalkanen.



6.20 Structuurformule en 3D-model van de koolwaterstof uit voorbeeld 4

Aromaten

Een benzeenring kan ook zijgroepen hebben. Een waterstofatoom in het aromatische ring-systeem is dan vervangen door een atoomgroep. Bij meer zijgroepen geldt een nummering als bij de cycloalkanen.

De benzeenring kan ook optreden als zijgroep in een molecuul. In zo'n geval heb je te maken met de atoomgroep C_6H_5 , die wordt aangegeven met het voorvoegsel **fenyl**, dus niet *benzyl*, wat je misschien zou verwachten.

Voorbeeld 4

Geef de naam van de koolwaterstof in figuur 6.20.

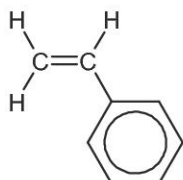
- 1 De stamnaam is: *benzeen*.
- 2 Er zijn twee zijgroepen die elk bestaan uit één C-atoom: *dimethyl*.
- 3 De stof heet: *1,3-dimethylbenzeen*.

Voorbeeld 5

Geef de naam van de koolwaterstof in figuur 6.21.

In dit voorbeeld vormt de benzeenring niet de stam van de naam, maar de $-CH=CH_2$ -groep. De benzeenring is hier de zijgroep en heet daarom *fenyl*, dat als voorvoegsel in de naam wordt gebruikt.

De naam is: *fenyletheen*.



6.21

Een overzicht van de verschillende manieren waarop je structuurformules kunt tekenen vind je op *Chemie Overal online*.

Formule 1-benzine

In de brandstof die formule 1-auto's gebruiken moeten dezelfde stoffen aanwezig zijn als in normale benzine. De mengverhoudingen mogen wel afwijken. Zo kan rekening worden gehouden met de weersomstandigheden en het circuit om tot optimale prestaties te komen.

Red Bull Racing, het formule 1-team van Max Verstappen gebruikt benzine en olie van Exxon Mobil. De Renaultmotor van Red Bull is daaraan aangepast.

Een goede brandstof zorgt voor een betere verbranding, minder slijtage, een zuinige motor en ook nog eens een paar pk extra. Er komt dus veel bij kijken om ervoor te zorgen dat Max Verstappen en teamgenoot Daniel Ricciardo de komende jaren met de optimale brandstof en smeermiddelen aan de start staan. Om ervoor te zorgen dat alle teams zich aan de regels van de formule 1-races houden, moeten alle brandstofteams voorafgaand aan de race ter controle een brandstofmonster inleveren.

Ook de hoeveelheid brandstof die tijdens een race wordt gebruikt wordt bijgehouden. Coureurs mogen maximaal 100 kg brandstof in een race gebruiken.

Onderzoekers van oliemaatschappijen hebben de mogelijkheid onderzocht om de energie-inhoud van benzine te vergroten. Meer energie-inhoud zorgt voor een verlaging van het benzinegebruik bij gelijkblijvende prestaties.

Ze keken daarvoor naar kleine ringvormige koolwaterstoffen. Als koolstofatomen kleine ringen vormen, ontstaat een bepaalde spanning in de bindingen tussen de atomen van de ringstructuur. De bindingen bevatten daardoor meer energie dan normale bindingen. Als je zo'n stof verbrandt, komt die extra energie vrij.

De witte vaste stof cubaan (C_8H_8) heeft zo'n energierijke ringstructuur. Het heeft de vorm van een kubus en heeft zes vierringen die onder spanning staan. Benzine heeft een verbrandingswarmte van 44 MJ kg^{-1} . Bij de verbranding van cubaan komt echter $46,5 \text{ MJ kg}^{-1}$ vrij. Raceauto's die een 30%-oplossing gebruikten, kwamen al tot betere prestaties. Ook hadden ze minder tankstops nodig omdat de dichtheid van cubaan groter is.

Toevoegen van cubaan is helaas in strijd met de regels en verboden bij formule 1-races.



6.22 Max Verstappen tijdens de kwalificatie voor de Grote Prijs van Abu Dhabi

● Opgave B20

Samenvatting

- Voor de systematische naamgeving moet je de namen kennen van de eerste tien alkanen en de alkylgroepen.
- Voor het afleiden van de namen van alkanen maak je gebruik van de regels voor de systematische naamgeving.
- Alkenen en alkynen volgen de regels van de naamgeving van de alkanen.
- Bij cycloalkanen en cycloalkenen wordt de stamnaam bepaald door het aantal C-atomen in de ring en krijgt de stamnaam het voorvoegsel *cyclo*.
- Aromaten waarvan de moleculen één benzeenring bevatten, hebben de stamnaam benzeen. Een benzeenring als zijgroep heet *fenyl*.

Opdrachten

A 8

- a** Geef de naam van de vertakkingen $-\text{CH}_3$ en $-\text{C}_2\text{H}_5$.
b Met welke groep van stoffen zijn de cycloalkanen iso-meer?

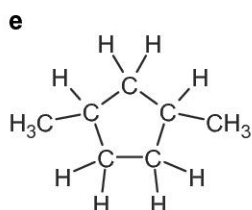
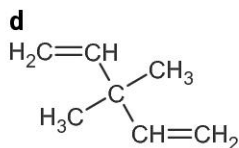
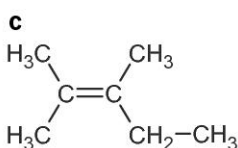
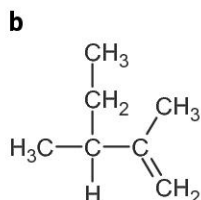
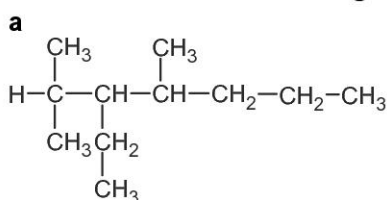
B 9

Geef de structuurformule van elk van de volgende stoffen.

- 1 hexaan
- 2 3-methylpentaan
- 3 ethaan
- 4 methylpropan
- 5 2,3-dimethylbutaan

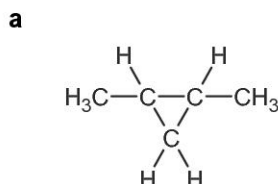
B 10

Geef de naam van elk van de volgende stoffen.

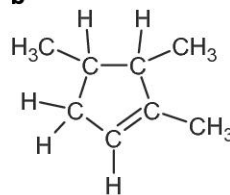


B 11

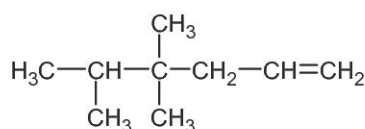
Geef de naam van elk van de volgende stoffen.



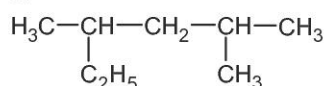
b



c



d



B 12

Geef de naam van de koolwaterstoffen in figuur 6.10 van opgave B3.

B 13

Alicia heeft voor een aantal stoffen waarvan de structuurformule is gegeven de systematische naam opgeschreven.

- a** 2-ethylpropan
- b** 2-methylethaan
- c** 2-ethyloctaan
- d** 3,3-dimethylbutaan
- e** tri-ethylmethaan
- f** hexamethylethaan

Kyara zegt dat die namen niet goed kunnen zijn. Leg met een structuurformule uit waarom die namen niet kunnen kloppen. Geef ook de juiste systematische naam.

B 14

De stof 2-methylpropan heet ook wel methylpropan. Leg uit waarom het cijfer 2 in dit geval overbodig is.

B 15

Laat zien dat methylcyclopropan, cyclobutaan en but-1-ene isomeren zijn.

B 16

Teken de structuurformules van de isomeren C_6H_{14} . Geef ook de namen van deze stoffen.

B 17

Schrijf de structuurformule op van de zeven isomere alkenen met de molecuulformule C_6H_{10} .

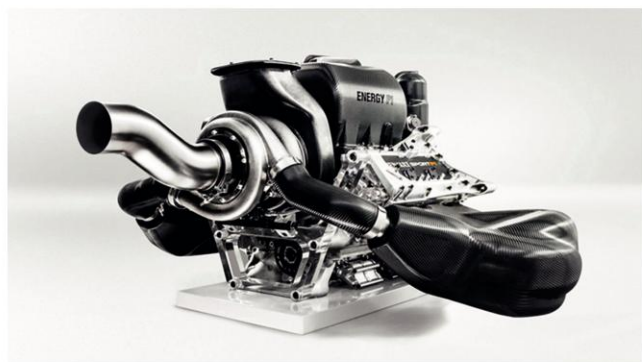
B 18

- Rangschik de isomeren van C_5H_{12} naar opklimmend kookpunt. Raadpleeg Binas tabel 42B.
- Hoe verklaar je de verschillen in kookpunten die je bij a hebt gevonden?
- Probeer nu de rangschikking naar opklimmend kookpunt te voorspellen voor de isomeren van C_6H_{14} in opdracht B16. Vergelijk achteraf je voorspelling met de kookpunten van de desbetreffende stoffen in Binas.

B 19 Verbrandingsgassen ★

Autobenzine is een mengsel van koolwaterstoffen, waaronder octaan. In een automotor wordt benzine verbrand. Het gasmengsel dat de motor verlaat, bevat onder andere de volgende stoffen: CO , CO_2 , H_2O , N_2 , NO en NO_2 . NO en NO_2 ontstaan doordat in de motor N_2 en O_2 uit de lucht met elkaar reageren.

- Leg uit of autobenzine (regel 1) een kookpunt of een kooktraject heeft.
- Bereken het massapercentage koolstof in octaan (C_8H_{18}).
- Noteer de reactievergelijking voor de volledige verbranding van octaan.



6.23 Renaultmotor van Max Verstappen

- Hoeveel gram CO_2 ontstaat bij de verbranding van 1,00 mol octaan?
- Wat is de naam van de stof die wordt aangeduid met de formule NO_2 ?

Onder normale omstandigheden reageren stikstof en zuurstof uit de lucht niet met elkaar.

- Geef aan waardoor stikstof en zuurstof in een automotor wel met elkaar reageren.
- Met welk reagens kan aangetoond worden dat er H_2O in het uitlaatgas zit, en wat neem je dan waar?

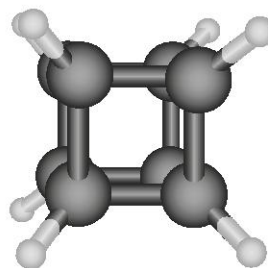
B 20

Lees de tekst in het kader 'Formule 1-benzine' en beantwoord de volgende vragen.

- Zoek de dichtheid van benzine op (Binas).
- Hoeveel liter benzine mogen coureurs in een formule 1-race verbruiken?
- Hoeveel kJ energie komt hierbij maximaal vrij?

Bij formule 1-wedstrijden is het gebruik van een oplossing van cubaan, figuur 6.24, in benzine verboden. Met een eenvoudig proefje, waarbij een druppel van de brandstof op een vlak gedeelte van de warme motorkap van een auto wordt gelegd, kun je nagaan of een wedstrijddrijder zich aan het verbod heeft gehouden.

- Waarom denk je dat toevoegen van cubaan aan benzine verboden is?
- Geef de waarneming waaruit bij dit proefje blijkt dat een wedstrijddrijder geen cubaan in de benzine had.



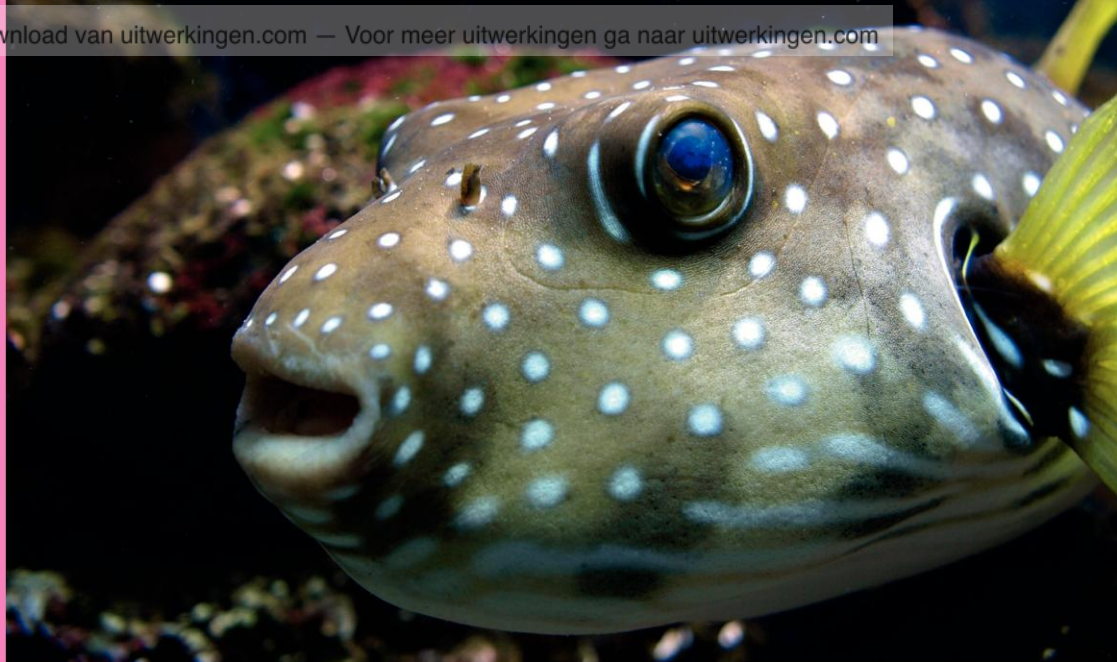
6.24 Een molecuulmodel van cubaan

Je kunt nu

- de systematische naam voor alkanen, alkenen, alkynen, cycloalkanen en aromaten afleiden uit de structuurformule;
- de structuurformule tekenen voor alkanen, alkenen, alkynen, cycloalkanen en aromaten als de systematische naam is gegeven;
- de naam en structuurformule van isomere verbindingen geven als je de molecuulformule kent;
- een benzeenring in een verbinding benoemen als een fenylgroep.

Kogelvis

Niet zonder reden moeten koks in Japan minimaal drie jaar studeren om een kogelvis, fugu, te mogen bereiden. Het gif, tetrodotoxine, is een bijzonder giftige stof. Tegen het gif van de kogelvis is geen tegengif bekend. Met een molecuulformule van $C_{11}H_{17}N_3O_8$ is deze stof een voorbeeld van een stof waarin naast C- en H-atomen ook nog andere groepen voorkomen.

**Je leert**

- de systematische naam geven aan enkele stoffen met karakteristieke groepen.

6.3 Karakteristieke groepen I



6.25 Zeewieren schijnen broommethaan te vormen in de oceanen.

Koolstofverbindingen

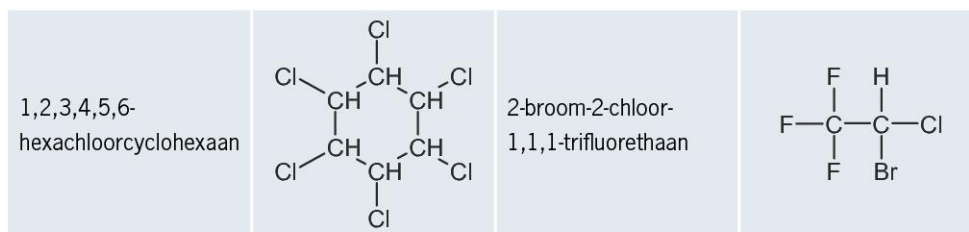
Het tetrodotoxine van de kogelvis is een koolstofverbinding waarin naast koolstof en waterstofatomen ook zuurstof- en stikstofatomen voorkomen, maar ook halogeenatomen (F, Cl, Br, I) kunnen onderdeel zijn van de formule van een koolstofverbinding (figuur 6.25). Deze andere atomen geven de verbinding een karakteristieke eigenschap die hoort bij het bepaalde atoom of de atoomgroep. Zo'n atoom of groep van atomen noem je een **karakteristieke groep**. Stoffen die dezelfde karakteristieke groep hebben vormen met elkaar een **klasse**. Zo vormen de stoffen met halogeenatomen de klasse van de halogeenverbindingen en bevatten de klassen van de ethers en de alcoholen naast C- en H-atomen zuurstofatomen. Sommige karakteristieke groepen zijn belangrijke groepen en vormen zo hoofdgroepen die een verandering geven in de stamnaam. Hoe je stoffen uit deze klassen een naam moet geven zie je in deze paragraaf.

Halogeenverbindingen

Bij de klasse van de halogeenverbindingen verandert de stamnaam niet. Halogeenatomen kunnen geen hoofdgroep zijn. Ze vormen altijd een zijgroep en krijgen een naam zoals je dat in de vorige paragraaf voor methyl- en ethylgroepen hebt geleerd (zie tabel 6.26). In tabel 6.27 zie je twee voorbeelden van deze naamgeving.

groep	
formule	naam
-F	fluor-
-Cl	chloor-
-Br	broom-
-I	jood-

6.26

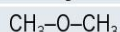


6.27

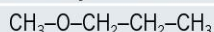


6.28 AkzoNobel gebruikt in zijn verven ethers om de verf goed gemengd te houden.

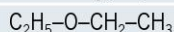
alkoxyalkanen



methoxymethaan



1-methoxypropaan



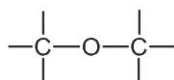
ethoxyethaan

6.29 Voorbeelden van ethers

● Experiment 6.3

Ethers

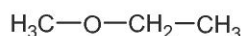
De klasse van verbindingen waarin als kenmerkende groep



voorkomt, heet ethers (figuur 6.28). Ook bij de ethers verandert de stamnaam niet. Een ethergroep kan geen hoofdgroep zijn. Als aan de C-atomen van de ethergroep uitsluitend H-atomen en/of alkylgroepen zijn gebonden, gaat het om ethers die in eigenschappen sterk lijken op alkanen. Je noemt deze groep **alkoxyalkanen** en de naamgeving zie je in voorbeeld 1.

Voorbeeld 1

Geef de naam van:



- 1 De langste koolstofketen is twee C-atomen: de stamnaam is *ethaan*.
- 2 De zijgroep $\text{CH}_3\text{—O—}$ heeft één C-atoom: de zijgroep heet *methoxy*.
- 3 De naam van de stof is *methoxyethaan*.

In tabel 6.29 vind je voorbeelden van alkoxyalkanen.

Alcoholen

Koolstofverbindingen waarin een —OH -groep (hydroxylgroep) als groep voorkomt, zijn de **alcoholen**. De eenvoudigste groep van de alcoholen wordt gevormd door de homologe reeks van de **alkanolen**. Een alkanol kun je opvatten als een alkaan waarin één H-atoom is vervangen door een —OH -groep.

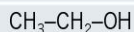
Eenvoudige alkanolen krijgen het achtervoegsel *-ol* achter de stamnaam (tabel 6.30). Als er nog een andere karakteristieke groep aanwezig is die belangrijker is, vormt die het achtervoegsel. Dan wordt voor de —OH -groep het voorvoegsel *hydroxy-* gebruikt: een systematische naam mag maar één achtervoegsel hebben, maar vele voorvoegsels.

De systematische naamgeving van de alkanolen is afgeleid van die van de alkanen. Naast het achtervoegsel *-ol* staat vóór het achtervoegsel een getal dat aangeeft aan welk C-atoom de OH-groep vastzit. Je begint altijd met nummeren aan die kant waar je de OH-groep het eerst tegenkomt. Hoe je de naam van een alkanol kunt afleiden zie je in voorbeeld 2.

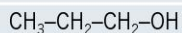
alkanolen



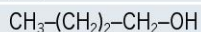
methanol



ethanol



propaan-1-ol

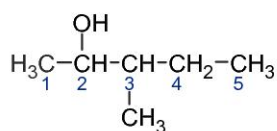


butaan-1-ol

6.30 Voorbeelden van alkanolen

Voorbeeld 2

Geef de naam van:



- 1 De hoofdketen heeft vijf C-atomen, de stamnaam is: *pentanol*.
- 2 Nummer de C-atomen van de langste keten. Begin aan die kant waar je het eerst een OH-groep tegenkomt. De OH-groep zit aan het tweede C-atoom: *pentaan-2-ol*.
- 3 Er is één zijgroep die bestaat uit één C-atoom, de naam is: *3-methylpentaan-2-ol*.



6.31 Bier bevat alcohol, maar de systematische naam voor deze alcohol is ethanol.



6.32 Fenolkristallen. Fenol is een grondstof voor de productie van aspirine.

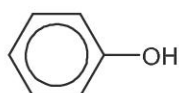
De bekendste en meest toegepaste alcohol is ethanol, daarom in spreektaal 'alcohol' genoemd, zie figuur 6.31. Er bestaan ook meervoudige alcoholen, met meer dan één OH-groep per molecuul (alkaandiolen, -triolen enzovoort). In Binas tabel 66A vind je een overzicht van een aantal triviale namen.

Zowel de alkanolen als de alkoxyalkanen voldoen aan de algemene formule $C_nH_{2n+2}O$. De alkanolen zijn dus isomeer met de alkoxyalkanen.

Fenolen

De klasse van stoffen waarbij een –OH-groep als karakteristieke groep direct is gebonden aan een benzeenring heet **fenolen**. De naamgeving van fenolen gaat zoals bij de alcoholen. Als de –OH-groep de hoofdgroep is, gebruik je het achtervoegsel *-ol*. Is er een andere hoofdgroep, dan gebruik je voor de –OH-groep het voorvoegsel *hydroxy-*.

Je ziet hieronder de structuurformule van benzenol, dat ook vaak met de triviale naam fenol wordt aangeduid (figuur 6.32).



Door de bijzondere bouw van benzeen hebben fenolen bijzondere chemische eigenschappen. Daarom vormen ze, ondanks de overeenkomsten met de alcoholen, een eigen klasse.

Binas tabel 66D

De karakteristieke groepen staan in Binas tabel 66D. De belangrijkste groep staat bovenaan in de tabel. In deze tabel kun je zien welke groep het achtervoegsel aan de naam geeft. Als er meer karakteristieke groepen in één verbinding zitten, worden de aanwezige groepen met een lagere prioriteit aangegeven met voorvoegsels in de naam.

Samenvatting

- Een karakteristieke groep bepaalt bij welke klasse een stof hoort. De karakteristieke groep met de hoogste prioriteit heet de hoofdgroep en bepaalt het achtervoegsel achter de stamnaam.
- Halogeenatomen vormen altijd een zijgroep en krijgen in de naam een voorvoegsel.
- Bij de ethers is de karakteristieke groep $-C-O-C-$. De eenvoudigste ethers heten alkoxyalkanen. De alkoxygroep vormt altijd een zijgroep en ethers krijgen dus in de naam een voorvoegsel.
- Alcoholen hebben als karakteristieke groep de –OH-groep. De eenvoudigste alcoholen zijn de alkanolen. Als de –OH-groep de hoofdgroep is, eindigt de stamnaam op *-ol*. Is de –OH-groep niet de hoofdgroep, dan krijgt de naam het voorvoegsel *hydroxy-*. Alkanolen en alkoxyalkanen zijn isomeer.
- Bij de fenolen is de –OH-groep direct aan een aromatische ring gebonden.

Opdrachten

A 21

Teken de volgende karakteristieke groepen.

- a de ethers
- b de alcoholen

A 22

- a Wat is het verschil tussen een alcohol en een alkanol?
- b Wat is het verschil tussen een alkanol en een fenol?

A 23

Geef de molecuulformule van elk van de gechloreerde koolwaterstoffen in tabel 6.27.

B 24

Geef de structuurformule van de volgende ethers.

- a 2-methoxypropaan
- b 1,2-dimethoxybenzeen
- c fenoxibenzeen (is 'difenylether')
- d 1,1-dimethoxypropaan

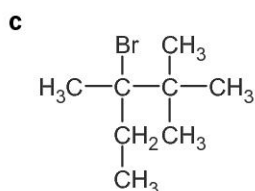
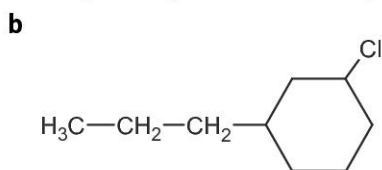
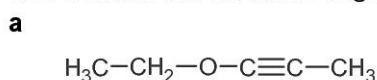
B 25

Geef de structuurformule van elk van de volgende alcoholen.

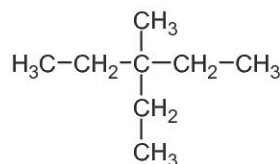
- a propaan-2-ol
- b 2-methylpropaan-2-ol
- c ethaan-1,2-diol
- d propaan-1,2,3-triol
- e cyclopentanol
- f 1-methoxyethanol

B 26

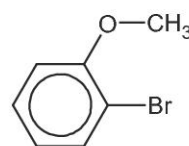
Geef de naam van elk van de volgende stoffen.



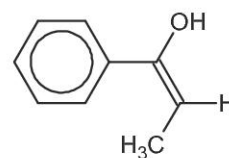
d



e



f

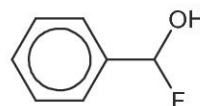


B 27

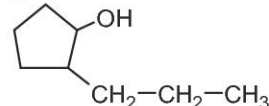


Geef de naam van elk van de volgende stoffen.

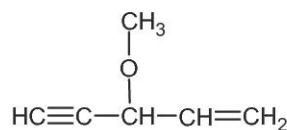
a



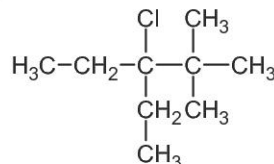
b



c



d



B 28



Geef de structuurformule en de naam van alle isomeren met de formule $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$.

B 29

Geef de structuurformules en de namen van alle isomeren met molecuulformule $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$. Noem ook tot welke klasse van verbindingen ze horen.

B 30 ★

In 1974 is de 'alcoholwet' van kracht geworden. Automobilisten en andere verkeersdeelnemers met $0,5 \text{ g L}^{-1}$ of meer alcohol in het bloed plegen daarmee een strafbaar feit.

- a** Welke twee manieren gebruikt de politie om automobilisten op dronkenschap te testen?

Bij het drinken van alcoholische dranken kan het alcoholgehalte in het bloed vrij nauwkeurig worden berekend met de formule:

$$c = \frac{A}{\rho \times r}$$

Met daarin:

c de concentratie van alcohol in het bloed in gram per liter;

A de hoeveelheid gedronken zuivere alcohol in gram;

ρ het lichaamsgewicht in kilogram;

r een verdelingsfactor (in L kg^{-1})

De factor r wordt ingevoerd om te corrigeren, omdat alcohol zich niet of slecht verspreidt in beenderen, vetweefsel en dergelijke. Bij vrouwen is deze factor ongeveer 0,6 en bij mannen 0,7.

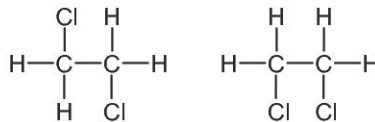


6.33 Alcohol en verkeer gaan niet samen.

- b** Noem twee oorzaken waardoor vrouwen in het algemeen eerder onder invloed zijn dan mannen, bij consumptie van een gelijke hoeveelheid alcohol.
- c** Stel dat een man van 85 kg in korte tijd 0,40 L whisky drinkt. Bereken hoe groot het alcoholgehalte in zijn bloed wordt. Gegeven: whisky bevat 31,6 g alcohol per 100 mL

B 31

Hieronder staan twee structuurformules weergegeven:



- a** Stellen deze twee structuurformules dezelfde stof voor of zijn het isomeren van elkaar?
- b** Geef de systematische naam bij de structuurformules.

C 32

In elk van de volgende vier alkanen wordt één H-atoom vervangen door één Cl-atoom.

- 1 hexaan
- 2 cyclohexaan
- 3 methylpropaan
- 4 dimethylpropaan

- a** Geef de structuurformule van alle isomere chlooralkanen die met de bovengenoemde stoffen kunnen ontstaan.
- b** Geef de naam van alle chlooralkanen waarvan je bij a de structuurformule hebt getekend.

Experiment

6.3 De productie van ethanol uit glucose

Je mengt een glucoseoplossing met gist en onderzoekt of er ethanol ontstaat.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- uitleggen wat karakteristieke groepen zijn;
- uitleggen welke rol de prioriteit van de karakteristieke groep speelt bij de systematische naamgeving;
- de systematische naam of de structuurformule geven van halogeenvverbindingen, alkoxyalkanen, alkanolen en fenolen.

Mierenzuur

Als je in het bos onder naaldbomen wandelt, kun je maar beter niet uitrusten op het nest van de rode bosmier. Het zuur van de beet veroorzaakt lelijke irritatie. Mierenzuur bevat een karakteristieke groep met een dubbelgebonden zuurstofatoom.

**Je leert**

- de systematische naam geven aan stoffen met belangrijke hoofdgroepen;
- de systematische naam geven aan een stof met meer dan één karakteristieke groep.

6.4 Karakteristieke groepen II



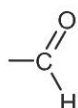
6.34 Twee slangen op sterk water, een oplossing van formaldehyde

Koolstofverbindingen met O en N

Naast zuren zoals mierenzuur zijn er nog meer karakteristieke groepen die een C=O-groep bevatten. Formaldehyde en de stof aceton bevatten ook een karakteristieke groep met een C=O-groep (figuur 6.34). Je bekijkt in deze paragraaf een aantal groepen met een C=O-groep en een groep met een N-atoom.

Aldehyden

Formaldehyde, een stof om dieren te conserveren, behoort tot de **aldehyden**. De karakteristieke groep in deze verbindingen is:



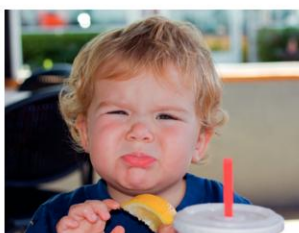
Deze groep staat altijd aan het eind van een C-keten en het C-atoom van de groep wordt meegeteld in de hoofdketen. De eenvoudigste reeks aldehyden is die van de **alkanalen**, deze hebben maar één aldehydegroep. Bij de naamgeving gebruik je het achtervoegsel **-al** achter de stamnaam. Als de aldehydegroep niet de hoofdgroep is, gebruik je het voorvoegsel **-oxo**. In tabel 6.35 vind je structuurformules van drie alkanalen.

naam	formule	naam	formule	naam	formule
methanal	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C=O} \\ \\ \text{H} \end{array}$	ethanal	$\text{H}_3\text{C—}\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C} \\ \\ \text{H} \end{array}$	propanal	$\text{H}_3\text{C—CH}_2\text{—}\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C} \\ \\ \text{H} \end{array}$

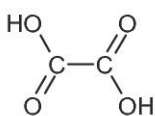
6.35

alkanonen	
naam	formule
propanon	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_3$
butanon	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{C}_2\text{H}_5$
pentaan-2-on	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{C}_3\text{H}_7$

6.36 Enkele alkanonen



6.37 Zuren kenmerken zich door hun zure smaak.



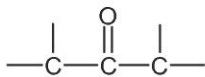
6.38 Oxaalzuur



6.39 Deze reusachtige vis is gevangen door een paar druppeltjes boterzuur op het aas te doen.

Ketonen

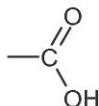
Aceton, een bekend oplosmiddel voor bijvoorbeeld nagellak, behoort tot de **ketonen**. De karakteristieke groep in deze verbindingen is:



Deze groep zit niet aan het uiteinde van de C-keten, maar tussen twee C-atomen. De eenvoudigste reeks ketonen zijn de **alkanonen**. Deze ketonen bevatten maar één ketongroep. Bij de naamgeving gebruik je het achtervoegsel *-on*. Als de ketongroep niet de hoofdgroep is, gebruik je het voorvoegsel *-oxo*. In tabel 6.36 vind je structuurformules van drie alkanonen.

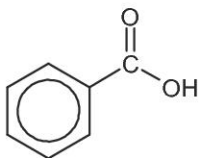
Carbonzuren

Mierenzuur behoort tot de **carbonzuren**. De karakteristieke groep in deze verbindingen is:



De eenvoudigste reeks zijn de **alkaanzuren**. Net als bij een alkanal wordt het C-atoom van de karakteristieke groep gerekend tot de hoofdketen. Bij de naamgeving gebruik je het achtervoegsel *-zuur*. Als dat niet mogelijk is, wordt de carbonzuurgroep apart benoemd. De naam eindigt dan niet op *-zuur*, maar op *-carbonzuur*.

Een voorbeeld vind je bij benzeencarbonzuur, waarbij de karakteristieke groep direct aan een ring vastzit:



In structuurformules moet de zuurgroep voluit worden getekend. In een structuurformule mag de verkorte notatie $-\text{COOH}$ niet worden gebruikt. In tabel 6.40 vind je de structuurformules van een aantal alkaanzuren.

Zoals je in Binas tabel 66D kunt zien is de $-\text{COOH}$ -groep de belangrijkste karakteristieke groep. Wanneer er in een molecuul een $-\text{COOH}$ -groep aanwezig is, krijgt de naam altijd de uitgang *-zuur*.

Behalve alkaanzuren zijn er ook *dizuren* en *trizuren*. Een voorbeeld van een dizuur is oxaalzuur (ethaandizuur, figuur 6.38), dat onder andere in rabarber en spinazie zit.

systematische naam	formule	systematische naam	formule
methaanzuur (mierenzuur)	$\text{H}-\text{C}(=\text{O})-\text{OH}$	propaanzuur	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})-\text{OH}$
ethaanzuur (azijnzuur)	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{OH}$	butaanzuur (boterzuur)	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})-\text{OH}$

6.40

aminen	
naam	formule
methaan-amine	$\text{H}_3\text{C}-\text{NH}_2$
ethaan-amine	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{NH}_2$
propaan-1-amine	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$
trimethyl-amine	$\text{H}_3\text{C}-\text{N}(\text{CH}_3)_3$

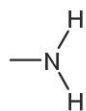
6.41 Enkele aminen



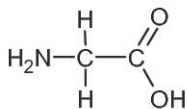
6.42 Een met licht gekleurde microscopfoto van kristallen van het aminozuur phenylalanine.

Aminen

Een karakteristieke groep met een N-atoom is de aminogroep.



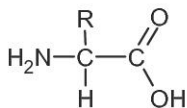
Verbindingen waarin deze groep voorkomt, noem je **aminen**. Als de aminogroep de hoofdgroep is, komt achter de stamnaam het achtervoegsel *-amine*. Als bij een amine het achtervoegsel al wordt bepaald door een andere groep, gebruik je het voorvoegsel *amino-*. Bijvoorbeeld bij amino-ethaanzuur:



In tabel 6.41 vind je de formules van vier eenvoudige aminen.

Aminozuren

Aminozuren zijn verbindingen die zowel een amino- als een (carbon)zuurgroep in het molecuul hebben (figuur 6.42). Natuurlijke aminozuren die de bouwstenen voor eiwitten vormen, zijn vrijwel allemaal 2-aminozuren van het type:



In Binas tabel 67C1 staan de structuurformules van de natuurlijke aminozuren. Hierin valt op dat er voor de groep R ongeveer twintig varianten voorkomen. Vaak komen in R weer één of meer karakteristieke groepen voor.

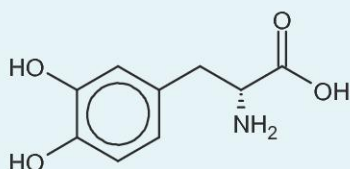
Samenvatting

- Aldehyden ($-\text{HC}=\text{O}$) en ketonen ($-\text{C}=\text{O}$) hebben als karakteristieke groep een $-\text{C}=\text{O}-$ groep. De naam van de alkanalen eindigt op *-al* en die van de alkanonen op *-on*. Als deze groepen niet de hoofdgroep zijn, hebben beide het voorvoegsel *-oxo*.
- Carbonzuren hebben $-\text{COOH}$ als karakteristieke groep, het achtervoegsel wordt *-zuur*. Als het C-atoom van de karakteristieke groep niet bij de hoofdketen kan worden gerekend, wordt het achtervoegsel *-carbonzuur* gebruikt.
- In een structuurformule moet COOH altijd worden weergegeven als: $-\text{C}(\text{OH})=\text{O}$

- Verbindingen die als karakteristieke groep $-\text{C}(\text{H})_2-\text{N}(\text{H})_2-$ hebben heten aminen. Als er geen andere karakteristieke groep is, gebruik je het achtervoegsel *-amine*, anders gebruik je het voorvoegsel *amino-*.

Mossellijm, een plakkend aminozuur

Als je weleens hebt geprobeerd om een mossel los te wrikken, weet je hoe vast het weekdier aan stenen kan zitten. Via zijn voet, waarop hij rondkruipt, maakt de mossel zogenaamde byssusdraden met een hechtvoetje waarmee hij zich aan een oppervlak hecht (zie figuur 6.44). Het eiwit dat de mossel hiervoor produceert werkt als een stevige, wervaste lijm. De plakkracht komt van een speciaal aminozuur in het eiwit: 3,4-dihydroxyphenylalanine, of Dopa, figuur 6.43.



6.43 Structuurformule van Dopa

Door dit aminozuur plakken de mosselen aan vrijwel alle oppervlakken die ze tegenkomen, zowel boven als onder water. De meeste lijmsorten plakken niet in een waterige omgeving, als plakband in aanraking komt met water plakt het niet meer. De mossellijm plakt wel onder water en dat heeft een aantal Amerikaanse onderzoekers geïnspireerd om een lijm te ontwikkelen die ook onder water vast blijft zitten. De basis voor deze lijm is de mossellijm.



6.44 Mosseldraden met hechtvoetjes

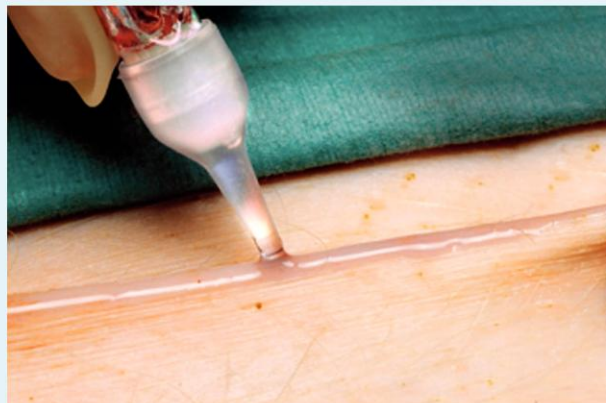
De onderzoekers hebben een polymeer (een groot aantal aan elkaar gekoppelde moleculen) gemaakt, waaraan ze het Dopa gebonden hebben. De zo ontstane lijm blijkt heel goed onder water te werken. Een mogelijke toepassing is bijvoorbeeld het vastlijmen van sensoren om metingen onder water te verrichten.

Ook een groep Zuid-Koreaanse onderzoekers heeft naar de mossel gekeken en een chirurgische lijm ontwikkeld, die een alternatief kan worden voor naald en draad, krammen en wondlijm van synthetisch materiaal. De lijm, LAMBA (lightactivated, mussel protein-based bioadhesive) genoemd, kan in nog geen zestig seconden wonden dichten en bloedingen stelpen zonder zichtbare littekens achter te laten (figuur 6.45).

Zoals de naam al aangeeft, brengt licht een chemische reactie in de lijm teweeg, die de bindingen van de eiwitten en dus de kracht en het hechtingsvermogen van de lijm verhoogt.

Naast wonden op de huid kan de mossellijm bijvoorbeeld worden gebruikt om verwondingen aan inwendige organen te herstellen, waar je geen naald en draad of synthetische lijm kunt gebruiken.

Bron: NEMO kennislink en Wetenschap in beeld



6.45 Mossellijm dicht een wond zonder krammen of hechtingen.

● Opdracht B42

Opdrachten

A 33

Teken de karakteristieke groep van:

- a de aldehyden
- b de ketonen
- c de carbonzuren
- d de aminen

A 34

- a Geef de structuurformule en de naam van alle alkanalen en alkanonen met de formule $C_5H_{10}O$.
- b Geef de structuurformule en de naam van alle alkaanzuren met vijf C-atomen.

B 35

Geef de structuurformule van de volgende verbindingen.

- a methylpropanal
- b methylbutanon
- c 3-ethylpentaan-2-on
- d fenylmethanal
- e cyclohexanon
- f 3-methylbutanal

B 36

Geef de structuurformule van elk van de volgende moleculen.

- a propaan-2-amine
- b benzeenamine
- c fenylmethylamine
- d hexaan-1,6-diamine
- e 2-amino-ethanol
- f 4-aminobenzeencarbonzuur

B 37

Geef de structuurformule van elk van de volgende verbindingen.

- a 2,2-dimethylbutaan-1-ol
- b fenylazijnzuur
- c benzeen-1,4-dicarbonzuur
- d 3-methylhex-2-een-1-ol
- e dichloorethaan-1,2-diol
- f 2-hydroxypropan-1-ol

B 38

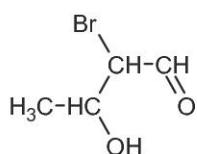
Geef de structuurformule van de volgende verbindingen.

- a 2-methoxypropan-2-ol
- b 1,1-dichloro-2-methylpropan-2-ol
- c 5-hydroxypentaan-2-on

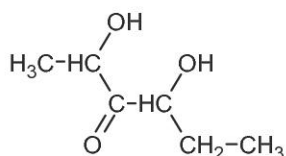
C 39

Geef de systematische naam van de stoffen met de volgende structuurformules.

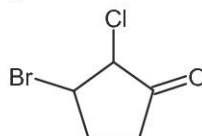
a



b



c



B 40

Zoek in Binas tabel 42B de kookpunten op van methaanamine, ethaanamine, propaan-1-amine en trimethylamine.

- a Geef een verklaring voor de verschillen in kookpunt van deze aminen.
- b Leg uit waarom methaanamine en ethaanamine goed oplossen in water.
- c Leg uit hoe de oplosbaarheid in water van de aminen verandert bij toenemende molecuulmassa.

B 41

Uit ethanol kun je ethanal maken. Uit 1 mol ethanol ontstaat 1 mol ethanal. In een experiment ontstaat uit 15,00 g ethanol 10,6 g zuiver ethanal.

- a Bereken hoeveel gram ethanal maximaal kan ontstaan uit 15,00 g ethanol.
- b Bereken welk percentage van de berekende opbrengst uit vraag a er in werkelijkheid ontstaat.

Als je de reactieomstandigheden verandert, kun je de ethanol laten reageren tot ethaanzuur. Uit 1 mol ethanol ontstaat 1 mol ethaanzuur. Uitgaande van dezelfde hoeveelheid ethanol, 15,00 g, kun je zo 14,3 g zuiver ethaanzuur maken.

- c Bereken eerst wat de maximale opbrengst aan ethaanzuur kan zijn en dan welk percentage daarvan ontstaat.

B 42

Lees de tekst in het kader 'Mosselijm, een plakkend aminozuur' en beantwoord de volgende vragen. De plakkracht van de mosseldraden komt van het aminozuur Dopa.

- a Wat zijn de karakteristieke groepen in een aminozuur?

Als je de structuurformule van Dopa bekijkt, zijn daar groepen aanwezig die H-bruggen kunnen vormen.

- b Welke groepen kunnen H-bruggen vormen in Dopa?
- c Leg uit of je denkt dat de lijmkracht wordt veroorzaakt door het vormen van H-bruggen.

Voor het gebruik in het menselijk lichaam hoeft de lijm meestal alleen te werken tijdens het genezingsproces.

- d** Leg uit aan welke voorwaarde de lijm dan moet voldoen, als hij alleen tijdelijk moet werken in het lichaam.

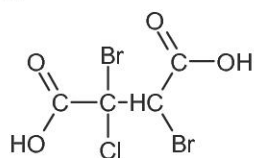
B 43

Ethaandizuur en butaanzuur hebben vrijwel dezelfde molecuulmassa. Butaanzuur is bij kamertemperatuur een vloeistof en ethaandizuur is een vaste stof. Geef een verklaring voor dit grote verschil.

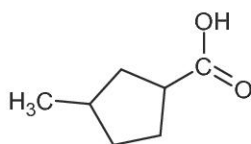
C 44 ★

Geef de systematische naam van elk van de volgende verbindingen.

a



b



C 45 **Kater**

De geest in de fles

Terwijl alcohol voor de mens iets is om te drinken, is het voor gist een afvalproduct. Gist katalyseert de omzetting van suikers in ethanol onder zuurstofloze omstandigheden. Bij dit proces komt ook koolstofdioxide vrij.

Al eeuwen is duidelijk dat overmatig alcoholgebruik ernstige schade aan lichaamssweefsels veroorzaakt, met name in de lever. Alcohol lost goed op in water en in vet en wordt snel door het lichaam geabsorbeerd vanuit het maagdarmkanaal. Door middel van enzymen wordt ethanol in de lever omgezet in ethanal en vervolgens in ethaanzuur. Bij de afbraak van ethaanzuur ontstaan uiteindelijk alleen koolstofdioxide en water. De lever kan maximaal 80 gram ethanol per dag verdragen. 70% van dit ethanol wordt in de lever omgezet in ethanal. Bij overmatig alcoholgebruik raakt de lever beschadigd door ophoping van giftig ethanal. Hierdoor functioneert de lever niet goed meer, waardoor het lichaam tal van schadelijke stoffen niet kan verwerken.

Bij te veel drinken ontstaat een 'kater'. Dit is onder andere een gevolg van het vochtafdrijvende effect van alcohol. Ook de zogenoemde fozelalcoholen, die bijdragen aan kleur en smaak van een drank, spelen een rol bij het ontstaan van een kater. Fozelalcoholen zijn alkanolen waarvan de moleculen een of twee koolstofatomen meer bevatten dan ethanolmoleculen. Deze fozelalcoholen worden veel langzamer afgebroken dan ethanol en zijn daardoor langer in het bloed aanwezig.

Naar: Chemisch Magazine

- a** Geef de reactievergelijking in molecuulformules van de vorming van ethanol (C_2H_6O), zoals in de eerste alinea is beschreven. Neem als beginstof de suiker glucose ($C_6H_{12}O_6$).

Gegeven is ook dat alcohol (= ethanol) goed oplost in water.

- b** Geef hiervoor een verklaring aan de hand van de bouw van het ethanolmolecuul.

De afbraak van ethaanzuur is geen ontledingsreactie. Uit de molecuulformules van de stoffen die in de tekst worden genoemd, kun je afleiden dat ethaanzuur niet de enige beginstof is bij deze reactie.

- c** Geef de molecuulformules van de stoffen die in de tekst worden genoemd en leid daaruit af dat ethaanzuur niet de enige beginstof is bij deze reactie.

Een bepaalde soort rode wijn bevat 12 volume-% ethanol. De dichtheid van ethanol is $0,80 \text{ g mL}^{-1}$.

- d** Laat door berekening zien of de lever een dagelijkse consumptie van twee flessen van 0,75 L van deze wijn kan verdragen. Gebruik hierbij een gegeven uit de tekst.

In de tekst worden ook fozelalcoholen genoemd.

- e** Geef de structuurformule en de bijbehorende systematische naam van zo'n fozelalcohol.

Bron: CE havo 2010-II

Je kunt nu

- de klasse van de aldehyden, ketonen, carbonzuren, aminen en aminozuren herkennen aan de karakteristieke groep;
- alkanalen, alkanonen, alkaanzuren en aminen een systematische naam geven en de structuurformule tekenen;
- systematische namen geven aan stoffen met meer dan één karakteristieke groep, rekening houdend met de prioriteit.

Bijenwas

De witte korreltjes was die deze bij aan zijn pootjes meevoert zijn een voorbeeld van een ester zoals die in de natuur voorkomt. Het zijn esters van vetzuren en vetalcoholen. Dit zijn verbindingen met lange koolstofketens. Uit deze was kunnen de vetalcoholen worden gewonnen die vaak in cosmetica worden gebruikt.

**Je leert**

- de systematische naamgeving en de vorming van esters kennen;
- vetten herkennen als esters.

6.5 Esters

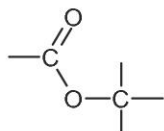
● Experiment 6.4



6.46 De geur en smaakstoffen in fruit zijn esters.

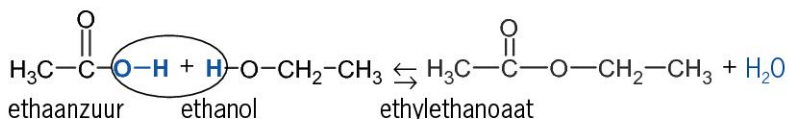
Esters

De samenstelling van natuurlijke geuren is meestal ingewikkeld. In het natuurlijke aroma van fruit zijn vaak ruim dertig stoffen aanwezig (figuur 6.46). Meer dan de helft hiervan bestaat uit esters. Ook de was op de pootjes van de bij behoort tot de esters. Esters hebben als karakteristieke groep:



De eenvoudigste esters zijn de **alkylalkanoaten**. Hierbij zijn behalve de estergroep twee alkylgroepen aanwezig.

Esters kun je bereiden uit een carbonzuur en een alcohol. Als een mengsel van ethaanzuur en ethanol wordt verhit met zwavelzuur als katalysator, ontstaat ethylethanoaat. Het is een evenwichtsreactie:



Beide reacties verlopen tegelijkertijd. Bij de reactie naar rechts wordt een ester gevormd, bij de reactie naar links ontstaan weer een carbonzuur en een alcohol. Deze reactie naar links, waarbij de ester reageert met water, noem je een **hydrolyse**.



6.47 Ethylethanoaat, het oplosmiddel voor nagellak

Bij eenvoudige esters verandert de naam van het alkaanzuur in alkanoaat, zo wordt bijvoorbeeld ethaanzuur dan ethanoaat, en de alkylgroep van de alcohol wordt het voorvoegsel in de naam, zo wordt bijvoorbeeld ethanol dan ethyl (figuur 6.47).

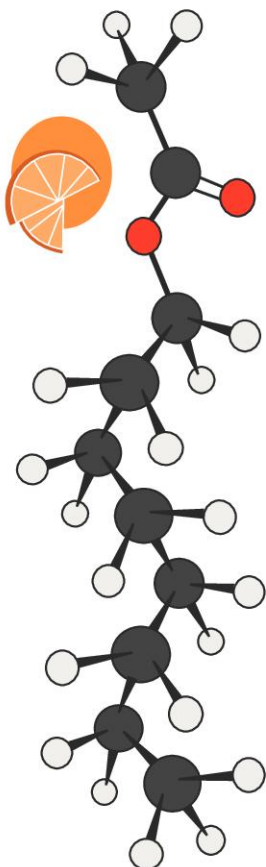
In tabel 6.48 vind je de structuurformules en de namen van vier van deze esters.

naam	formule	naam	formule
methylmethanoaat	$\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_3$	methylethanoaat	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_3$
ethylmethanoaat	$\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	ethylethanoaat	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

6.48 Enkele alkylalkanoaten

Omdat de systematische naamgeving van ingewikkelder esters moeilijk is, wordt bij die esters vaak een omschrijving gegeven in plaats van één naam, zie tabel 6.49.

Geur- en smaakstoffen worden veel op industriële schaal geproduceerd. Men probeert daarbij met synthetische mengsels van esters de geur en smaak van natuurproducten zo dicht mogelijk te benaderen (figuur 6.50).



6.50 Deze ester ruikt naar sinaasappel.

formule, naam en geur van enkele esters	
methylbutanoaat $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_3$	ester van azijnzuur en octaan-1-ol $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_3$
appel/ananas methylethanoaat $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_3$	sinaasappel ester van azijnzuur en 3-methylbut-3-een-1-ol $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{C}}}=\text{CH}_2$
aardbeien pentylethanoaat $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_3$	banaan

6.49 Enkele esters met een bekende geur

● Experiment 6.5

Oliën en vetten

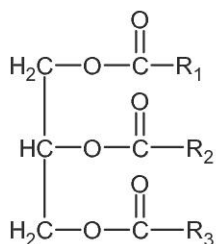
Oliën en vetten zijn esters van glycerol (propan-1,2,3-triol) en vetzuren. Ze komen voor in alle levende organismen, waar ze onder andere de functie van (reserve)brandstof hebben.

Het onderscheid tussen olie en vet is alleen praktisch: oliën zijn vloeibaar bij kamertemperatuur en vetten zijn vast, zie figuur 6.51a en b. Veruit de meeste oliën en vetten zijn tri-esters van glycerol; je noemt ze daarom ook triglyceriden.



6.51a Olijfolie is vloeibaar bij kamertemperatuur.

De algemene structuurformule van een triglyceride is hieronder weergegeven:



Hierin staat R voor de lange koolwaterstofketen van het vetzuur. Bij sommige vetzuren komen één of meer dubbele bindingen voor: bij oliezuur (1 C=C), linolzuur (2 C=C) en linoleen-zuur (3 C=C). Deze vetzuren noem je onverzadigde vetzuren. Alle drie hebben ze dezelfde ketenlengte als het verzadigde vetzuur stearinezuur.

Een triglyceride met verzadigde vetzuren levert een vet, een triglyceride met onverzadigde vetzuren een olie. In Binas tabel 67B2 staan de structuurformules van de bekendste vetzuren.



6.51b Kokosvet is vast bij kamertemperatuur.



6.52 Bijenwas bestaat voornamelijk uit esters van vetzuren met vetalcoholen met lange ketens.

Samenvatting

- De karakteristieke groep in een ester is de groep met $-\text{COOC}-$.
- In een structuurformule wordt deze groep altijd voluit getekend als: $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{O}-\text{C}- \\ | \end{array}$
- Een ester wordt in een evenwichtsreactie gevormd uit een carbonzuur en een alcohol.
- De naam van een ester kan zijn 'alkylalkanoaat', maar zodra er vertakkingen optreden in carbonzuur of alcohol wordt een omschrijving van de naam gebruikt.
- Oliën en vetten zijn triglyceriden, esters van glycerol en vetzuren. Een olie is bij kamertemperatuur vloeibaar, een vet is bij kamertemperatuur vast.

Opdrachten

A 46

Teken de karakteristieke groep van de esters.

A 47 

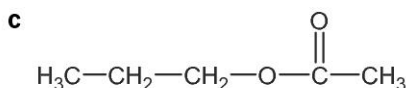
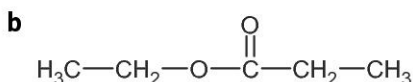
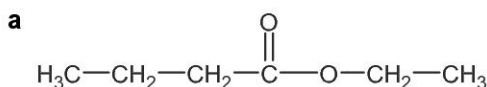
- Geef de structuurformule van ethaanzuur.
- Geef de structuurformule van ethanol.
- Geef de vergelijking voor de vorming van de ester uit ethaanzuur en ethanol.
- Geef de naam van deze ester.

B 48 

- Geef de reactievergelijking van de reactie tussen propaanzuur en methanol in structuurformules.
- Geef de naam van de ester die ontstaat.

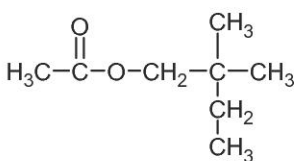
B 49 

Geef de structuurformules en de namen van het alcohol en het zuur waaruit elk van de volgende esters is gemaakt.



B 50

Gegeven is de structuurformule van de volgende stof:



De stof reageert met water en vertoont dan hydrolyse. Geef de structuurformules en de namen van de reactieproducten van deze reactie.

B 51

- Geef de structuurformule en de naam van de alkaanzuren en de esters met vier C-atomen.
- Zijn de getekende structuurformules bij a isomeren van elkaar?

B 52

Zoek in Binas tabel 42B het kookpunt op van het alkaanzuur butaanzuur en de ester ethylethanoaat.

- Geef een verklaring voor het verschil in kookpunt.
- Leg uit welke stof het beste zal oplossen in water.

B 53

Geef de structuurformule van elk van de volgende stoffen.

- butylethanoaat
- methylbutanoaat
- de ester van methanol en methylpropaanzuur
- de tri-ester van propaan-1,2,3-triol en ethaanzuur

B 54

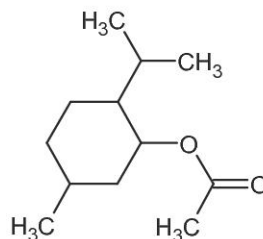
- Leg uit wat een triglyceride is.
- Zoek in Binas tabel 67B de structuurformule op van oliezuur en teken de structuurformule van het triglyceride van glycerol en oliezuur.

B 55

Bijenwas bestaat net als andere in de natuur voorkomende wassoorten grotendeels uit esters van vetzuren met alcoholen met lange koolstofketens. Het zijn hydrofobe, zachte vaste stoffen die in planten en dieren waterafstotende beschermingslagen vormen. Bijen gebruiken was als bouwstof voor honingraten. Bijenwas bevat de ester van hexadecaanzuur en een onvertakte alcohol met 30 C-atomen en de OH-groep aan het eerste C-atoom. Geef de structuurformule van deze ester.

B 56

Mentha Piperita is een plantje dat al sinds de oudheid wordt gebruikt om peppermuntolie uit te winnen. Voor de bereiding van peppermuntjes wordt peppermuntolie gebruikt. Een bestanddeel van peppermuntolie, menthylacetaat, heeft de formule:



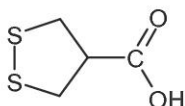
- Geef de molecuulformule van menthylacetaat.
- Geef de structuurformules van de stoffen die ontstaan bij hydrolyse van menthylacetaat.

C 57

Een voorbeeld van een onverzadigd vetzuur is oliezuur. De systematische naam is 9-octadeceenzuur. Geef de structuurformule van oliezuur.

C 58 Aspergegeur

In een aspergeplant komen asparagusinezuur en de ethylester van asparagusinezuur voor. Van deze stoffen is maar weinig in de plant aanwezig. Toch zorgen ze voor de speciale smaak van asperges. De structuurformule van asparagusinezuur ($C_4H_6O_2S_2$) wordt vaak als volgt schematisch weergegeven:



In deze structuurformule is een aantal van de symbolen C en H weggelaten.

a Geef de complete structuurformule van asparagusinezuur.

De ethylester van asparagusinezuur is de ester die ontstaat bij de reactie van asparagusinezuur met ethanol.

b Geef de structuurformule van de ethylester van asparagusinezuur. Gebruik hiervoor bovenstaande schematische structuurformule.

Asparagusinezuur wordt in het lichaam door enzymen afgebroken. Hierbij ontstaat methaanthiol (CH_3SH). Methaanthiol kan vervolgens worden omgezet tot andere zwavelhoudende verbindingen, zoals dimethyldisulfide. Zowel methaanthiol als dimethyldisulfide ($CH_3-S-S-CH_3$) draagt bij tot de karakteristieke 'aspergegeur' van urine. Reeds een half uur na het eten van een portie asperges, waarin ongeveer 1 mg asparagusinezuur zit, kan deze geur worden waargenomen (figuur 6.53).

- c** Leid met behulp van het aantal zwavelatomen af hoeveel mol methaanthiol uit één mol asparagusinezuur kan ontstaan.
- d** Bereken hoeveel milligram methaanthiol maximaal kan ontstaan met de hoeveelheid zwavel die aanwezig is in

1,0 mg asparagusinezuur. Gebruik hierbij onder andere het gegeven dat de massa van een mol asparagusinezuur 150,2 g is.



6.53

Het blijkt dat niet bij iedereen, na het eten van asperges, de urine de 'aspergegeur' heeft, terwijl het asparagusinezuur wel is afgebroken. Over de oorzaak daarvan bestaan verschillende hypothesen. Eén daarvan is dat een aantal mensen een enzym mist dat bij de beschreven afbraak van asparagusinezuur is betrokken.

e Leg uit hoe het missen van een enzym kan leiden tot het ontbreken van de 'aspergegeur' van de urine.

Bron: CE havo 2009-II

Experimenten

6.4 Synthese van een ester

In dit experiment maak je zelf een ester met een bekende geur.

6.5 Zeep maken

In dit experiment maak je zelf toiletzeep.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- de klasse van de esters herkennen aan hun karakteristieke groep;
- uitleggen hoe een carbonzuur en een alcohol reageren tot een ester (en water);
- de structuurformule tekenen en de systematische naam geven van alkylalkanoaten (met maximaal zes koolstofatomen);
- een aantal toepassingen van esters noemen;
- uitleggen dat vetten (tri-)esters van glycerol zijn (triglyceriden);
- uitleggen wat verzadigde en onverzadigde vetten zijn.

Afsluiting

Oefenopdrachten

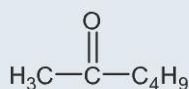
- 1** Een koolwaterstof heeft de volgende algemene kenmerken:
- acyclisch
 - onverzadigd
 - vertakt
- a** Geef de structuurformule van een stof die aan deze drie kenmerken voldoet.
b Geef de naam van de door jou gekozen stof.

- 2** Geef de structuurformules van:
- | | |
|----------------------------------|----------------------------|
| a 3-methylbenzeen-1-ol | e ethaanamine |
| b hexa-1,3-dieen | f propaan-1,2-diol |
| c 2-methylbutaanzuur | g tetrafluormethaan |
| d 1,2-dimethylcyclohexaan | |

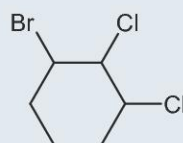
- ★ **3** Geef de structuurformule van:
- | | |
|---------------------------------|----------------------------|
| a (1-methylethyl)benzeen | d benzeencarbonzuur |
| b 4-methylpent-2-yn | e hydroxyethaanzuur |
| c trimethylbuteen | |

- 4** Geef de naam van elk van de volgende stoffen.

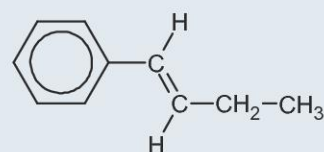
a



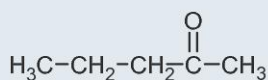
b



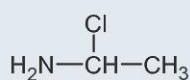
c



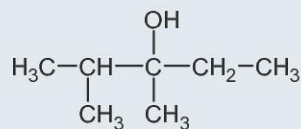
d



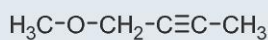
e



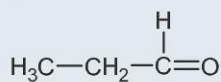
f



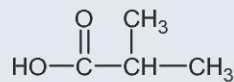
g



h

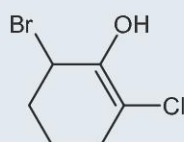


i

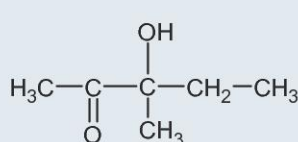


- ★ **5** Geef de naam van elk van de volgende stoffen.

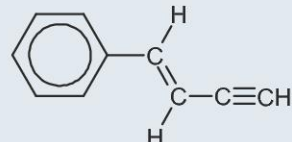
a

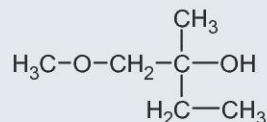
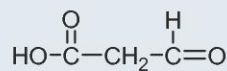
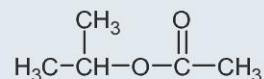


b



c



d**e****f****6 Vet**

In Binas tabel 67B2 staan de structuurformules van zes veelvoorkomende vetzuren. Er bestaat een manier om met behulp van een code informatie te geven over de structuur van vetzuurmoleculen. In tabel 6.54 zijn deze codes voor vier vetzuren weergegeven.

vetzuren	code
palmitinezuur	C 16: 0
stearinezuur	C 18: 0
oliezuur	C 18: 1 (n-9)
linolzuur	C 18: 2 (n-6)

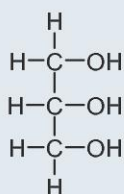
6.54

De code bevat de volgende informatie over de structuur van een vetzuurmolecuul:

- het aantal C-atomen
- het aantal C=C-bindingen
- de plaatsaanduiding van de eerste C=C-binding, geteld vanaf het CH₃-uiteinde

a Geef de code voor arachidonzuur, zie Binas tabel 67B2.

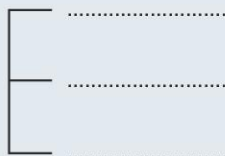
Noteer je antwoord als volgt: C ...: ... (n - ...)



6.55 Glycerol



6.56a Vet A



6.56b Vet B

Vetten en oliën die geschikt zijn voor consumptie bestaan hoofdzakelijk uit esters van glycerol en vetzuren. In figuur 6.55 zie je de structuurformule van glycerol weergegeven.

Vetten en oliën kun je op een schematische manier weergeven. In figuur 6.56a is daarvan een voorbeeld gegeven. Hierin is weergegeven met welke vetzuren glycerol is veresterd. Het vloeibare vet A komt voor in zonnebloemolie, een grondstof voor de productie van margarine. Een van de bewerkingen die zonnebloemolie daarbij ondergaat, is de zogenoemde vetharding. Men laat hierbij de olie reageren met waterstof. Bij deze reactie verdwijnen de dubbele bindingen en worden de vetzuren verzadigd aan waterstof.

Wanneer vet A reageert met de maximale hoeveelheid waterstof ontstaat een ander vet, vet B. Vet B kun je op eenzelfde schematische wijze weergegeven als vet A. In figuur 6.56b is een gedeelte van deze schematische weergave afgebeeld.

b Neem figuur 6.56b over en maak de schematische weergave van vet B af door op de stippellijnen de namen van de betreffende vetzuren te vermelden.

Bron: CE havo 2009-I

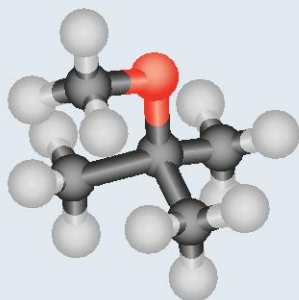
7 MTBE

MTBE (C₅H₁₂O) is een zuurstof bevattende stof die vaak aan benzine wordt toegevoegd om de verbranding van de benzine in de motor te verbeteren (figuur 6.57). MTBE wordt daarbij ook volledig verbrand.

a Geef de reactievergelijking van de volledige verbranding van MTBE.

In de Verenigde Staten is het gedurende de wintermaanden verplicht zo veel zuurstof bevattende verbindingen aan de benzine toe te voegen dat er ten minste 2,7 massa-% O in het mengsel zit.

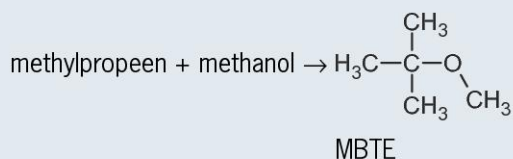
Een bepaalde benzinesoort bevat per liter 120 g MTBE. De dichtheid van deze benzinesoort is 0,72 · 10³ g L⁻¹.



6.57 Molecuulmodel van MTBE

- b** Bereken hoeveel gram O voorkomt in 120 g MTBE.
c Bereken hoeveel massaprocent O de benzinesoort bevat waarin 120 g MTBE per liter voorkomt. Ga ervan uit dat MTBE de enige zuurstof bevattende verbinding in de benzine is.

MTBE wordt gemaakt door een reactie van methylpropeen en methanol:



6.58 In de winter zit er meer MTBE in benzine.

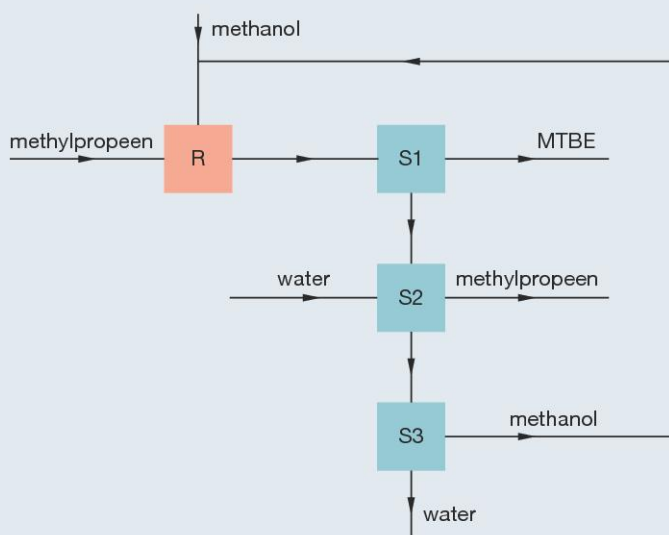
- d** Geef de vergelijking voor de vorming van MTBE in structuurformules.
e Tot welke klasse van koolstofverbindingen hoort MTBE?

De industriële bereiding van MTBE uit methylpropeen en methanol is in het blokschema in figuur 6.59 weergegeven.

In reactor R worden methylpropeen en een overmaat methanol geleid. De omstandigheden in de reactor zijn zodanig dat alle stoffen vloeibaar zijn.

Het mengsel dat de reactor verlaat, bevat ook nog een kleine hoeveelheid methylpropeen. In drie achtereenvolgende scheidingsruimtes (S1, S2 en S3) wordt het mengsel gescheiden. Voor de scheiding in S2 wordt water gebruikt.

Methanol lost in het water op, methylpropeen niet.



6.59

- f** Geef de namen van de stoffen die in de stofstroom van S1 naar S2 voorkomen.
g Geef de namen van de scheidingsmethoden die in S2 en S3 worden toegepast.
 Noteer je antwoord als volgt:
 in S2: ...
 in S3: ...

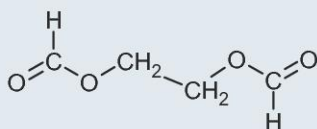
De methanol uit S3 wordt teruggevoerd naar de reactor R. Toch moet bij het proces voortdurend methanol worden toegevoerd.

- h** Waarom moet bij het proces voortdurend methanol worden toegevoerd?

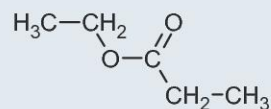
Bron: CE havo 2010-II

- 8** Geef (een omschrijving van) de naam van elk van de volgende esters.

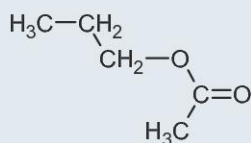
a



b



c



Keuzeopdrachten

Hieronder staat een korte beschrijving van drie keuzeopdrachten. Op de site staat meer informatie. In overleg met je docent kun je één of meer van deze keuzeopdrachten uitvoeren.

1 Synthesegas

In deze opdracht maak je kennis met synthesegas, een mengsel van koolstofmono-oxide en waterstof. Shell maakt in Qatar synthesegas uit aardgas. Je onderzoekt met welk proces dit synthesegas wordt gemaakt en wat de toepassingen van synthesegas zijn.

2 Alcohol

Je kunt op verschillende manieren alcohol maken. Industriële processen worden nader bekeken. Oude en nieuwe toepassingen van alcohol komen aan de orde.

3 De archeoloog

Wat doet een archeoloog en welke opleiding moet je volgen om succes te hebben in dit vak?

Overzicht begrippen

Alkylgroepen	Vertakkingen aan koolstofverbindingen.
Aromaten	Aromaten zijn stoffen met een benzeenring in het molecuul.
Esters	Esters ontstaan bij de reactie van een alcohol en een zuur.
Fenyl	Dit is de naam van de benzeenring als zijgroep in een molecuul.
Homologe reeks	Een groep verbindingen waarin de verhouding tussen het aantal C-atomen en H-atomen gelijk is.
Hoofdgroep	Een karakteristieke groep met de hoogste prioriteit, die wordt aangegeven met een achtervoegsel.
Hydrolyse	Een voorbeeld van een hydrolysereactie is de reactie van een ester met water. Hierbij wordt de esterbinding verbroken en ontstaan de alcohol en het carbonzuur waaruit de ester is opgebouwd.
Isomeren	Twee verschillende stoffen die dezelfde molecuulformule hebben.
Karakteristieke groep	Een atoom of atoomgroep, anders dan C of H, waardoor een stof een karakteristieke eigenschap krijgt
Klasse	Een groep koolstofverbindingen die bepaalde eigenschappen met elkaar gemeen hebben. Besproken zijn halogeenvverbindingen , ethers , alcoholen , aldehyden , ketonen , carbonszuren , aminen en aminozuren .
Koolwaterstoffen	Een klasse van verbindingen die uitsluitend bestaan uit koolstofatomen en waterstofatomen. Ze zijn vertakt of onvertakt , verzadigd (alkanen) of onverzadigd (alkenen, alkynen) , cyclisch (cycloalkanen) of acyclisch , alifatisch of aromatisch .
Oliën en vetten	Dit zijn esters van glycerol (propaan-1,2,3-triol) en vetzuren , zuren met lange koolstofketens.
Organische chemie	De organische chemie houdt zich bezig met koolstofverbindingen.
Systematische naamgeving	Internationaal systeem van naamgeving volgens regels die zijn afgesproken door de IUPAC.
Triviale naam	Dit is de niet-systematische naam waaronder een stof bekend is.

7 Duurzaamheid

Inhoud

- 7.1** Fossiele brandstoffen
Experimenten:
 - 7.1 Verbrandingswarmte
 - 7.2 Kraken van paraffine
 - 7.3 Broeikaseffect
- 7.2** Biobrandstoffen
Experimenten:
 - 7.4 Bio-ethanol uit suikers
 - 7.5 Biodiesel
 - 7.6 Bio-ethanol uit wc-papier
- 7.3** Duurzame ontwikkelingen
Experiment:
 - 7.7 Kunststof uit aardappelen
- 7.4** Evenwichten
Experiment:
 - 7.8 Evenwicht N_2O_4 / NO_2
- 7.5** Evenwichten beïnvloeden
Experiment:
 - 7.9 Verschuiven evenwicht FeCl_3 / FeSCN -reactie
- Afsluiting
- Overzicht begrippen



Grown
for
Biofuel



Duurzaamheid

Het tijdperk van de fossiele brandstoffen loopt ten einde.

Jaknikkers verdwijnen en koolzaadvelden worden aangelegd. Voor de productie van brandstoffen, energie en materialen wordt gezocht naar duurzame grondstoffen en duurzame productieprocessen.

Olieplatforms

Steeds meer olievelden raken uitgeput en de resterende olievelden zijn steeds moeilijker bereikbaar. Door de moeilijke bereikbaarheid nemen de kosten toe, waardoor de bouw van olieplatforms zoals hiernaast worden uitgesteld of zelfs geannuleerd.



Je leert

- waarom fossiele brandstoffen nog steeds belangrijk zijn voor de samenleving;
- hoe we uit aardolie allerlei producten maken;
- welke milieuproblemen er gepaard gaan met het gebruik van fossiele brandstoffen.

7.1 Fossiele brandstoffen



7.1 Bij deze 'boerderij' worden algen gekweekt in netten onder water.

Fossiele brandstoffen

De wereld draait op fossiele brandstoffen. Zonder olie geen transport, geen grootschalige landbouw, geen consumptieartikelen. De wereldwijde olievoorraad is aan het afnemen. Binnen afzienbare tijd zal er niet voldoende aardolie meer zijn om te voldoen aan de nog steeds stijgende vraag naar energie en grondstoffen, waardoor nieuwe olieplatforms zoals hierboven geen oplossing meer bieden. Er wordt dan ook veel onderzoek gedaan naar geschikte alternatieve brandstoffen, zoals olie uit algen (figuur 7.1). Maar aardolie levert ook de grondstoffen voor de productie van bijvoorbeeld kunststoffen en medicijnen en ook daar moeten alternatieven voor worden gevonden.

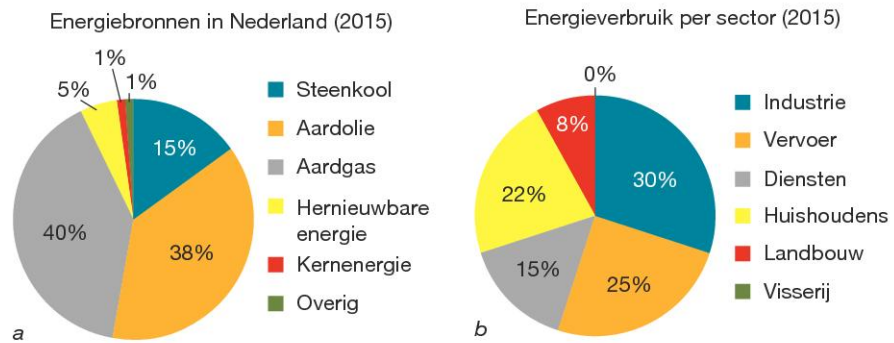
In figuur 7.2 zie je welke energiebronnen in Nederland worden gebruikt en waarvoor we die energie gebruiken. Je ziet dat de fossiele brandstoffen **steenkool**, **aardgas** en **aardolie** nog voor het grootste deel van onze energie zorgen. Steenkool bestaat voornamelijk uit koolstof, vaak verontreinigd met zwavel. Aardgas bestaat voornamelijk uit methaan. Aardolie bestaat uit tienduizenden verschillende stoffen, voornamelijk koolwaterstoffen en aromatische verbindingen, vaak met zwavelverbindingen.

● Experiment 7.1

Fossiele brandstoffen worden vooral gebruikt voor warmteproductie en het opwekken van elektriciteit. De **verbrandingswarmte** geeft aan hoeveel warmte er vrijkomt bij de verbranding van een brandstof. De verbrandingswarmte druk je uit in de hoeveelheid warmte in (kilo)joule die vrijkomt bij de verbranding van één kilogram of één kubieke meter brandstof, bij een bepaalde druk en temperatuur. In Binas tabel 28B vind je de verbrandingswarmtes van veelvoorkomende brandstoffen.

7.2 Energiebronnen (a) en energieverbruik per sector (b) in Nederland

Bron: CBS



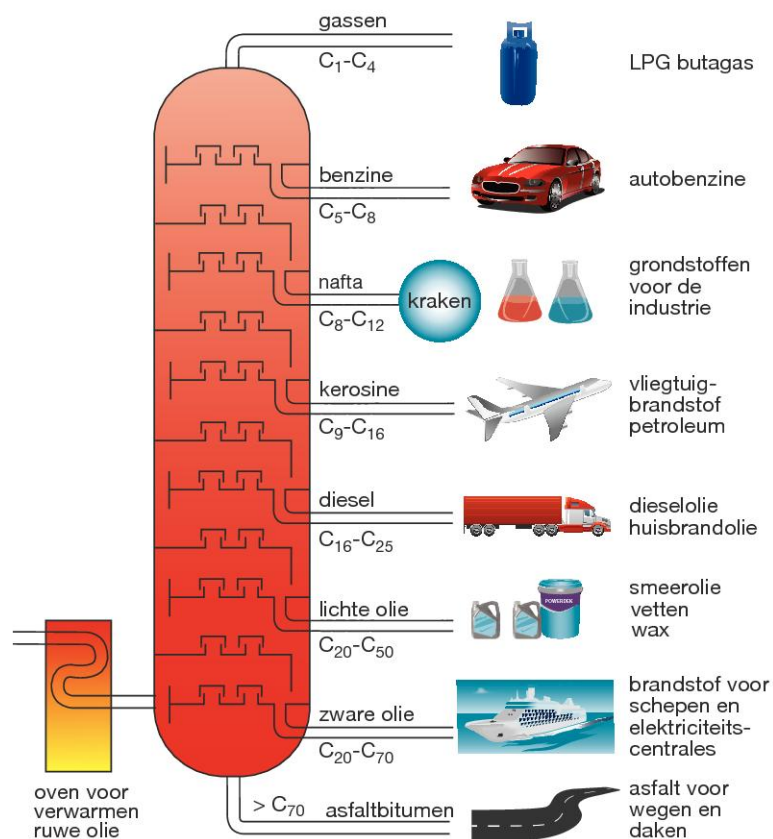
Aardolieverwerking

Aardolie is niet alleen een brandstof, maar levert ook grondstoffen voor de chemische industrie. Aardolie is een mengsel van duizenden verschillende koolwaterstoffen. Om de stoffen in aardolie te kunnen verwerken tot producten, moeten deze eerst worden gescheiden. Door het grote aantal stoffen is het niet mogelijk aardolie te scheiden in zuivere stoffen, in plaats daarvan wordt aardolie gescheiden in **fracties**. Een fractie is een mengsel van stoffen met een kookpunt binnen bepaalde grenzen.

De aardolie wordt eerst verwarmd en dan een destillatiekolom ingeleid. Aangezien elke fractie haar eigen kooktraject heeft, condenseren de fracties op verschillende hoogtes in de kolom. Fracties die bestaan uit stoffen met grote moleculen hebben een kooktraject met hogere temperaturen en condenseren lager in de kolom dan fracties van stoffen die uit kleine moleculen bestaan. Dit proces heet **gefractioneerde destillatie** (figuur 7.3).



7.4 Destillatiekolom in Pernis



7.3 Destillatiekolom voor aardolie

De naftafractie bestaat uit een mengsel van koolwaterstoffen waarvan het aantal koolstofatomen tussen de acht en twaalf ligt. Uit de naftafractie worden verreweg de meeste producten gesynthetiseerd. Twee belangrijke stappen in het bewerkingsproces van nafta zijn **kraken** en **reformen**.

● Experiment 7.2



a

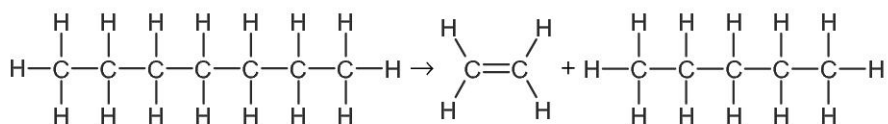


b

7.5a en b Nafta is een grondstof voor bijvoorbeeld lego en een groot aantal medicijnen.

Kraken

Kraken is een proces waarbij grote koolwaterstofmoleculen worden ontleed in kleinere moleculen. Dit proces vindt meestal plaats door de fractie te verhitten, waardoor atoombindingen tussen koolstofatomen worden verbroken. Er ontstaat dan een mengsel van verzadigde en onverzadigde koolwaterstoffen. Een voorbeeld van een kraakreactie is:



In deze reactie wordt heptaan gekraakt tot etheen, C_2H_4 , en pentaan, C_5H_{12} . Omdat de C–C-bindingen op verschillende plekken worden verbroken, ontstaan er ook andere verbindingen, zoals propaan, butaan of pent-1-een. Bij kraken ontstaat dus altijd een mengsel van stoffen, waarvan de moleculen zowel enkele als dubbele bindingen bevatten.

Reformen

Bij een ander proces wordt de nafta onder hoge temperatuur en druk zodanig bewerkt dat onvertakte alkanen en cycloalkanen worden omgezet in onder andere vertakte alkanen en aromaten. Die worden dan als grondstof gebruikt voor bijvoorbeeld kunststoffen en medicijnen (figuur 7.5).

Milieu problemen

Alle fossiele brandstoffen bevatten de atoomsoorten C en H en vaak zijn ze ook nog verontreinigd met de atoomsoort S. Bij verbranding in motoren en elektriciteitscentrales ontstaan dan de oxiden CO_2 , H_2O en SO_2 . De temperatuur bij deze verbrandingen is zo hoog dat N_2 en O_2 uit de lucht eveneens met elkaar reageren en stikstofoxiden vormen. Elk van deze oxiden levert zijn eigen bijdrage aan de milieuverontreiniging.

Zwavel dioxide

In de atmosfeer wordt SO_2 omgezet in zwavelzuur, H_2SO_4 , met als gevolg **zure regen**. Het probleem is grotendeels opgelost door het gebruik van ontzwavelde brandstoffen of door het zuiveren van verbrandingsgassen in rookgasontzwavelingsinstallaties.

Stikstofoxiden

Een mengsel van de gassen NO en NO_2 wordt aangeduid als NO_x en omdat deze gassen giftig zijn, hebben auto's een driewegkatalysator waarin de NO_x in het uitlaatgas wordt omgezet in stikstof, koolstofdioxide en water(damp). Bij elektriciteitscentrales wordt het grootste deel van de stikstofoxiden in zogenaamde DeNOx-installaties omgezet in stikstof en water.

Koolstofdioxide

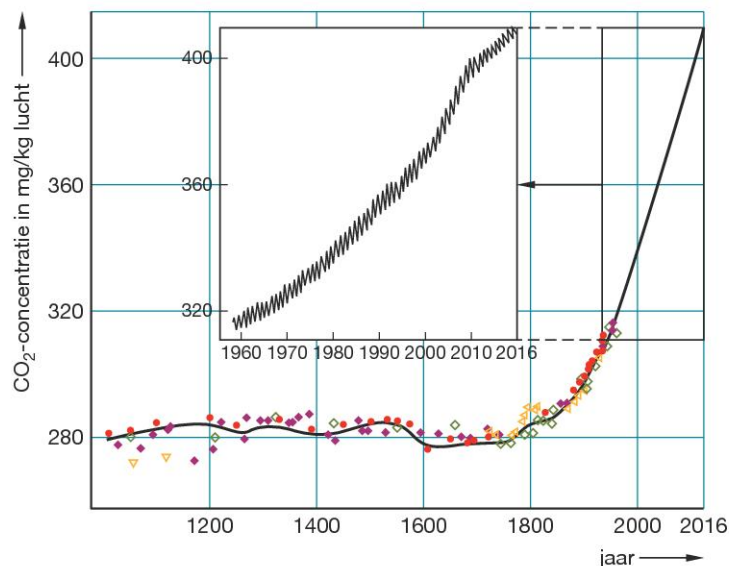
De uitstoot van CO_2 is de afgelopen honderd jaar enorm toegenomen, zie figuur 7.6. De punten in het diagram van vóór 1958 komen van metingen aan luchtballonnen in ijs uit verschillende boommonsters in Antarctica. Vanaf 1958 zijn het directe metingen op Mauna Loa, Hawaï. Het gas CO_2 draagt voor 70% bij aan het versterkte broeikaseffect en daarmee aan de opwarming van de aarde (figuur 7.7).

● Experiment 7.3

Er worden daarom veel maatregelen genomen om de uitstoot ervan te verminderen. Dat kan door energiebesparing, door het ontwikkelen van nieuwe brandstoffen, maar ook door CO_2 op te slaan. Daar zijn diverse mogelijkheden voor, zoals:

- 1 Opslaan in oude gas- en olievelden.
- 2 Injecteren in de oceaan. Het CO_2 borrelt dan omhoog en lost op in het zeewater. Bij injectie op een diepte van meer dan drie kilometer wordt het CO_2 zo samengeperst dat de dichtheid groter wordt dan water. Het CO_2 wordt vloeibaar en blijft op de bodem van de oceaan liggen.

Een duurzamere oplossing is het onderzoeken van productieprocessen die CO_2 als grondstof gebruiken voor de productie van bijvoorbeeld bouwmaterialen en kunststoffen.



7.6 Het verloop van de CO_2 -concentratie in de atmosfeer



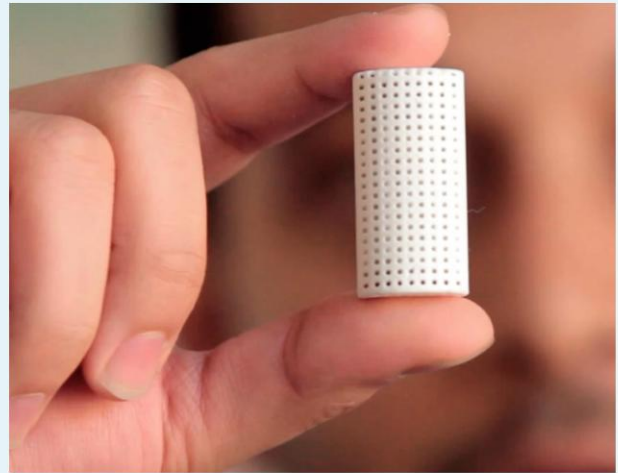
7.7 Koudbloedige dieren zoals hagedissen zullen al snel uitsterven door oververhitting bij een toenemend broeikaseffect.

‘Co2ncrete’

Onderzoekers van de universiteit van Californië hebben een nuttige toepassing gevonden voor het overschot aan koolstofdioxide in de atmosfeer, namelijk als printmateriaal voor 3D-printers. Uiteraard kunnen ze het CO₂ niet als gasvormig materiaal gebruiken. In plaats daarvan hebben ze een techniek ontwikkeld om het CO₂ onder druk met onder andere calciumcarbonaat en calciumhydroxide om te zetten in een stof met een structuur die lijkt op beton, of *concrete*, in het Engels. Het materiaal heeft dan ook de toepasselijke naam ‘Co2ncrete’ gekregen (figuur 7.8).

De hoop van de onderzoekers is dat het materiaal een vervanger wordt voor traditioneel beton. Het Co2ncrete zorgt ook voor een vermindering van de CO₂-uitstoot, want bij de productie van traditioneel beton komt veel CO₂ vrij. Het duurzaamheidsaspect is hiermee tweeledig: niet alleen krijgt het CO₂ in de atmosfeer een nuttige bestemming, ook wordt er voorkomen dat er extra CO₂

in de atmosfeer terecht komt. Wie weet zijn al onze wegen in de toekomst gemaakt van 3D-geprint koolstofdioxide (figuur 7.9).



7.8 3D-geprint koolstofdioxide



7.9 Zijn in de toekomst alle wegen gemaakt van 3D-geprint CO₂?

● Opdracht C6

Samenvatting

- Fossiele brandstoffen zijn nog steeds de grootste bron van energie in Nederland.
- Fossiele brandstoffen hebben een hoge verbrandingswarmte. Dat wil zeggen dat er veel warmte vrijkomt bij de verbranding van 1 kg of 1 m³ brandstof.
- Omdat aardolie een mengsel is van duizenden stoffen, wordt de olie eerst gescheiden in mengsels met minder stoffen, die je fracties noemt. Dit scheidingsproces heet gefractioneerde destillatie.
- De naftafractie wordt verder bewerkt door kraken en reformen tot de gewenste koolwaterstoffen ontstaan.
- Bij de verbranding van fossiele brandstoffen ontstaan CO₂, SO₂ en NO_x. Koolstofdioxide levert een grote bijdrage aan het broeikaseffect. Vermindering daarvan kan door opslag of energiebesparing. SO₂ wordt verwijderd met rookgasontzwavelingsinstallaties en NO_x met drijwegkatalysatoren en DeNOx-installaties.

Opdrachten

A 1

- a Uit welke soort stof(fen) bestaat aardgas?
- b Geef aan wat wordt verstaan onder de verbrandingswarmte van aardgas.

A 2 

- a Hoe heet de destillatie van aardolie?
- b Vindt hier een chemische reactie plaats?
- c Leg uit of het kraken van nafta een chemische reactie is.
- d Wat is het verschil tussen het reformen en het kraken van nafta?

A 3

Noem drie maatregelen waardoor er veel minder aardolie en aardgas wordt gebruikt.

B 4

Bij kraken treedt de volgende reactie op:

decaan $\rightarrow$ hept-1-een + propaan

- a Geef de reactievergelijking in molecuulformules.
- b Geef de reactievergelijking in structuurformules.

In bovenstaande reactie is de koolstofketen van decaan op een bepaalde plaats verbroken.

- c Laat de koolstofketen op een andere plaats breken. Geef de reactievergelijking weer in molecuulformules en in structuurformules.

B 5

De meeste auto's gebruiken nog benzine of diesel als brandstof, maar er zijn veel discussies in de media over een duurzamere vorm van transport. Elektrische auto's bijvoorbeeld of bussen op aardgas.

- a Geef de reactievergelijking voor de volledige verbranding van benzine en gebruik daarbij als formule van benzine C_8H_{18} .
- b Leg uit of de verbranding van benzine een exotherm of een endotherm proces is.
- c Teken een energiediagram voor de verbranding van benzine.

De dichtheid van benzine is $0,72 \text{ kg L}^{-1}$ en het zuurstofgehalte van lucht is 21 volume-% bij $T = 293 \text{ K}$ en $p = p_0$.

- d Bereken hoeveel dm^3 lucht nodig is voor het verbranden van 1,00 liter benzine.
- e Bereken hoeveel $\text{dm}^3 \text{ CO}_2$ bij deze verbranding vrijkomt.

C 6

Lees de tekst in het kader 'Co2ncrete' en beantwoord de volgende vragen. Koolstofdioxide heeft bij standaarddruk en 273 K een dichtheid van $1,986 \text{ kg m}^{-3}$. Het type beton dat wordt gebruikt voor de aanleg van wegen heeft een dichtheid van 2400 kg m^{-3} en een dikte van 23 cm .

- a Bereken hoeveel m^3 koolstofdioxide nodig is voor de aanleg van een strook Co2ncrete-wegdek van $1,0 \times 1,0 \text{ m}$. Neem aan dat Co2ncrete dezelfde dichtheid heeft als traditioneel beton en dat het alleen uit CO_2 is gevormd.

De massa van de atmosfeer is naar schatting $5,15 \cdot 10^{18} \text{ kg}$.

- b Bereken hoeveel m^3 Co2ncrete kan worden geproduceerd als het gehalte CO_2 in de atmosfeer wordt teruggebracht van 400 naar 280 ppm. $1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg CO}_2$ per kg lucht.
- c Bereken hoeveel km wegdek je hiermee aan kunt leggen van $1,0 \text{ m}$ breed en 23 cm dik.

C 7

De verbrandingswarmte van Gronings aardgas bedraagt $3,2 \cdot 10^7 \text{ J m}^{-3}$. Die van benzine is $3,3 \cdot 10^{10} \text{ J m}^{-3}$.

($T = 273 \text{ K}$; $p = p_0$)

- a Waarom is de verbrandingswarmte van benzine bijna duizend keer zo groot als die van aardgas?
- b Bereken de verbrandingswarmte van aardgas in kJ per mol.
- c De verbrandingswarmte van methaan is 890 kJ per mol. Hoe valt dit te rijmen met je antwoord bij b?

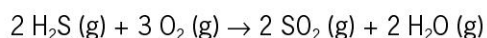
C 8 ★

Fossiele brandstoffen kun je vóór de verbranding ontzwaren door een reactie met waterstof. Daarbij ontstaat een gasstroom met daarin het giftige gas waterstofsulfide (H_2S). Dit gas kun je verwijderen met het zogenoemde clausproces, maar alleen als de gasstroom meer dan 20 volume-% H_2S bevat. In afvalgasen van raffinaderijen is het gehalte H_2S lager dan 20%. Om de concentratie te verhogen, leidt men de H_2S -houdende gasstroom door een organisch oplosmiddel. H_2S lost hierin op, de andere gasen niet.

- a Hoe heet deze scheidingsmethode?

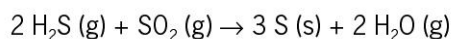
Daarna wordt stoom door de oplossing geblazen, waarbij een gasmengsel ontstaat dat meer dan 20 volume-% H_2S bevat. Dit gasmengsel is geschikt voor het clausproces. Bij de eerste stap in dit proces wordt een deel van het H_2S verbrand.

Stap 1:



Het SO_2 reageert daarna met de rest van het H_2S .

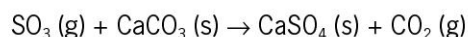
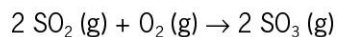
Stap 2:



In stap 1 reageert een deel van het H_2S met zuurstof. De hoeveelheid zuurstof die in stap 1 wordt toegevoegd, wordt zo gekozen dat precies die hoeveelheid SO_2 ontstaat die nodig is om in stap 2 met de rest van het H_2S te reageren. Zo blijft er na stap 2 geen H_2S en geen SO_2 over. Het overgebleven gasmengsel kun je uitstoten (figuur 7.10).

- b** Bereken hoeveel mol O_2 nodig is om 1,0 mol H_2S volledig om te zetten in S en H_2O .

Een andere methode is om na verbranding van de brandstof de afvalgasen te reinigen van SO_2 . Dit is het kalksteengips-procedé en hierbij treden de volgende reacties op:



Zo kan 90% van de SO_2 uit de rookgassen worden verwijderd. Neem aan dat in Nederland per jaar $5,0 \cdot 10^5$ ton SO_2 in de atmosfeer wordt geloosd.

- c** Bereken hoeveel ton CaCO_3 (kalk) jaarlijks nodig is om 90% van de SO_2 -uitstoot onschadelijk te maken.

Naar: CE havo 2001-I

Experimenten

7.1 Verbrandingswarmte

Je meet de verbrandingswarmte van aardgas.

7.2 Kraken van paraffine

In dit demonstratie-experiment onderzoek je het kraken van paraffineolie en toon je het ontstaan van alkenen aan.

7.3 Broeikaseffect

Je bouwt een opstelling waarmee je de temperatuurstijging van lucht ten gevolge van de uitstoot van koolstofdioxide kunt meten.

- Volledige instructie Chemie Overal online



7.10 Een rookgasontzwavelingsinstallatie

Je kunt nu

- het belang uitleggen van fossiele brandstoffen voor de energievoorziening;
- berekeningen uitvoeren met verbrandingswarmte;
- uitleggen hoe aardolie wordt gescheiden in verschillende fracties en toelichten hoe de naftafractie verder wordt bewerkt;
- benoemen wat de milieuproblemen zijn bij het gebruik van fossiele brandstoffen.

Rijden op bloemen

Een brandstof uit de resten van bloemen is de droom van elke milieuwetenschapper. Een veld vol bloemen is snel gezaaid en geoogst en draagt niet bij aan het broeikaseffect. Helaas is het nog niet zo gemakkelijk om plantenresten efficiënt om te zetten in een brandstof.

**Je leert**

- welke voordelen biobrandstoffen hebben ten opzichte van fossiele brandstoffen;
- welke soorten biobrandstoffen er zijn.

7.2 Biobrandstoffen



a



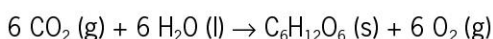
b

7.11 Houtsnippers (a) en koolzaad (b) zijn voorbeelden van biomassa.

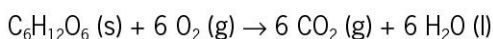
Duurzame alternatieven

Het afnemen van de hoeveelheid beschikbare fossiele brandstoffen en het versterkte broeikaseffect zijn redenen om over te stappen op meer duurzame alternatieven. Als mogelijk alternatief zijn **biobrandstoffen** in opkomst. Dit zijn brandstoffen die worden gemaakt uit **biomassa**, materiaal van organische oorsprong (figuur 7.11). Deze brandstoffen zorgen niet voor een toename van koolstofdioxide in de atmosfeer en biomassa is eenvoudig steeds opnieuw te produceren.

Groene planten en bomen kunnen door **fotosynthese** uit koolstofdioxide en water glucose maken. Het koolstofdioxide uit de lucht fungeert als koolstofbron:



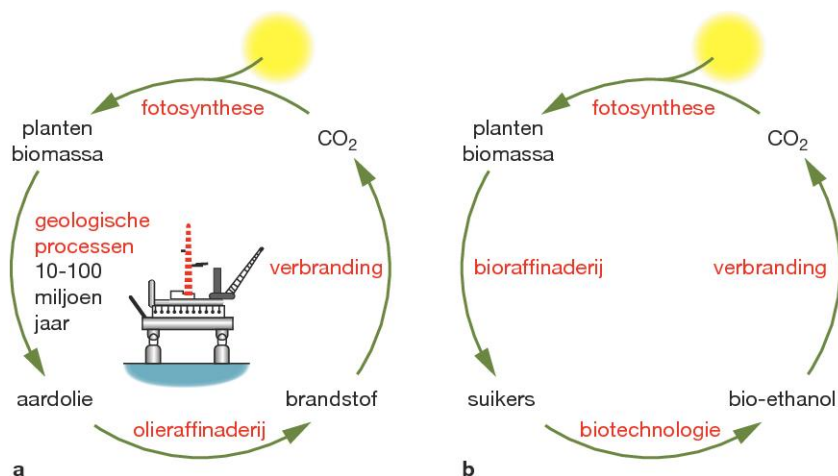
Dit is een endotherme reactie en de zon levert de benodigde energie. De glucose wordt daarna in de plant weer omgezet in andere koolstofverbindingen, zoals cellulose en zetmeel. De koolstof uit koolstofdioxide is dus in deze stoffen opgeslagen. Ook de zonne-energie is in deze stoffen opgeslagen in de vorm van chemische energie. Als de biomassa wordt verbrand, komen koolstof én energie weer vrij.



De energie gebruiken we en koolstof komt weer als CO_2 vrij in de atmosfeer. Daarmee is de **koolstofkringloop** gesloten. De koolstofkringloop is een voorbeeld van een **elementenkringloop**. Je kijkt in deze kringloop naar wat er gebeurt met het element koolstof.

In fossiele brandstoffen zijn C-atomen opgeslagen die in miljoenen jaren door fotosynthese aan de atmosfeer zijn onttrokken. Bij de grootschalige verbranding van de fossiele brandstoffen komen die C-atomen in relatief korte tijd als koolstofdioxide weer terug in de atmosfeer, waardoor de CO₂-concentratie in de atmosfeer stijgt.

De CO₂ die bij de verbranding van biomassa vrijkomt, is gelijk aan de hoeveelheid CO₂ die oorspronkelijk door de plant was opgenomen. Biobrandstoffen die uit biomassa worden geproduceerd zijn daarmee **CO₂-neutraal** (figuur 7.12).

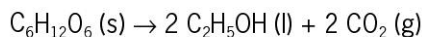


7.12 Een koolstofkringloop, niet CO₂-neutraal (a) en wel CO₂-neutraal (b)

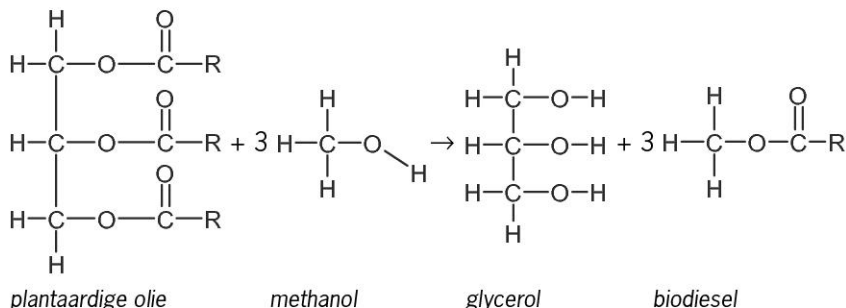
Eerste generatie biobrandstoffen

Bij biobrandstoffen onderscheid je drie generaties. Bij de eerste generatie biobrandstoffen worden voor de productie van **bio-ethanol** voedselgewassen gebruikt, zoals maïs, suikerbiet, suikerriet, tarwe of gerst. Autobenzine wordt gemengd met bio-ethanol om het rijden milieuvriendelijker te maken. In Nederland mag dat maximaal 15% zijn, omdat er tot dit gehalte bio-ethanol geen aanpassingen nodig zijn aan verbrandingsmotoren. In Brazilië rijden auto's al op 100% bio-ethanol.

Via vergisting wordt bio-ethanol uit suikers gemaakt volgens de reactie:



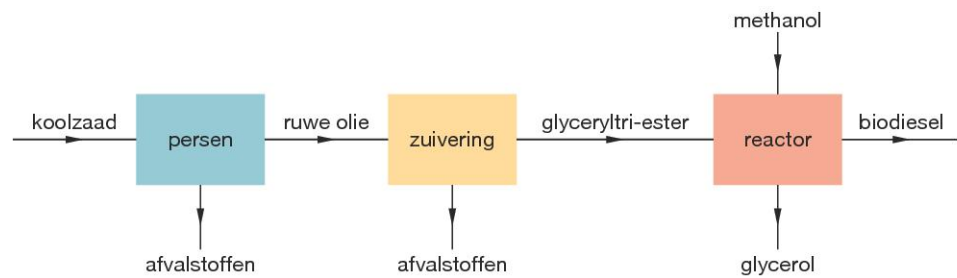
Biodiesel wordt in Europa vooral gemaakt uit koolzaad. Het productieproces verloopt in een aantal stappen. Eerst wordt de olie uit het zaad geperst en gezuiverd. Het omzetten van de gezuiverde olie in biodiesel heet **omestering**. Koolzaadolie bestaat uit glyceryltri-esters (triglyceriden). Bij omestering worden die door toevoeging van methanol en een katalysator omgezet in biodiesel (hoofdproduct) en glycerol (bijproduct). De reactievergelijking van deze omestering zie je in figuur 7.13.



7.13 De reactievergelijking van de omestering van triglyceriden in structuurformules

- Experiment 7.4
- Experiment 7.5
- Experiment 7.6

Het productieproces van biodiesel kun je weergeven in een **blokschema**, zie figuur 7.14. Hierin stellen de pijlen de stofstromen voor, de buizen waar in een fabriek de grondstoffen doorheen stromen. In de blokken gebeurt er iets met de stoffen, dit zijn de reactoren. Door een blokschema op te stellen kun je in één overzicht zien hoe het productieproces verloopt en welke stoffen erbij betrokken zijn.



7.14 Het blokschema van de productie van biodiesel



7.15 Een met de computer gemaakte afbeelding van de *Escherichia coli*-bacterie

Tweede generatie biobrandstoffen

Voor de eerste generatie biobrandstoffen waren voedselgewassen nodig. Dat veroorzaakte prijsstijgingen van voedsel en leidde tot veel protesten. Voor de tweede generatie biobrandstoffen worden geen voedselgewassen meer gebruikt, maar bijvoorbeeld houtsnippers, stro, maisstengels, gebruikt frituurvet en ander bioafval. Ook worden er op velden die niet als landbouwgrond geschikt zijn gewassen gekweekt voor de productie van biobrandstoffen, zoals wilgen of olifantsgras.

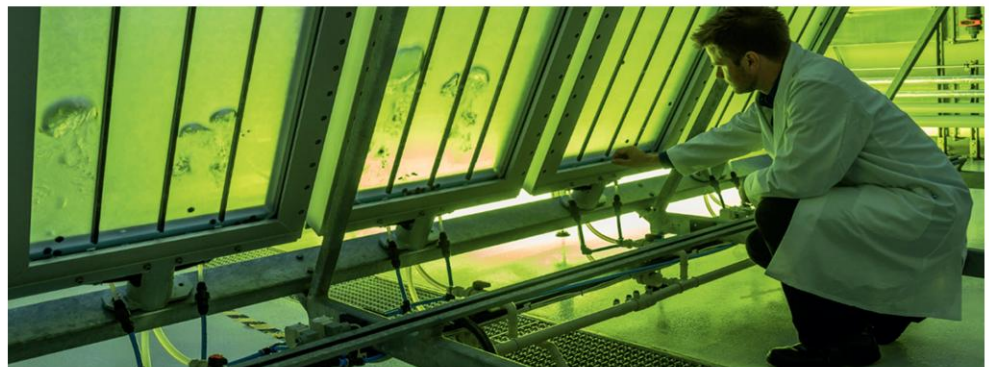
Uit het bioafval kan door vergisting **biogas**, methaan, worden gevormd. Ook kan er ethanol worden gemaakt uit cellulose die is verkregen uit bijvoorbeeld stro. Een probleem van het gebruik van bioafval ten opzichte van voedselgewassen is dat de cellulose in plantenresten niet eenvoudig is af te breken tot bruikbare suikers. Voor oplossingen zoekt men vooral naar bacteriën zoals de *Escherichia coli*-bacterie (figuur 7.15), die met genetische technieken aangepast wordt zodat ze snel en efficiënt cellulose afbreekt.

Derde generatie biobrandstoffen

De derde generatie biobrandstoffen maakt gebruik van organisch materiaal dat geen landbouwafval is. Twee voorbeelden zijn biobrandstof uit algen en uit zeewier.

Algen

Algen groeien in water door zonlicht en mest. De algen worden geoogst, gecentrifugeerd en gedroogd tot een dikke pasta of poeder. De oliën daaruit leveren dan de biobrandstof. Het proces is CO₂-neutraal, want algen gebruiken CO₂ uit de lucht voor hun groei. Een voordeel van algen is ook dat ze in grote bakken industrieel te kweken zijn, zie figuur 7.16.



7.16 Een bioreactor voor algen op de Ludwig Bolkow campus in München

De ideale alg maakt zelf de basisoliën voor biodiesel, gaat efficiënt om met zonlicht, heeft een goede weerstand tegen ziektes en levert voldoende biodiesel. Deze ideale alg is nog niet gevonden. Bij algendiesel zijn de belangrijkste obstakels de hoge kosten bij het scheiden van algen en olie, de lage opbrengst, de dosering van zonlicht en voedingsstoffen en de waterspilling.

Zeewier

Zeewier is een andere bron voor biobrandstoffen. Ook hierbij kan een genetisch gemanipuleerde bacterie *Escherichia coli* zeewiersuikers afbreken en er direct bio-ethanol maken. De opbrengst aan bio-ethanol per kilo is bij zeewier naar schatting twee keer zo hoog als die van suikerriet en vijf keer zo hoog als die van maïs.

Werken met zeewier heeft grote voordelen. Er is geen landbouwgrond of kunstmest nodig, geen zoetwaterbronnen en er zijn geen nadelige gevolgen voor de voedselvoorraden. Als het lukt om de productie op te schalen, kan zeewier een grote bijdrage leveren aan de groeiende vraag naar duurzame brandstoffen. Het planten en onderhouden van zeewier voor biobrandstofproductie is nu nog arbeidsintensief werk, wat hoge kosten tot gevolg heeft (figuur 7.17).



7.17 Een zeewierplantage in het vissersdorpje Uroa in Zanzibar

Samenvatting

- De koolstofkringloop is een voorbeeld van een elementenkringloop, daarin zijn alle verbindingen en processen weergegeven waarin een bepaald element in de kringloop voorkomt.
- Een koolstofkringloop is CO₂-neutraal als alle vrijgekomen koolstofdioxide binnen afzienbare tijd weer wordt opgenomen door planten en bomen.
- Biomassa is materiaal van organische oorsprong waaruit verschillende biobrandstoffen worden geproduceerd, zoals bio-ethanol en biodiesel.
- Bij biobrandstoffen kun je drie generaties onderscheiden: de eerste generatie wordt gemaakt uit voedselgewassen, de tweede generatie uit niet-voedselgewassen en de derde generatie maakt geen gebruik van landbouwafval.
- Productieprocessen kun je weergeven in een blokschema waarbij de blokken staan voor reactoren en de pijlen voor stofstromen.

Jatropha, een wonderstruik?

De Jatrophastruik of *jatropha curcas* is een onkruid dat extreme droogte kan overleven en waaraan de purgeernoot groeit (figuur 7.18). Tot het einde van de twintigste eeuw werd de olie uit de noten alleen gebruikt voor het branden van fakkels en als ingrediënt in geneeskrachtige middelen. Aan het einde van de twintigste eeuw ontdekten Indonesische onderzoekers samen met Nederlandse ingenieurs dat ze de olie uit jatrophanoten eenvoudig konden omzetten in biodiesel.

Jatropha werd een hype. Niet alleen zou de armoede in Azië bestreden worden doordat de jatrophastruik naast voedselgewassen geplant kon worden en zo veel winst kon genereren voor de boeren, ook zou de olie als biodiesel een bijdrage leveren aan het klimaatprobleem. Naar de haalbaarheid en succesvoorwaarden voor dit project werd geen onderzoek gedaan, maar door de vele positieve aandacht van de media raakten veel investeerders geïnteresseerd. De olieproducent D1-oils bracht jatropha naar de beurs, wat een investering van 72 miljoen Britse pond opleverde.

Binnen een tijdsbestek van zeven jaar bleek de productie van biodiesel uit jatrophanoten een flop te zijn. De vele miljoenen die waren geïnvesteerd bleken niet naar de daadwerkelijke teelt van Jatropha te gaan of naar het opzetten van een markt keten tussen de jatrophaboeren en bijvoorbeeld de energiecentrales die de biodiesel wilden gebruiken.

De boeren haakten dan ook al snel af toen bleek dat ze de noten niet verkocht kregen. Daarnaast gingen alle optimistische scenario's ervan uit dat jatropha alleen werd geplant op landbouwgrond die ongeschikt is voor andere gewassen, zoals de randen van een akker. In de praktijk werden andere gewassen echter verdrongen door de jatrophastruik.

Het falen van de jatrophanoot als bron van biodiesel ligt uiteindelijk niet eens bij de noot zelf, maar eerder bij een gebrekkig beleid van overheden en subsidiegevers en overspannen verwachtingen.



7.18 De jatrophanoten, een misgelopen bron van biodiesel

● Opdracht C18

Opdrachten

A 9

Geef aan wat de koolstofkringloop is en gebruik daarbij het begrip fotosynthese.

A 10

- a** Geef aan waarom het gebruik van aardolie en steenkool als brandstof niet CO₂-neutraal is.
- b** Geef aan waarom het gebruik van brandstoffen uit biomassa wel CO₂-neutraal is.

A 11

- a** Geef de reactievergelijking in molecuulformules van de vorming van biodiesel uit plantaardige olie.
- b** Geef aan wat het verschil is tussen eerste en tweede generatie biobrandstoffen.
- c** Wat versta je onder derde generatie biobrandstoffen?

Productie van biobrandstof uit algen en zeewieren wordt nog niet op grote schaal toegepast.

- d** Noem drie factoren die ervoor zorgen dat opschaling nog niet mogelijk is.

B 12

De stikstofkringloop is belangrijk voor het leven op aarde omdat planten stikstof nodig hebben voor de vorming van eiwitten. Bacteriën in de grond zetten stikstof uit de lucht om in ammoniumionen. Andere bacteriën maken daar eerst nitrietionen van en daarna nitraationen. De planten halen die stikstof uit de nitraten in de bodem. Uiteindelijk worden de nitraten weer omgezet in stikstof.

- a** Teken de stikstofkringloop die hier staat beschreven.

Rond 1995 is er een nieuwe groep van bacteriën ontdekt, de Anammox-bacteriën, die zelf in één stap de ammoniumionen en nitrietionen in de bodem omzetten in stikstof en water.

- b** Geef de reactievergelijking van de reactie tussen ammoniumionen en nitrietionen.
- c** Geef in je tekening bij a aan hoe de stikstofkringloop eruitziet als er Anammox-bacteriën aanwezig zijn.

Naar: CE wvo 2008-I

B 13

Bij de productie van bio-ethanol uit houtafval zetten bacteriën de cellulose in het hout om in suikers. De suikers worden daarna door vergisting omgezet in bio-ethanol en koolstofdioxide.

Geef dit proces in een blokschema weer en geef daarbij ook de stofstromen aan.

B 14 

In de tuinbouw bevordert extra CO₂ de plantengroei. Daarom wordt een deel van de koolstofdioxide die ontstaat bij industriële processen in Pernis naar de kassen in het Westland gevoerd.

- a** Leg uit waarom CO₂ de plantengroei bevordert.
- b** Leg uit of je denkt dat dit gebruik van CO₂ een bijdrage levert aan het verminderen van de CO₂-uitstoot.

B 15

In suikerriet en suikerbieten zijn suikers aanwezig. Suikers zijn opgebouwd uit glucose-eenheden (C₆H₁₂O₆). Met behulp van gist kunnen suikers worden omgezet in ethanol (C₂H₆O) en koolstofdioxide. Het zo gevormde ethanol wordt bio-ethanol genoemd.

- a** Geef de reactievergelijking voor de vergisting van glucose.
- b** Geef de reactievergelijking voor de volledige verbranding van bio-ethanol.

C 16

Gebruik bij deze opgave het blokschema uit figuur 7.14. Een bedrijf krijgt 150 ton koolzaad aangeleverd voor de productie van biodiesel.

Stap 1: koolzaad bevat 42 massa-% olie.

- a** Bereken hoeveel ton ruwe olie het koolzaad oplevert.

Stap 2: bij de zuivering van de ruwe olie blijft 85 massa-% zuivere olie over.

- b** Bereken hoeveel ton zuivere glyceryltri-ester er overblijft.

Stap 3: de glyceryltri-ester reageert via omestering tot biodiesel. Gebruik de reactievergelijking voor de vorming van biodiesel. De molecuulformule van de glyceryltri-ester is C₅₇H₁₀₄O₆.

- c** Bereken hoeveel mol biodiesel er ontstaat.

De molecuulformule van biodiesel is C₁₉H₃₆O₂ en de dichtheid van biodiesel is 0,875 kg L⁻¹.

- d** Bereken hoeveel liter biodiesel er uit 150 ton koolzaad-olie is gemaakt.

C 17 **Groene diesel** ★

Bij ECN (Energieonderzoek Centrum Nederland) in Petten maakt men dieselolie uit snippers wilgenhout. ECN noemt

dit groene diesel. Wilgenhout bestaat uit zeer lange ketens C-atomen.

Een mengsel van koolwaterstoffen met een ketenlengte tussen zeven en negentien C-atomen is geschikt als diesel-brandstof. Bij de verwerking van het wilgenhout worden de zeer lange C-ketens eerst iets kleiner gemaakt.

Zo ontstaat bijvoorbeeld het alkaanmolecuul $C_{51}H_{104}$.

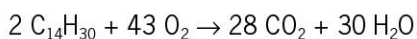
Daarna worden deze alkaanmoleculen gekraakt. Bij een kraakreactie kunnen dan uit één molecuul $C_{51}H_{104}$ drie moleculen ontstaan met elk zeventien koolstofatomen.

a Geef de reactievergelijking van deze kraakreactie.

De vader van Pieter heeft een auto waarmee hij 30 000 km per jaar rijdt. De auto gebruikt 1,0 liter groene diesel per 20 km. Een agrarisch bedrijf produceert daarvoor 11 ton wilgenhout per jaar per hectare. Uit 1,0 ton wilgenhout kan 150 liter groene diesel worden gemaakt.

b Bereken het aantal hectare dat nodig is om de auto een jaar van groene diesel te voorzien.

De reactievergelijking van de volledige verbranding van groene diesel is hieronder weergegeven, waarbij $C_{14}H_{30}$ de 'gemiddelde molecuulformule' van groene diesel is.



c Bereken hoeveel kg koolstofdioxide ontstaat bij de volledige verbranding van 150 liter groene diesel met een dichtheid van $0,79 \text{ kg L}^{-1}$.

Bij verbranding komt er bij groene diesel ongeveer evenveel koolstofdioxide vrij als bij gewone diesel.

d Leg uit waarom je het gebruik van groene diesel toch CO_2 -neutraal mag noemen.

Naar: CE havo 2005-II

C 18

Lees de tekst in het kader 'Jatropha, een wonderstruik?' en beantwoord volgende vragen. Alleen een geschikte grondstof vinden is blijkbaar niet genoeg om succesvol een biobrandstof op de markt te brengen.

a Noem drie voorwaarden – naast een geschikte grondstof – om een biobrandstof succesvol op de markt te brengen.

Het falen van de biobrandstofproductie uit jatrophanoten is niet alleen te wijten aan misplaatste investeringen.

b Wat kunnen overheden doen om ondernemingen te stimuleren over te gaan op biobrandstoffen?

c Wat kunnen overheden doen om consumenten te stimuleren over te gaan op biobrandstoffen?

Tijdens de klimaattop in Parijs in 2015 zijn wereldwijde afspraken gemaakt en doelen opgesteld met betrekking tot de verduurzaming van de industrie. Eén van deze doelen is om in 2030 minstens 15% van 's werelds oliegebruik in de transportsector te laten bestaan uit biobrandstoffen. Dat komt overeen met een vermindering van 1,3 miljoen vaten aardolie per dag. Een nobel doel, gezien het feit dat 60% van alle olie wordt gebruikt door de transportsector.

d Bereken hoeveel vaten biodiesel uit jatrophanoten per dag geproduceerd zou moeten worden om 15% van al het oliegebruik te vervangen. Maak hierbij gebruik van de volgende gegevens.

- Een vat bevat 159 L aardolie of biodiesel.
- De verbrandingswarmte van aardolie is $42,70 \text{ MJ kg}^{-1}$.
- De dichtheid van aardolie is $0,91 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$.
- De verbrandingswarmte van biodiesel is $38,68 \text{ MJ kg}^{-1}$.
- De dichtheid van biodiesel is $0,88 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$.

e Bedenk op basis van je antwoord bij d of jatropha op zichzelf de oplossing kan bieden voor het klimaatprobleem.

Experimenten

7.4 Bio-ethanol uit suikers

In dit experiment maak je via vergisting bio-ethanol uit suikers.

7.5 Biodiesel

Je maakt biodiesel uit zonnebloemolie door omestering van triglyceriden.

7.6 Bio-ethanol uit wc-papier

Zelfs uit wc-papier kun je bio-ethanol produceren. In dit practicum ontdek je hoe.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- uitleggen wat een elementenkringloop is;
- uitleggen wanneer de koolstofkringloop CO_2 -neutraal is;
- uitleggen wat eerste, tweede en derde generatie biobrandstoffen zijn;
- een blokschema gebruiken.

Duurzaam design

Het kurk waarvan de designstoel hiernaast volledig is gemaakt, is afkomstig van de kurkeik. Het bijzondere van de kurkeik is dat elk onderdeel van deze boom een nuttige toepassing heeft: uit de stam wordt kurk gemaakt, de bladeren dienen als meststof, de eikels zijn voor kookolie en snoeien geeft een niet-giftig brandhout.

**Je leert**

- wat duurzaamheid is en hoe je rekening kunt houden met duurzaamheid;
- hoe je de efficiëntie van een chemisch proces kunt berekenen.

7.3 Duurzame ontwikkelingen

Duurzame grondstoffen

Onder duurzaamheid valt niet alleen het gebruik van energie uit duurzame energiebronnen. Ook de keuze voor grondstoffen en hoe je omgaat met afval is een belangrijk onderdeel van duurzaamheid. **Duurzaamheid** is een breed begrip, maar kan het best omschreven worden als rekening houden met de behoeften in het heden, zonder de behoeften van toekomstige generaties in gevaar te brengen.

Door gebruik te maken van **duurzame grondstoffen** voorkom je dat grondstoffen op den duur opraken. Een kenmerk van een duurzame grondstof is dat je hem op korte termijn steeds opnieuw kunt produceren. Het kurk uit het openingsbeeld is dan ook een voorbeeld van zo'n grondstof. Naast dat de kurkeik steeds opnieuw gepland kan worden, is kurk te recyclen tot een enorm aantal producten, zoals vloeren of isolatiemateriaal (figuur 7.19). Zijn deze producten versleten, dan kan het resterende kurk nog gebruikt worden als biomassa bij de productie van een biobrandstof.



7.19 Kurk heeft enorm veel toepassingen, bijvoorbeeld als vloer (a) of als isolatiemateriaal (b).



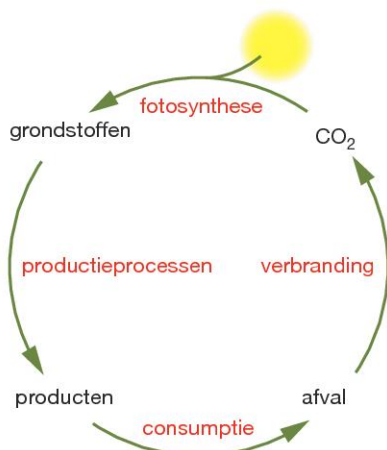
7.20 Deze jurk is gemaakt van gerecyclede plastic flessen.

Recycling

Recyclen is een manier om duurzaam om te gaan met grondstoffen, door afval op een nuttige manier nogmaals te gebruiken in een product of productieproces. Volgens de **Cradle to Cradle**-filosofie (C2C of 'wieg-tot-wieg') moet elke grondstof na gebruik in het ene product weer nuttig gebruikt kunnen worden in een ander product, zonder verlies van kwaliteit. Maar wat is nuttig? Bijvoorbeeld: puin uit de bouw wordt vermalen tot puinkorrels en daarna gebruikt als ophoogmateriaal onder wegen. De kwaliteit gaat daarmee achteruit omdat het te duur is of technisch niet mogelijk om er weer de oorspronkelijke grondstof van te maken. Binnen de C2C-filosofie heet dit **downcyclen**.

Bij **upcyclen** is de gerecyclede grondstof van gelijke kwaliteit als, of zelfs van betere kwaliteit dan de oorspronkelijke grondstof. Bij producten is het gerecyclede product van gelijke kwaliteit als, of van betere kwaliteit dan het oorspronkelijke product. Daarmee is upcyclen het tegenovergestelde van downcyclen. Emma Watson, bekend als Hermelien uit de Harry Potter-films droeg op een gala een jurk van een materiaal dat gemaakt was van gerecyclede plastic flessen (figuur 7.20). Een mooi voorbeeld van upcycling.

De weg die een grondstof aflegt kun je weergeven in een **stoffenkringloop** (figuur 7.21). Dat kan een kringloop van één stof zijn zoals de waterkringloop, maar er kunnen ook meerdere stoffen bij betrokken zijn. Het nadeel van een stoffenkringloop is dat downcycling niet zichtbaar is. Grondstoffen kunnen tijdens de verwerking bijvoorbeeld vervuild raken met andere elementen, waardoor de kwaliteit afneemt. Een voorbeeld van het verlies van kwaliteit is het bij elkaar storten van verschillende kleuren glas, waardoor er alleen nog bruin glas van gemaakt kan worden (figuur 7.22).



7.21 Een niet-duurzame stoffenkringloop



7.22 Om verlies van kwaliteit te voorkomen is het belangrijk om glas na inzameling te sorteren op kleur.

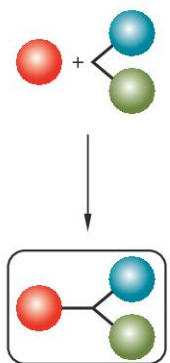
● Experiment 7.7

Duurzaamheid en groene chemie

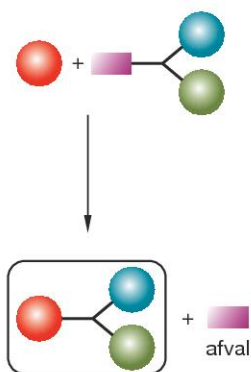
Niet alleen kleine bedrijven en ontwerpers, maar ook de chemische industrie besteedt sinds de jaren negentig van de vorige eeuw steeds meer aandacht aan de duurzaamheid van productieprocessen. Dit doet ze vanuit zowel maatschappelijke als economische overwegingen. Bedrijven willen geen reputatie hebben als vervuiler en tegelijkertijd levert verduurzaming een besparing op in energiekosten en milieubelasting. Daarmee worden de vaak grote financiële investeringen die nodig zijn om een productieproces duurzamer te maken terugverdiend.



7.23 De groene chemie streeft naar het verduurzamen van productieprocessen.



a



b

7.24 Modeltekening van een hoge atomeconomie (a) en een lagere atomeconomie (b)

Dit streven naar verduurzaming in de chemische industrie wordt **groene chemie** genoemd (figuur 7.23). Al in 1993 zijn twaalf uitgangspunten voor groene chemie geformuleerd, die inmiddels wereldwijd geaccepteerd zijn. Je vindt ze in Binas tabel 97F. Samengevat kun je zeggen dat processen die zijn gebaseerd op deze uitgangspunten van de groene chemie:

- veiliger zijn;
- minder grondstoffen en energie gebruiken;
- zo veel mogelijk gebruikmaken van duurzame grondstoffen en energie;
- minder vervuiling geven.

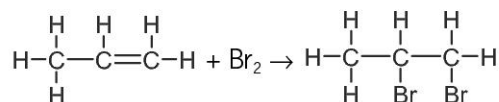
Atomeconomie en rendement

Hoe duurzaam een chemisch productieproces precies is, kun je beoordelen aan de hand van de uitgangspunten van de groene chemie. Eén van de uitgangspunten is het inperken van de hoeveelheid afval, bijvoorbeeld door chemische reacties te ontwerpen waarbij zo min mogelijk bijproducten ontstaan. Om aan te geven welk percentage van de atomen uit de beginstoffen terugkomen in het gewenste eindproduct is de **atomeconomie** geïntroduceerd. De atomeconomie kun je definiëren als:

$$\text{atomeconomie} = \frac{m_{\text{gewenst product}}}{m_{\text{beginstoffen}}} \times 100\%, \text{ waarin } m \text{ de molecuulmassa is.}$$

Rekenvoorbeeld 1

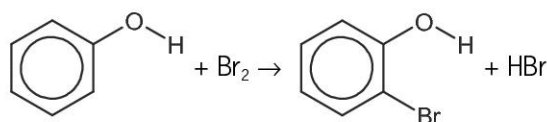
De stof 1,2-dibroompropan wordt gemaakt door additie van broom aan propen.



De reactie heeft een atomeconomie van 100%, omdat alle atomen van de beginstoffen terugkomen in het reactieproduct. Zie figuur 7.24a.

Rekenvoorbeeld 2

De productie van 2-broomfenol verloopt volgens de onderstaande reactievergelijking.



Naast het gewenste 2-broomfenol ontstaat er ook HBr. De atomeconomie is daardoor kleiner dan 100% (figuur 7.24b).

$$\text{atomeconomie} = \frac{m_{2\text{-broomfenol}}}{m_{\text{fenol}} + m_{\text{broom}}} \times 100\% = \frac{173,00 \text{ u}}{94,11 \text{ u} + 159,80 \text{ u}} \times 100\% = 68,13\%$$

De atomeconomie is een theoretisch getal dat je voor elke reactie kunt berekenen. Je kunt de atomeconomie gebruiken wanneer je bij de keuze van een productieproces verschillende reacties met elkaar wilt vergelijken.



7.25 Het ontstaan van chemisch afval wil je zo veel mogelijk voorkomen.

Alleen naar de atomeconomie kijken is echter niet voldoende, aangezien in de praktijk een reactie vrijwel nooit voor 100% verloopt. Zo zijn niet alle beginstoffen even zuiver en treden er vaak nevenreacties op (figuur 7.25). Daarom gebruikt de industrie naast atomeconomie ook het begrip **rendement**. Onder rendement wordt verstaan:

$$\text{rendement} = \frac{\text{praktische opbrengst}}{\text{theoretische opbrengst}} \times 100\%$$

De theoretische opbrengst is de massa van het product die volgens een kloppende reactievergelijking zou ontstaan bij een aflopende reactie. De praktische opbrengst is de massa van het product, zoals die bij een bepaalde reactie in een chemische fabriek wordt gevormd.

Rekenvoorbeeld 3

Bij het productieproces van voorbeeldberekening 2 ontstaat er in de praktijk uit 1000 ton fenol 1253 ton 2-broomfenol. Bereken het rendement van dit proces.

De molaire massa van fenol is $94,11 \text{ g mol}^{-1}$ en de molaire massa van 2-broomfenol is $173,00 \text{ g mol}^{-1}$. De molverhouding fenol : 2-broomfenol = 1 : 1.

$1000 \text{ ton fenol} \triangleq \frac{1000 \cdot 10^6 \text{ g}}{94,11 \text{ g mol}^{-1}} = 1,06 \cdot 10^7 \text{ mol fenol}$. Hieruit kan theoretisch $1,06 \cdot 10^7 \text{ mol} \times 173,00 \text{ g mol}^{-1} = 1838 \cdot 10^6 \text{ g} = 1838 \text{ ton 2-broomfenol}$ ontstaan.

Het rendement is dan: $\frac{1253 \text{ ton}}{1838 \text{ ton}} \times 100\% = 68,17\%$.

Bij een productie waar meerdere reacties na elkaar verlopen, moet je de rendementen van alle stappen met elkaar vermenigvuldigen. Als bijvoorbeeld de rendementen van drie achtereenvolgende stappen 65%, 75% en 55% zijn, is het totale rendement nog maar $0,65 \times 0,75 \times 0,55 = 0,27$, dus 27%. Als chemisch ingenieur (figuur 7.26) moet je rekening houden met het rendement van elke stap in het productieproces.

De formules voor de atomeconomie en het rendement vind je terug in Binas tabel 97F.



7.26 Als chemisch ingenieur houd je je bezig met het ontwerpen en onderhouden van chemische productieprocessen.

Van PET naar PEF

PET – of polyethyleentereftalaat – is een kunststof dat veel wordt gebruikt in drankflessen en andere verpakkingen van voedingsmiddelen. De grondstoffen die nodig zijn voor de productie van PET worden uit aardolie gehaald. PEF staat voor polyethyleenfuranoaat en is een 'biobased' kunststof. De grondstof voor PEF zijn furanen: moleculen gebaseerd op koolhydraten die uit voedselgewassen, zoals maïs of suikerriet gehaald kunnen worden, maar ook uit landbouwafval, houtsnippers en zelfs oude kranten.

PEF, gemaakt uit biologisch materiaal, is ook duurzamer dan PET (figuur 7.27). Daarnaast laat PEF minder lucht en water door van buitenaf, waardoor de producten in de fles langer meegaan. Verder is PEF erg sterk, waardoor je de flessen dunner kunt maken en er minder materiaal nodig is. Een groot nadeel is echter dat het op dit moment nog een stuk duurder is om te produceren. Het Nederlandse bedrijf Avantium is de samenwerking aangegaan

met de Duitse chemiegroep BASF om een faciliteit te bouwen voor de productie van furanen in Antwerpen (figuur 7.28).



7.27 Zolang het duurzaam alternatief voor PET nog niet op grote schaal geproduceerd wordt, is inzamelen en recyclen de enige optie voor petflessen.



7.28 Avantium heeft al een contract met coca-cola en Danone voor de productie van PEF-verpakkingen.



● Opdracht B27

Samenvatting

- Duurzaamheid is rekening houden met de behoeften in het heden, zonder de behoeften in de toekomst in gevaar te brengen.
- Bij recyclen maak je onderscheid tussen downcyclen, waarbij de kwaliteit van het materiaal minder wordt, en upcyclen, waarbij de kwaliteit van het materiaal hetzelfde blijft of beter wordt.
- De groene chemie streeft ernaar om de chemische industrie duurzamer te maken. Er zijn hiervoor twaalf uitgangspunten geformuleerd die betrekking hebben op grondstoffenbeheer, milieu en veiligheid.
- De atomeconomie geeft aan hoeveel atomen uit de beginstoffen terugkomen in het reactieproduct. Het rendement is de praktische opbrengst als percentage van de theoretische opbrengst.

Opdrachten

A 19

- Wat is een duurzame grondstof?
- Wat is recyclen?
- Wat is up- en downcyclen?
- Wat is de centrale gedachte bij de *Cradle to Cradle*-filosofie?

A 20

Zoek in Binas tabel 97F de twaalf principes van de groene chemie op en maak in je eigen woorden een samenvatting daarvan.

A 21

- Geef aan wat atomeconomie is.
- Geef aan wat het rendement van een reactie is.

B 22

- Teken een stoffenkringloop voor een plastic bekertje zoals in figuur 7.21 is weergegeven.
- Leg uit waarom deze kringloop niet duurzaam is.
- Wat moet je aan deze kringloop veranderen om hem duurzaam te maken?

B 23

Elektrische auto's geven geen uitlaatgassen. Leg aan de hand van de uitgangspunten van de groene chemie uit of deze auto's even milieuvriendelijk zijn als een fiets.

B 24

Bij recycling wordt een mengsel van kunststoffen eerst gescheiden door het verschil in dichtheid te gebruiken. De kunststof wordt in snippers gesneden en met een vloeistof gemengd. Sommige snippers gaan dan drijven en andere niet.

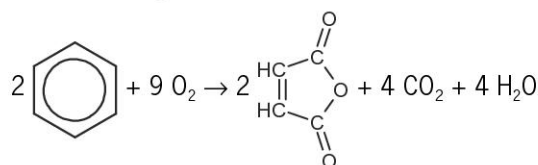
- De dichtheid van polypropreen is $0,91 \text{ g cm}^{-3}$ en die van polystyreen is $1,05 \text{ g cm}^{-3}$. In een bak met vloeistof drijft polypropreen en zinkt polystyreen. Wat kun je zeggen over de dichtheid van de vloeistof?

Recycling is alleen nuttig als het aanbod van gerecyclede materialen aansluit op de vraag. Stel dat de vraag veel lager ligt dan het aanbod.

- Wat zijn dan de gevolgen voor:
 - de prijs die betaald wordt voor de gerecyclede materialen;
 - de voorraad gerecyclede materialen;
 - de kosten van het scheidingsproces?

B 25

Maleïnezuuranhydride is een belangrijk tussenproduct in de fabricage van geneesmiddelen, pigmenten en geur- en kleurstoffen. DSM is een grote producent van deze stof en maakt het volgens onderstaande reactie:



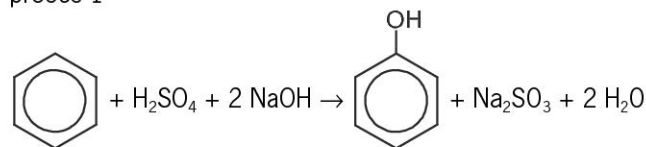
benzeen + zuurstof maleïnezuuranhydride

- Bereken de atomeconomie van deze reactie.
- Bereken het rendement als uit 100 kg benzeen, 85 kg maleïnezuuranhydride ontstaat.
- Leg uit of de productie van maleïnezuuranhydride een duurzaam proces is. Gebruik in je uitleg het rendement en de atomeconomie.

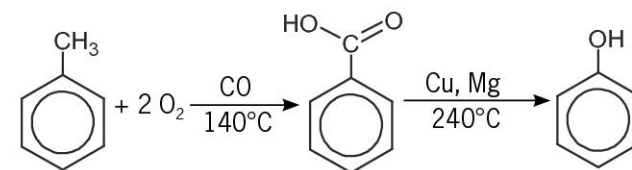
B 26 ★

Fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$), een giftige stof, wordt voor een groot deel gebruikt om kunststoffen mee te maken. Daarnaast is het ook een grondstof voor veel medicijnen, bijvoorbeeld voor aspirine. Hierna staan twee processen voor de productie van fenol.

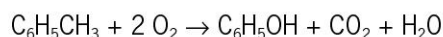
proces 1



proces 2



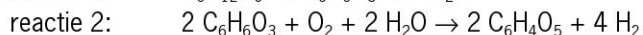
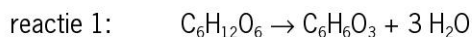
De vergelijking in molecuulformules voor proces 2 is:



- Bereken voor beide processen de atomeconomie. Ga ervan uit dat Na_2SO_3 in proces 1 geen nuttig product is. Ga uit van 100% rendement bij beide processen.
- Bereken de atomeconomie van proces 1 als natriumsulfiet wel kan worden gebruikt

B 27

Lees de tekst in het kader 'Van PET naar PEF' en beantwoord de volgende vragen. Eén van de furanen die worden gebruikt bij de productie van PEF is furaandicarbonzuur. Deze grondstof kan in twee stappen uit glucose worden gemaakt:



- Tel de reactievergelijkingen op zo'n manier op tot één vergelijking dat $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_3$ niet meer voorkomt in de vergelijking.
- Bereken de atomeconomie van de productie van furaandicarbonzuur met behulp van deze totaalreactie.

C 28 Plastic Hero

Begin 2009 startte de campagne Plastic Hero met als doel meer plastic verpakkingsafval apart in te zamelen. Het plastic afval wordt naar een sorteerstation gebracht, waar de plastics op soort worden gescheiden. Voorbeelden van plastics die kunnen worden gerecycled, zijn polyetheen, polypropreen en polystyreen. Die worden dan grondstof voor producten als fleecedekking, speelgoed en mobiele telefoons. Er zijn twee hoofdtypen polyetheen: LD-polyetheen (LDPE) en HD-polyetheen (HDPE). In tabel 7.29 staat een aantal gegevens van LDPE en HDPE.

- Leg met behulp van twee gegevens uit tabel 7.29 uit welk type polyetheen het meest geschikt is voor plastic draagtassen.

Bij recycling worden de plastics per soort gesmolten, in een vorm geperst en afgekoeld. Daarna wordt het plastic vervaardigd tot korrels die worden gebruikt voor nieuwe toepassingen.

- Leg uit of je uit bovenstaande tekst kunt afleiden of het hier gaat over upcyclen of over downcyclen.

Wegwerpkoffiebekertjes worden gemaakt van polystyreen. Polystyreen wordt gevormd door het koppelen van styreen-moleculen. Bij de afvalverwerking worden de koffiebekertjes verbrand. Daarbij komt CO_2 in de atmosfeer.

- Hoeveel koolstofdioxidemoleculen ontstaan bij de volledige verbranding van een molecuul styreen? De molecuulformule van styreen is C_8H_8 .

Een wegwerpbekertje van polystyreen weegt 2,8 g, de molaire massa van styreen is $104,1 \text{ g mol}^{-1}$.

- Bereken hoeveel mol styreen in een bekertje is verwerkt.
- Bereken hoeveel dm^3 koolstofdioxide ontstaat bij de volledige verbranding van vijftig wegwerpbekertjes. Het volume van CO_2 is $24,5 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$ bij $p = p_0$ en $T = 298 \text{ K}$.

Door de koffiebekers te recyclen in plaats van te verbranden, wordt de CO_2 -uitstoot verminderd. Toch gaat recyclen ook gepaard met de uitstoot van CO_2 .

- Geef een reden waarom dit zo is.

Bron: CE havo2011-II

Experiment

7.7 Kunststof uit aardappelen

In dit experiment maak je bioplastiek van aardappelzetmeel. Je onderzoekt de eigenschappen van deze kunststof en bedenkt er een toepassing voor.

- Volledige instructie Chemie Overal online

	LDPE	HDPE
eigenschappen	• onaantastbaar door andere chemicaliën • goed bewerkbaar • soepel • moeilijk breekbaar	• onaantastbaar door andere chemicaliën • goed bewerkbaar • stijf • minder goed bestand tegen stoten
smelttemperatuur	105 – 125 °C	125 – 135 °C
dichtheid	$0,92 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$	$0,95 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$

7.29 Eigenschappen van polyetheen

Je kunt nu

- uitleggen wat wordt verstaan onder upcyclen, downcyclen en Cradle to Cradle;
- aangeven wanneer er sprake is van een duurzame stoffenkringloop;
- toelichten of een proces duurzaam is aan de hand van de uitgangspunten van de groene chemie;
- de atomeconomie en het rendement van een chemische reactie berekenen.

Synthese van adipinezuur

Adipinezuur is de belangrijkste grondstof voor nylon, waar bijvoorbeeld sneakers van worden gemaakt. Er wordt jaarlijks 2,5 miljard kilogram van geproduceerd. Jammer genoeg is de atomeconomie van dit productieproces niet optimaal, de beginstoffen reageren niet volledig met elkaar.

**Je leert**

- wat een evenwichtsreactie is;
- rekenen aan evenwichtsreacties.

7.4 Evenwichten

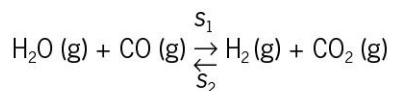


7.30 Dit is ook een evenwicht, maar geen dynamisch evenwicht zoals een chemisch evenwicht dat wel is.

Evenwichtsreacties

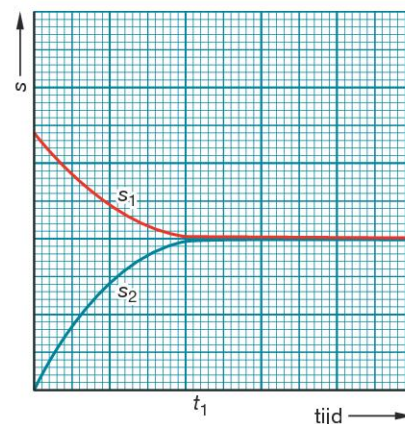
De eerste stap in de synthese van adipinezuur dat als grondstof dient voor de sneakers hierboven, is een **chemisch evenwicht**. In die eerste stap wordt de stof cyclohexanol omgezet in cyclohexanon, maar die omzetting is niet volledig. In paragraaf 5.1 van hoofdstuk 5 heb je al gezien dat je bij een chemisch evenwicht te maken hebt met twee omkeerbare reacties die met dezelfde snelheid verlopen. Bij omkeerbare reacties worden in de ene reactie, de heengaande reactie, de beginstoffen omgezet in de reactieproducten. In de andere reactie, de teruggaande reactie, worden de reactieproducten weer omgezet in de beginstoffen. Als deze reacties tegelijkertijd met dezelfde snelheid verlopen, ontstaat een chemisch evenwicht. De reacties noem je **evenwichtsreacties**.

Een ander voorbeeld van een chemisch evenwicht is de productie van waterstof uit methaan. Waterstof is nodig voor de productie van ammoniak (figuur 7.32). Bij de reactie van methaan met waterdamp ontstaat een mengsel van waterstof en koolstofmono-oxide. Dit mengsel reageert in een volgende stap verder, waarbij uit koolstofmono-oxide met waterdamp nog meer waterstof ontstaat en koolstofdioxide. De evenwichtsreactie die verloopt is:



Na enige tijd veranderen de concentraties van de vier stoffen niet meer. De reactiesnelheden van beide reacties zijn nu gelijk. De tijd tussen het begin van de reactie en het intreden van de evenwichtstoestand, noem je de **insteltijd**, zie figuur 7.31.

Als de reagerende stoffen in een evenwicht een homogeen mengsel vormen zoals bij gasmengsels en bij opgeloste stoffen, noem je dat een **homogeen evenwicht**. Bij een homogeen evenwicht verloopt de reactie in één fase. Zijn de stoffen in meerdere fasen aanwezig, dan is er sprake van een **heterogeen evenwicht**. Bij een heterogeen evenwicht is altijd een grensvlak aanwezig. Hoe je aan evenwichten kunt rekenen, zie je in rekenvoorbeeld 1.



7.31 De snelheid van de reactie naar rechts is s_1 en die van de reactie naar links s_2 . t_1 is de insteltijd van het evenwicht.

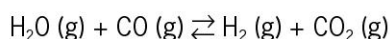


7.32 Voor de productie van deze kunstmest is waterstof nodig. Uit waterstof en stikstof wordt ammoniak gevormd, de grondstof voor kunstmest.

Rekenvoorbeeld 1

In een vat van $1,0 \text{ dm}^3$ breng je $0,40 \text{ mol H}_2\text{O (g)}$ en $0,30 \text{ mol CO (g)}$. Er ontstaat $\text{H}_2 \text{ (g)}$ en $\text{CO}_2 \text{ (g)}$ en er stelt zich een evenwicht in. Van de $0,40 \text{ mol H}_2\text{O (g)}$ bevindt zich nog 50% in het evenwichtsmengsel. Bereken de concentratie van de vier stoffen.

Je begint met de reactievergelijking:



Er is nog 50% H_2O , dus gereageerd heeft 50% van $0,40 \text{ mol} = 0,20 \text{ mol H}_2\text{O}$. De molverhouding $\text{H}_2\text{O} : \text{CO} = 1 : 1$, er heeft dus ook $0,20 \text{ mol CO}$ gereageerd. Je kunt het verloop van de reactie weergeven in een tabel. Bij t_0 zet je de beginconcentraties, dan hoeveel er is omgezet en bij t_{ev} de concentraties in het evenwichtsmengsel.

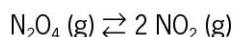
	$[\text{H}_2\text{O}]$	$[\text{CO}]$	$[\text{H}_2]$	$[\text{CO}_2]$
t_0	0,40	0,30	0	0
omgezet	-0,20	-0,20	+0,20	+0,20
t_{ev}	0,20	0,10	0,20	0,20

De concentraties van de vier stoffen zijn: $[\text{H}_2\text{O}] = 0,20 \text{ mol L}^{-1}$, $[\text{CO}] = 0,10 \text{ mol L}^{-1}$, $[\text{H}_2] = [\text{CO}_2] = 0,20 \text{ mol L}^{-1}$.

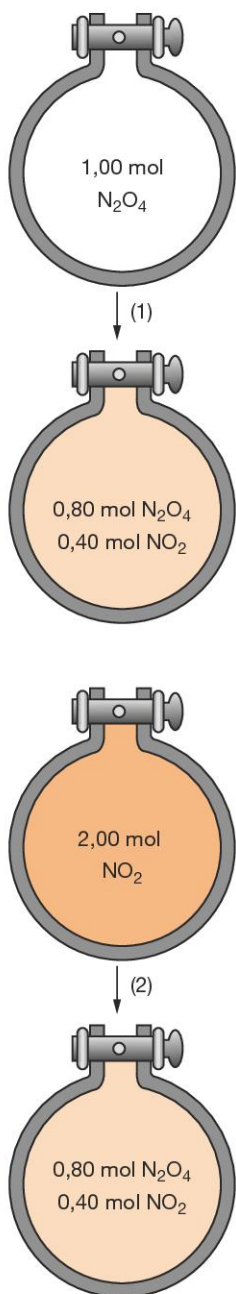
● Experiment 7.8

De evenwichtsvoorwaarde bij een homogeen evenwicht

Bij experiment 7.8 (zie figuur 7.33) kijk je naar de volgende evenwichtsreactie:



Tijdens experiment (1) verandert $1,00 \text{ mol}$ (kleurloos) N_2O_4 in een volume van $1,0 \text{ dm}^3$ in een (lichtbruin) mengsel van $0,80 \text{ mol N}_2\text{O}_4$ en $0,40 \text{ mol NO}_2$. Bij experiment (2) verandert $2,00 \text{ mol}$ (bruin) NO_2 in eenzelfde mengsel van $0,80 \text{ mol N}_2\text{O}_4$ en $0,40 \text{ mol NO}_2$. Beide experimenten leiden tot dezelfde evenwichtstoestand ($T = 100^\circ \text{C}$). Je kunt ook zeggen dat de ligging van het evenwicht voor beide reacties hetzelfde is en onafhankelijk van de begintoestand, zie tabel 7.34.

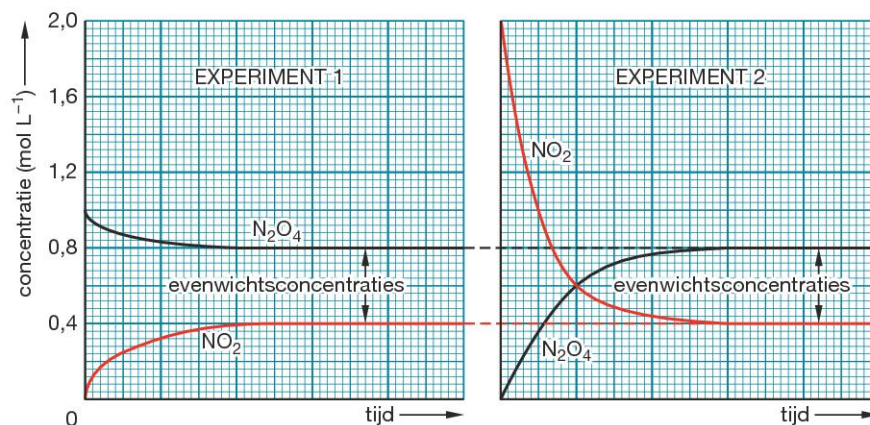


7.33 De experimenten (1) en (2) leiden tot dezelfde evenwichtstoestand.

	experiment (1)		experiment (2)	
	[N ₂ O ₄]	[NO ₂]	[N ₂ O ₄]	[NO ₂]
t_0	1,00	0	0	2,00
omgezet	-0,20	+0,40	+0,80	-1,60
t_{ev}	0,80	0,40	0,80	0,40

7.34 De resultaten van experimenten (1) en (2)

In figuur 7.35 zijn de concentratieveranderingen tijdens de twee experimenten in een diagram uitgezet. Ook hier is te zien dat de experimenten (1) en (2) leiden tot dezelfde evenwichtstoestand. Je ziet in figuur 7.35 dat de concentratie van NO₂ tweemaal zo snel verandert als die van N₂O₄, doordat twee moleculen NO₂ ontstaan uit één molecuul N₂O₄.



7.35 De concentratieverandering tijdens de experimenten 1 en 2. Zodra de concentraties niet meer veranderen, is de evenwichtstoestand bereikt.

Concentratiebreuk en evenwichtsvoorwaarde

Voor elke evenwichtsreactie kun je uit de reactievergelijking een **concentratiebreuk** afleiden. Dit doe je op de volgende manier.

- De concentraties van de reactieproducten staan in de teller van de concentratiebreuk. De concentraties van de beginstoffen staan in de noemer.
- Elke concentratie wordt voorzien van een exponent die gelijk is aan de overeenkomstige coëfficiënt in de reactievergelijking.
- In de concentratiebreuk staan alleen de concentraties van die stoffen, waarvan de concentratie kan veranderen. Dat is dus bij gasen of opgeloste stoffen het geval.

Voor het evenwicht N₂O₄ / NO₂ is de concentratiebreuk:

$$\frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$$

Als zich een chemisch evenwicht heeft ingesteld, veranderen de concentraties van de stoffen niet meer. De concentratiebreuk zal dan een constante waarde hebben. Deze constante waarde noem je de **evenwichtsconstante**, K . Er is pas evenwicht als de concentratiebreuk gelijk is aan de waarde van K .

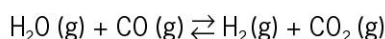
$$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$$

wordt de **evenwichtsvoorwaarde** genoemd.

K heet de evenwichtsconstante omdat de waarde van K niet afhangt van de druk en het volume en evenmin van de concentratie van de uitgangsstof(fen) of van de aanwezigheid van een katalysator. De waarde van K hangt alleen af van de temperatuur. In Binas tabel 51 kun je van een aantal reacties zien hoe de waarde van K verandert met de temperatuur. Voor de evenwichtsconstante gebruik je geen eenheid. Hoe je met K kunt rekenen aan evenwichten zie je in rekenvoorbeeld 2.

Rekenvoorbeeld 2

Bij een bepaalde temperatuur heeft de evenwichtsconstante van de onderstaande reactie de waarde 0,75. Je brengt 0,50 mol H_2O en 0,50 mol CO in een vat van $1,0 \text{ dm}^3$. Bereken de concentratie van H_2 (g) in het evenwichtsmengsel.



Je stelt de evenwichtsvoorwaarde op: $K = \frac{[\text{H}_2][\text{CO}_2]}{[\text{H}_2\text{O}][\text{CO}]}$

Stel dat tussen t_0 en t_{ev} x mol H_2O heeft gereageerd, dan kun je het verloop van de reactie in een tabel weergeven.

	$[\text{H}_2\text{O}]$	$[\text{CO}]$	$[\text{H}_2]$	$[\text{CO}_2]$
t_0	0,50	0,50	0	0
omgezet	$-x$	$-x$	$+x$	$+x$
t_{ev}	$0,50 - x$	$0,50 - x$	x	x

Ingevuld in de concentratiebreuk geeft dit: $K = \frac{x^2}{(0,50 - x)^2} = 0,75$.

$$0,75 (0,50 - x)^2 = x^2$$

$$0,75 (0,25 - x + x^2) = x^2$$

$$0,25x^2 + 0,75x - 0,1875 = 0$$

Deze vergelijking oplossen met de abc-formule geeft als uitkomst: $x = 0,23$.

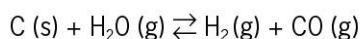
Er heeft 0,23 mol H_2O gereageerd, dus is ook 0,23 mol H_2 ontstaan. Bij evenwicht is: $[\text{H}_2] = 0,23 \text{ mol L}^{-1}$.



7.36 Een Brits bedrijf heeft een milieuvriendelijke methode ontwikkeld om synthesesgas te produceren uit oude autobanden.

De evenwichtsvoorwaarde bij een heterogeen evenwicht

Een duurzaam voorbeeld van een heterogeen evenwicht is de productie van synthesesgas door biomassa te verhitten met stoom onder hoge druk. Synthesesgas is een mengsel van koolstofmono-oxide en waterstof en kan worden gebruikt om elektriciteit op te wekken (figuur 7.36). Als de biomassa, hier versimpeld weergegeven als $\text{C} (\text{s})$, sterk wordt verhit in de aanwezigheid van stoom, stelt zich het volgende evenwicht in:



De evenwichtsvoorwaarde luidt: $K = \frac{[\text{H}_2][\text{CO}]}{[\text{H}_2\text{O}]}$ en niet: $K = \frac{[\text{H}_2][\text{CO}]}{[\text{C}][\text{H}_2\text{O}]}$, zoals je misschien had verwacht.

De vaste biomassa is namelijk niet homogeen verdeeld over de beschikbare ruimte en je kunt dus niet spreken over de concentratie van deze stof. De andere stoffen zijn gassen en die zijn daardoor wel homogeen verdeeld over de beschikbare ruimte. Zij komen dus wel voor in de concentratiebreuk. Ook vloeistoffen komen om dezelfde reden als vaste stoffen niet terug in de concentratiebreuk.



7.37 Jood verdeelt zich over de wasbenzine (bovenste laag) en het water (onderste laag).

Oplosevenwicht en verdelingsevenwicht

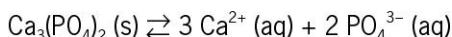
Je hebt al eerder kennisgemaakt met twee heterogene evenwichten: het verdelingsevenwicht en het oplosevenwicht. In paragraaf 3.4 van hoofdstuk 3 is het oplossen van jood in de twee niet-mengbare oplosmiddelen water en wasbenzine (wb) besproken. De stof jood lost in allebei de oplosmiddelen op en verdeelt zich over de twee oplosmiddelen volgens een vaste verhouding, zie figuur 7.37. Dit is geen chemisch evenwicht omdat er geen chemische reactie verloopt. Maar er ontstaat wel een dynamisch evenwicht, **verdelings-evenwicht** genoemd.



Voor dit verdelingsevenwicht kun je een evenwichtsvoorwaarde opstellen. De evenwichtsconstante heet dan de verdelingsconstante K_v . De evenwichtsvoorwaarde wordt dan:

$$K_v = \frac{[I_2(wb)]}{[I_2(aq)]}$$

In paragraaf 5.1 van hoofdstuk 5 heb je naar een **oplosevenwicht** gekeken van een slecht oplosbaar zout. Als je bijvoorbeeld een hoeveelheid calciumfosfaat in water doet, lost er heel weinig op. Er ontstaat een heterogeen evenwicht tussen de opgeloste ionen en de vaste stof op de bodem. Bij een oplosevenwicht heet de evenwichtsconstante K_s . Voor de reactie:



is de evenwichtsvoorwaarde $K_s = [Ca^{2+}]^3 [PO_4^{3-}]^2$.

Samenvatting

- Bij een chemisch evenwicht hebben twee tegengesteld lopende reacties dezelfde snelheid. De tijd tussen het begin van de reactie en het intreden van de evenwichtstoestand noem je de insteltijd.
- Evenwichten zijn homogeen als alle stoffen zich in dezelfde fase bevinden en heterogeen als de stoffen zich in verschillende fasen bevinden.
- Voor elke evenwichtsreactie kun je een concentratiebreuk opstellen. In de evenwichtstoestand is de waarde van de concentratiebreuk constant, deze waarde heet de evenwichtsconstante K .
- De waarde van de evenwichtsconstante is alleen afhankelijk van de temperatuur.
- Vaste stoffen en vloeistoffen komen niet terug in de concentratiebreuk van een heterogeen evenwicht.
- Verdelingsevenwichten en oplosevenwichten zijn heterogene evenwichten.

Opdrachten

A 29

Leg uit wanneer er sprake is van een chemisch evenwicht.

B 30 

Als je bij kamertemperatuur een buis vult met het bruine stikstofdioxide wordt de kleur na enige tijd lichter.

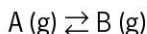
- a Leg uit wat er in de buis gebeurt.
- b Geef de reactievergelijking van deze evenwichtsreactie.
- c Noteer de evenwichtsvoorwaarde van deze reactie.
- d Leg uit of de kleur hetzelfde blijft als je de buis in warm water van 100 °C zet.

B 31

- a Leg uit wat het verschil is tussen een homogeen evenwicht en een heterogeen evenwicht.
- b Leg uit of het verdelingsevenwicht dat ontstaat als jood zich verdeelt over de niet-mengbare vloeistoffen water en wasbenzine een chemisch evenwicht is.
- c Geef een voorbeeld van een heterogeen evenwicht.

B 32

In een vat van 10 dm³ breng je 1,00 mol A. Na enige tijd bevindt zich in het vat een evenwichtsmengsel met daarin 0,20 mol A. De evenwichtsreactie is:



- a Schets in een diagram het verloop van [A] en [B] en geef hierin ook de insteltijd van het evenwicht aan.
- b Schets in een tweede diagram het verloop van de beide reactiesnelheden.

B 33

Noteer de evenwichtsvoorwaarde voor de onderstaande evenwichtsreacties.

- a $2 \text{SO}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightleftharpoons 2 \text{SO}_3(g)$
- b $\text{Co}(s) + \text{Ni}^{2+}(aq) \rightleftharpoons \text{Co}^{2+}(aq) + \text{Ni}(s)$
- c $\text{N}_2(g) + 3 \text{H}_2(g) \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3(g)$
- d $\text{Ag}^+(aq) + 2 \text{NH}_3(aq) \rightleftharpoons \text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+(aq)$
- e $2 \text{Fe}^{3+}(aq) + \text{Sn}^{2+}(aq) \rightleftharpoons 2 \text{Fe}^{2+}(aq) + \text{Sn}^{4+}(aq)$
- f $\text{PbI}_2(s) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(aq) + 2 \text{I}^-(aq)$

B 34

Bij zeer hoge temperatuur zijn stikstof en zuurstof in evenwicht met stikstofmono-oxide.

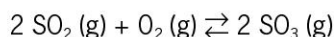
- a Geef de reactievergelijking voor dit evenwicht.

Je kunt de insteltijd van het evenwicht bekorten door het gasmengsel tijdens het verhitten samen te persen.

- b Leg met het botsende-deeltjesmodel uit waarom door samenpersen de insteltijd korter wordt.
- c Beschrijf nog een andere manier om de insteltijd van dit evenwicht te bekorten.

B 35

Bij 900 K is de waarde van de evenwichtsconstante van de onderstaande reactie gelijk aan 13.

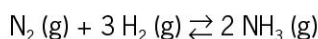


Voorspel in welke richting de reactie zal verlopen naar de evenwichtstoestand, vanuit de twee volgende omstandigheden.

- a $[\text{SO}_2] = 0,20 \text{ mol L}^{-1}$
 $[\text{O}_2] = 0,20 \text{ mol L}^{-1}$
 $[\text{SO}_3] = 0,20 \text{ mol L}^{-1}$
- b $[\text{SO}_2] = 0,10 \text{ mol L}^{-1}$
 $[\text{O}_2] = 0,20 \text{ mol L}^{-1}$
 $[\text{SO}_3] = 0,20 \text{ mol L}^{-1}$

B 36 

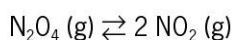
Je brengt bij een bepaalde temperatuur in een vat evenveel mol H₂ als N₂. Het volgende evenwicht stelt zich in:



- a Leg uit of de concentratie van NH₃ in het evenwichtsmengsel groter of kleiner zal zijn dan die van H₂. Of kun je daar geen uitspraak over doen?
- b Leg uit of de N₂-concentratie in het mengsel groter of kleiner zal zijn dan de H₂-concentratie.

B 37

Bij een bepaalde temperatuur is de waarde van de evenwichtsconstante van de onderstaande evenwichtsreactie gelijk aan 2,0.

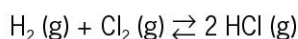


Je doet bij deze temperatuur 0,40 mol N₂O₄ in een vat van 1,0 dm³. Na korte tijd is nog maar 0,20 mol N₂O₄ aanwezig.

- a Ga door berekening na of het evenwicht zich dan heeft ingesteld.
- b Bereken de concentraties van N₂O₄ en NO₂ in het vat als het evenwicht zich heeft ingesteld.

B 38

In een reactievat van $2,0 \text{ dm}^3$ wordt $0,10 \text{ mol H}_2 \text{ (g)}$ en $0,10 \text{ mol Cl}_2 \text{ (g)}$ gebracht. Na enige tijd heeft zich het volgende evenwicht ingesteld:



In de evenwichtstoestand is 60% van de waterstof omgezet. Bereken de concentratie van elk van de drie stoffen in het evenwichtsmengsel.

C 39

Melkzuur is de grondstof voor polymelkzuur, een stof die in de chirurgie wordt gebruikt als hechtdraad en om pinnen en schroeven te maken voor het weer vastzetten van gebroken botten (figuur 7.38).

Melkzuur wordt geproduceerd door melkzurbacteriën, die in grote reactievaten glucose omzetten in melkzuur. Na filtratie van de inhoud van het reactievat blijft er een waterige oplossing over van melkzuur en een aantal andere stoffen. Om het melkzuur uit het filtratiemengsel te isoleren, wordt als oplosmiddel heptaan met trioctylamine toegevoegd. Een deel van het melkzuur lost daar in op.

- a** Leg uit van welke scheidingsmethode hier gebruik wordt gemaakt.

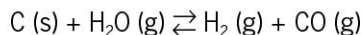
Er ontstaat een verdelingsevenwicht van melkzuur over de waterfase en de heptaan + trioctylamine-fase. Voor dit verdelingsevenwicht geldt de volgende formule:

$$K = \frac{[\text{melkzuur}]_{\text{heptaan-trioctylamine}}}{[\text{melkzuur}]_{\text{water}}}$$

- b** Hoe noem je K in dit melkzuurevenwicht?
c Als de waarde van $K = 0,6$, welk gedeelte van het melkzuur zit dan nog in de waterlaag?
d Wat zou je moeten doen om zo veel mogelijk melkzuur uit de waterige oplossing te halen?

C 40 ★

Synthesegas is een mengsel van CO (g) en $\text{H}_2 \text{ (g)}$, dat uit biomassa geproduceerd kan worden. Het is een duurzame brandstof voor het opwekken van elektriciteit. Het omzetten van biomassa tot synthesegas kun je als volgt versimpeld weergeven:



Bij $T = 1000 \text{ K}$ geldt $K = 0,30$ voor dit evenwicht.

- a** Bereken de concentraties van alle stoffen bij evenwicht wanneer je $1,0 \text{ mol H}_2\text{O (g)}$ en een overmaat biomassa in de reactor leidt. Ga ervan uit dat het volume van het vat $1,0 \text{ dm}^3$ is.
b Bepaal het rendement. Neem aan dat de beginstoffen zuiver zijn en dat er geen andere reacties optreden.
c De atomeconomie van deze productie is niet 100%, al zou je dat op basis van de reactievergelijking wel verwachten. Leg uit waarom niet.

Experiment

7.8 Evenwicht $\text{N}_2\text{O}_4 / \text{NO}_2$

Is de reactie waarbij N_2O_4 reageert tot NO_2 omkeerbaar?

- Volledige instructie Chemie Overal online



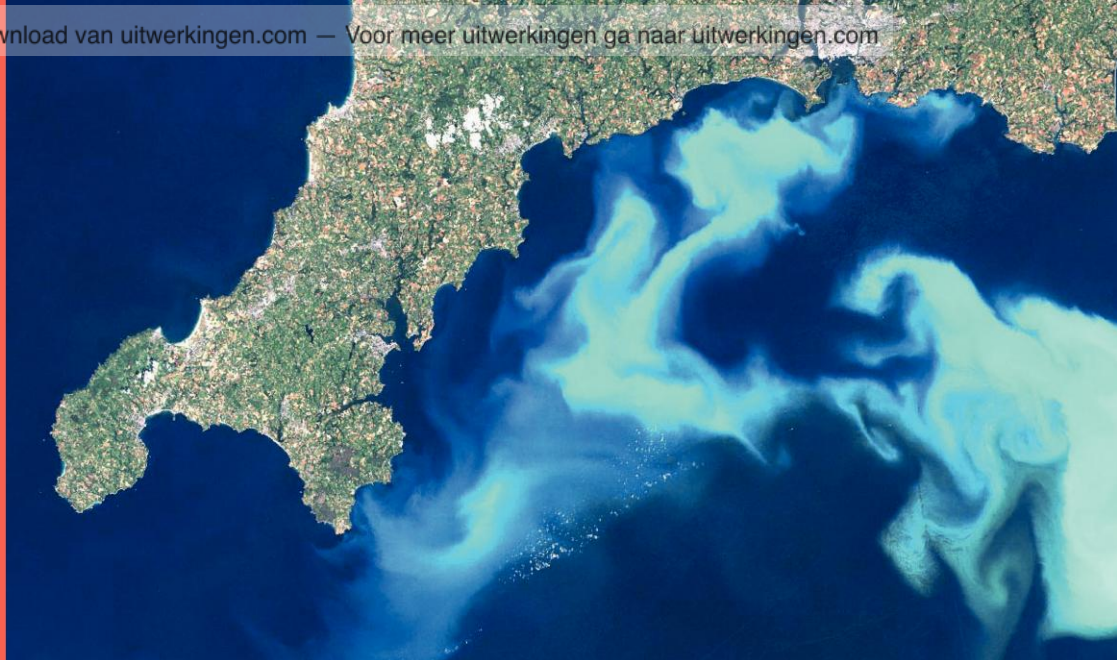
7.38 Polymelkzuur is ook een veelgebruikt bioplastic voor 3D-printers.

Je kunt nu

- uitleggen wat wordt verstaan onder evenwichtsreacties;
- de begrippen insteltijd en homogeen en heterogeen evenwicht toelichten;
- voor een gegeven evenwichtsreactie de concentratiebreuk en de evenwichtswaarde opstellen;
- berekeningen aan een evenwicht uitvoeren met behulp van een overzichtstabel;
- uitleggen wat een verdelingsevenwicht en een oplosevenwicht is.

Microalgen

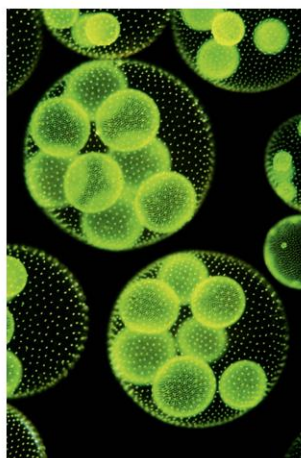
Hoe breng je het gehalte CO_2 in de atmosfeer weer omlaag? Microalgen kunnen daarbij helpen. CO_2 lost vanuit de atmosfeer op in zeewater, maar er ontstaat een evenwicht tussen het opgeloste CO_2 en het CO_2 in de atmosfeer. De microalgen, waarvan de bloei zelfs vanuit de ruimte is te zien, gebruiken grote hoeveelheden CO_2 tijdens hun leven. Hierdoor kan er meer CO_2 oplossen in de oceanen.

**Je leert**

- welke factoren invloed hebben op het verloop van een evenwichtsreactie.

7.5 Evenwichten beïnvloeden

● Experiment 7.9



7.39 Sterk vergroot beeld van microalgen

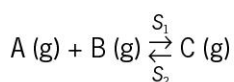
Verschuiving van een chemisch evenwicht

De microalgen uit het openingsbeeld zijn een voorbeeld van het beïnvloeden van evenwichten. Ze zetten het koolstofdioxide in water om in waterstofcarbonaationen, HCO_3^- . De concentratie CO_2 in het water neemt daardoor af, waardoor er een verschuiving van het evenwicht plaatsvindt. Zolang de algen de CO_2 -moleculen om blijven zetten, blijft er meer en meer CO_2 oplossen (figuur 7.39).

Omdat niet alle beginstoffen worden omgezet in reactieproducten, zijn evenwichtsreacties vanuit een duurzaamheidsoogpunt ongunstig. Om een hoger rendement te krijgen, worden bij evenwichtsprocessen in de chemie de reactieomstandigheden zo aangepast, dat evenwichtsreacties toch zo veel mogelijk reactieproduct leveren.

Invloed van de concentratieverandering

Welke invloed heeft een concentratieverandering van één van de stoffen bij gelijkblijvende temperatuur op de ligging van een evenwicht? Stel je hebt het evenwicht:

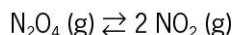


Als je meer stof B toevoegt, neemt $[\text{B}]$ toe. Daardoor wordt de reactiesnelheid naar rechts groter dan die naar links. Het evenwicht is verstoord. De concentraties van A en B nemen af en die van C neemt toe. Deze veranderingen zorgen ervoor dat de reactiesnelheid naar links weer toeneemt tot beide snelheden gelijk zijn en er een nieuw evenwicht is ontstaan. In dit nieuwe evenwicht is de concentratie van stof C groter dan eerst.

Op dezelfde manier kun je beredeneren dat de reactie naar links (tijdelijk) de overhand krijgt als je stof B wegneemt: 'het evenwicht verschuift naar links'. Denk eraan dat de termen 'links' en 'rechts' alléén betekenis hebben als de reactievergelijking is gegeven. In figuur 7.40 zijn deze effecten in een diagram weergegeven.

Invloed van de volumeverandering

Wat gebeurt er met de evenwichtsligging als je bij gelijkblijvende temperatuur het volume verandert? We bespreken dit effect aan de hand van het $\text{N}_2\text{O}_4 / \text{NO}_2$ -evenwicht:



De evenwichtsvoorwaarde bij dit evenwicht is: $K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$

Stel dat dit evenwicht zich heeft ingesteld in een vat van $1,0 \text{ dm}^3$ met een beweegbare zuiger (figuur 7.41). Als je het volume verdubbelt, worden $[\text{N}_2\text{O}_4]$ en $[\text{NO}_2]$ gehalveerd. De waarde van de concentratiebreuk is nu ingrijpend gewijzigd door de volumeverandering. De teller is $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ maal zo groot, en de noemer $\frac{1}{2}$ maal zo groot geworden. De waarde van de concentratiebreuk (het quotiënt) is dus gehalveerd en is daardoor niet meer gelijk aan K . Het evenwicht is verstoord. Er is pas weer evenwicht als de concentratiebreuk zijn oorspronkelijke waarde krijgt. De teller moet groter worden en de noemer kleiner, het evenwicht verschuift dus naar rechts, er ontstaat meer NO_2 . Volumevergroting doet dit gasevenwicht dus naar *rechts* verschuiven, de kant met de meeste gasdeeltjes. Bij volumeverkleining zal dit evenwicht naar *links* verschuiven.

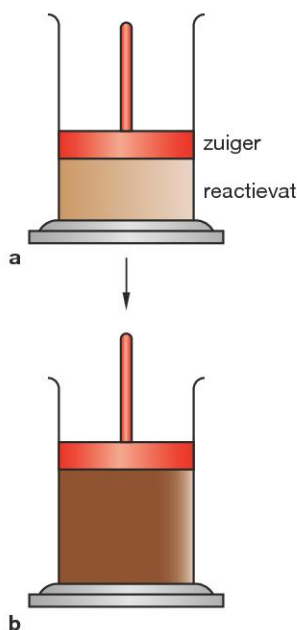
Deze redenering kun je op elk evenwicht toepassen, niet alleen op gasevenwichten, maar ook op evenwichten waarbij opgeloste deeltjes zijn betrokken. Dan kun je het volume vergroten door extra oplosmiddel toe te voegen (verdunnen).

Invloed van een katalysator

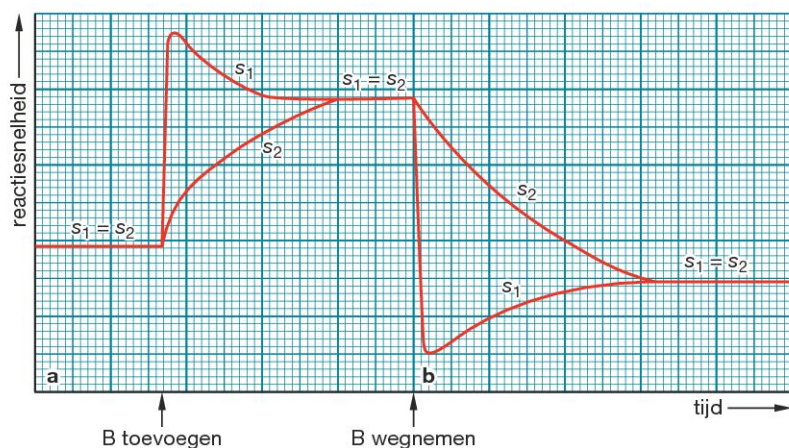
Voeg je een katalysator toe aan een reactiemengsel in evenwicht, dan neemt de snelheid van beide reacties toe, maar nu evenveel. De ligging van het evenwicht zal daarom niet veranderen en de samenstelling van het evenwichtsmengsel blijft hetzelfde. Het voordeel van een katalysator is dat de insteltijd van het evenwicht kleiner wordt, zie figuur 7.42.

Invloed van de temperatuur

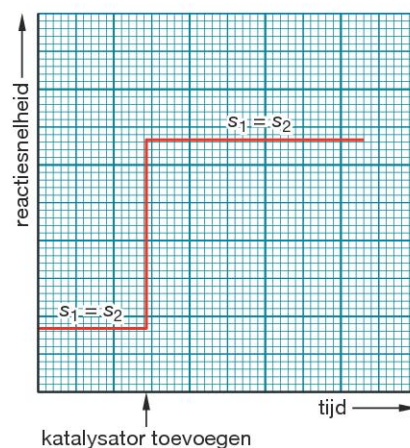
De waarde van K is afhankelijk van de temperatuur, bij verhoging of verlaging van de temperatuur krijgt K een andere waarde. Een mengsel van N_2O_4 en NO_2 in evenwicht heeft bij ongeveer 0°C een lichtbruine kleur.



7.41 De zuiger in reactievat a wordt omhooggetrokken, het evenwicht verschuift. Er ontstaat meer donkerbruin NO_2 .



7.40a Na toename van $[\text{B}]$ geldt voor de snelheid van de reactie naar rechts tijdelijk $s_1 > s_2$. b Als $[\text{B}]$ afneemt, is de reactie naar links tijdelijk sneller ($s_2 > s_1$).



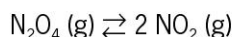
7.42 Een katalysator verhoogt de snelheid van beide reacties evenveel.

Je hebt in experiment 7.8 gezien dat het mengsel donkerder bruin kleurde toen je het verwarmde.

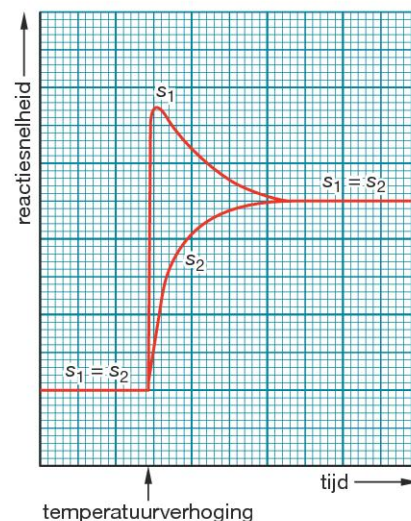
Tijdens het verwarmen wordt er dus meer (kleurloos) N_2O_4 omgezet in (bruin) NO_2 dan er wordt terug gevormd. Bij temperatuurverhoging neemt de snelheid van beide reacties toe, maar kennelijk neemt de snelheid van de ene reactie sterker toe dan die van de andere. In figuur 7.43 is dit in een diagram weergegeven.

De twee reacties van een evenwicht zijn in hun warmte-effect elkaars tegengestelde. Is de ene reactie exotherm, dan is de andere in dezelfde mate endotherm.

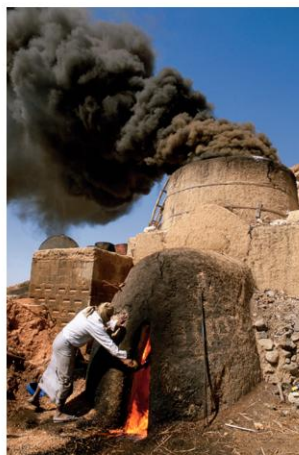
Het evenwicht:



verschuift naar rechts, als er wordt verwarmd. De endotherme reactie is tijdelijk in het voordeel tot de concentratiebreuk gelijk is aan de nieuwe waarde van K . Bij afkoelen verschuift het evenwicht naar links en dan is de exotherme reactie tijdelijk in het voordeel. Ook bij andere evenwichten blijkt de verschuiving bij temperatuurverhoging in de richting van de endotherme reactie te gaan.



7.43 Temperatuurverhoging vergroot de snelheid van beide reacties, maar dan in andere mate.



7.44 Een voorbeeld van een evenwichtsreactie die eenvoudig aflopend gemaakt wordt is de productie van CaO uit CaCO_3 . Hierbij komt ook CO_2 vrij.

$\text{CaCO}_3 (\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO} (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g})$
Door de koepelvormige oven van boven open te laten ontwijkt het CO_2 .

Aflopen van een evenwicht

Bij het productieproces van stoffen is het optreden van evenwichtsreacties hinderlijk. De heengaande reactie levert het gewenste reactieproduct, maar de teruggaande reactie zet het product weer om in beginstoffen. Dat is op te lossen door het reactieproduct af te voeren. Het evenwicht zal dan zodanig verschuiven, dat meer beginstof wordt omgezet in het reactieproduct. In de praktijk betekent dit dat het evenwicht geheel verschuift naar de kant van de reactieproducten. Je noemt dat een **aflopend evenwicht**. Zo kun je de productie van CaO uit figuur 7.44 aflopend maken door het CO_2 af te voeren, waardoor het evenwicht afloopt naar de kant van het CaO .

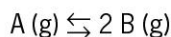
Samenvatting

- Als je stoffen toevoegt aan een evenwicht, veranderen de reactiesnelheden in verschillende mate. Door het toevoegen van beginstoffen verschuift een evenwicht naar de kant van de reactieproducten en omgekeerd.
- De concentraties van de stoffen in evenwicht veranderen bij een volumeverandering. Bij volumeverkleining verschuift het evenwicht naar de kant met het minste aantal deeltjes en omgekeerd.
- Een katalysator heeft geen invloed op de ligging van een evenwicht, maar verkort wel de insteltijd.
- Bij een temperatuurverandering verandert de waarde van K . Bij een temperatuurverhoging verschuift het evenwicht naar de endotherme kant en omgekeerd.
- Als bij een chemisch evenwicht voortdurend één van de stoffen aan het reactiemengsel wordt onttrokken, loopt het evenwicht af naar de kant waar die stof staat.

Opdrachten

A 41 

Bekijk het onderstaande evenwicht. De reactie naar rechts is exotherm.

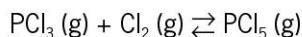


Naar welke kant verschuift dit evenwicht als je:

- a** stof A toevoegt;
- b** stof A wegneemt;
- c** het volume verkleint;
- d** een katalysator toevoegt;
- e** de temperatuur verlaagt?

B 42

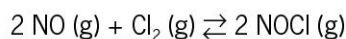
Met onderstaand evenwicht voer je een vijftal experimenten uit.



- 1 toevoegen van $PCl_3(g)$
 - 2 verwijderen van $Cl_2(g)$
 - 3 verwarmen van het mengsel (gegeven: de reactie naar rechts is exotherm)
 - 4 verkleinen van het volume van het reactievat
 - 5 toevoegen van heliumgas bij constant volume
- a** Beredeneer voor elk van de vijf experimenten wat de invloed zal zijn op de concentratie van PCl_5 .
 - b** Leg uit in welk(e) van de vijf gevallen de waarde van de evenwichtsconstante zal veranderen.

B 43

Stikstofmono-oxide en chloor kunnen met elkaar reageren onder vorming van nitrosylchloride, NOCl. Het volgende evenwicht stelt zich in:



De reactie naar rechts is exotherm.

Je brengt 0,200 mol NO en 0,100 mol Cl_2 in een afgesloten ruimte met een volume van 1,0 dm³ en een temperatuur van 500 K. Als het evenwicht zich heeft ingesteld, blijkt 85% van het Cl_2 te zijn omgezet. Alle bij het evenwicht betrokken stoffen zijn gasvormig.

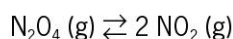
- a** Bereken de waarde van de evenwichtsconstante bij 500 K van het bovenstaande evenwicht.

Je herhaalt het bovenbeschreven experiment bij 750 K.

- b** Leg uit of in de evenwichtstoestand het percentage Cl_2 dat is omgezet 85% blijft of dat dit groter, dan wel kleiner wordt.
 - c** Leg uit naar welke kant het evenwicht verschuift als er NO wordt toegevoegd. Wat gebeurt er met de waarde van K?
- Bron: CE wvo 2004-I

B 44 

In experiment 7.8 heb je het onderstaande evenwicht gezien:

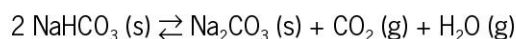


De reactie naar rechts is endotherm.

- a** Geef de evenwichtsvoorwaarde voor dit evenwicht.
- b** Beredeneer naar welke kant het evenwicht verschuift bij de onderstaande handelingen.
 - 1 toevoegen van extra N_2O_4
 - 2 verwijderen van NO_2
 - 3 verkleinen van het volume van het reactievat
 - 4 toevoegen van een katalysator
 - 5 verlagen van de temperatuur in het reactievat

B 45

Natriumwaterstofcarbonaat ontleeft bij hoge temperatuur volgens onderstaande evenwichtsreactie:

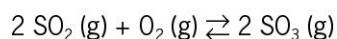


Je brengt een hoeveelheid natriumwaterstofcarbonaat in een luchtdig vat van 1,0 dm³ bij 125 °C. Bij 125 °C is de waarde van de evenwichtsconstante $2,4 \cdot 10^{-4}$. Er stelt zich een evenwicht in.

- a** Geef de evenwichtsvoorwaarde.
- b** Bereken de concentraties van CO_2 en H_2O in dit evenwichtsmengsel in mol L⁻¹.
- c** Hoe kun je het bovenstaande evenwicht geheel naar rechts laten aflopen?

B 46

Gegeven is het volgende evenwicht:



- a** Geef de evenwichtsvoorwaarde.
- b** Beredeneer aan de hand van Binas tabel 51 of het ontstaan van zwaveltrioxide uit zwaveldioxide en zuurstof een endotherme of een exotherme reactie is.

C 47

Planten halen voedingsstoffen als nitraten en fosfaten uit de bodem. Als de bodem te weinig voedingsstoffen bevat, kan het tekort worden aangevuld met kunstmest. Ammoniak is een van de grondstoffen van de grootschalige kunstmestproductie. Het wordt via het haber-boschproces gemaakt uit waterstof en stikstof uit de lucht. Dit is een evenwichtsreactie.

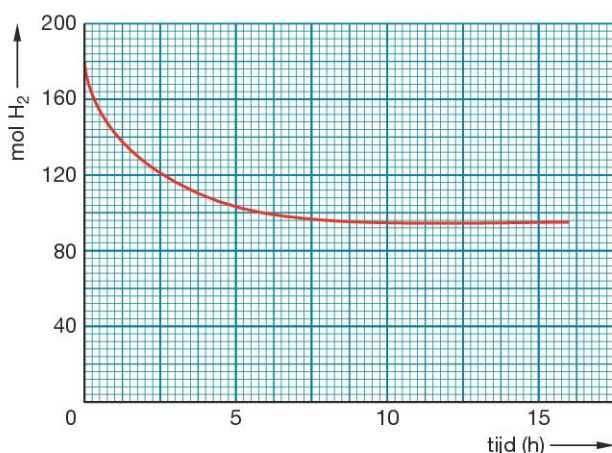
- Geef de reactievergelijking van de vorming van ammoniak uit de stoffen stikstof en waterstof.
- Bereken met behulp van Binas tabel 51 welke reactie in dit evenwicht de endotherme reactie is.

Hoewel de opbrengst aan ammoniak bij lage temperatuur hoger is, werkt men toch bij een temperatuur van 450 °C.

- Leg uit waarom het proces niet bij een lagere temperatuur wordt uitgevoerd.

Op het tijdstip $t = 0$ wordt in een reactorvat 75 mol stikstof gebracht en een hoeveelheid waterstof. Na enige tijd heeft het evenwicht zich ingesteld. Het verloop van de hoeveelheid waterstof is in figuur 7.45 weergegeven.

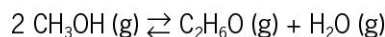
- Op welk tijdstip is er evenwicht bereikt?
- Bereken hoeveel stikstof er in de evenwichtstoestand nog in het reactorvat aanwezig is.
- Bereken hoeveel ammoniak er in het evenwichtsmengsel aanwezig is.
- Neem het diagram over in je schrift en teken hierin het verloop van de hoeveelheden stikstof en ammoniak.



7.45 Diagram van het verloop van de hoeveelheid waterstof.

C 48 ★

Biomethanol heeft als nadeel dat het veel minder energie bevat per volume-eenheid dan benzine (figuur 7.46). Een motor die volledig draait op biomethanol heeft daarom een veel hoger verbruik dan een motor die draait op benzine. Om dit op te lossen kun je benzine maken uit biomethanol. Onder hoge druk en temperatuur en in aanwezigheid van een geschikte katalysator wordt biomethanol omgezet in methoxymethaan en waterdamp. Hierbij treedt de volgende evenwichtsreactie op:



Als producent wil je de insteltijd van dit evenwicht zo kort mogelijk houden en tegelijkertijd een zo hoog mogelijk rendement behalen. Om dit te bereiken wordt het volume van de reactor verkleind.

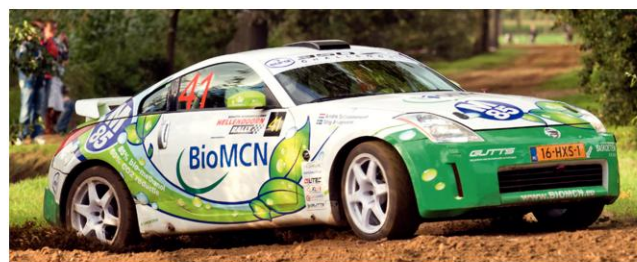
- Leg uit of de volumeverkleining invloed heeft op de insteltijd.
- Leg uit of de volumeverkleining invloed heeft op het rendement.
- De omzetting van biomethanol tot benzine strookt niet met één uitgangspunt van de groene chemie. Leg uit welk uitgangspunt dit is en waarom.

Experiment

7.9 Verschuiven evenwicht FeCl_3 / FeSCN -reactie

Je onderzoekt de factoren die invloed hebben op de ligging van een evenwicht.

- Volledige instructie Chemie Overal online



7.46 Biomethanol zorgt voor minder CO_2 -uitstoot.

Je kunt nu

- uitleggen hoe een evenwicht verschuift bij concentratieverandering;
- uitleggen hoe een evenwicht verschuift bij volumeverandering;
- uitleggen wat de invloed van een katalysator op het evenwicht is;
- uitleggen wat de invloed van een temperatuurverandering op het evenwicht is;
- uitleggen hoe een evenwicht aflopend kan worden gemaakt.

Afsluiting

Oefenopdrachten

1 Algen

Lees de onderstaande tekst goed door en beantwoord daarna de bijbehorende vragen.



7.47 Een van de problemen bij het opschalen van de productie van biobrandstoffen uit algen is het omlaagbrengen van de productiekosten. Bioreactoren van grote plastic zakken is een van de mogelijkheden die worden onderzocht.

Biobrandstof van algen

Inventure Chemical, een productiebedrijf in Washington, heeft bijna twee miljoen dollar aan financiering binnengehaald om een proeffabriek te bouwen voor zijn systeem om van algen biobrandstof te maken. De technologie die het bedrijf gebruikt is volgens directeur Mark Tegen relatief simpel, maar details wil het bedrijf nog niet geven. Volgens Tegen kan zijn systeem in de proeffabriek rond de 500 liter biobrandstof per dag produceren. De daadwerkelijke productie is afhankelijk van de hoeveelheid algen die het bedrijf kan krijgen.

Inventure is in staat verschillende soorten algen met bijvoorbeeld verschillen in vetgehalte en grootte te gebruiken in zijn proces. Het vet wordt omgezet in biodiesel en de rest van de algen (zetmeel en cellulose) wordt afgebroken tot suikers en omgezet in ethanol. Volgens Tegen kan biobrandstof uit algen binnen tien jaar concurreren met olie, en dit zonder subsidies. De algen kunnen ook worden gebruikt om andere afvalstromen te verwerken, zoals afvalwater van een melkfabriek of waterzuiveringsbedrijf.

Bron: www.twanetwerk.nl

- a Teken de koolstofkringloop van bovenstaand proces.
- b Wat kun je in maximaal tien regels (honderd woorden) zeggen over de duurzaamheid van deze kringloop? Motiveer je antwoord.

De molecuulformule van biodiesel is $C_{19}H_{36}O_2$. Biodiesel wordt gemaakt door omestering van olie met methanol.

- c Leg uit wat omestering van een olie is.
- d Leg uit welk vetzuur onderdeel is van deze biodiesel.
- e Geef de reactievergelijking van de volledige verbranding van biodiesel.
- f Geef de reactievergelijking van de omzetting van glucose in bio-ethanol.

- 2 Bij de verbranding van benzine wordt onder andere koolstofdioxide gevormd. Om van Maastricht naar Groningen te rijden, wordt door een bepaalde auto 26 liter benzine verbrand.

- a Geef de vergelijking van de volledige verbranding van benzine. Gebruik als formule voor benzine C_7H_{12} .
- b Bereken hoeveel kg koolstofdioxide ontstaat bij de volledige verbranding van 26 liter benzine. Gebruik Binas tabel 11.
- c Geef de naam van het milieuprobleem dat het gevolg is van de toename van de concentratie van koolstofdioxide in de atmosfeer.

Het Europees Parlement heeft als richtlijn aangenomen dat vanaf 2010 benzine een bepaald percentage biobrandstof (ethanol, C_2H_6O) moet bevatten. Voor de benzine die in Nederland wordt verbruikt, zou dan jaarlijks ongeveer $2,3 \cdot 10^8$ kg ethanol uit bijvoorbeeld suiker (sacharose) moeten worden geproduceerd. Akkerland waarop suikerbieten worden verbouwd, levert per jaar gemiddeld $1,1 \cdot 10^4$ kg suiker per hectare op.

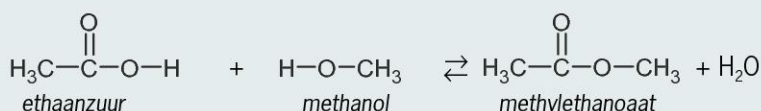
- d** Bereken op hoeveel hectare akkerland suikerbieten moeten worden verbouwd voor de jaarlijkse productie van $2,3 \cdot 10^8$ kg ethanol. Gebruik in je berekening de volgende gegevens:
- per mol suiker ontstaat vier mol ethanol;
 - alle suiker wordt omgezet tot ethanol;
 - de massa van een mol sacharose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) bedraagt 342,3 g.

Naar: CE havo 2006-II

- 3** Methylethanoaat is in gebruik als oplosmiddel en als basis voor lakken (figuur 7.48). De productie van methylethanoaat ($C_3H_6O_2$) gebeurt door estervorming uit methanol en ethaanzuur. Als katalysator wordt zwavelzuur toegepast. Deze estervorming is een evenwichtsreactie:



7.48 Methylethanoaat is zowel als oplosmiddel en als basis te gebruiken in verven.



- a** Geef de reactievergelijking in molecuulformules.
b Leg uit wat de invloed van zwavelzuur is op het evenwicht.

In een vat van $1,0 \text{ dm}^3$ wordt $0,40 \text{ mol}$ ethaanzuur en $0,60 \text{ mol}$ methanol gedaan. Na het opstarten van de reactie wordt er evenwicht bereikt bij een temperatuur van 400 K . Bij evenwicht heeft 65% van het ethaanzuur gereageerd.

- c** Geef de evenwichtsvoorwaarde voor dit evenwicht. Gebruik molecuulformules.
d Bereken de waarde van de evenwichtsconstante bij 400 K .
e Bereken hoeveel gram methylethanoaat in het reactiemengsel aanwezig is.

In de jaren tachtig van de vorige eeuw is er een chemisch technologisch proces ontwikkeld, waarin een reactor en een destillatietoren worden gecombineerd. Dit proces heet 'reactieve destillatie'. Door tijdens de reactie het reactiemengsel te verwarmen, verdampt methylethanoaat uit het reactiemengsel.

- f** Leg uit wat de invloed is op de ligging van het evenwicht wanneer methylethanoaat uit het reactiemengsel verdampt.



thiofeen

- 4** In autobenzine komen altijd zwavelverbindingen voor. Bij de verbranding van benzine ontstaat daardoor het schadelijke zwaveldioxide. De zwavelverbinding die het meest voorkomt in autobenzine, is thiofeen (kookpunt 84°C). De structuurformule van thiofeen is hiernaast weergegeven.

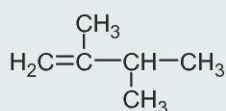
In deze structuurformule zijn de koolstofatomen, de waterstofatomen en de bindingen tussen koolstofatomen en waterstofatomen niet getekend.

- a** Geef de molecuulformule van thiofeen.
b Geef de vergelijking van de volledige verbranding van thiofeen. Gebruik daarbij molecuulformules.

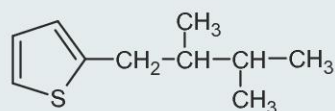
In verschillende landen worden de normen voor het zwavelgehalte in autobenzine aangescherpt. In 2000 bevatten de meeste benzinesoorten nog enkele honderden ppm zwavel. $1 \text{ ppm zwavel} = 1 \text{ mg zwavel per kg benzine}$. In 2005 is dit in de landen van de Europese Unie verlaagd naar maximaal 50 ppm .

Een proces om het zwavelgehalte sterk te verminderen is OATS (Olefinic Alkylation of Thiophenic Sulfur). Onder bepaalde omstandigheden kan thiofeen reageren met alkenen die in de benzinefractie aanwezig zijn.

Bij deze reactie van thiofeen met stof A ontstaat onder andere stof B:



stof A



stof B

Het kookpunt van stof B is hoger dan 180 °C. Daardoor kan stof B gemakkelijk worden verwijderd uit het mengsel.

- c Noem het type binding dat bij het kookpunt wordt verbroken.
- d Geef de naam van de scheidingsmethode die wordt gebruikt om stof B uit het mengsel te verwijderen.

In Nederland wordt per jaar ongeveer $5,1 \cdot 10^9$ liter benzine verbrand. De dichtheid van benzine is $0,72 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$. Wanneer deze benzine een zwavelgehalte heeft van 250 ppm, wordt per jaar via de benzine $9,2 \cdot 10^5 \text{ kg}$ zwavel verbrand. Door een verlaging van het zwavelgehalte van 250 ppm naar 50 ppm zal er veel minder zwaveldioxide ontstaan.

- e Laat door berekening zien dat per jaar in Nederland via de benzine $9,2 \cdot 10^5 \text{ kg}$ zwavel wordt verbrand bij gebruik van benzine met een zwavelgehalte van 250 ppm.
- f Bereken hoeveel kg zwaveldioxide er per jaar minder ontstaat als het zwavelgehalte van benzine 50 ppm is in plaats van 250 ppm.

Naar: CE havo 2003-II

5 Lees de onderstaande tekst.



7.49 Systeem van een gesloten kas voor tomatenteelt

Duurzame ontwikkeling

Tot voor kort gebruikte de glastuinbouw veel energie, onder andere voor het verwarmen van de kassen. Een van de manieren waarop de glastuinbouw het energieverbruik vermindert, is met warmtekrachtkoppeling (wkk). Dat zijn kleine installaties die elektriciteit opwekken door het verbranden van aardgas, waarbij de afvalwarmte wordt gebruikt om de kassen te verwarmen. Het teveel aan opgewekte elektriciteit leveren de tuinders weer aan het elektriciteitsnet.

Ook de introductie van de gesloten kas levert energiebesparing op. Als het 's zomers warm is, moeten de ramen van de kassen open om de temperatuur niet te hoog te laten worden. Maar dat betekent ook ongewenste insecten en verlies van warmte, waterdamp en CO_2 (nodig voor de groei).

Als je de kas gesloten wilt houden, moet je de overvloedige warmte van de zomer kunnen afvoeren. Dit kan door in de zomer water te laten verwarmen door warme ventilatielucht en dat op te slaan in ondergrondse waterhoudende zandlagen, aquifers. In de winter wordt dat water opgepompt en verwarmt het de kas. Met die maatregelen bespaart de glastuinbouw 30 tot 40% aan energie.

- a De wkk-installaties gebruiken nu aardgas. Leg uit welke duurzame energiebron je ook in de tuinbouw zou kunnen gebruiken.

De gesloten kas kan voor grote energiebesparingen zorgen. Maar er zijn ook andere voordelen.

b Leg uit wat de voordelen zijn in een gesloten kas met betrekking tot insecten.

c Leg uit welke andere besparingen in een gesloten kas mogelijk zijn.

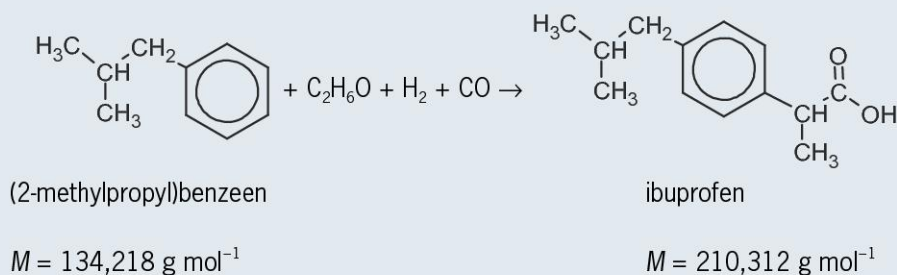
d Leg uit waarom CO₂ nodig is voor de groei.

e Leg uit hoe tuinders het CO₂-gehalte in de kas verhogen.

Het CO₂-gehalte in de kas wordt op 1000 volume-ppm gehouden, ongeveer drie keer de normale hoeveelheid. $V_m = 24,5 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$. 1 volume-ppm = 1,00 cm³ CO₂ per m³ lucht.

f Bereken hoeveel gram CO₂ per m³ overeenkomt met 1000 volume-ppm.

6 De productie van ibuprofen vindt plaats in drie stappen, met als nettoreactie:



Voor elke 1,00 kg ibuprofen die geproduceerd wordt is 0,78 kg (2-methylpropyl)benzeen nodig.

a Bereken het rendement van dit proces.

b Bepaal de atomeconomie van dit proces.

c Hoe 'groen' is dit proces volgens jou op basis van het rendement en de atomeconomie?

Keuzeopdrachten

Hieronder staat een korte beschrijving van drie keuzeopdrachten. Op de site staat meer informatie. In overleg met je docent kun je één of meer van deze keuzeopdrachten uitvoeren.

1 Een nieuwe auto

Je vader wil een nieuwe auto. Jij onderzoekt verschillende verbrandingsmotoren en betreft hierbij aspecten als kosten, vermogen, milieu-impact, duurzaamheid van de gebruikte materialen, gebruik van biobrandstoffen, tweedehandswaarde.

2 Een meevaller in de begroting

De regering heeft een meevaller van een miljard euro. Dit geld wordt geïnvesteerd in de ontwikkeling van duurzame energiebronnen. Zoek informatie over duurzame energiebronnen. Schrijf een aanbeveling waarin je duidelijk maakt welke duurzame projecten het best gesubsidieerd kunnen worden.

3 Biobrandstoffen

Het Ierse bedrijf Celtic Renewables produceert biobutanol uit het afval van whiskystokerijen. In deze opdracht zoek je uit hoe dat proces verloopt en wat de voordelen van biobutanol zijn als biobrandstof.

Overzicht begrippen

Aflopend evenwicht	Wanneer je de reactieproducten van een evenwichtsreactie constant afvoert, dwing je het evenwicht naar de kant van de reactieproducten te verlopen. Er ontstaat dan een aflopend evenwicht.
Atoomeconomie	De atomeconomie geeft aan welk percentage van alle atomen van de beginstoffen terugkomt in het gewenste reactieproduct.
Biobrandstoffen	Biobrandstoffen worden gemaakt uit biomassa , materiaal van organische oorsprong. Voorbeelden van biobrandstoffen zijn bio-ethanol , biodiesel en biogas . Je kunt bij de biobrandstoffen drie generaties onderscheiden: de eerste generatie biobrandstoffen worden geproduceerd uit voedselgewassen, de tweede generatie uit niet-voedselgewassen en de derde generatie maakt geen gebruik van landbouwafval.
Blokschema	Een chemisch productieproces kun je weergeven in een blokschema. Met blokken geef je chemische reactoren aan waarin een reactie of scheiding plaatsvindt. Met pijlen geef je aan hoe de stofstromen lopen.
Chemisch evenwicht	Als bij een omkeerbare reactie zowel de heen- als de teruggaande reactie tegelijkertijd verloopt, heet dit een chemisch evenwicht. De tijd die het kost voordat de reacties even snel verlopen is de insteltijd van het evenwicht. Een evenwicht is homogeen als alle stoffen zich in dezelfde fase bevinden en heterogeen als ze zich in verschillende fasen bevinden.
Concentratiebreuk	Voor elk evenwicht kun je uit de reactievergelijking de concentratiebreuk afleiden. Als de reactie in evenwicht is, is de uitkomst van de concentratiebreuk gelijk aan de evenwichtsconstante (K). Je noemt dit de evenwichtsvoorwaarde .
Duurzaamheid	Duurzaamheid is voldoen aan de behoeften van het heden, zonder de behoeften in de toekomst in gevaar te brengen. Je kunt dit doen door duurzame grondstoffen te gebruiken of te recyclen .
Gefractioneerde destillatie	Aardolie wordt op basis van kooktrajecten gescheiden in verschillende fracties . Dit proces heet gefractioneerde destillatie . Na de scheiding wordt de naftafractie verder verwerkt door de koolstofketens in kortere ketens om te zetten in een proces dat kraken heet. De kleinere koolstofketens kun je tot de gewenste koolwaterstoffen vormen met reformen .
Groene chemie	De groene chemie is een filosofie die streeft naar een schonere chemische industrie. Om dit te bereiken zijn twaalf uitgangspunten geformuleerd die rekening houden met veiligheid, duurzaamheid en milieu.
Rendement	Het rendement geeft de verhouding aan tussen de praktische en de theoretische opbrengst van een product.

8 Zuren

Inhoud

- 8.1** De pH van een oplossing
Experimenten:
 - 8.1 De zuurgraad van oplossingen
 - 8.2 Druppelplaatexperiment
- 8.2** Zuren in water
Experimenten:
 - 8.3 Geleidingsvermogen van zure oplossingen
 - 8.4 Elektrolyse van zure oplossingen
 - 8.5 Geleidingsvermogen van verdunde oplossingen
- 8.3** Formules van zuren
- 8.4** pH-berekeningen
Experiment:
 - 8.6 Zwak of sterk?
- Afsluiting
- Overzicht begrippen



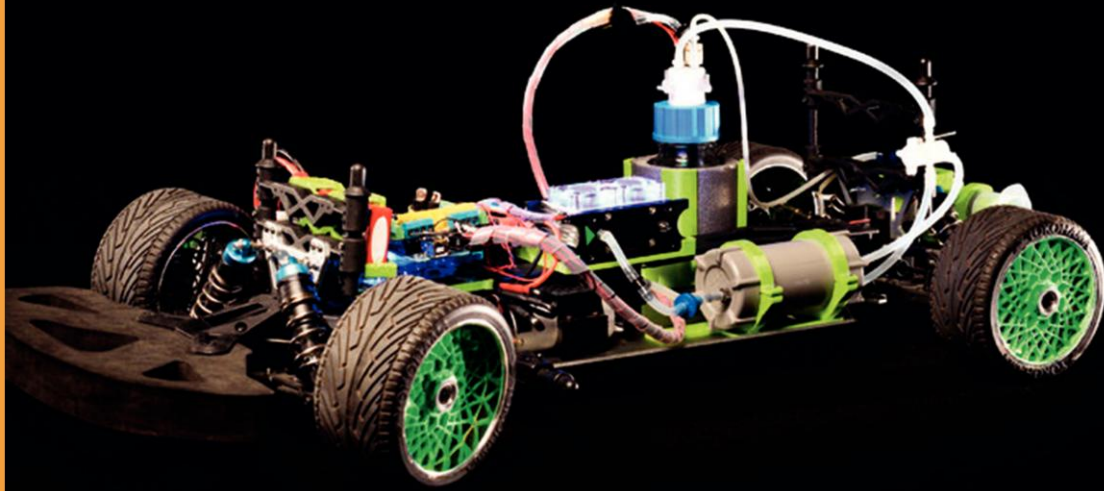


Melkzuur

Winnaar van de Giro d'Italia 2017, Tom Dumoulin, tijdens zijn laatste winnende tijdrit. Bij zo'n zware inspanning ontstaan in de spieren reactieproducten zoals melkzuur, die zorgen voor de pijnlijke 'verzuring' van je spieren.

Zuren

Zuren zijn verbindingen die in de natuur voorkomen, maar ook in de industrie worden gemaakt. In het schaalmodel van de auto hiernaast gebruikt de TU Eindhoven mierenzuur als brandstof. Dit is een klimaatvriendelijk alternatief voor fossiele brandstoffen.



Je leert

- wat de pH van een oplossing is;
- hoe je de pH van een oplossing kunt meten.

8.1 De pH van een oplossing



8.1 De kleuren van rodekoolsap bij verschillende pH-waarden

Zuur, basisch of neutraal

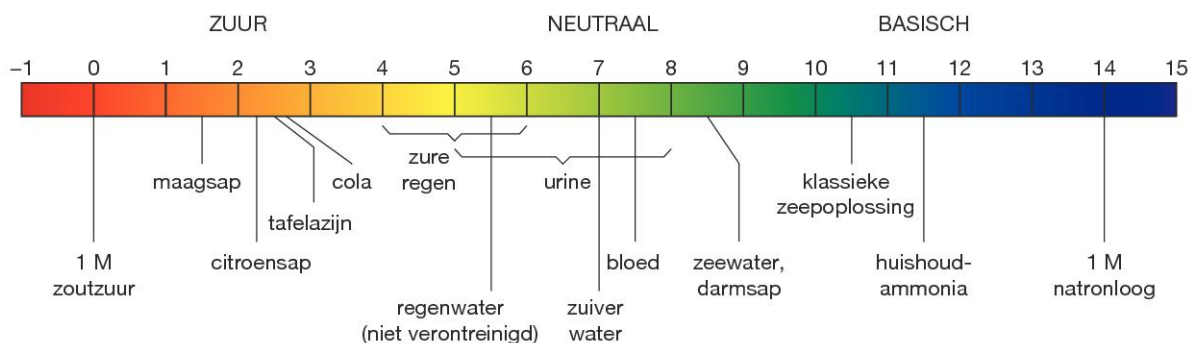
Smaak is een stoffeigenschap en één van de vijf bestaande smaken noem je zuur. Yoghurt, tafelazijn en citroensap smaken zuur, dat komt doordat deze producten zuren bevatten. Yoghurt bevat melkzuur, tafelazijn azijnzuur en citroenen bevatten citroenzuur. Als een oplossing een klein beetje zuur bevat, geeft dat een frisse smaak.

Een oplossing kan **zuur**, **basisch** of **neutraal** zijn. Om het verschil in **zuurgraad** in een getalwaarde te kunnen weergeven, gebruik je de pH. Als de pH lager is dan 7, is de oplossing zuur. Hoe lager de pH, hoe zuurder de oplossing. Als de pH hoger is dan 7, dan is de oplossing basisch. Hoe hoger de pH, hoe basischer de oplossing. Als de pH gelijk is aan 7, is de oplossing neutraal.

Als je wilt weten of een oplossing een zuur bevat, zou je de oplossing kunnen proeven. Maar in veel gevallen loop je daarbij het risico dat je je mond beschadigt of dat je zelfs wordt vergiftigd. Je kunt die oplossing dus beter op een andere manier onderzoeken. Je gebruikt daarvoor stoffen die in een zure oplossing een andere kleur hebben dan in een oplossing die niet zuur is. Deze stoffen zijn **indicatoren**, de kleurstof in rodekool is een voorbeeld van zo'n indicator. In veel recepten voor het bereiden van rodekool worden appels gebruikt. In appels zit de stof appelzuur en daardoor zorgen appels voor een verlaging van de pH en geven de rodekool een rode kleur. Als je rodekool hebt gegeten en je wast je bord af, dan wordt de rodekool groenblauw. De zeep zorgt voor een verhoging van de pH en een verandering van de kleur, zie figuur 8.1.

Vaak ligt de pH tussen de 0 en de 14, maar het is ook mogelijk om een oplossing te hebben met een pH onder de 0, bijvoorbeeld -1 . Deze oplossing is dan heel zuur. Ook kan een oplossing een pH van boven de 14 hebben.

In figuur 8.2 is een pH-schaal afgebeeld en daarbij is de zuurgraad van een aantal veelvoorkomende oplossingen aangegeven.



8.2 De pH-waarden van een aantal oplossingen bij kamertemperatuur

- Experiment 8.1
- Experiment 8.2

Indicatoren

Naast rodekoolsap zijn er nog meer zuur-base-indicatoren, zoals je hieronder ziet.

Lakmoes

Lakmoespapier is papier waarop de stof **lakmoes** is aangebracht. Het komt voor in twee kleuren: rood en blauw. De kleur van lakmoes hangt af van de zuurgraad. In een zure oplossing kleurt het blauwe lakmoespapier rood, in een basische oplossing kleurt het rode lakmoespapier blauw. In een neutrale oplossing behouden rood en blauw lakmoespapier hun oorspronkelijke kleur. Je kunt de pH met lakmoespapier niet nauwkeurig bepalen.

Universeel indicator

Om nauwkeuriger de pH van een oplossing te bepalen, gebruik je **universeel indicatorpapier**. Dat is papier waarop een mengsel van verschillende indicatoren is aangebracht, die afhankelijk van de pH-waarde samen een continu verlopende kleurenreeks vertonen. Deze kleuren met bijbehorende pH-waarden staan op het doosje afgebeeld.

Oplossingen

Er zijn ook oplossingen van kleurstoffen die bruikbaar zijn als indicator. Een overzicht van een aantal van deze stoffen vind je in Binas tabel 52A. Je ziet in die tabel dat een oplossing van de stof methylrood bij een $pH < 4,8$ rood kleurt en bij een $pH > 6,0$ geel kleurt. Het pH-gebied waarin de indicator van kleur verandert, noem je het **omslagtraject**. In dit geval loopt dit van pH 4,8 tot 6,0. In dit gebied geeft de indicator de oplossing een mengkleur. Bij methylrood kleurt de oplossing dan oranje, zie figuur 8.3.

Als je gebruikmaakt van meerdere indicatoroplossingen kun je vrij precies achterhalen wat de pH van een oplossing is.



8.3 Een oplossing van de indicator methylrood

Bekerglas 1: $pH < 4,8$

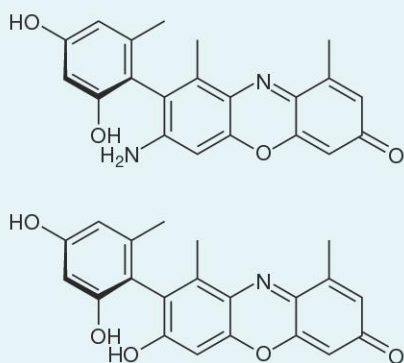
Bekerglas 2: $4,8 < pH < 6,0$

Bekerglas 3: $pH > 6,0$

Is dit contextkader lakmoesproef?

Een van de oudste indicatoren is lakmoes. Van lakmoes wordt een oplossing gemaakt en daar wordt papier in gedrenkt. Na drogen wordt het papier in twee kleine boekjes met afscheurbare velletjes verkocht, een blauw en een rood. Met blauw lakmoespapier toon je zure oplossingen aan en met rood lakmoespapier toon je basische oplossingen aan. Maar wat is dat lakmoes dan?

Lakmoes is een stof die uit korstmossen wordt gemaakt. Een van die korstmossen is *Roccella fuciformis*, waarvan je in figuur 8.4b een foto ziet. Vroeger werden de korstmossen fijngestampt en door de ontstane pap te laten gisten met menselijke urine en daarna uit te laten lekken werd het lakmoes verkregen. Tegenwoordig worden de korstmossen geëxtraheerd. Lakmoes, een stof die vroeger als verfstof werd gebruikt, is geen zuivere stof, maar een mengsel van wel vijftien verschillende kleurstoffen. Die stoffen lijken wat structuurformule betreft erg op elkaar. In figuur 8.4a zie je de structuurformule van twee van de vijftien stoffen staan.



8.4a De structuur van twee van de stoffen die deel uitmaken van lakmoes



8.4b Het korstmos *Roccella fuciformis* gevonden op Flores van de Azoren. Het groeit op een droge rotswand en is ongeveer 6 cm lang.

Nederland is heel lang het centrum geweest van de fabricage van lakmoes. In Noord-Holland en Utrecht stonden lakmoesfabrieken waar Schotse korstmossen werden gebruikt. De vierde Engelse oorlog (1780-1784) maakte een einde aan de aanvoer van Schots mos en dat was tevens het einde van de lakmoesbereiding in Nederland. De naam lakmoes komt uit het Middelnederlands en het Nederlandse woord werd dan ook in andere talen overgenomen. Zo heet het in het Duits en het Zweeds *lackmus*.

Het woord lakmoes kreeg als term 'lakmoesproef' nog een andere betekenis in de Nederlandse taal. Een lakmoesproef is een test die aangeeft of iets écht deugt. Als je twijfelt aan bijvoorbeeld de kwaliteit of het belang van iets. Als je denkt dat de informatie in dit kader niet helemaal juist is, kun je je afvragen 'Is dit contextkader wel lakmoesproef?'

Bron: Wikipedia en Onzetaal.nl

● Opdracht B6

Samenvatting

- Een indicator is een stof waarmee je kunt bepalen of een oplossing zuur of basisch is.
- Een oplossing is zuur bij een $\text{pH} < 7$, basisch bij een $\text{pH} > 7$ en neutraal bij $\text{pH} = 7$.
- De indicator lakmoes geeft alleen aan of een oplossing zuur of basisch is.
- Met universeel indicatorpapier kun je de pH-waarde van een oplossing vaststellen.
- In Binas tabel 52A zijn een aantal indicatoren te vinden met het bijbehorende omslagtraject.

Opdrachten

A 1

- a Op welke drie manieren kun je de pH van een oplossing bepalen?
- b Leg uit wat wordt verstaan onder het omslagtraject van een indicator. Zie Binas tabel 52A.

B 2

Natriumsulfiet wordt gebruikt als conserveringsmiddel voor fruit en vlees. Het zorgt er onder andere voor dat het vlees mooi rood blijft. Ook in wijn komt sulfiet voor om bacteriën te doden en om de gisting te stoppen. Jan onderzoekt een oplossing van natriumsulfiet. Hij gebruikt twee indicatoren. Hij verdeelt de natriumsulfietoplossing over twee reageerbuisen. Aan de ene reageerbuis voegt hij wat kresolrood toe. Aan de andere reageerbuis voegt hij wat thymolftaleïne toe.

Hij kijkt naar de kleuren van de oplossingen en vervolgens naar Binas tabel 52A. Uit zijn waarnemingen trekt Jan de conclusie dat de pH van de oplossing ongeveer 9 is.

- a Wat is de kleur van een natriumsulfietoplossing?
- b Leg uit wat de kleur is van de oplossing in de buis met kresolrood.
- c Welke kleur heeft de oplossing in de buis met thymolftaleïne?

B 3

Een leerling bepaalt de pH van een oplossing met behulp van twee zuur-base-indicatoren: broomthymolblauw en congorood. Als hij broomthymolblauw toevoegt, wordt de oplossing geel en met congorood wordt de kleur oranje-rood. Leg uit tussen welke grenzen de pH van de oplossing ligt.

B 4

- a Leg uit of de pH van een zure oplossing groter of kleiner wordt als je de oplossing verdunt met water.
- b Leg ook uit of de pH van een basische oplossing groter of kleiner wordt bij verdunning.
- c Aan 100 L water voeg je een druppeltje van een zure oplossing toe. Leg uit of de pH van het water zal veranderen.

B 5

Hortensia's zijn heel populaire bloemen in de tuin. De bloemen kunnen verschillende kleuren hebben, zie figuur 8.5. De kleur hangt af van de pH van de bodem. Als de pH

onder de 5 ligt, dan kleuren de bloemen blauw. Als de pH boven de 6,5 ligt, kleuren de bloemen rood.

In een kwekerij worden hortensia's in kuipen gekweekt. De kweker kan rode of blauwe bloemen aan de hortensia's krijgen door de zuurgraad van de grond in de kuip te regelen. De familie Verweij heeft bij de kwekerij een kuip met een hortensia met rode bloemen gekocht. Bij droog weer krijgt de hortensia water uit de regenton.

Na twee jaar geeft de hortensia geen rode bloemen meer. Vrijwel alle bloemen zijn blauw. De familie Verweij wil weer rode bloemen.

- a Leg uit of het water uit de regenton zuur of basisch is.

De kweker raadt aan om de hortensia geen regenwater meer te geven, maar een mengsel van calciumhydroxide en water. De bloemen worden na verloop van tijd weer rood.

- b Leg uit of het gegeven mengsel een zuur of een base is.



8.5 Een hortensia groeit blauw op bij een pH van 4,5.

B 6

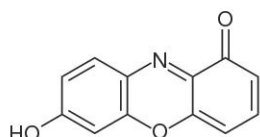
Lees de tekst in het kader 'Is dit contextkader lakmoesproef?' en beantwoord de volgende vragen.

Met lakmoespapier kun je bepalen of een oplossing zuur of basisch is.

- a Leg uit of lakmoes een nauwkeurige indicator is.
- b Leg uit hoe je lakmoespapier maakt.

Lakmoes bestaat uit wel vijftien verschillende stoffen die vrijwel allemaal tot een groep stoffen behoren die een bepaald gedeelte in hun structuurformule hetzelfde hebben.

Van twee van deze stoffen staat de structuurformule gegeven. Het gedeelte in de structuurformule, de chromofoor, dat voor de kleuring zorgt staat hieronder.



8.6

- c Geef de molecuulformule van de chromofoor. Zie zo nodig de hint in het uitwerkingenboek.
- d Waarin verschillen de twee formules in figuur 8.4a van elkaar?
- e Leg uit of de indicatoren in rood en blauw lakmoespapier twee verschillende stoffen zijn, of dat het dezelfde stof is.

B 7

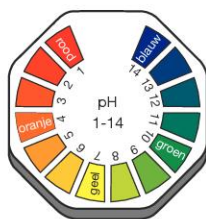
De Airbus

De Airbus A380 is op dit moment het grootste passagiersvliegtuig ter wereld. Bij de productie ervan worden nieuwe materialen toegepast zoals 'glare', een combinatie van aluminium en kunststof.

Voordat aluminium wordt verwerkt in glare, wordt het met een oplossing van chroomzuur behandeld. Deze oplossing is extreem zuur, oxiderend en corrosief. Door de behandeling ontstaat op het aluminium een laagje aluminiumoxide van 5 micrometer dik. Dit laagje zorgt er onder meer voor dat het materiaal beter bestand is tegen corrosie.

In figuur 8.7 zijn de kleuren van universeel indicatorpapier weergegeven afhankelijk van de pH.

- a Welke kleur krijgt het indicatorpapier wanneer er een druppel chroomzuuroplossing op wordt gedaan?
- A blauw
 - B geel
 - C groen
 - D rood



8.7

Je kunt nu

- uitleggen hoe je de zuurgraad van een oplossing aangeeft;
- uitleggen hoe je kunt vaststellen of een oplossing zuur, basisch of neutraal is;
- de omslagtrajecten van indicatoren opzoeken en gebruiken om de pH te bepalen.

Hieronder zijn enkele pictogrammen weergegeven. Twee hiervan staan op een voorraadvat met een oplossing van chroomzuur.

b Geef de nummers van deze twee pictogrammen.



8.8

Chroomzuur, dat ook gebruikt wordt in laboratoria om glaswerk schoon te maken, is nog niet zo eenvoudig te maken. Uit een oplossing van kaliumdichroomaat en zwavelzuur wordt het dichroomzuur, $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ gemaakt. Dit reageert in een evenwichtsreactie verder tot chroomzuur en chroomoxide, CrO_3 . Uit 1 mol dichroomzuur ontstaat 1 mol chroomzuur en 1 mol CrO_3 .

- c Leid met behulp van de reactievergelijking de formule van chroomzuur af.

Experimenten

8.1 De zuurgraad van oplossingen

In dit experiment bepaal je de zuurgraad van tien verschillende vloeistoffen. Je maakt gebruik van rood en blauw lakmoespapier, universeel indicatorpapier en rodekoolsap.

8.2 Druppelplaatexperiment

In dit experiment onderzoek je waar het omslagtraject van een indicator ligt en hoe hoog de pH van een onbekende oplossing is.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Rio Tinto

Langs de Spaanse rivier de Rio Tinto winnen mijnbouwbedrijven metalen als goud, zilver en koper. Het lozen van zuur afvalwater door deze bedrijven heeft ervoor gezorgd dat het water van de Rio Tinto een pH heeft van ongeveer 2.

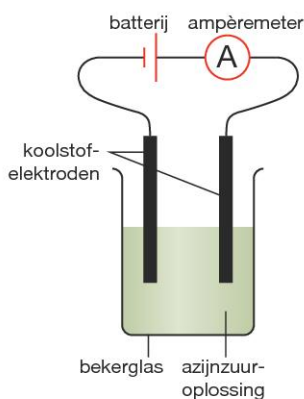
**Je leert**

- hoe het oplossen van zuren in water verloopt;
- het verschil tussen een sterk en een zwak zuur.

8.2 Zuren in water

- Experiment 8.3

- Experiment 8.4



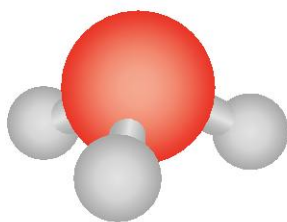
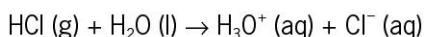
8.9 Stroomgeleiding meten

Stroomgeleiding zure oplossingen

Als je wilt weten welke deeltjes verantwoordelijk zijn voor de lage pH van de Rio Tinto kun je stroomgeleiding gebruiken. Met stroomgeleiding onderzoek je op macroniveau of er geladen deeltjes in de zure oplossingen aanwezig zijn. De stroomgeleiding van een oplossing meet je met de opstelling in figuur 8.9.

Experiment 8.3 laat zien dat zuiver azijnzuur geen stroom geleidt. Dat klopt, want azijnzuur is een moleculaire stof en bevat geen geladen deeltjes. Na het toevoegen van water aan azijnzuur blijkt de oplossing van azijnzuur wel stroom te geleiden. Het mengsel van water en azijnzuur bevat kennelijk geladen deeltjes. Zoutzuur, de triviale naam voor een oplossing van waterstofchloride, geleidt eveneens elektrische stroom, terwijl waterstofchloride ook een moleculaire stof is.

Als je naar het microniveau kijkt, zie je dat het geleiden van stroom wordt veroorzaakt door het ontstaan van ionen bij het oplossen van azijnzuur en waterstofchloride, de zuren reageren met water. Het zuur geeft een H^+ -ion af aan een watermolecuul. Hierbij ontstaan H_3O^+ -ionen, een H_3O^+ -ion heet een **oxoniumion** (zie figuur 8.10). De reactievergelijking van de reactie tussen waterstofchloride en water is:



8.10 Oxoniumion, H_3O^+

Dat er inderdaad waterstofionen ontstaan, kun je afleiden uit experiment 8.4. Als je door de oplossing van waterstofchloride geruime tijd stroom leidt, zie je aan de negatieve elektrode een gas ontstaan. Dit gas is waterstofgas dat is gevormd uit waterstofionen die aan de negatieve elektrode een elektron hebben opgenomen. Zure oplossingen bevatten dus waterstofionen gekoppeld aan watermoleculen.

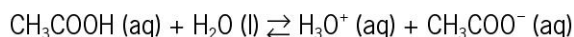
● Experiment 8.5

Verschillen in stroomgeleiding van zure oplossingen

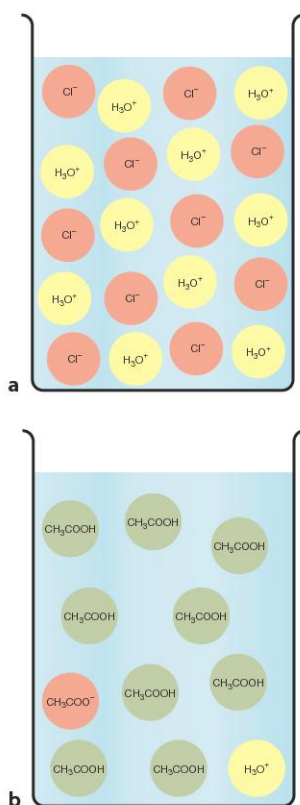
In experiment 8.5 onderzoek je of de stroomgeleiding verandert bij oplossingen van verschillende molariteit. In figuur 8.12a zie je de resultaten van het meten van de geleidbaarheid van waterstofchlorideoplossingen van 0,10 M, 0,050 M en 0,025 M. Je ziet dat er een lineair verband is tussen de molariteit van de oplossing en de geleidbaarheid. Als je de oplossing tweemaal verdunt, dan halveert de geleidbaarheid. Dat klopt, want de concentratie van de H_3O^+ - en Cl^- -ionen wordt twee keer zo klein.

In figuur 8.12b zie je de resultaten van het meten van de geleidbaarheid van azijnzuuroplossingen van 0,10 M, 0,050 M en 0,025 M. Het eerste wat opvalt, is dat de geleidbaarheid van een azijnzuuroplossing veel lager ligt dan die van een waterstofchlorideoplossing. Zowel azijnzuur als waterstofchloride is een zuur dat per molecuul één H^+ -ion kan afgeven. Blijkbaar geeft een mol azijnzuur in water minder H^+ -ionen af dan een mol waterstofchloride.

Daarnaast kun je zien dat er hier geen lineair verband is. Bij een tweemaal zo grote molariteit van de oplossing is het geleidingsvermogen niet tweemaal zo groot. Blijkbaar zijn er bij oplossingen met een grotere molariteit minder ionen in de oplossing dan mogelijk is. Dit is te verklaren door aan te nemen dat de reactie van azijnzuur met water geen aflopende reactie is, maar een evenwichtsreactie:

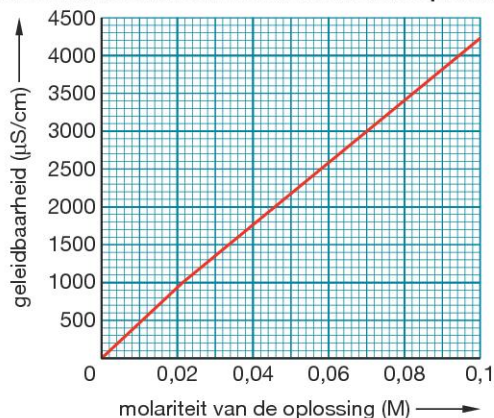


Er zijn zuren die net als waterstofchloride volledig splitsen in ionen, dit zijn **sterke zuren**. Zuren die net als azijnzuur niet volledig splitsen in ionen, noem je **zwakke zuren**. In figuur 8.11 zie je een modelvoorstelling van de oplossing van een sterk en een zwak zuur.



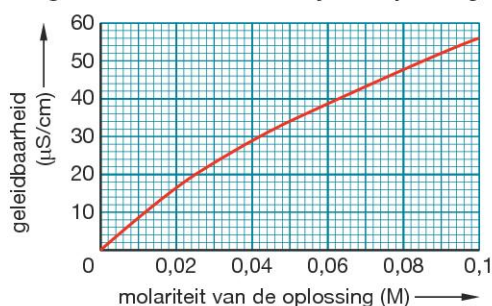
8.11 Een modelvoorstelling van de oplossing van een sterk zuur (a) en een zwak zuur (b)

geleidbaarheid van een waterstofchloride-oplossing



8.12a De geleidbaarheid van waterstofchlorideoplossingen

geleidbaarheid van een azijnzuuroplossing



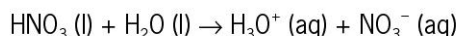
8.12b De geleidbaarheid van azijnzuuroplossingen



8.13 Bittere amandelen bevatten blauwzuur, de triviale naam van waterstofcyanide. Als je tien bittere amandelen eet, kan dat al dodelijk zijn.

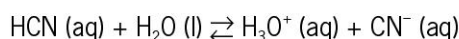
Notaties van zure oplossingen

Salpeterzuur (HNO_3) is een sterk zuur en er is dan sprake van een aflopende reactie met water:



In de oplossing zijn geen opgeloste HNO_3 -moleculen meer aanwezig, er zijn uitsluitend watermoleculen, H_3O^+ -ionen en NO_3^- -ionen. De notatie voor een oplossing van salpeterzuur is niet $\text{HNO}_3 (\text{aq})$, maar $\text{H}_3\text{O}^+ (\text{aq}) + \text{NO}_3^- (\text{aq})$. Voor de pijl schrijf je geen $\text{HNO}_3 (\text{aq})$, maar $\text{HNO}_3 (\text{l})$.

Waterstofcyanide (HCN) is een zwak zuur en er is dan sprake van een evenwichtsreactie met water:



In de oplossing bevinden zich opgeloste HCN -moleculen, watermoleculen, H_3O^+ -ionen en CN^- -ionen. In verhouding zijn er meer HCN -moleculen dan ionen. De notatie voor een oplossing van waterstofcyanide is $\text{HCN} (\text{aq})$ en voor de pijl schrijf je dus $\text{HCN} (\text{aq})$.

Zuur aardgas

Aardgas bevat de stof diwaterstofsulfide, H_2S , een zeer giftig gas dat naar rotte eieren ruikt. Bij verbranding wordt zwaveldioxide gevormd en dat is weer een belangrijke luchtvervuiler. Het diwaterstofsulfide is een zwak zuur en het aardgas wordt wel 'zuur' aardgas genoemd. Om aardgas veilig te gebruiken bij bijvoorbeeld koken moet het H_2S verwijderd worden in een gasontzwavelingsinstallatie. In Nederland doet de NAM dat in Emmen. Met een speciale oplossing wordt het H_2S uit de aardgasstroom gewassen. Het verwijderde H_2S wordt dan in het zogenaamde clausproces omgezet in zwavel en water.

De zuivere zwavel is een belangrijke grondstof voor de chemische industrie. Ongeveer 80% van de zwavel wordt gebruikt om zwavelzuur mee te maken. Zwavelzuur behoort tot een van de meest geproduceerde verbindingen ter wereld.

Hoewel het een gevaarlijke, sterk corrosieve stof is, is zwavelzuur onmisbaar voor bijvoorbeeld de productie van kunstmest, als accuzuur, als katalysator en bij het reinigen van ertsen.

Bron: *Chemische Feitelijkheden*



8.14 Aardgas mag geen diwaterstofsulfide bevatten.

● Opdracht B14

Samenvatting

- Als een zuur oplost in water worden H^+ -ionen afgegeven aan watermoleculen. Het gevormde ion heet oxoniumion.
- Een sterk zuur is een zuur dat in water volledig splitst in ionen.
- Een zwak zuur is een zuur dat in water gedeeltelijk splitst in ionen, dit is een evenwichtsreactie.
- Een oplossing van een sterk zuur HZ noteer je als de ionen in de oplossing: $\text{H}_3\text{O}^+ (\text{aq}) + \text{Z}^- (\text{aq})$.
- Een oplossing van een zwak zuur HZ noteer je als het zuur zelf: $\text{HZ} (\text{aq})$.

Opdrachten

A 8

- a Geef de formules van de stoffen waterstofjodide, methanol en kaliumjodide.
- b Uit welk soort deeltjes bestaat elk van de drie genoemde stoffen?

Waterstofjodide is een zuur.

- c Waarom geleidt een oplossing van methanol geen elektrische stroom?
- d Geef aan waarom een oplossing van kaliumjodide wel elektrische stroom geleidt.
- e Geef met de deeltjes van het microniveau aan waarom een oplossing van de moleculaire stof waterstofjodide toch elektrische stroom kan geleiden.

A 9

Leg uit waarom een oplossing van een sterk zuur beter stroom geleidt dan een oplossing van een zwak zuur met gelijke molariteit.

B 10

Geef de reactievergelijking die optreedt als de volgende zuren in water worden opgelost en geef de notatie van de oplossing van het zuur.

- a het sterke zuur waterstofjodide
- b het zwakke zuur fosforzuur

B 11

Het sterke zuur waterstofbromide (HBr) is gasvormig bij kamertemperatuur.

- a Geef de reactievergelijking met toestandsaanduiding van de reactie die optreedt als waterstofbromide in water wordt opgelost.

Het zwakke zuur waterstoffluoride (HF) is een gas bij kamertemperatuur.

- b Geef de reactievergelijking met toestandsaanduiding van de reactie die optreedt als waterstoffluoride in water wordt opgelost.

B 12

Sorbinezuur is een zuur dat aan veel voedingsmiddelen wordt toegevoegd om de groei van bacteriën en schimmels te vertragen. De houdbaarheid van voedingsmiddelen wordt daardoor vergroot.

De molecuulformule van sorbinezuur is $C_6H_8O_2$. Het is een zwak zuur dat één H^+ kan afgeven.

- a Geef de vergelijking van de reactie die verloopt als sorbinezuur wordt opgelost in water.

Als sorbinezuur wordt opgelost in water is slechts een klein deel geïoniseerd. De groeivertragende werking hangt af van de pH van het voedingsmiddel waaraan het sorbinezuur wordt toegevoegd. In voedingsmiddelen die een pH hoger dan 7 hebben, is het niet werkzaam. Het evenwicht van de reactie bij a verschuift dan helemaal naar rechts.

- b Leg uit of de groeivertragende werking moet worden toegeschreven aan sorbinezuurmoleculen of aan sorbaationen.

B 13

Aziijnzuur is een bekend zuur dat veel verschillende toepassingen heeft. Het heeft een heel herkenbare geur. Je noemt aziijnzuur in pure vorm, dus zonder water, wel ijsazijn. Het smeltpunt van zuiver aziijnzuur is $17^\circ C$.

Onder deze temperatuur vormt het heldere kleurloze kristallen.

Schoonmaakazijn is een oplossing van aziijnzuur. Vaak wordt dit gebruikt om te ontkalken. Meestal ligt het massapercentage aziijnzuur in de oplossing rond de 10%. Tafelazijn wordt veel gebruikt als onderdeel van een dressing in salades. Meestal ligt het massapercentage aziijnzuur in deze oplossing rond de 5,0%

- a Bereken hoeveel gram aziijnzuur er in schoonmaakazijn en in tafelazijn aanwezig is. Ga ervan uit dat de dichtheid van beide oplossingen $1,0 \text{ kg L}^{-1}$ is en gebruik de hierboven genoemde percentages.
- b Bereken de molariteit van de aziijnzuur in beide oplossingen.

Zowel schoonmaakazijn als tafelazijn kan elektrische stroom geleiden.

- c Leg uit welke oplossing de stroom het beste geleidt.
- d In welke oplossing is de $[H_3O^+]$ het hoogst?

B 14

Lees de tekst in het kader 'Zuur aardgas' en beantwoord de volgende vragen.

Sommige aardgasvelden leveren 'zuur' aardgas. Dit gas bevat het zwakke zuur diwaterstofsulfide.

- a Geef de vergelijking van de reactie die verloopt als diwaterstofsulfide in water oplost.

Het zure aardgas wordt door een kilometers lange pijpleiding naar de gaszuiveringsinstallatie (GZI) geleid. Het materiaal van de pijpleidingen moet aan zeer strenge normen voldoen.

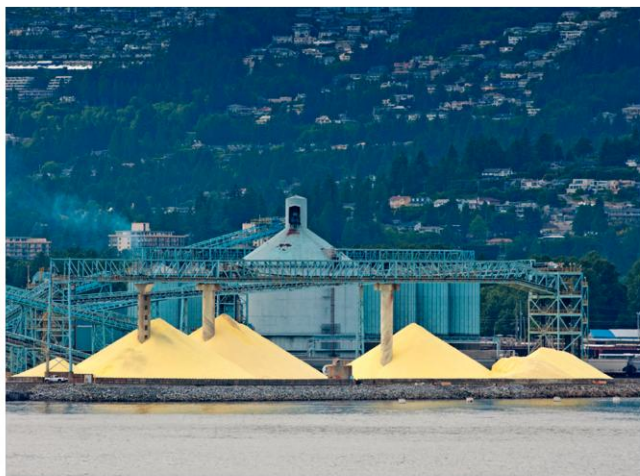
- b** Bedenk een reden waarom het materiaal voor het transport van dit gas aan zulke strenge normen moet voldoen.

‘Zuur’ aardgas bevat 0,50% H_2S per m^3 . Een klein gasveld levert 1,2 miljoen m^3 per dag van dit gas aan de GZI.

- c** Bereken hoeveel m^3 H_2S aanwezig is in 1,2 miljoen m^3 aardgas.
- d** Bereken hoeveel mol H_2S dit is. Gebruik bij je berekening $V_{\text{mol}} = 24,0 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$.

Met een sulfinoloplossing is het H_2S uit de gasstroom verwijderd en het H_2S wordt in het clausproces in twee stappen omgezet in zwavel. In de eerste stap reageert een deel van de H_2S met zuurstof tot zwaveldioxide en water. In de tweede stap wordt de rest van H_2S met zwaveldioxide omgezet in water en zwavel.

- e** Geef de reactievergelijkingen van dit proces. Noteer je antwoord als:
 stap 1: ...
 stap 2: ...
- f** Bereken met je antwoord bij d hoeveel ton zwavel je per dag kunt produceren (figuur 8.15).



8.15 Bergen gele zwavel gewonnen via het clausproces

Het zwavel wordt geleverd aan een zwavelzuurfabriek. Daar wordt het zwavel met zuurstof en water omgezet in het sterke zuur zwavelzuur.

- g** Geef de reactievergelijking van dit proces.

Bij het oplossen van zwavelzuur, een sterk zuur, in water ontstaan HSO_4^- -ionen die zelf een zwak zuur zijn.

- h** Geef de reactievergelijking van de reactie van dit zwakke zuur met water.

C 15

Citroenzuur is een driewaardig zuur met molecuulformule $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$.

- a** Wat denk je dat wordt bedoeld met de term ‘driewaardig’?

Je wilt bepalen hoe groot het massapercentage citroenzuur in een bepaald snoepje is. Om dat te bepalen kun je de H^+ -ionen in de oplossing laten reageren met OH^- -ionen, waarbij je nauwkeurig bepaalt hoeveel mol OH^- -ionen daarvoor nodig is.

Hiertoe weeg je het snoepje, verpoedert het en lost het op in water. Vervolgens bepaal je hoeveel mol OH^- -ionen nodig is om te reageren met alle H^+ -ionen die uit de citroenzuurmoleculen kunnen afsplitsen. Met behulp van dit gegeven kun je dan het massapercentage citroenzuur uitrekenen. Je had $6,64 \cdot 10^{-4}$ mol OH^- -ionen nodig voor de reactie met citroenzuur.

- b** Geef de vergelijking van de reactie tussen de H^+ - en de OH^- -ionen
- c** Bereken het aantal mol citroenzuur in het onderzochte snoepje.

Het onderzochte snoepje woog 2,007 g.

- d** Bereken het massapercentage citroenzuur in het onderzochte snoepje.

C 16

In supermarkten heb je een ruime keuze aan wc-reinigers. Je kiest twee wc-reinigers waar geen bleekmiddel in zit. Reiniger A bevat volgens het etiket zoutzuur (een HCl -oplossing) en reiniger B azijnzuur. Beide reinigers zijn bedoeld om kalkaanslag te verwijderen zodat zich daar geen bacteriën in kunnen nestelen.

Je onderzoekt het kalk verwijderend vermogen van de reinigers. Je doet van beide reinigers evenveel in een erlenmeyer en voegt aan beide evenveel kalkpoeder toe. Je ziet in de erlenmeyer met reiniger A een snellere gasontwikkeling dan in de erlenmeyer met reiniger B. Als verklaring denk je dat de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ in erlenmeyer A groter is dan in erlenmeyer B.

- a** Bedenk een proef waarmee je kunt bewijzen of je verklaring juist is. Noem het materiaal dat je voor je bewijs gebruikt. Geef een voorbeeld van resultaten waaruit blijkt dat je verklaring juist is.

Uit de proef blijkt dat de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ in A inderdaad groter was dan in B. Na verloop van tijd zijn de reacties in de beide erlenmeyers beëindigd. In A is nog kalk over, maar in de erlenmeyer B (azijnzuur) heeft tot je verbazing alle kalk gereageerd. Als verklaring hiervoor bedenk je dat de niet-geïoniseerde azijnzuurmoleculen in reiniger B ook hebben gereageerd.



8.16 In het Guggenheim-museum staat een massief gouden toiletpot van de kunstenaar Maurizio Cattelan. Bezoekers staan in de rij om dit toilet te gebruiken. Ook dit toilet moet gereinigd worden, maar is gewone wc-reiniger daarvoor geschikt of niet?

- b** Bedenk een proef waarmee je kunt bewijzen of niet-geïoniseerde azijnzuurmoleculen met kalk kunnen reageren.

Uit deze proef volgt dat de niet-geïoniseerde azijnzuurmoleculen niet met kalk reageren. Toch moeten ook de niet-geïoniseerde azijnzuurmoleculen in erlenmeyer B op de een of andere manier mee reageren, anders zou er in erlenmeyer B kalk over moeten zijn.

- c** Leg uit op welke manier de azijnzuurmoleculen toch hebben meegewerkt aan het reageren van de kalk.

Waterstofchloride (HCl) en azijnzuur zijn allebei zuren, die één H^+ kunnen afstaan. Als je van allebei de reinigers evenveel neemt, zou je verwachten dat in beide erlenmeyers de kalk verdwenen was.

- d** Bedenk een reden waarom in erlenmeyer A nog kalk over is.
e Leg uit of allebei de wc-reinigers geschikt zijn voor het gouden toilet, of slechts een van de twee.

Experimenten

8.3 Geleidingsvermogen van zure oplossingen

Je onderzoekt of een oplossing van waterstofchloride en een oplossing van azijnzuur stroom geleiden.

8.4 Elektrolyse van zure oplossingen

Je onderzoekt van een oplossing van waterstofchloride welke stoffen ontstaan als je de oplossing elektrolyseert.

8.5 Geleidingsvermogen van verdunde oplossingen

In dit experiment onderzoek je het geleidingsvermogen van zure oplossingen van verschillende molariteit.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- uitleggen wat het verschil is tussen een sterk en een zwak zuur;
- de reactie van een sterk zuur met water weergeven in een reactievergelijking;
- de reactie van een zwak zuur met water weergeven in een reactievergelijking;
- de notaties geven voor oplossingen van sterke en zwakke zuren.

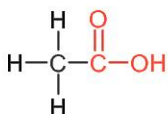
Looizuur

In Fez in Marokko worden huiden geloid en geverfd. Vroeger werd voor het looien looizuur gebruikt, dat gewonnen werd uit de bast van eikenbomen. Looizuur is een mengsel van op elkaar lijkende stoffen die bestaan uit een glucosemolecuul waaraan een aantal moleculen galluszuur is gebonden. Looizuren zijn organische zuren.

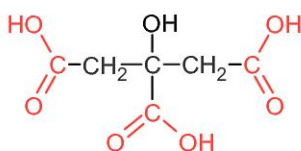
**Je leert**

- welke groepen van zuren er zijn;
- de namen en formules van een aantal zuren.

8.3 Formules van zuren



8.17 Azijnzuur of ethaanzuur

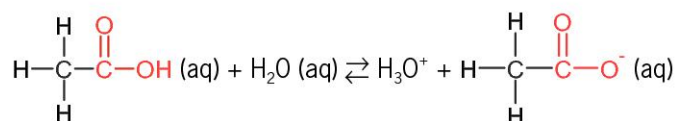


8.18 Citroenzuur

Organische zuren

De looizuren die bij het looien van huiden werden gebruikt behoren tot de organische zuren. **Organische zuren** zijn stoffen waarvan de moleculen een koolstofskelet hebben. In hoofdstuk 6 heb je de karakteristieke groep van een organisch zuur leren kennen. Deze groep staat in figuur 8.17 in het rood afgebeeld.

Als deze groep in een molecuul aanwezig is, dan is de stof een zuur en kan het dus een H^+ -ion afstaan. Nu heeft azijnzuur vier waterstofatomen, maar alleen het waterstofatoom dat in de zuurgroep zit kan worden afgestaan als H^+ -ion. De waterstofatomen die direct aan een koolstofatoom gebonden zitten kunnen dus niet worden afgestaan. Azijnzuur is daarom een **eenwaardig zuur**, het kan één H^+ -ion afstaan:



Naast het H_3O^+ -ion ontstaat er ook een negatief geladen ion. Dit ion is het **zuurrestion**. De zuurrestionen van alkaanzuren heten alkanoaten. Zo is ethanoaat de naam van het zuurrestion van ethaanzuur. Het zuurrestion van propaanzuur heet propaanoaat.

Citroenzuur heeft drie van deze zuurgroepen in één molecuul. Citroenzuur is dus in staat om drie H^+ -ionen af te staan. Je noemt citroenzuur daarom een **driewaardig zuur**. Zuren die in staat zijn om meer dan één H^+ -ion af te staan zijn **meerwaardige zuren**, zie figuur 8.18.

Anorganische zuren

Zuren zonder koolstofskelet noem je **anorganische zuren**. Je hebt in de vorige paragraaf HCl leren kennen. Een overzicht van een aantal belangrijke anorganische zuren staat in tabel 8.19.

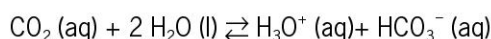


8.20 Het instabiele 'koolzuur' zit in cola. Mentos in cola zorgt ervoor dat alle CO_2 in één keer ontsnapt, met enorme colafontein en als gevolg.

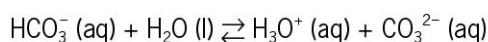
naam	formule	naam	formule
waterstofchloride	HCl	diwaterstofsulfide	H_2S
salpeterzuur	HNO_3	koolzuur	$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} (\text{H}_2\text{CO}_3)$
fosforzuur	H_3PO_4	zwaveligzuur	$\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} (\text{H}_2\text{SO}_3)$
waterstofbromide	HBr	waterstofcyanide	HCN
zwavelzuur	H_2SO_4	waterstofjodide	HI

8.19

'Koolzuur' en 'zwaveligzuur' bestaan in feite alleen als oplossing van CO_2 of SO_2 in water. H_2CO_3 en H_2SO_3 zijn **instabiele zuren** (figuur 8.20). Het zijn beide tweewaardige zuren. Als je CO_2 in water oplost, dan krijg je de volgende reactie:



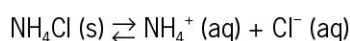
Er zou nog een tweede reactie kunnen verlopen:



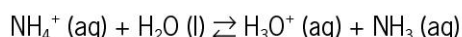
Het zuur is dus in staat om twee H_3O^+ -ionen te laten ontstaan. Omdat het eerste evenwicht naar links ligt, zal de tweede reactie vrijwel niet optreden. Daarom verliest een meerwaardig zwak zuur maar één H^+ -ion in water. De tweede reactie schrijf je dus niet op.

Ionen als zuur

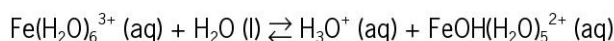
Sommige positieve of negatieve ionen kunnen ook als zuur reageren. Bij het oplossen van een zout in water kunnen vrije ionen ontstaan die zich als een zuur gedragen. Als je bijvoorbeeld het zout ammoniumchloride (figuur 8.21) oplost in water:



dan zullen de ammoniumionen vervolgens met het water reageren:



Een ammoniumion kan één H^+ afstaan en is een zwak zuur, er treedt dus een evenwichtsreactie op. Ook zijn bepaalde gehydrateerde metaalionen zwakke zuren. Als voorbeeld nemen we het ijzer(III)ion. Als dit ion in water wordt gehydrateerd kan het een H^+ -ion uit de watermantel afgeven:



Het hydraterende watermolecuul dat een H^+ -ion weggeeft, wordt een OH^- -ion.

Als je wilt weten of een zuur, een sterk zuur of een zwak zuur is, kun je Binas tabel 49 gebruiken. De bovenste zeven zuren in de tabel zijn sterk en reageren dus aflopend met water. Alle zuren onder H_3O^+ zijn zwak en geven een evenwichtsreactie met water. Hierbij geldt dat hoe lager een zuur staat, hoe zwakker het is. Alle zuren onder H_2O geven geen reactie met water.



8.21 Ammoniumchloride ofwel salmiak is een onderdeel van drop.

Azijnzuur in de keuken

Het meest bekende zuur in het huishouden is het organische zuur azijnzuur. Je kwam het in de opgaven al tegen als schoonmaakmiddel, maar ook bij voedselbereiding is het een veelgebruikt zuur. Neem bijvoorbeeld augurken, die zijn niet zuur van zichzelf. Augurken zijn een klein soort komkommer, vrijwel zonder smaak. Om zure augurken te krijgen moeten de augurken eerst 24 uur in het zout om er een hoeveelheid vocht aan te onttrekken. Na afspoelen doe je ze met kruiden in een pot en vult de pot met een oplossing van azijnzuur. Na twee maanden heb je je zure augurken (figuur 8.22).

Een speciale azijn is de balsamicoazijn die wordt gemaakt van de trebbianodruiven die groeien in Modena in Noord-Italië.



8.22 In dit bedrijf worden augurken ingemaakt. Deze grotere exemplaren leveren de bekende zure bommen.

Bij de bereiding van aceto balsamico wordt het sap van versgeperste rijpe druiven enkele uren ingekookt, tot ongeveer 50% van de oorspronkelijke hoeveelheid. Daarbij worden de suikers omgezet in alcohol en de alcohol wordt omgezet in azijnzuur.

De aceto balsamico blijft gedurende het rijpingsproces niet in één en hetzelfde vat. Er is meestal een reeks van vijf of zes vaatjes van aflopende grootte, gemaakt van verschillende soorten hout. Het kleinste vaatje bevat de oudste en meest geconcentreerde (en dus duurste) balsamico. De aceto balsamico tradizionale is minimaal twaalf jaar oud, maar kan ook veel ouder zijn. Van honderd liter in het begin van het proces blijft er maar een paar liter aceto over.



8.23 Vaten van verschillende afmetingen waarin de beroemde balsamicoazijn wordt gemaakt

● Opdracht B23

Samenvatting

- Een organisch zuur is een stof met een koolstofskelet en een -COOH -groep. Het H-atoom in deze zuurgroep kan worden afgestaan als H^+ -ion.
- Een anorganisch zuur is een stof zonder een koolstofskelet.
- Koolzuur en zwaveligzuur zijn instabiele zuren.
- Een meerwaardig sterk zuur kan meerdere H^+ -ionen afstaan. Een meerwaardig zwak zuur verliest in water maar één H^+ -ion.
- Sommige ionen kunnen als zuur reageren.
- In Binas tabel 49 staat een groot aantal sterke en zwakke zuren.

Opdrachten

A 17

- a** Zoek in Binas tabel 49 op of de volgende zuren sterk of zwak zijn.
- 1 waterstofjodide
 - 2 fosforzuur
 - 3 zwavelzuur
 - 4 het ammoniumion
- b** Geef bij elk van deze zuren aan of het een één-, twee-, of driewaardig zuur is.

B 18

- a** Geef steeds de reactievergelijking die optreedt als de zuren uit opdracht A17 in water worden opgelost. Geef ook de toestandsaanduiding. Gebruik indien nodig de kook- en smeltpunten in Binas tabel 42.
- b** Geef de notatie van de zure oplossingen die ontstaan als de zuren in water worden opgelost.

B 19

Zoek op internet of in Binas tabel 82B het E-nummer van citroenzuur op en zoek minstens twaalf producten waarin citroenzuur aanwezig is.

B 20

Methaanzuur is een organisch zuur.

- a** Geef de reactievergelijking in molecuulformules van de reactie die verloopt bij het oplossen van methaanzuur in water.
- b** Geef deze reactievergelijking ook in structuurformules.

B 21

De stof zwaveldioxide ontstaat bij het verbranden van zwavelhoudende brandstoffen. Ook komt het vrij bij vulkanen, wat je daar ook kunt ruiken. Het gas werkt irriterend op de longen. Als zwaveldioxide in water oplost, ontstaat er een oplossing van zwaveligzuur, een zwak zuur. Geef de reactievergelijking van de reactie die optreedt als zwaveldioxide in water oplost.

B 22

In cola zit het driewaardig zuur fosforzuur.

- a** Geef de vergelijking van de reactie die optreedt als fosforzuur in water oplost.

Het zout natriumdiwaterstoffosfaat is goed oplosbaar in water.

- b** Geef het oplossen van dit zout in een vergelijking weer.

Het diwaterstoffosfaation is een zuur en reageert met water.

- c** Geef de vergelijking van de reactie die optreedt.

Ook het zout natriummonowaterstoffosfaat is goed oplosbaar in water.

- d** Geef het oplossen van dit zout in een reactievergelijking weer. Geef vervolgens de vergelijking van de reactie die optreedt als het monowaterstoffosfaation als zuur reageert met water.
- e** Vergelijk de zuursterktes van de drie zuren (fosforzuur, het diwaterstoffosfaation en het monowaterstoffosfaat-ion) en leg uit welk zuur de meeste oxoniumionen vormt en welk zuur het minst.

B 23

Lees de tekst in het kader 'Aziijnzuur in de keuken' en beantwoord de volgende vragen.

Voordat aan de augurken een oplossing van azijn wordt toegevoegd worden ze eerst 24 uur in zout gelegd. Zout is een hygroscopische stof en trekt vocht uit de augurken.

- a** Bedenk een reden waarom je eerst vocht onttrekt aan de augurken.

Tijdens het bereidingsproces van balsamicoazijn wordt de eerst gevormde alcohol omgezet in azijnzuur. Als je alcohol open laat staan aan de lucht verloopt dit proces met de zuurstof uit de lucht. Uit ethanol en zuurstof ontstaan azijnzuur en nog een ander product.

- b** Geef de reactievergelijking van deze omzetting.

Voor de rijping van de aceto balsamico worden vaten gebruikt van verschillende houtsoorten.

- c** Bedenk een reden waarom er verschillende houtsoorten worden gebruikt.

De inkoopprijs van een druppel aceto balsamico tradizionale is 8 eurocent. Het volume van een druppel is 0,050 mL.

- d** Bereken de prijs van een flesje aceto balsamico tradizionale met een inhoud van 500 mL.

Azijnzuur behoort tot de zwakke zuren en bij de reactie met water heeft dus maar een klein deel van de azijnzuurmoleculen een H^+ -ion afgestaan. Een oplossing van azijnzuur bevat per liter $1,82 \cdot 10^{-3}$ mol H^+ -ionen. Slechts $9,1 \cdot 10^{-2}\%$ van het azijnzuur is geïoniseerd.

e Bereken de molariteit van deze oplossing.

C 24

Je lost 1,0 mol van de volgende zuren op in 1,0 L water. Je krijgt zo vier oplossingen van:

- 1 waterstoffluoride
- 2 zwavelzuur
- 3 salpeterzuur
- 4 waterstofhypojodiet (HIO)

Iedere oplossing heeft een andere $[\text{H}_3\text{O}^+]$.

- a** Zet de vier oplossingen met behulp van Binas tabel 49 in volgorde van toenemende $[\text{H}_3\text{O}^+]$. Licht de volgorde toe.
- b** Leg uit waarom je niet altijd kunt zeggen dat een zwavelzuuroplossing een hogere $[\text{H}_3\text{O}^+]$ heeft dan een salpeterzuuroplossing.

C 25

De kleuren van hortensia's zijn over het algemeen rood, roze en wit. De kleur van de bloemen hangt af van de bodem: de meeste roze soorten kunnen onder invloed van een aantal factoren verkleuren.

In zure aluminium houdende grond zullen de bloemen van de hortensia blauw kleuren. De pH van de grond moet hiervoor lager zijn dan 5,1. In zure grond kan de hortensia wel aluminium opnemen, in basische grond lukt dat niet.

- a** Geef de formules van twee deeltjes die, naast water, in elk geval moeten voorkomen in (zure) aluminium houdende grond.

Je kunt eventueel aluminium toevoegen aan de grond. Er is bijvoorbeeld speciale hortensiamest voor blauwe hortensia's in de handel.

Dit is een meststof met aluminiumsulfaat of met aluin. De formule van aluin is $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

- b** Geef de vergelijking voor het oplossen van aluin in water.
- c** Bereken het massapercentage aluminium in aluin. Geef je antwoord in vier significante cijfers.

Aluminiumionen zorgen door een reactie met water voor het zuur worden van de grond.

- d** Geef de reactievergelijking van aluminiumionen met water waaruit blijkt dat de grond zuur wordt.

Bron: CE havo 2009-II

C 26 ★

Als je in Binas tabel 49 kijkt, dan zie je dat van de halogeenzuren (HI , HBr , HCl en HF) alleen HF een zwak zuur is.

De sterkte van deze zuren is afhankelijk van twee dingen:

- de sterkte van de binding in het molecuul;
- de polariteit van het molecuul.

Algemeen geldt: als een molecuul meer polair is, dan is het een sterker zuur.

- a** Bepaal het verschil in elektronegativiteit voor de vier halogeenzuren en laat zien dat de regel voor deze zuren niet op lijkt te gaan.

In tabel 8.24 staat de sterkte van de binding van alle vier de halogeenzuren gegeven.

stof	bindingssterkte (kJ mol^{-1})
H-F	563
H-Cl	432
H-Br	366
H-I	299

8.24

- b** Leg uit waarom HF toch een zwak zuur is, ondanks de grote polariteit van het molecuul.

Je kunt nu

- onderscheid maken tussen organische en anorganische zuren;
- uitleggen wat een instabiel zuur is;
- uitleggen hoe ionen als zuur kunnen reageren;
- aan de hand van Binas tabel 49 bepalen of een zuur sterk of zwak is.

Citrusfruit

Bij het Fête du Citron in de Franse stad Menton worden fraaie kunstwerken van citrusfruit gemaakt. Hoewel sinaasappels en vooral citroenen best zuur kunnen smaken, zit er in citrusfruit toch alleen een zwak zuur. In citrusfruit wordt de zure smaak veroorzaakt door citroenzuur.



Je leert

- de pH te berekenen van een oplossing van een sterk zuur in water;
- de pH te berekenen van een oplossing van een zwak zuur in water.

8.4 pH-berekeningen

De pH

Citrusvruchten bevatten het zwakke zuur citroenzuur, maar er zijn meer planten die een zwak zuur bevatten. In rabarber zit bijvoorbeeld oxaalzuur. Als planten groeien is de zuurgraad van de grond ook belangrijk. Planten halen voedingsstoffen uit de bodem en deze stoffen moeten worden aangevuld. Boeren doen dit door de grond te bemesten met kunstmest. Omdat de vruchtbaarheid van de bodem ook afhangt van de pH, bevat de mest vaak kalk om de pH te regelen.

Door gebruik te maken van satellietssystemen voor navigatie en bodemanalyse (figuur 8.25) worden tegenwoordig de positie en de hoeveelheid benodigde stof nauwkeurig bepaald. Je kunt zo per vierkante meter bepalen wat de grond nodig heeft.



8.25 Het is door het gebruik van gps en sensoren mogelijk om bemesting van het land volledig geautomatiseerd te variëren en te doseren.

Bij bodemanalyse, maar ook bij andere toepassingen waar je met zuren te maken hebt is het van belang om de pH zo nauwkeurig mogelijk te weten. Je kunt de pH van een oplossing niet alleen meten, maar ook berekenen. De zuurgraad van een oplossing is afhankelijk van de hoeveelheid H_3O^+ -ionen in de oplossing. Om de pH uit te rekenen kun je de volgende formule gebruiken:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$$

Doordat je de negatieve logaritme van de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ neemt, geldt: hoe hoger de concentratie, hoe lager de pH. Je schrijft achter de getalwaarde van de pH geen eenheid. Je kunt vanuit de pH ook de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ uitrekenen. Hiervoor gebruik je de formule:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$$



8.26 Dit 24 karaat goud is een edel metaal en lost niet op onder normale omstandigheden, alleen in koningswater lost het op.

Rekenvoorbeeld 1

- a** De $[\text{H}_3\text{O}^+]$ in een oplossing is $2,4 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$. Bereken de pH.
b Een oplossing heeft een pH van 3,20. Bereken de $[\text{H}_3\text{O}^+]$.

Uitwerkingen:

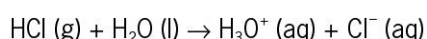
- a** $\text{pH} = -\log 2,4 \cdot 10^{-2} = 1,619788 = 1,62$
b $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3,20} = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$

De pH staat in drie **significante cijfers**, terwijl de concentraties maar twee significante cijfers hebben. Voor pH-berekeningen geldt dat het aantal significante cijfers in de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ gelijk moet zijn aan het aantal decimalen in de pH.

De pH van een oplossing van een sterk zuur

Om de pH te berekenen moet je eerst de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ uitrekenen.

Waterstofchloride is een sterk zuur, in water treedt de volgende aflopende reactie op:

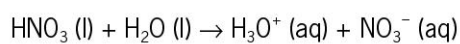


Het aantal mol H_3O^+ -ionen dat ontstaat, is dus gelijk aan het aantal mol HCl dat je oplost. De pH van een sterk zuur kun je rechtstreeks berekenen uit de molariteit van de oplossing.

Rekenvoorbeeld 2

Je hebt een $1,2 \cdot 10^{-2} \text{ M}$ salpeterzuuroplossing. Bereken de pH.

Salpeterzuur is een sterk zuur (figuur 8.27), zodat:



De $[\text{H}_3\text{O}^+]$ is gelijk aan de molariteit van de salpeterzuuroplossing, dus $1,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$.
 De pH is dan: $\text{pH} = -\log 1,2 \cdot 10^{-2} = 1,92$

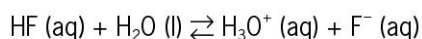
Het antwoord moet in twee decimalen, omdat de concentratie in twee significante cijfers is gegeven.



8.27 In de maatkolven zit koningswater. Koningswater is een 1 : 3 mengsel van geconcentreerd salpeterzuur en 37% zoutzuur.

De pH van een oplossing van een zwak zuur

Een zwak zuur is niet volledig gesplitst in ionen, dus je kunt nu de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ niet rechtstreeks berekenen uit de molariteit van de oplossing. We nemen als voorbeeld het zwakke zuur waterstoffluoride. In water treedt het volgende evenwicht op:



Omdat er een evenwicht is, kun je de evenwichtsvoorwaarde opstellen:

$$K = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{F}^-]}{[\text{HF}][\text{H}_2\text{O}]}$$

Er is bij oplossingen altijd een grote hoeveelheid water aanwezig. Bij 293 K is de $[H_2O]$ gelijk aan $55,4 \text{ mol L}^{-1}$.

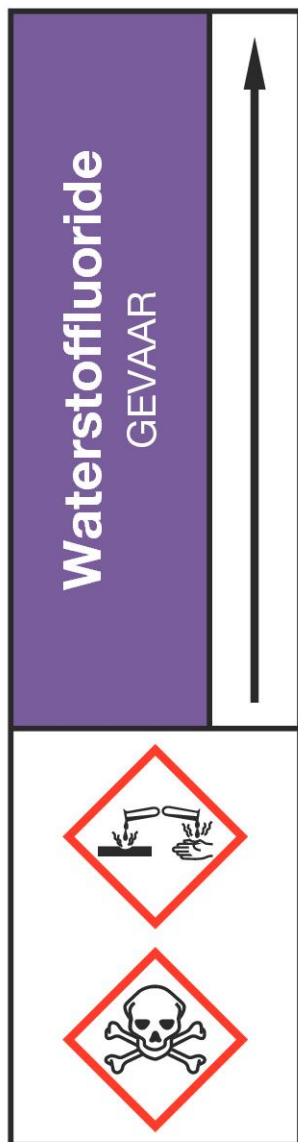
Deze waarde is veel groter dan de concentraties van de opgeloste stoffen. Je mag de $[H_2O]$ dan ook constant noemen. Omdat $[H_2O]$ constant is, geldt:

$$K[H_2O] = K_z = \frac{[H_3O^+][F^-]}{[HF]}$$

K_z noem je de **zuurconstante**. Als je de K_z en de molariteit van de oplossing weet, kun je de $[H_3O^+]$ uitrekenen. Net als bij de evenwichtsconstante is de zuurconstante alleen afhankelijk van de temperatuur.

Van een aantal zuren is de zuurconstante te vinden in Binas tabel 49. In die tabel neemt de K_z steeds verder af naarmate je lager in de tabel komt. Hoe lager de waarde van K_z , hoe zwakker het zuur.

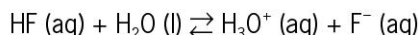
Om de pH te berekenen van een zwak zuur kun je een overzichtstabel maken zoals je in hoofdstuk 7 hebt geleerd. In de tabel staat het aantal mol van elk van de deelnemende stoffen bij het begin van het proces (t_0), hoeveel mol er wordt omgezet en hoeveel er na instelling van het evenwicht (t_{ev}) is. Dat zie je in rekenvoorbeeld 3.



8.28 Waterstoffluoride is een zeer corrosief zuur, waar je voorzichtig mee moet omgaan. Het wordt meestal opgelost in water getransporteerd. Op de leidingen worden leidingmerkers aangebracht zoals hierboven.

Rekenvoorbeeld 3

Een oplossing van HF (figuur 8.28) heeft de molariteit 2,5 M. Bereken de pH.



De $[H_3O^+]$ is niet gelijk aan de molariteit van de oplossing. Omdat je niet weet hoeveel mol HF er reageert, stel je deze hoeveelheid gelijk aan x . Er blijft dan $2,5 - x$ mol HF per liter over bij evenwicht. Er ontstaat x mol H_3O^+ en x mol F^- per liter.

	[HF]	[H ₃ O ⁺]	[F ⁻]
t_0	2,5	0	0
omgezet	-x	+x	+x
t_{ev}	2,5 - x	x	x

Je kunt deze gegevens invullen in de evenwichtsvoorwaarde, de K_z zoek je op in Binas tabel 49.

$$K_z = \frac{[H_3O^+][F^-]}{[HF]}$$

$$6,3 \cdot 10^{-4} = \frac{(x) \times (x)}{2,5 - x} = \frac{x^2}{2,5 - x}$$

Als je deze tweedegraadsvergelijking uitwerkt, kun je met de abc-formule x berekenen. Soms kun je gebruikmaken van een vereenvoudigde berekening. Een uitgewerkt voorbeeld hiervan vind je in het uitwerkingenboek bij opgave B31.

$x = [H_3O^+] = 0,039 \text{ mol L}^{-1}$. De pH is dan $-\log 0,039 = 1,41$.

● Experiment 8.6

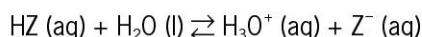
Rekenen aan zwakke zuren

Bij het berekenen van de pH van een zwak zuur moeten de K_z en de molariteit van de oplossing bekend zijn. In rekenvoorbeeld 4 zie je hoe je de K_z van een onbekend zuur kunt berekenen als de pH en de molariteit bekend zijn. In rekenvoorbeeld 5 zie je hoe je de molariteit van een oplossing van een zuur kunt berekenen als de pH en de K_z bekend zijn.

Rekenvoorbeeld 4

Een oplossing van een onbekend eenwaardig zwak zuur heeft de molariteit 2,1 M. De pH is gelijk aan 2,22. Bereken de K_z van dit onbekende zuur en bepaal met behulp van Binas tabel 49 welk zuur dit kan zijn.

De pH = 2,22, dan is $[H_3O^+] = 10^{-2,22} = 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$. Schrijf voor het onbekende zuur: HZ. De evenwichtsreactie is dan:



Omdat er $6,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol H}_3\text{O}^+$ ontstaat, is er ook $6,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol Z}^-$ aanwezig.

Er heeft dan $6,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol HZ}$ gereageerd.

	$[H_3O^+]$	$[Z^-]$	$[HZ]$
t_0	0	0	2,1
omgezet	$+6,0 \cdot 10^{-3}$	$+6,0 \cdot 10^{-3}$	$-6,0 \cdot 10^{-3}$
t_{ev}	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$2,1 - 6,0 \cdot 10^{-3}$

Zet deze gegevens weer in de evenwichtsvoorwaarde:

$$K_z = \frac{[H_3O^+][Z^-]}{[HZ]}$$

$$K_z = \frac{(6,0 \cdot 10^{-3})^2}{2,1}$$

Je vult voor $[HZ]$ de waarde 2,1 in omdat na aftrekken dit het antwoord in significante cijfers is.

$K_z = 1,7 \cdot 10^{-5}$. In Binas zie je dat het onbekende zuur ethaanzuur kan zijn.

8.29 Soms worden een sterk zuur en een zwak zuur gecombineerd gebruikt, zoals bij het beitsen van roestvrij staal met een mengsel van salpeterzuur en waterstoffluoride.

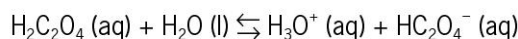




8.30 In rabarber zit oxaalzuur, daardoor is rabarber een erg zure groente die met suiker gezoet moet worden. Je kunt ook wat kalk toevoegen om het oxaalzuur te neutraliseren.

Rekenvoorbeeld 5

Je hebt een onbekende hoeveelheid van het zwakke zuur oxaalzuur in 1,0 L water (figuur 8.30). De pH is gelijk aan 2,30. Bereken de molariteit van de oxaalzuuroplossing.



De $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2,30} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$. De $[\text{H}_3\text{O}^+]$ is gelijk aan de $[\text{HC}_2\text{O}_4^-]$.

	$[\text{H}_3\text{O}^+]$	$[\text{HC}_2\text{O}_4^-]$	$[\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4]$
t_0	0	0	x
omgezet	$+5,0 \cdot 10^{-3}$	$+5,0 \cdot 10^{-3}$	$-5,0 \cdot 10^{-3}$
t_{eq}	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$x - 5,0 \cdot 10^{-3}$

$$K_z = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HC}_2\text{O}_4^-]}{[\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4]}$$

$$5,6 \cdot 10^{-2} = \frac{(5,0 \cdot 10^{-3})^2}{x - 5,0 \cdot 10^{-3}} = \frac{2,5 \cdot 10^{-5}}{x - 5,0 \cdot 10^{-3}}$$

$$5,6 \cdot 10^{-2} (x - 5,0 \cdot 10^{-3}) = 2,5 \cdot 10^{-5}$$

$$x = 5,4 \cdot 10^{-3}$$

De molariteit van de oxaalzuuroplossing is $5,4 \cdot 10^{-3} \text{ M}$.

Rekenvoorbeeld 6

$$\frac{1,98 + 0,6}{1,338} = \frac{2,58}{1,338}$$

$$= 1,943 \, 198 \, 804$$

$$= 1,9$$

Bij optellen van 1,98 + 0,6 wijzigt de significantie. In de uitkomst 2,58 zijn alleen de 2 en de 5 significant. Het eindantwoord moet in het juiste aantal significante cijfers, in dit geval 2.

Samenvatting significante cijfers

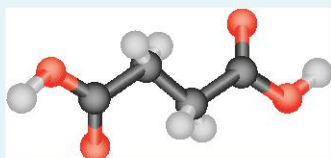
Regels voor significante cijfers:

- 1 Telwaarden hebben geen invloed op de nauwkeurigheid van het antwoord.
- 2 Bij optellen en aftrekken is het aantal cijfers achter de komma van een uitkomst gelijk aan het kleinste aantal cijfers achter de komma waarmee je de berekening uitvoert.
- 3 Bij vermenigvuldigen en delen heeft de uitkomst van de berekening evenveel significante cijfers als de gemeten waarde met het kleinste aantal significante cijfers.
- 4 Nullen waarmee een getal begint zijn nooit significant.
- 5 Voor pH-berekeningen geldt dat het aantal significante cijfers in de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ gelijk moet zijn aan het aantal decimalen in de pH.

Een berekening bestaat vaak uit twee of meer stappen. Na elke stap krijg je een tussenantwoord. De tussenantwoorden rond je meestal niet af. Alleen het *eindantwoord* rond je af op het juiste aantal significante cijfers. Komen in een berekening stappen voor waarvoor *verschillende* regels gelden, bijvoorbeeld optellen en delen, dan kan het aantal significante cijfers wijzigen. Dat geldt voor die tussenstappen waarin je meetwaarden optelt of aftrekt, zie rekenvoorbeeld 6. In je eindantwoord moet je daar rekening mee houden.

Barnsteen en biobarnsteenzuur

Barnsteen is een harssoort die lang geleden uit naaldbomen is gedropen en toen is versteend. Het is een gele stof waarin je soms insecten ziet zitten die miljoenen jaren geleden zijn ingesloten (figuur 8.32). In de vijftiende eeuw maakte de Duitse geleerde Agricola uit barnsteen door verhitting de stof barnsteenzuur. De systematische naam van barnsteenzuur is butaandizuur, waarvan een molecuulmodel hieronder staat.



8.31

Barnsteenzuur is een belangrijke stof in de chemische industrie. Het wordt toegepast in voedingsmiddelen, geneesmiddelen en als grondstof voor de productie van polymeren. Barnsteenzuur wordt gemaakt uit aardolie, maar met het opraken van de olievoorraden is er grote belangstelling voor de productie van biobarnsteenzuur. Biobarnsteenzuur wordt door de genetisch gemodificeerde *Escherichia coli*-bacterie uit glucose gemaakt. Als bron van glucose wordt nog mais gebruikt, maar er lopen onderzoeken om te kijken of cellulose als grondstof is te gebruiken. Met het gebruik van mais leg je beslag op voedselbronnen, dat is bij productie op grote schaal niet wenselijk. Cellulose daarentegen kan uit landbouwafval worden gehaald.

Een voorbeeld van een mogelijk toepassing van biobarnsteenzuur is in de verfindustrie (figuur 8.33). Bij de productie van verf zijn bindmiddelen nodig zoals alkydharsen. Alkydharsen bestaan voor ongeveer 50% uit vetzuren die al biologisch gewonnen worden. Als daar als vervanging van petrochemische grondstoffen nog biobarnsteenzuur bij komt, wordt dit product nog duurzamer. Je hebt dan alkydverven die voor 60% uit biogebaseerde grondstoffen bestaan.

Reverdia, het bedrijf van DSM en het Franse Roquette, produceert in Italië al meer dan 10 000 ton biobarnsteenzuur en is op zoek naar nieuwe locaties voor de uitbreiding van de productie.



8.32 Een ingesloten insect in barnsteen

Opdracht B35

Samenvatting

- De pH van een oplossing bereken je met $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$.
- Bij gegeven pH bereken je de H_3O^+ -concentratie met: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$
- Het aantal significante cijfers in de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ is gelijk aan het aantal decimalen in de pH.
- Bij een oplossing van een sterk zuur kun je de pH rechtstreeks berekenen uit de molariteit van de oplossing.
- Voor een zwak zuur geldt: $\text{HZ}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{Z}^-(\text{aq})$
De pH bereken je met de evenwichtsvoorwaarde: $K_z = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{Z}^-]}{[\text{HZ}]}$
- Hoe lager de waarde van K_z , hoe zwakker het zuur.
- Bij een zwak zuur kun je de molariteit van het zuur berekenen als de pH en K_z zijn gegeven.
- De K_z kun je berekenen als de pH en de molariteit zijn gegeven.

Opdrachten

A 27

De H_3O^+ -concentratie in drie oplossingen a, b en c bedraagt respectievelijk $1,0 \cdot 10^{-4}$, $5,0 \cdot 10^{-4}$ en $6,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$.

Bereken de pH voor elk van de drie oplossingen.

A 28

Bereken de H_3O^+ -concentratie in:

- a** maagsap met $\text{pH} = 1,4$
- b** regenwater met $\text{pH} = 4,42$
- c** geconcentreerd zoutzuur met $\text{pH} = -1,05$

B 29

Nico lost 89,6 g waterstofjodide op in 150 mL water.

Bereken de pH van de oplossing.

B 30

Stel steeds de evenwichtsvoorwaarde op voor oplossingen van de onderstaande zwakke zuren.

- a** waterstofcyanide (HCN)
- b** fosforzuur (H_3PO_4)
- c** het waterstofsulfaat (HSO_4^-)
- d** een gehydrateerd koperion ($\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$)

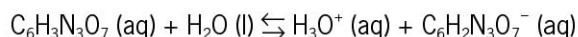
B 31

Bereken de pH van een 0,60 M oplossing van HNO_2 .

B 32

In mei 2009 kopte een krant: 'Explosieve stof bij school tot ontploffing gebracht'. De stof waar het hierbij om ging is picrinezuur, $\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_7$.

Picrinezuur is een gele vaste stof. Oplossingen van deze stof werden vroeger op scholen bij het vak biologie gebruikt om preparaten van planten te kleuren. In droge toestand is picrinezuur explosief. Daarom wordt het geleverd in potten waarin vast picrinezuur onder water staat. In dit water is wat picrinezuur opgelost. Het opgeloste picrinezuur is gedeeltelijk geïoniseerd volgens:



In een pot picrinezuur heersen twee evenwichten:

- A** het evenwicht tussen vast picrinezuur en opgelost picrinezuur;
- B** het ionisatie-evenwicht van picrinezuur zoals hierboven is weergegeven.

- a** Leg voor beide evenwichten uit of het hierbij gaat om een homogeen of een heterogeen evenwicht.

Noteer je antwoord als volgt:

evenwicht A is een ... evenwicht, omdat ...

evenwicht B is een ... evenwicht, omdat ...

De oplosbaarheid van picrinezuur is niet hoog, namelijk 1,4 g per 100 mL. In een verzadigde oplossing van picrinezuur is 89% van het picrinezuur geïoniseerd. Hierdoor is een verzadigde oplossing van picrinezuur toch behoorlijk sterk zuur.

- b** Bereken de molariteit, in mol L^{-1} , van een verzadigde oplossing van picrinezuur.
- c** Bereken de pH van deze verzadigde oplossing.

Als het water uit een pot picrinezuur is verdampt, kan het picrinezuur sublimeren. Dit heeft tot gevolg dat zich kristallen picrinezuur tussen de pot en het deksel vormen. Dan kan het openen van de pot tot een explosie leiden door wrijving van het deksel langs de rand van de pot.

- d** Geef het sublimeren van picrinezuur in een vergelijking weer. Geef hierbij ook de toestandsaanduidingen.

Naar: CE havo 2011-II

B 33

Onder een sterk zuur wordt een zuur verstaan dat volledig ioniseert in water. Dit betekent niet dat bij gebruik van een ander oplosmiddel ook 100% ionisatie zal optreden. Zo blijkt zowel HClO_4 als HCl zich te gedragen als een zwak zuur in het geval azijnzuur (CH_3COOH) als oplosmiddel wordt gebruikt in plaats van water. Voor HClO_4 geldt dat in azijnzuur K_z gelijk is aan $1,3 \cdot 10^{-5}$. Voor HCl is de waarde van K_z in azijnzuur gelijk aan $2,8 \cdot 10^{-9}$.

Welke van de twee zuren is opgelost in azijnzuur het sterkst?

B 34

De pH van zuiver water is exact 7. Dit betekent dat er H_3O^+ -ionen in water aanwezig zijn. Gewoonlijk verwaarloos je deze hoeveelheid H_3O^+ -ionen als je de pH uitrekent. Alleen bij hele lage concentraties H_3O^+ gaat dat niet meer op.

- a** Bereken de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ in zuiver water.
- b** Bereken de pH van $1,0000 \cdot 10^{-3} \text{ M}$ zoutzuur eerst met en dan zonder het verwaarlozen van de hoeveelheid H_3O^+ in zuiver water.
- c** Leg uit waarom je niet kunt spreken van een zoutzuuroplossing.

B 35

Lees de tekst in het kader 'Barnsteen en biobarnsteen-zuur' en beantwoord de volgende vragen. Biobarnsteen-zuur is een duurzaam alternatief voor barnsteen-zuur dat wordt geproduceerd uit aardolie.

a Leg uit waarom biobarnsteen-zuur duurzamer is.

Er lopen onderzoeken om te zien of cellulose als grondstof kan dienen voor de productie van glucose in plaats van maissuikers. Cellulose is een polymeer waarvan je de molecuulformule mag weergeven als $(C_6H_{10}O_5)_n$.

b Geef de reactievergelijking voor de omzetting van cellulose in glucose, voor deze reactie heb je ook water nodig.

Het voordeel van de omzetting van glucose in barnsteen-zuur is dat daarvoor ook CO_2 als beginstof nodig is. Als je de barnsteen-zuurfabriek plaatst naast een bio-ethanol-fabriek, kun je de CO_2 -uitstoot van deze fabriek gebruiken om barnsteen-zuur te maken. Bacteriën maken het barnsteen-zuur in een aantal stappen via een ingewikkeld mechanisme.

c Geef de reactievergelijking van de totaalreactie van het ontstaan van barnsteen-zuur uit glucose en CO_2 . Bij deze reactie ontstaat naast barnsteen-zuur ook water. Je moet even puzzelen om de juiste getallen te vinden.

Barnsteen-zuur is een zwak zuur. In de oplossing staat een $-COOH$ -groep een H^+ af aan water. De ionisatie van de tweede $-COOH$ -groep mag je verwaarlozen. De K_z van de eerste stap is $6,3 \cdot 10^{-5}$.

d Bereken het percentage barnsteen-zuur dat is geïoniseerd in een 0,20 M oplossing.

C 36

Thiolen, vroeger wel mercaptanen genoemd, bevatten een $-SH$ -groep. Deze $-SH$ -groep kan zuur reageren. Het is een stof met een sterke onaangename geur.

Thiolen speelden ook een belangrijk rol bij het omvangrijke gifschandaal rond het schip de Probo Koala.

Dit schip had op zee een lading nafta illegaal omgezet in benzineproducten. Het geproduceerde afval dat vol thiolen zat is geloosd in Ivoorkust, waar het grote gezondheidsproblemen veroorzaakte voor de bevolking.



8.33 De Probo Koala met de tekst: 'Europa vergiftigd Afrika.'

De stof 2-sulfanylethanol ($HOCH_2CH_2SH$) bevat zo'n $-SH$ -groep, is goed oplosbaar in water en is dan een zwak zuur.

a Leg uit waarom 2-sulfanylethanol goed oplost in water.

b Geef de vergelijking van de reactie die optreedt als 2-sulfanylethanol in water oplost.

Je hebt een 0,20 M oplossing van dit zuur en je wilt de K_z van dit zuur bepalen. Je meet de pH en die is 5,21.

c Bereken de K_z van 2-sulfanylethanol.

C 37 ★

Daan krijgt van zijn docent een oplossing van een onbekend zuur. De docent heeft 50,0 mmol van het zuur opgelost in 100,0 mL water. Daan moet zien te achterhalen welk zuur het is. Om dit te bepalen meet hij de pH. Deze blijkt 1,48 te zijn.

a Bereken de $[H_3O^+]$.

b Is het zuur een sterk of een zwak zuur?

c Bepaal welk zuur het onbekende zuur is.

Experiment

8.6 Zwak of sterk?

Je ontwerpt een experiment waarin je onderzoekt of een zuur zwak of sterk is. Je gebruikt daarbij de gegevens uit de voorgaande experimenten en voert dit experiment uit met twee gegeven oplossingen.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- de pH berekenen van de oplossing van een sterk zuur;
- de pH berekenen van de oplossing van een zwak zuur;
- de $[H_3O^+]$ berekenen bij een gegeven pH;
- bij gegeven pH de molariteit of de K_z berekenen;
- werken met Binas tabel 49.

Afsluiting

Oefenopdrachten

- 1** Ans heeft in een praktische opdracht de pH van een oplossing van een onbekend zuur bepaald. Ze heeft hiervoor verschillende indicatoren gebruikt en opgeschreven wat de kleur van de oplossing was na het toevoegen van de indicator. Ze maakt nu een verslag, samen met John. Ze heeft in haar schrift opgeschreven:

Kleur fenolrood: geel
Kleur alizariengeel-R: rood

John zegt: 'Dit kan niet kloppen!'

- a** Leg uit waarom John denkt dat deze aantekeningen niet kloppen.
- b** Leg uit wat je denkt dat er verkeerd is gegaan.
- c** Leg uit tussen welke waarden de pH van de oplossing ligt.

- 2** De stof benzeencarbonzuur wordt gebruikt als conserveringsmiddel in levensmiddelen en cosmetica en als desinfectiemiddel in de land- en tuinbouw. Het zuur is pas goed werkzaam als de pH van de benzeencarbonzuuroplossing onder de 4,5 ligt.
- a** Geef de vergelijking van de reactie die optreedt als benzeencarbonzuur in water is opgelost. Geef de koolstofverbindingen in structuurformules.
 - b** Bereken hoeveel gram benzeencarbonzuur je moet oplossen in 5,0 L water om een pH te hebben van 4,0. Gebruik Binas tabel 49.



3 Inktvraat

Papier bestaat hoofdzakelijk uit cellulose. De cellulose wordt door het water in het papier langzaam afgebroken. Papier kan door de afbraak van cellulose uit elkaar vallen en H_3O^+ -ionen versnellen dit proces.

Inktsoorten uit vroegere tijden bevatten vaak opgeloste ijzer(III)zouten. Door het water in het papier zijn er gehydrateerde Fe^{3+} -ionen, $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$, aanwezig. Deze gehydrateerde ionen gedragen zich als een zwak zuur. Op plaatsen waar een oude inktsoort op het papier zit, treedt een versnelde afbraak van de cellulose op. Onder de inkt wordt de cellulose vaak zo sterk aangetast dat het papier er helemaal verdwijnt. De inkt vreet zich door het papier heen. Dit verschijnsel staat bekend als inktvraat (figuur 8.34).

- a** Geef de vergelijking van de reactie waarmee je kunt verklaren dat een oplossing die $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ ionen bevat, zuur is.

Hoewel papier geen oplossing is, kent men aan papier toch een pH toe. De pH van papier wordt wereldwijd op dezelfde manier gemeten: 2,00 g papier wordt in zeer kleine stukjes geknipt. Deze hoeveelheid materiaal wordt gedurende één uur geëxtraheerd met 100,0 mL gedestilleerd water. Na het verwijderen van de stukjes papier wordt direct de pH gemeten. Met behulp van bovenstaande methode is gemeten dat de pH van het papier van een bepaald boek 5,10 is. Het boek bevatte 250 g papier.

- b** Bereken hoeveel mmol H_3O^+ aanwezig is in het papier van dat boek. Neem aan dat alle H_3O^+ uit het papier is opgelost in de 100,0 mL water en dat alle H_3O^+ in de oplossing afkomstig is van het papier.

Naar: CE vwo 2006-II



8.34 Een bladzijde uit een brief die in 1752 verstuurd werd vanaf het schip de Winchester Gale. In het archief van Middelburg is de brief ernstig aangetast door inktvaart.



4

Rodekoolsap

Rodekoolsap geeft aan een zure oplossing een andere kleur dan aan een basische oplossing en kan daardoor worden gebruikt als zuur-base-indicator. Van zuur naar basisch verandert de kleur geleidelijk. Hieronder wordt de kleurschaal voor rodekoolsap schematisch weergegeven.



8.35

Tim maakt rodekoolsap. Hij neemt een paar bladeren van een rodekool en snijdt deze in kleine stukjes, doet deze stukjes in een bekglas en voegt water toe. Hij laat het mengsel tien minuten zachtjes koken. Nadat het mengsel is afgekoeld, schenkt Tim het door een zeef en vangt het sap op.

- a** Geef de namen van de twee scheidingsmethoden die Tim gebruikt bij de bereiding van het rodekoolsap.

Met het rodekoolsap voert Tim drie proeven uit.

Proef A: Tim doet 5 mL 0,2 M zoutzuur in een reageerbuis, voegt een paar druppels rodekoolsap toe en schudt.

Proef B: Tim doet 5 mL 0,2 M azijnzuur in een reageerbuis, voegt een paar druppels rodekoolsap toe en schudt. Hij vergelijkt de kleur die de oplossing krijgt met de kleur bij proef A.

Proef C: Tim neemt een reageerbuis en doet hier een spatelpuntje bariumhydroxide in. Hij voegt 5 mL water toe en schudt tot al het bariumhydroxide is opgelost. Tim voegt een paar druppels rodekoolsap toe, schudt en ziet dat de kleur groen is. Vervolgens doet Tim deze oplossing in een groot bekglas en voegt water toe totdat de kleur van de oplossing verandert.

- b** Bereken de pH van het mengsel dat ontstaat bij proef A. Neem hierbij aan dat het toevoegen van rodekoolsap geen invloed heeft op de pH.

- c** Leg uit waardoor bij proef B een andere kleur ontstaat dan bij proef A.

- d** Geef de vergelijking voor het oplossen van bariumhydroxide.

- e** Leg uit welke kleurverandering Tim waargenomen kan hebben bij proef C.

Geef je antwoord als volgt:

De kleur verandert van ... naar ..., omdat ...

Bron: CE havo 2011-II

5

Tanden en kiezen zijn bedekt met glazuur. Dit glazuur bestaat vrijwel geheel uit hydroxyapatiet, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$. Hydroxyapatiet kun je beschouwen als een mengsel van de zouten calciumfosfaat en calciumhydroxide.

- a** Leid af in welke molverhouding (calciumfosfaat : calciumhydroxide) deze zouten in hydroxyapatiet aanwezig zijn.

Hydroxyapatiet is erg hard, maar het is kwetsbaar als het met zure oplossingen in contact komt. In het volgende tekstfragment wordt de aantasting van hydroxyapatiet door zure oplossingen beschreven.



8.36 Beginnende cariës in de kiezen

Cariës

Een zwak zuur (pH 6-4) zoals melkzuur, dat bacteriën in tandplak uit suikers vormen, diffundeert tussen de apatietkristalletjes de tand binnen, waardoor elke twee protonen (H^+) telkens één calciumion (Ca^{2+}) verdringen. Deze langzame ontkalking maakt de tand in eerste instantie poreus en veroorzaakt uiteindelijk gaten (figuur 8.36).

Erosie

Een sterk zuur (pH 3-1) dat bijvoorbeeld in de vorm van azijn of citrusvruchten in de mond terechtkomt, veroorzaakt geen langzame ontkalking met poreusheid tot gevolg, maar leidt telkens tot aantasting en verlies van een buitenste dunne laag.

Uit: Melk en zuivelproducten in relatie tot tandgezondheid

Melkzuur is de triviale naam van 2-hydroxypropaanzuur. Een voorbeeld van een suiker waaruit melkzuur kan ontstaan, is sacharose. Voor deze omzetting van sacharose tot melkzuur is ook water nodig.

- b** Geef van de omzetting van sacharose tot melkzuur de reactievergelijking in molecuulformules. Neem hierbij aan dat melkzuur de enige koolstofverbinding is die gevormd wordt. Gebruik Binas tabel 66B.

Het tekstfragment geeft als definitie van een sterk zuur: pH tussen 3 en 1. Deze definitie wijkt af van gangbare definities. Volgens die gangbare definities is azijnzuur een zwak zuur.

- c** Laat door berekening zien dat azijn een pH tussen 3 en 1 heeft. Neem aan dat azijn 40 g opgelost azijnzuur per liter bevat en dat de waarde van K_z $1,7 \cdot 10^{-5}$ is.

Naar: CE vwo 2001-I



6

Bloed en de pH

In normale omstandigheden verwijderen longen van volwassen mensen per dag ongeveer $6,0 \cdot 10^2$ g CO_2 -gas uit het bloed. Dit CO_2 is voornamelijk afkomstig van de volledige verbranding van glucose in de lichaamscellen:



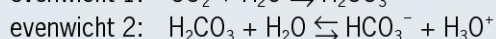
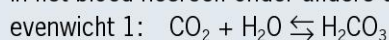
- a** Bereken uit de ontstane hoeveelheid CO_2 hoeveel gram glucose een volwassen mens per dag verbrandt. Neem daarbij aan dat alle CO_2 is ontstaan door verbranding van glucose.

Behalve opgelost CO_2 bevindt zich ook opgelost HCO_3^- in het bloed. De aanwezigheid van CO_2 en HCO_3^- is belangrijk voor het handhaven van een constante pH.

Onder normale omstandigheden is de pH van je bloed 7,40.

- b** Wat is de $[H_3O^+]$ in het bloed onder normale omstandigheden? Geef je antwoord in twee significante cijfers.

In het bloed heersen onder andere de volgende evenwichten:



- c** Geef de evenwichtsvoorwaarde van evenwicht 2.

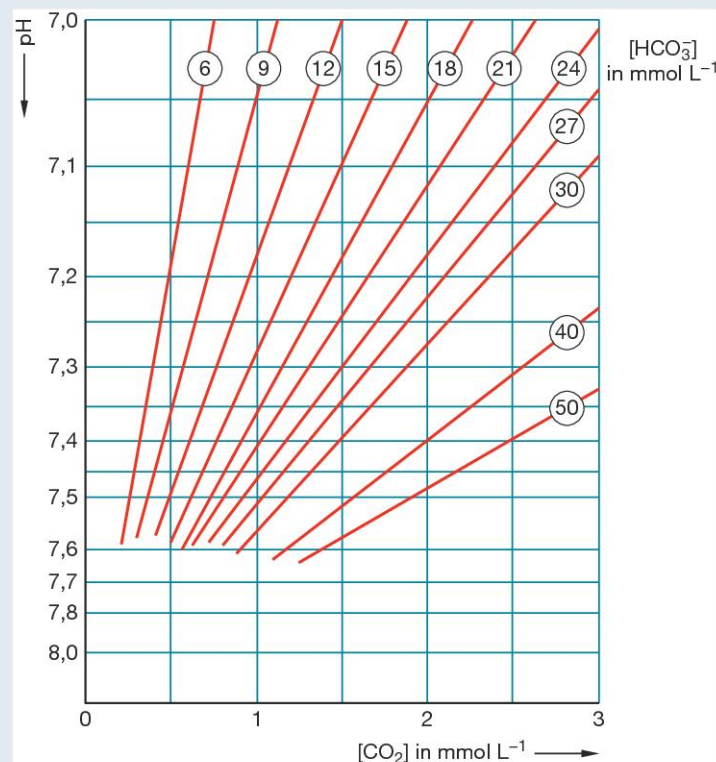
Het diagram in figuur 8.37 geeft bij verschillende concentraties van HCO_3^- het verband weer tussen de concentratie van CO_2 in het bloed en de pH. De omcirkelde getallen in de lijnen geven de concentraties van HCO_3^- weer in mmol per liter. Met behulp van elk van deze lijnen kun je berekenen hoeveel keer zo groot de $[\text{HCO}_3^-]$ is als de $[\text{CO}_2]$ in bloed bij een gegeven pH.

- d** Bereken met behulp van één van de lijnen uit het diagram hoeveel keer zo groot de $[\text{HCO}_3^-]$ is als de $[\text{CO}_2]$ in bloed bij een pH van 7,40.

Wanneer de molverhouding $\text{HCO}_3^- : \text{CO}_2$ in het bloed verandert, verandert de pH. Als de pH van bloed lager is dan 7,35, dan spreek je van acidose en als de pH hoger is dan 7,45, spreek je van alkalose.

Bij hyperventilatie is de afgifte van CO_2 door de longen versneld, terwijl er geen versnelde toevoer van CO_2 is vanuit de lichaamscellen naar het bloed. Bij een patiënt werd bij een aanval van hyperventilatie een $[\text{CO}_2]$ in het bloed geconstateerd van $0,9 \text{ mmol L}^{-1}$. De $[\text{HCO}_3^-]$ was op dat moment 24 mmol L^{-1} .

- e** Leid met behulp van het diagram af of bij deze patiënt sprake is van acidose of van alkalose.



8.37 Diagram pH tegen de concentratie opgelost CO_2

7

pH-Bodemtest

Een goede zuurgraad van de bodem is belangrijk voor de groei en bloei van tuinplanten. Om de zuurgraad van de bodem te bepalen is een pH-bodemtest in de handel. De pH-bodemtest bevat een reageerbuisje, een flesje gedestilleerd water en een aantal testtabletjes. Deze testtabletjes bevatten bariumsulfaat en een mengsel van indicatoren.

Op de verpakking van de test staat het volgende.



8.38 Een bodemtest om zelf de pH van je grond te testen

Gebruiksaanwijzing

- 1 Vul het reageerbuisje met 1 cm grond.
- 2 Voeg hier 2 mL (2,5 cm) gedestilleerd water aan toe.
- 3 Voeg het tabletje toe, sluit het reageerbuisje af met de meegeleverde stop en schud tot het tabletje is opgelost.
- 4 Zet het reageerbuisje enkele minuten weg tot de grond bezonken is en de vloeistof een heldere kleur krijgt.
- 5 Vergelijk de ontstane kleur met de kleuren die op de verpakking staan en bepaal de pH-waarde van de grond.

Op de verpakking (figuur 8.38) zijn vier reageerbuisjes afgebeeld met de volgende kleuren en gegevens:

geel:	pH = 4	sterk zuur
groen:	pH = 5	zuur
groenblauw:	pH = 6	licht zuur
blauw:	pH = 7	neutraal

Voor een goede plantengroei ligt de ideale pH-waarde tussen 5,5 en 7,0.

In de gebruiksaanwijzing staat dat je het reageerbuisje moet schudden tot het tabletje is opgelost. Uit de tekst boven de gebruiksaanwijzing is af te leiden dat dit niet mogelijk is.

a Leg uit waarom het tabletje niet volledig kan oplossen.

Fleur vermoedt dat broomthymolblauw één van de indicatoren is die in het tabletje zit.

b Leg aan de hand van de kleurgegevens op de verpakking uit dat broomthymolblauw niet de enige indicator in de tabletjes kan zijn. Maak gebruik van Binas tabel 52A.

Met de test wordt de pH van tuingrond bepaald op 5,5.

c Bereken de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ in mol L^{-1} in een oplossing met pH = 5,5.

Naar: CE havo 2013-I

Keuzeopdrachten

Hieronder staat een korte beschrijving van twee keuzeopdrachten. Op de site staat meer informatie. In overleg met je docent kun je één of meer van deze keuzeopdrachten uitvoeren.

1 Verzuurde spieren

Welke topsporter kent niet de uitdrukking: 'Mijn spieren waren helemaal verzuurd, ik kon niets meer!' Je onderzoekt wat spierversuring is, hoe ze ontstaat en wat je eraan kunt doen.

2 Zwavelzuur

Zwavelzuur is een veelgebruikte grondstof in de industrie. In deze opdracht zoek je drie producten waarvoor zwavelzuur een grondstof is en je zoekt gegevens over de productieprocessen van deze producten.

Overzicht begrippen

Groepen van zuren

Een **organisch zuur** is een stof met een koolstofskelet en een -COOH -groep. Het H-atoom in deze zuurgroep kan worden afgestaan als H^+ -ion. Een **anorganisch zuur** is een stof zonder een koolstofskelet. Sommige **ionen** kunnen als zuur reageren.

Indicatoren

Een indicator is een stof waarmee je kunt bepalen of een oplossing zuur, basisch of neutraal is.

- De indicator **lakmoes** geeft alleen aan of een oplossing zuur of basisch is.
- Met **universeel indicatorpapier** kun je de pH-waarde van een oplossing vaststellen.
- **Oplossingen van indicatoren** geven een pH-gebied aan.

Instabiele zuren

Koolzuur en zwaveligzuur zijn instabiele zuren.

Meerwaardige zuren

Een meerwaardig sterk zuur kan meerdere H^+ -ionen afstaan. Een meerwaardig zwak zuur verliest in water maar één H^+ -ion.

Omslagtraject

Het pH-gebied waarin de indicator van kleur verandert.

pH

Een oplossing is zuur bij een $\text{pH} < 7$, basisch bij een $\text{pH} > 7$ en neutraal bij een $\text{pH} = 7$.

pH berekenen

De pH van een oplossing bereken je met $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$. Bij een gegeven pH bereken je de H_3O^+ -concentratie met $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$.

Significante cijfers bij de pH

Voor pH-berekeningen geldt dat het aantal significante cijfers in de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ gelijk moet zijn aan het aantal decimalen in de pH.

Sterk zuur

Een sterk zuur is opgelost in water volledig geïoniseerd. De notatie van de oplossing van een sterk zuur HZ is: $\text{H}_3\text{O}^+ (\text{aq}) + \text{Z}^- (\text{aq})$. Bij een oplossing van een sterk zuur kun je de pH rechtstreeks berekenen uit de molariteit van de oplossing.

Zuurconstante

De zuurconstante is de evenwichtsconstante bij een oplossing van een zwak zuur in water. De zuurconstante geef je weer met K_z . De zuurconstante komt voor een zwak zuur HZ overeen met onderstaande formule:

$$K_z = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{Z}^-]}{[\text{HZ}]}$$

Deze formule gebruik je voor berekeningen aan zwakke zuren.

Zuurgraad of pH

Een getalwaarde die aangeeft of een stof zuur, basisch of neutraal is.

Zwak zuur

Een zwak zuur is opgelost in water slechts gedeeltelijk geïoniseerd. De notatie van de oplossing van een zwak zuur HZ is: $\text{HZ} (\text{aq})$. Bij een oplossing van een zwak zuur kun je de pH berekenen uit de molariteit van de oplossing met behulp van de evenwichtsvoorwaarde.

Register

A

aardalkalimetalen 39
aardgas 198
aardolie 198
activeringsenergie 21
acyclisch 163
adsorptie 14
afgeleide eenheden 54
aflopend evenwicht 228
alcoholen 176
aldehyden 180
algen 207
alifatische koolwaterstoffen 164
alkaanzuren 181
alkadien 170
alkalimetalen 39
alkanalen 180
alkanen 162, 163
alkanolen 176
alkanonen 181
alkenen 163
alkoxyalkanen 176
alkylalkanoaten 186
alkylgroepen 169
alkynen 163
aminen 182
anorganische zuren 250
apolair 74, 82
aromaten 164
atomaire massa-eenheden 49
atomaire massa-eenheid (u) 48
atoombinding 73
atoomeconomie 214
atoomkern 36
atoommassa 48
atoomnummer 37

B

basisch 238
benzeen 164
bezinken 13
biobrandstoffen 205
biodiesel 206
bio-ethanol 206
biogas 207
biomassa 205
blokschema 207
Bohr 38

C

carbonzuren 181
centrifugeren 13
chemische energie 20
chemisch evenwicht 136, 219
chromatografie 14
CO₂-neutraal 206
concentratie 25
concentratiebreuk 221
coulomb 37
covalente binding 73
covalentie 73
Cradle to Cradle 213
cyclische verbinding 163
cycloalkanen 163

D

destillaat 14
destillatie 14
dipool-dipoolbinding 81
dipoolmoleculen 81
downcyclen 213
duurzaamheid 212
duurzame grondstoffen 212
dynamisch evenwicht 87

E

edelgasconfiguratie 44
edelgassen 39
eenheid 54
elektronegativiteit 74
elektronen 36
elektronenconfiguratie 38, 39
elektronenschillen 38
elektronenwolk 36
elektrovalentie 44
element 8
elementaire ladingseenheid 37
elementair ladingskwantum 37
elementenkringloop 205
emulgator 9
emulsie 9
endotherme reactie 20
energiediagram 21
enkelvoudige ionen 105
enzym 25
evenwicht 87
evenwichtsconstante 221

evenwichtsreacties 219
evenwichtsvoorwaarde 221
exotherme reactie 20
extraheren 14

F

fenolen 177
fenyl 171
filtraat 13
filtreren 13
fotosynthese 205
fracties 199

G

gefractioneerde destillatie 199
gemeten waarde 92
getal van Avogadro 55
groene chemie 214
groep 38
grootheid 54

H

halogenen 39
het botsende-deeltjesmodel 25
heterogeen evenwicht 136, 220
heterogene mengsels 26
hoeveelheid stof 55
homogeen evenwicht 136, 220
homogeen mengsel 26
homologe reeksen 162
hydratatie 111
hydrofiel 9
hydrofiele stoffen 87
hydrofobe stoffen 87
hydrofoob 9
hydrolyse 186

I

indampen 14
indampvergelijkingen 112
instabiele zuren 250
insteltijd 219
internationaal stelsel van eenheden (SI) 54
ionbinding 68, 104
ion-dipoolbindingen 111
ionrooster 68, 104
isomeren 163

isomerie 163
isotopen 38

K

karacteristieke groep 175
katalysator 25
ketonen 181
klasse 175
kookpunt 9
kooktraject 9
koolstofchemie 162
koolstofkringloop 205
koolwaterstoffen 162
kraken 200
kristalrooster 67
kristalwater 117

L

lakmoes 239

M

macroniveau 36, 55
massabehoud 20
massagetal 37, 49
meerwaardige zuren 249
meetwaarden 50
metaalbinding 68
metaalrooster 67
metalen 67
microniveau 36
mol 55
molaire massa 56
molair volume (V_m) 93
molariteit 122
moleculaire stof 68
moleculaire stoffen 67
moleculen 8
molecuulmassa 50
molecuulrooster 68
molverhouding 146

N

neerslag 134
neerslagreactie 134
neerslagvergelijking 134
negatief ion 43
neutraal 238

neutronen 36
niet-cyclisch 163

O

octetregel 44
omestering 206
omslagtraject 239
onvertakt 163
onverzadigd 113, 163
oplosbaarheid 112
oplosevenwicht 223
oplossing 9
oplosvergelijking 112
organische chemie 162
organische zuren 249
oxoniumion 243

P

partiële lading 74
periode 38
periodiek systeem 38
polair 81
polaire atoombinding 74
positief ion 43
protonen 36

R

reactie-energie 21
reactiesnelheid 24
reactietemperatuur 19, 20
reactietijd 24
recyclen 213
reformen 200
rendement 215
residu 13, 14
Rf-waarde 15
Rutherford 36

S

samengesteld ion 106
scheiden 13
SI-eenheid 54
significante cijfers 92, 255
smeltpunt 9
smelttraject 9
soort stof 25
sorteren 13

steenkool 198
sterke zuren 244
stofeigenschappen 13
stoffenkringloop 213
stoichiometrische verhouding 146
structuurformule 73
suspensie 9
systematische naam 106
systematische naamgeving 168

T

telwaarden 50
temperatuur 25
triviale naam 107
tweelagensysteem 9

U

universeel indicatorpapier 239
upcyclen 213

V

valentie-elektronen 44
vanderwaalsbinding 68, 78
verbinding 8
verbrandingswarmte 198
verdelingsevenwicht 88, 223
verdelingsgraad 25
verhoudingsformule 106
vertakt 163
verzadigd 113, 163

W

waterstofbrug 81
wet van Avogadro 92

Z

zeewier 208
zout 68
zouten 67
zouthydraten 117
zuivere stof 8
zure regen 200
zuur 238
zuurconstante 256
zuurgraad 238
zuurrestion 249
zwakke zuren 244

Verantwoording

Fotoresearch: Fotoredactie, Arnhem

- iStockphoto, Calgary: p. 6-7, 8, 9, 11, 16 l, 20, 21, 24 b, 25, 30 b, 32 b, 37 o, 39 o, 49, 57, 78 o, 108 o, 111 b, 111 o, 117 b, 117 o, 118 m, 118 o, 122 b, 123 o, 128 o, 134 b, 135 b, 135 o, 164, 179, 180 o, 200 b, 245 o, 254 b, 255 b
- dr. A.M. Kram, Groningen: p. 10
- Martin Hulsman/ANP, Rijswijk: p. 13
- Lineair, Arnhem: p. 15, 250 o
- Sjef Buil, Zwaag: p. 16 r
- X-flow, Enschede: p. 18
- Mommy Mums: p. 19 b
- Dreamstime.com: p. 19 l, 77 m, 94
- www.julianmelchiorri.com: p. 19 o
- Joost Hoving/HH, Den Haag: p. 22
- Science Photo Library/ANP, Rijswijk: p. 24 o, 26, 50, 118 b, 137 l, 162 o, 182
- Picture Alliance/Lineair, Arnhem: p. 30 o, 39 b, 76, 145
- Erik Jan van den Noort, Rijssen: p. 32 o
- Alamy/Image Select, Wassenaar: p. 34-35, 40 r, 42 l, 45, 64-65, 66 o, 86 o, 134 o, 137 r, 153 l, 162 b, 175 b, 181 b, 188 l, 196-197, 198 b, 205 b, 209, 212 ol, 238 o, 247
- Kimberly Falk, Jena: p. 36 o
- ANP/AFP PHOTO/Richard Juilliant, Rijswijk: p. 36 b
- Getty Images, Amsterdam: p. 37 b, 40 l, 42 r, 48 b, 54 b, 78 b, 85, 98 o, 127 o, 132-133, 141, 160-161, 187, 201, 202 o, 204, 205 o, 208, 213 b, 223
- Emily Byrne, Illinois: p. 38
- www.daymak.com: p. 43
- Wikimedia/ Dominicus Johannes Bergsma/CC BY-SA 4.0: p. 47
- Shutterstock, New York: p. 48 o, 53, 69 r, 79 (2x), 88 r, 91 o, 93, 104 b, 155 o, 177 b, 186 o, 190, 193, 200 o, 214, 215 b, 215 o, 219 o, 225, 226 o, 232, 257, 258, 264
- Errol Loic Samuel, Antigua: p. 52
- AFP/ANP, Rijswijk: p. 54 o
- www.zazzle.com: p. 55
- Hoge Noorden Jacob van Essen/ANP, Rijswijk: p. 56
- www.sugarstacks.com: p. 59
- Lexus international: p. 60
- American Society for Microbiology, Washington: p. 62
- Ina van Hateren/Nationale Beeldbank, Rotterdam: p. 66 b
- Visuals Unlimited/Lineair, Arnhem: p. 67, 107
- Funtime Gifts Ltd., Londen: p. 69 l
- Aeolus Art / Nationale Beeldbank, Rotterdam: p. 70
- Bloomberg/Getty Images, Amsterdam: p. 71
- www.lenovo.com: p. 72 b
- Egonzitter/Nationale Beeldbank, Rotterdam: p. 72 o
- The Boston Globe/Getty Images, Amsterdam: p. 77 b
- Rice University News & Media, Houston: p. 77 o
- Juulbaars/Nationale Beeldbank, Rotterdam: p. 81
- Lineair Fotoarchief/Egmont Strigl, Arnhem: p. 82
- Julie Dermansky/Getty, Amsterdam: p. 86 b
- High Field Magnet Laboratory (HFML) and FELIX Laboratory, Nijmegen: p. 88 l
- Lineair Fotoarchief/Reinhard Dirscherl, Arnhem: p. 91 b
- Persbureau GinoPress /ANP, Rijswijk: p. 96
- Wikimedia/united states geological survey: p. 97
- Erik van der Burgt/Verbeeld, Tilburg: p. 98 b
- AFP/ANP/Bruce Weaver, Rijswijk: p. 99
- Spaarnestad Photo/HH, Den Haag: p. 100
- Lineair Fotoarchief/Stefan Kunz, Arnhem: p. 102-103
- Wikimedia/CC BY-SA 3.0: p. 105, 116, 123 b, 123 m, 140 o, 239, 240, 255, 259
- Wikipedia: p. 106, 108 b, 127 b, 154 o, 177 o
- Hugo Quirynen/www.minerant.org: p. 110
- Piet den Blanken/HH, Den Haag: p. 113 b
- 2017 Theodore Gray periodictable.com: p. 113 o
- Ron Giling/Lineair, Arnhem: p. 114 b, 114 o, 121, 126, 266 b, 266 o
- www.altoatacama.com: p. 119
- Richard Megna - Fundamental Photographs: p. 122 o, 149 b
- www.depositphotos.com: p. 124
- Trustees of the British Museum/CC BY-NC-SA 4.0: p. 128 b
- Boeve Afbouw, Lemelerveld: p. 129
- B. Möser, Bauhaus-Universität, Weimar: p. 130
- Martin Wilmsen/De Beeldunie, Amsterdam: p. 136
- EPA/ANP, Rijswijk: p. 139
- Lineair Fotoarchief/Ton Koene, Arnhem: p. 140 b
- ANP/Paul Bergen, Rijswijk: p. 142 l
- www.waternet.nl: p. 142 r
- Lineair Fotoarchief / Martin Siepmann, Arnhem: p. 143
- Lineair Fotoarchief / Stefan Kiefer, Arnhem: p. 146
- Lineair Fotoarchief / H. Reinhard, Arnhem: p. 147 b
- Marcel van den Bergh/HH, Den Haag: p. 147 o
- Novarials Corporation, Woburn: p. 148
- Lineair Fotoarchief/Fabian von Poser, Arnhem: p. 149 o
- Thomas McGuire, Cavecreek, Arizona: p. 150
- Wikimedia Commons: p. 151 l, 175 o
- Wikipedia/Søren Wedel Nielsen/ CC BY-SA 3.0: p. 151 r
- Daimler AG, Stuttgart: p. 153 r

- Istock/Lineair, Arnhem: p. 154 b
 Lineair Fotoarchief/Monique Berger, Arnhem: p. 155
 www.nikolamotor.com: p. 156
 Rijkmuseum, Amsterdam: p. 158
 Julius T. Csotonyi: p. 165 l
 Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven: p. 165 r
 Collectie Lineair Fotoarchief, Arnhem: p. 168 b
 IUPAC, Durham: p. 168 o
 EXPA/ Eibner-Pressefoto/ANP, Rijswijk: p. 172
 Groupe Renault: p. 174
 Lineair Fotoarchief/ P. Steeger, Arnhem: p. 176
 Lineair Fotoarchief/J. Kottmann, Arnhem: p. 180 b
 Nout Wolters, Tiel: p. 181 o
 Emily Carrington, Washington: p. 183 l
 www.tieku.fi: p. 183 r
 Minnesota Landscape Arboretum: p. 186 b
 Columbus koffie/thee/kookwinkel, Wageningen: p. 188 b
 www.cep-expo.hu: p. 188 r
 ecoLogicStudio, London: p. 198 o
 ANP/Lex van Lieshout, Rijswijk: p. 199, 216 ol
 Roberto Gudino/UCLA, Los Angeles: p. 202 b
 Michiel Wijnbergh/HH, Den Haag: p. 205 m
 Centers for Disease Control and Prevention, USA: p. 207 b
 Andreas Heddergott / Technische Universität, München: p. 207 o
 Daniel Michalik, New York: p. 212 b
 Pi Monteyne, Etterbeek: p. 212 or
 Nathalie Boucry, Johannesburg: p. 213 o
 Reuters/Novum, Den Haag: p. 216 b
 cocacolaweb.fr: p. 216 or
 Puma/Herzogenaurach: p. 219 b
 Harrysfarm-Swifterbant: p. 220
 Lineair Fotoarchief/Karl F. Schöffmann, Arnhem: p. 222
 NASA/Wikimedia: p. 226 b
 AKG/Lineair, Arnhem: p. 228
 Arns Media, Elst: p. 230
 www.businesswire.com: p. 231
 www.enerdes.nl: p. 233
 Belga/ANP, Rijswijk: p. 236-237
 Bart van Overbeeke Fotografie, Eindhoven: p. 238 b
 Lineair Fotoarchief/TUNS, Arnhem: p. 241
 Lineair Fotoarchief/Juan-Carlos Muñoz, Arnhem: p. 243
 Lineair Fotoarchief/O. Diez, Arnhem: p. 245 b
 AFP/ANP/William Edwards, Rijswijk: p. 248
 Lineair Fotoarchief/Walter G. Allgöwer, Arnhem: p. 249
 Gamma Presse Images/ANP, Rijswijk: p. 260 b
 Roeland Koning, Amstelveen: p. 251 l
 Cultura Images RM/HH, Den Haag: p. 251 r
 Erik van der Burgt/HH, Den Haag: p. 254 o
 AP Photo/ Christian Aslund/Greenpeace/HH, Den Haag: p. 261
 Zeeuws Archief, Middelburg: p. 262



Bij dit boek hoort een digitale leeromgeving
met interactieve opdrachten in diverse leerroutes,
overzichtelijke dashboards en een uitgebreide toetsmodule.
Dit maakt gepersonaliseerd leren mogelijk.



Noordhoff Uitgevers



www.overal.noordhoff.nl

ISBN 978-90-01-82792-2



9 789001 827922