

Chemie Overal



Noordhoff Uitgevers

Chemie Overal

6 vwo

Vijfde editie

Auteurs

Joost Arends
Sjef Buil
Tom Heutmekers
Bertie Spillane
Yvonne Veldema

ICT

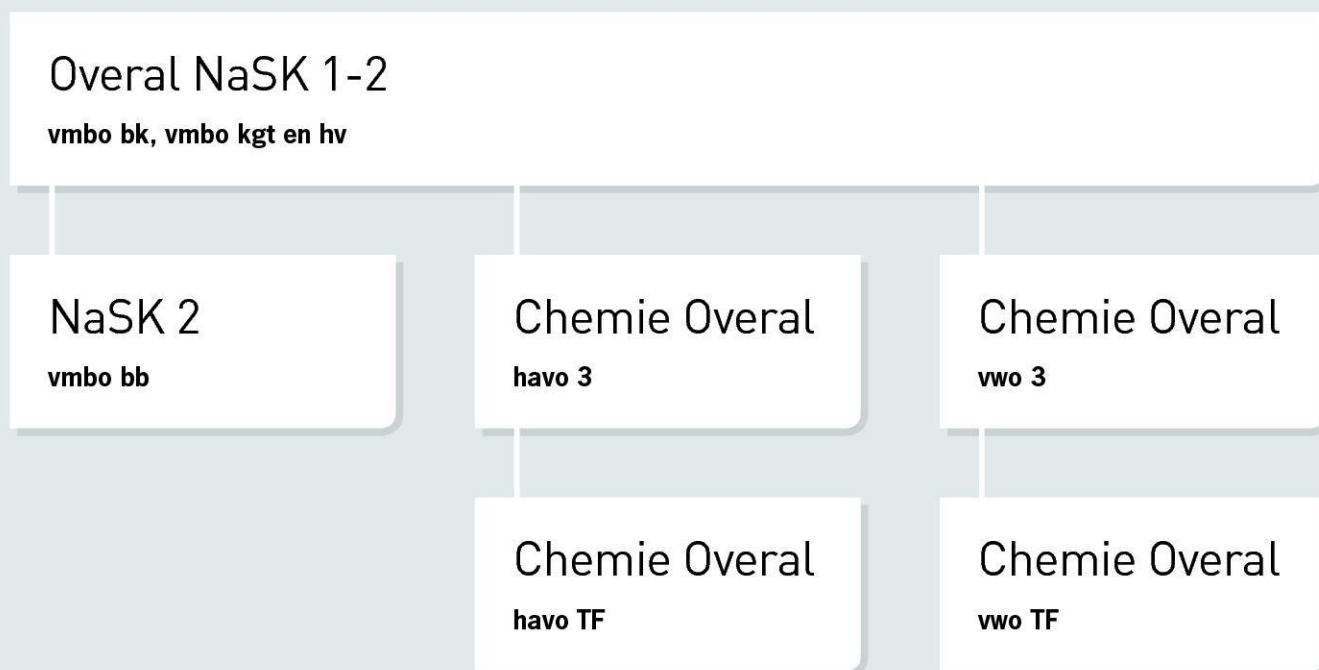
Peter Haadsma
Randy Huijnen
Nico Kabel
Patrick van Kempen
Machteld Petram

Eindredacteur

Juleke van Rhijn

Noordhoff Uitgevers

Serieoverzicht



Vormgeving binnenwerk: Bloemvis design en communicatie, Groningen

Vormgeving omslag: InOntwerp, Assen

Omslagbeeld: Shutterstock

Technisch tekenwerk: Integra Software Services

Eventuele op- en aanmerkingen over deze of andere uitgaven kunt u richten aan: Noordhoff Uitgevers bv, Afdeling Voortgezet onderwijs, Antwoordnummer 13, 9700 VB Groningen of via het contactformulier op www.mijnnoordhoff.nl.

De informatie in deze uitgave is uitsluitend bedoeld als algemene informatie. Aan deze informatie kunt u geen rechten of aansprakelijkheid van de auteur(s), redactie of uitgever ontlelen.



0 / 19

© 2019 Noordhoff Uitgevers bv, Groningen/Utrecht, The Netherlands

Deze uitgave is beschermd op grond van het auteursrecht. Wanneer u (her)gebruik wilt maken van de informatie in deze uitgave, dient u vooraf schriftelijke toestemming te verkrijgen van Noordhoff Uitgevers bv. Meer informatie over collectieve regelingen voor het onderwijs is te vinden op www.onderwijsauteursrecht.nl.

This publication is protected by copyright. Prior written permission of Noordhoff Uitgevers bv is required to (re)use the information in this publication.

ISBN 978-90-01-81977-4

© Noordhoff Uitgevers bv

Voor de leerling

Welkom bij de 5^e editie van Chemie Overal voor de Tweede Fase. 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 inzichtsoopdrachten
- ⊙ 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

15 Groene chemie 6

- 15.1** Atoomeconomie 8
- 15.2** Energiebalans 15
- 15.3** Reactiesnelheid 21
- 15.4** Blokschema's 27
- 15.5** Welk proces is groener? 33

Afsluiting 39
Overzicht begrippen 45

16 Chemie van het leven 46

- 16.1** Koolhydraten 48
- 16.2** Vetten 54
- 16.3** Eiwitten 59
- 16.4** DNA en RNA 65

Afsluiting 72
Overzicht begrippen 77

17 Buffers en enzymen 78

- 17.1** Amfolyten 80
- 17.2** Buffers 85
- 17.3** Enzymen 92
- 17.4** Celmembraan en transport 98

Afsluiting 103
Overzicht begrippen 109

18 Accu's en brandstofcellen 110

- 18.1** Elektrochemische cel 112
- 18.2** Batterij en brandstofcel 118
- 18.3** Accu's en duurzaamheid 123
- 18.4** Energietransitie 130

Afsluiting 139
Overzicht begrippen 145

19 Examentraining 146

19.1 Centraal examen 148

19.2 Reactievergelijkingen 152

19.3 Chemisch rekenen 156

19.4 Structuurformules 164

19.5 Blokschema, evenwicht 171

Afsluiting 176

Kenniskaarten 180

Register 192

Verantwoording 194

15 Groene chemie

Inhoud

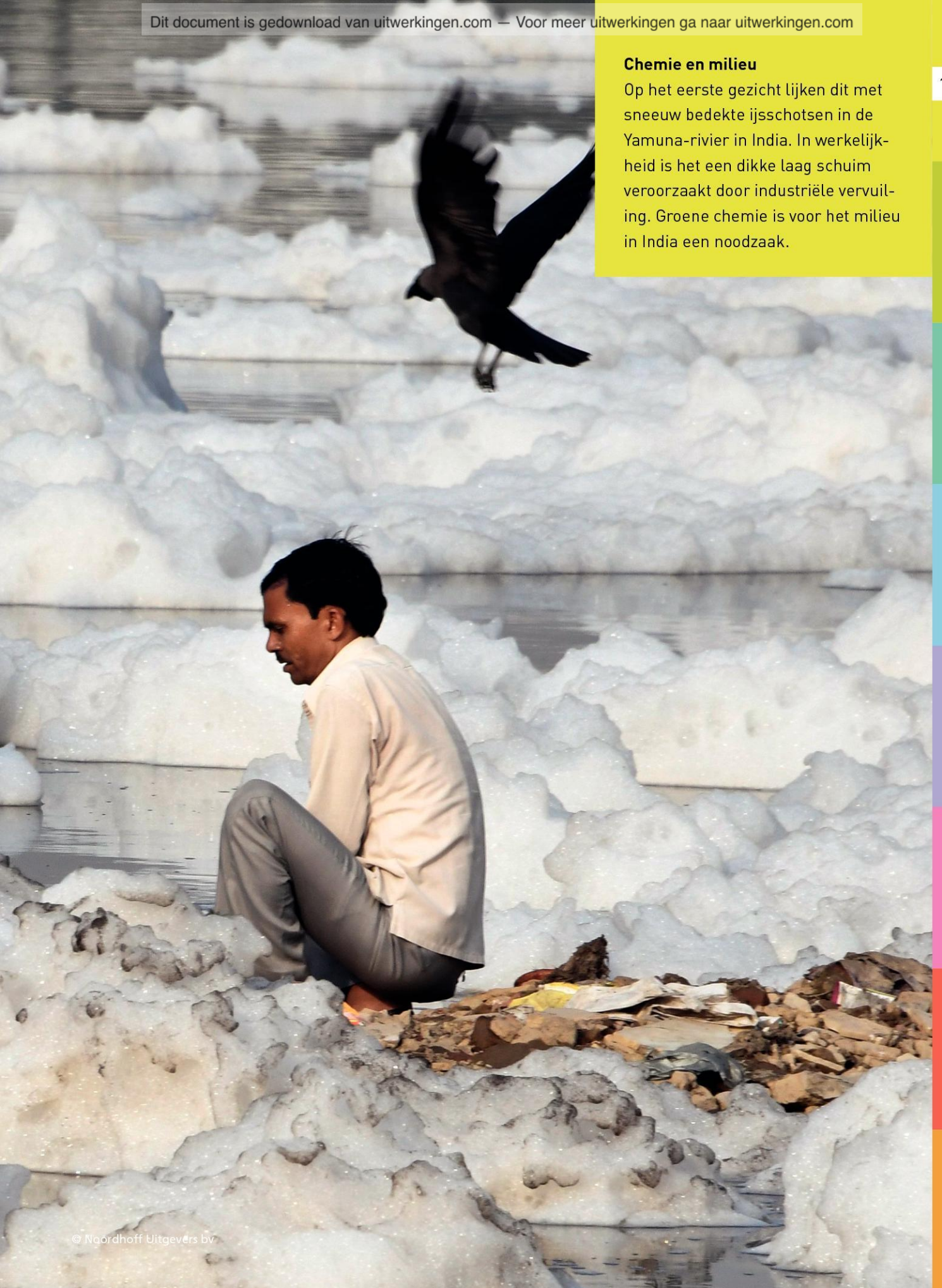
- 15.1** Atoomeconomie
Experiment:
15.1 De blauwe fles
- 15.2** Energiebalans
Experimenten:
15.2 Exotherm of endotherm?
15.3 Verbrandingsenergie van stearinezuur
- 15.3** Reactiesnelheid
Experimenten:
15.4 Reactiesnelheid en concentratie
15.5 Reactiesnelheid en temperatuur
- 15.4** Blokschema's
- 15.5** Welk proces is groener?
- Afsluiting
- Overzicht begrippen



Chemie en milieu

Op het eerste gezicht lijken dit met sneeuw bedekte ijsschotsen in de Yamuna-rivier in India. In werkelijkheid is het een dikke laag schuim veroorzaakt door industriële vervuiling. Groene chemie is voor het milieu in India een noodzaak.

15



Titanium

Titanium is een sterk en licht metaal met een hoog smeltpunt. Het is even sterk als staal, maar ruim 40% lichter. Dit gecombineerd met de corrosiebestendigheid biedt veel toepassingsmogelijkheden, zoals in de carrosserie van de auto hiernaast, de Icona Vulcano Titanium, die volledig van titanium is. De prijs, 2,7 miljoen dollar, is nog wat aan de hoge kant voor massaproductie.



Je leert

- principes van groene chemie toepassen met atomeconomie, E-factor en rendement;
- rekenen met grenswaarden en de begrippen procent, promille, ppm en ppb.

15.1 Atomeconomie

● Experiment 15.1



15.1 Titaniumplaatjes worden gebruikt bij het fixeren van botbreuken. Het metaal reageert niet in het lichaam en wordt niet afgestoten.

Principes van de groene chemie

Titanium is een van de meest voorkomende metalen op aarde, maar het is een erg duur metaal om te produceren. Daardoor heeft het gebruik van titanium in een sportwagen weinig met duurzaam materiaalgebruik te maken.

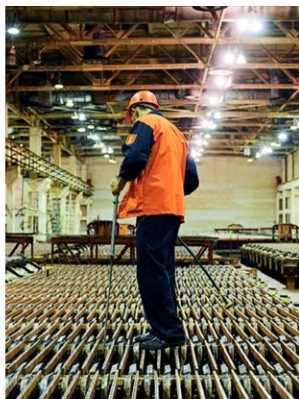
Het streven naar verduurzaming in de chemische industrie wordt **groene chemie** genoemd. Een aantal aspecten van **duurzaamheid** zijn al in hoofdstuk 7 besproken. In dit hoofdstuk gaan we dieper in op de groene chemie. Groene chemie maakt processen veiliger, gebruikt duurzame grondstoffen en energie en produceert minder afval. De twaalf uitgangspunten die voor de groene chemie zijn geformuleerd, kun je terugvinden in Binas tabel 97F.

In een productieproces dat voldoet aan de uitgangspunten van de groene chemie wordt zo veel mogelijk gewenst product gemaakt en zo min mogelijk afval. Met de **atomeconomie** bepaal je hoe efficiënt een productieproces is. Voor de atomeconomie geldt de definitie:

$$\text{atomeconomie} = \frac{m_{\text{gewenst product}}}{m_{\text{beginstoffen}}} \times 100\%, \text{ waarin } m \text{ de molecuulmassa is.}$$

In de massa van de beginstoffen moeten *alle* beginstoffen worden meegenomen. Wanneer een reactie in oplossing verloopt, moet je dus ook de ionen van de beginstoffen die niet aan de reactie deelnemen in je berekening meenemen.

In rekenvoorbeeld 1 bekijk je nog eens een berekening van de atomeconomie aan de hand van het productieproces van titanium uit titanium(IV)oxide, het zogenaamde krollproces.



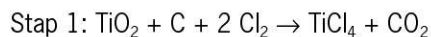
15.2 Grote aantallen elektrolysevatens naast elkaar. Het magnesiumchloride uit het krollproces kun je terugwinnen met elektrolyse.

In het voorbeeld is het krollproces vereenvoudigd voorgesteld. De berekening van de atomeconomie zag je al in hoofdstuk 7.

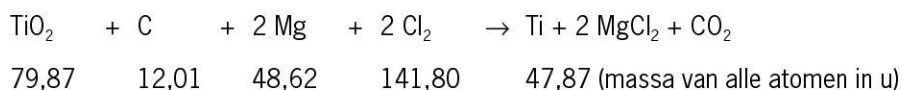
Rekenvoorbeeld 1

Bereken de atomeconomie van het productieproces van titanium.

Voor het verkrijgen van het titanium zijn twee reactiestappen nodig:



De totaalreactie van deze twee stappen is:



$$\text{atomeconomie} = \frac{47,87}{79,87 + 12,01 + 141,80 + 48,62} \times 100\% = 16,96\%$$

Dit is zo geen groen proces, maar in het krollproces wordt het MgCl_2 teruggewonnen door het gesmolten MgCl_2 te elektrolyseren. Hierdoor stijgt de atomeconomie. Het MgCl_2 hoef je nu niet mee te nemen in de berekening van de atomeconomie, want het blijft in het proces.

$$\text{atomeconomie} = \frac{47,87}{79,87 + 12,01} \times 100\% = 52,10\%$$

Het terugwinnen via elektrolyse brengt enorme energiekosten mee en verhoogt dan wel de atomeconomie, maar maakt het proces niet duurzamer (figuur 15.2).

Naast de atomeconomie speelt ook het **rendement** een belangrijke rol bij het kiezen van een productieproces. Onder rendement wordt verstaan:

$$\text{rendement} = \frac{\text{praktische opbrengst}}{\text{theoretische opbrengst}} \times 100\%$$



15.3 Het ontstaan van chemisch afval wil je zo veel mogelijk voorkomen.

De theoretische opbrengst is de massa van het product die volgens een kloppende reactievergelijking maximaal bij een aflopende reactie kan ontstaan. De praktische opbrengst is de massa van het product, zoals die bij een bepaalde reactie in een chemische fabriek in werkelijkheid ontstaat. In paragraaf 7.3 van hoofdstuk 7 staat een voorbeeld van een rendementsberekening.

Bij een productie waar meerdere reacties na elkaar verlopen moet je de rendementen van alle stappen met elkaar vermenigvuldigen. Bij het ontwerpen van een productieproces moet je dus rekening houden met het rendement van elke stap.

E-factor en Q-factor

In de **E-factor** van een synthese wordt de informatie uit de atomeconomie en het rendement gecombineerd. De E staat voor *Environmental* (= milieu) en de E-factor is een maat voor de hoeveelheid afval die ontstaat bij een productieproces (figuur 15.3).

De E-factor is een hulpmiddel om de efficiëntie van verschillende processen te vergelijken.

Je kunt de E-factor weergeven als:

$$E\text{-factor} = \frac{\text{massa}_{\text{beginstoffen}} - \text{massa}_{\text{gewenst product}}}{\text{massa}_{\text{gewenst product}}}$$

Je gebruikt bij de E-factor altijd de praktische opbrengst van het gewenste product. Hoe groter de atomeconomie en hoe hoger het rendement, des te lager is de E-factor. De formules voor de atomeconomie, rendement en E-factor vind je ook in Binas tabel 37H.

Naast titanium heeft ook het oxide van titanium veel toepassingen (figuur 15.4). In rekenvoorbeeld 2 zie je hoe titanium(IV)oxide in het sulfaatproces wordt geproduceerd. Je berekent de atomeconomie en de E-factor van dit proces.



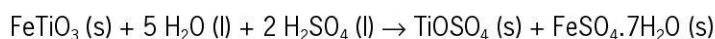
15.4 De witte m op M&M's is ook met titanium(IV)oxide getekend.

Rekenvoorbeeld 2

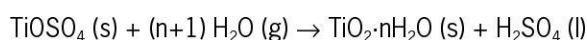
Bereken de atomeconomie en de E-factor van het sulfaatproces.

Het sulfaatproces verloopt in drie stappen.

Stap 1: Fijngemalen erts, ilmeniet, wordt omgezet in TiOSO_4 volgens:



Stap 2: TiOSO_4 wordt met stoom verhit:



Stap 3: Het titanium bevattende product wordt gedroogd:



Door optellen van de drie reacties vind je de totaalvergelijking van dit proces:



$$\text{atomeconomie} = \frac{m_{\text{product}}}{m_{\text{beginstoffen}}} = \frac{79,87}{(151,72 + 6 \times 18,02 + 98,079)} \times 100\% = 22,32\%$$

Het rendement van dit proces is 80%, dat verwerk je in de formule van de E-factor.

$$E\text{-factor} = \frac{\text{massa}_{\text{beginstoffen}} - \text{massa}_{\text{werkelijke opbrengst product}}}{\text{massa}_{\text{werkelijke opbrengst product}}} = \frac{357,919 - 0,80 \times 79,87}{0,80 \times 79,87} = 4,60$$

Niet alleen de hoeveelheid afval die ontstaat bij een proces is belangrijk, maar ook de soort afval. Een reactie waarbij 10 000 kg koolstofdioxide wordt geproduceerd is een grotere vervuiler dan een reactie waarbij 10 000 kg water vrijkomt. Daarom is er ook een **vervuilingsfactor Q** ingevoerd. Onder de Q-factor verstaan we de mate waarin een stof vervuילend is.

Bijvoorbeeld:

- water $Q = 0$
- niet schadelijke zouten zoals NaCl $Q = 1$
- giftige producten $Q = 100 \dots 1000$

Om te bepalen hoe groen een synthese is, kijk je naar de E-factor en de Q-factor.



15.5 Afhankelijk van de werkplek zijn diverse soorten bescherming aan te raden.



15.6 De grenswaarde van asbest wordt regelmatig bijgesteld.



15.7 Het ontleden van ammoniumdichromaat levert een spectaculaire proefje op. In verband met de giftigheid moet je dit in de zuurkast uitvoeren.

Grenswaarde

Om de veiligheid bij het werken met stoffen te bevorderen, is voor veel stoffen een **grenswaarde** vastgesteld. De grenswaarde is de maximaal toegestane hoeveelheid van een stof in mg per m³ lucht op de werkplek. Bij de vaststelling van deze waarde wordt als uitgangspunt gehanteerd dat – voor zover de huidige kennis reikt – de gezondheid van de werknemers én hun nageslacht niet wordt geschaad bij herhaalde blootstelling aan die concentratie gedurende een arbeidsleven. Sommige grenswaarden worden door de overheid vastgesteld, maar de meeste ontstaan in onderling overleg tussen werkgevers en werknemers (figuur 15.5 en 15.6).

Ondanks het hanteren van grenswaarden kunnen er toch gevaarlijke situaties ontstaan door:

- gebrek aan toxicologische informatie;
- verschil in gevoeligheid van een persoon voor de stof;
- langere werktijden;
- blootstelling aan een mengsel van stoffen: dit kan extra of juist minder schadelijk zijn;
- onjuist meten van de luchtconcentratie.

In Binas tabel 97A vind je de grenswaarden van een aantal stoffen met een **TGG** (Tijd Gewogen Gemiddelde) van 8 uur. Binnen deze periode mag de concentratie tijdelijk wel hoger zijn als daardoor geen gezondheidsschade ontstaat, maar het 8-uur gemiddelde mag niet worden overschreden. In een aantal gevallen is er ook een grenswaarde met een TGG van vijftien minuten vastgesteld.

Stoffen die erg giftig zijn hebben een zeer kleine grenswaarde. Deze waarde wordt vaak uitgedrukt in **ppm** of in **ppb** in plaats van in mg per m³. De aanduiding ppm staat voor 'parts per million'; ppb staat voor 'parts per billion'. Deze geven respectievelijk het aantal delen per 10⁶ en per 10⁹ delen weer. Hieronder zie je de formules voor procent, promille, ppm en ppb. Het kan daarbij zowel gaan om massa's als om volumes.

$$\text{percentage stof X in een mengsel: } \frac{\text{hoeveelheid stof X}}{\text{hoeveelheid mengsel}} \times 100\%$$

$$\text{promillage stof X in een mengsel: } \frac{\text{hoeveelheid stof X}}{\text{hoeveelheid mengsel}} \times 1000\%$$

$$\text{aantal ppm stof X in een mengsel: } \frac{\text{hoeveelheid stof X}}{\text{hoeveelheid mengsel}} \times 10^6 \text{ ppm}$$

$$\text{aantal ppb stof X in een mengsel: } \frac{\text{hoeveelheid stof X}}{\text{hoeveelheid mengsel}} \times 10^9 \text{ ppb}$$

Bij deze berekeningen moeten de eenheden in teller en noemer gelijk zijn.

Rekenvoorbeeld 3

De grenswaarde voor ammoniumdichromaat (zie figuur 15.7) is 0,025 mg m⁻³. Bereken hoeveel ppb dit is.

De dichtheid van lucht is 1,293 kg m⁻³ = 1,293 · 10⁶ mg m⁻³.

De grenswaarde is dan:

$$\frac{0,025 \text{ mg m}^{-3}}{1,293 \cdot 10^6 \text{ mg m}^{-3}} \times 10^9 = 19 \text{ ppb}$$

Titaniumproductie moet duurzamer

De aardkorst bevat veel titanium, in de vorm van de mineralen rutiel (TiO_2), ilmeniet (FeTiO_3) en perovskiet (CaTiO_3). Het meeste titaniumerts wordt omgezet in titanium(IV)oxide (TiO_2), dat wordt gebruikt voor de productie van titanium.

In voorbeeld 1 zag je de productiestappen van titanium al. Het is een duur en ingewikkeld proces door een aantal factoren, bijvoorbeeld:

- De reductie in stap 2 van TiCl_4 naar Ti wordt uitgevoerd met vloeibaar magnesium (smeltpunt Mg is 923 K).
- Het ontstane titanium moet onder vacuüm herhaaldelijk worden gesmolten om een zuiver product te krijgen (smeltemperatuur Ti is 1941 K). Het vacuüm is nodig om ongewenste reacties met stoffen uit de lucht te voorkomen.
- Het magnesiumchloride moet in gesmolten toestand worden geëlektrolyseerd (smeltpunt MgCl_2 is 987 K).

Er wordt dan ook door wetenschappers al tijden onderzoek gedaan naar een duurzamer proces. De meeste aandacht gaat daarbij uit naar de elektrolyse van titanium(IV)oxide. De laboratoriumresultaten zijn hoopgevend, maar opschaling naar productieniveau blijkt enor-

me problemen met zich mee te brengen die met name worden veroorzaakt door de hoge smeltemperatuur van titanium. De productie van titanium is de laatste zestig jaar toegenomen van ongeveer 1000 ton per jaar tot ruim 222 000 ton, een duurzamer proces is dus wenselijk.

Titanium is een zeer onedel metaal en reageert binnen enkele seconden met lucht of water en vormt daarbij titanium(IV)oxide, dat ondoordringbaar is voor zuurstof. Hierdoor zal titanium niet verder worden aangetast. Titanium kan bij hoge temperatuur ook met stikstof reageren. Het vormt dan aan het oppervlak het keiharde keramische materiaal titaniumnitride (TiN).

Ongeveer 5% van het titanium wordt gebruikt in de metaalindustrie voor protheses, racefietsen en brilmonturen, maar de grootste afnemer van het metaal titanium is de luchtvaart. Het meeste titanium wordt samen met composieten in vliegtuigen gebruikt. De Boeing 787 Dreamliner bestaat voor 15% uit titanium en voor 50% uit kunststof-composieten (figuur 15.8).

Bron: *Chemische Feitelijkheden*



15.8 De Boeing 787 Dreamliner

● Opdracht C7

Samenvatting

- Groene chemie is het toepassen van duurzame ontwikkelingen in de chemische industrie. De productieprocessen zijn gebaseerd op de principes van groene chemie.
- Atomeconomie is het massapercentage atomen van de beginstoffen dat in het gewenste eindproduct komt.
- Het rendement is de praktische opbrengst als percentage van de theoretische opbrengst.
- De E-factor is de hoeveelheid afval per kg product. De E-factor is klein voor een synthese waarin weinig niet-buikbare bijproducten zijn.
- De grenswaarde is de maximaal toegestane hoeveelheid van een stof in de lucht op de werkplek en wordt gegeven in mg m^{-3} of in ppb. Ze kan ook in ppm, procent of promille worden gegeven.

Opdrachten

A 1

- a Geef de formule van de atomeconomie.
- b Geef de formule voor het rendement van een reactie.
- c Geef de formule voor de E-factor.
- d Wat is het verschil tussen de E-factor en de Q-factor?
- e Geef de definitie van de grenswaarde van een stof.

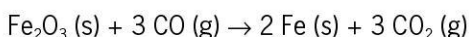
B 2

In een werkruimte is het gehalte aan formaldehyde in de lucht 125 ppb. ppb wordt uitgedrukt in $\mu\text{g m}^{-3}$ lucht. Omrekenen naar mg kg^{-1} lucht betekent vermenigvuldigen met 1,293 kg m^{-3} .

- a Bereken of de grenswaarde (TGG 8 uur) wordt overschreden.
- b Wordt de grenswaarde (TGG 15 minuten) overschreden?

B 3

Tijdens het hoogovenproces wordt ijzererts (Fe_2O_3) met koolstofmono-oxide omgezet in ijzer en koolstofdioxide volgens onderstaande reactie:



- a Bereken de atomeconomie van de productie van ijzer.
- b Bereken de theoretische ijzeropbrengst als 250 ton ijzererts reageert.
- c Bereken het rendement als er tijdens bovenstaand proces uit 250 ton ijzererts 141 ton ijzer ontstaat.

B 4 

Kaliumchloraat, KClO_3 , is een stof die gemakkelijk zuurstof afstaat. Het wordt gebruikt in mengsels die snel moeten kunnen ontbranden. Voor de productie van zuurstof in een laboratorium wordt KClO_3 ontleed door het te verhitten:



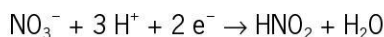
- a Bereken de theoretische opbrengst van O_2 uit 40,0 g KClO_3 .
- b Bereken de E-factor bij een rendement voor O_2 van 100%.
- c Bereken de E-factor bij een rendement voor O_2 van 67%.

B 5 De grondstoffen van stanyl

Stanyl is een hittebestendig polymeer dat bij ongeveer 300 °C vloeibaar wordt. Het is een condensatiepolymeer van de monomeren hexaandizuur en butaan-1,4-diamine. Het butaan-1,4-diamine wordt in een aantal stappen bereid. In de laatste stap wordt butaan-1,4-diamine bereid uit waterstof en butaan-1,4-dinitril ($\text{N}\equiv\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}\equiv\text{N}$).

- a Geef de reactievergelijking voor deze laatste stap.
- b Bereken hoeveel m^3 waterstof ($T = 298 \text{ K}$, $p = p_0$) minimaal nodig is om 1,0 ton butaan-1,4-diamine te produceren uit butaan-1,4-dinitril. Een ton is 10^3 kg .

Hexaandizuur kan op meerdere manieren worden bereid. De bereiding van hexaandizuur door cyclohexanol ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$) te laten reageren met geconcentreerd salpeterzuur noemen we in deze opgave proces 1. De halfreactie van het salpeterzuur is hieronder gegeven.



- c Geef de vergelijking van de halfreactie van de omzetting van cyclohexanol tot hexaandizuur. Gebruik molecuulformules. In de vergelijking van de halfreactie komen ook H_2O en H^+ voor.
- d Leid met behulp van beide halfreacties de vergelijking van de totaalreactie voor proces 1 af.

In proces 1 wordt HNO_2 gevormd. Deze stof ontleedt bij de procesomstandigheden tot onder andere NO. De atomeconomie van proces 1 bedraagt 41,49%.

Een andere methode om hexaandizuur te maken (proces 2) is de reactie van cyclohexeen met waterstofperoxide (H_2O_2). Cyclohexeen reageert hierbij in een molverhouding van 1 : 4 met waterstofperoxide. Behalve hexaandizuur ontstaat hierbij alleen water.

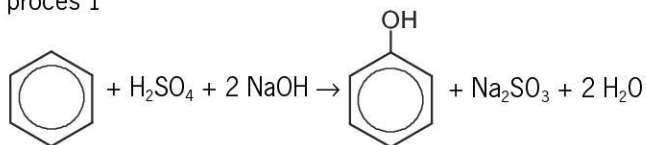
- e Bereken de atomeconomie (atoomefficiëntie) van proces 2.
- f Geef twee argumenten die je kunt gebruiken als je een keuze tussen proces 1 en 2 moet maken. Geef argumenten gebaseerd op informatie uit deze opgave en/of Binas tabel 97A.

Bron: CE wvo 2015-I

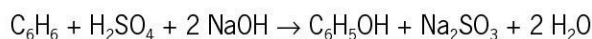
B 6 ★

Voor de productie van bisfenol A is fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) een belangrijke grondstof. Fenol is een bijtende, giftige en kankerverwekkende stof met een grenswaarde van 8 mg m^{-3} . Hieronder staan twee processen voor de productie van fenol $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$.

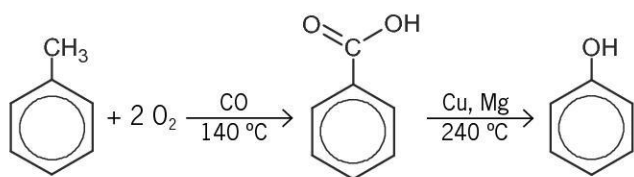
proces 1



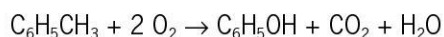
De vergelijking in molecuulformules voor proces 1 is:



proces 2



De vergelijking in molecuulformules voor proces 2 is:



- a** Bereken voor beide processen de atomeconomie en de E-factor. Ga ervan uit dat Na_2SO_3 in proces 1 niet kan worden verkocht. Ga uit van 100% rendement in beide processen.

Natriumsulfiet kan worden gebruikt als conserveringsmiddel in witte wijn.

- b** Bereken de atomeconomie van proces 1 als natriumsulfiet wel kan worden gebruikt.
c Leg uit welk proces de grootste Q-factor zal hebben.
d Geef aan welke voorzorgsmaatregelen je moet treffen bij het werken met fenol.

C 7

Lees de tekst in het kader 'Titaniumproductie moet duurzamer' en beantwoord de volgende vragen.

Het krollproces, dat nog steeds wordt gebruikt voldoet niet aan de uitgangspunten van de groene chemie.

- a** Bereken de atomeconomie voor de twee stappen van het krollproces uit voorbeeld 1 en geef aan welke stap het meest ongunstig is.
b Leg uit hoe je het proces zou kunnen verbeteren.
c Leg uit waarom de titaniumstaven tijdens het smelten bij de zuiveringsstappen voortdurend onder vacuüm worden gehouden.

De elektrolyse van gesmolten titanium(IV)oxide is een vrij kostbaar proces.

- d** Leg uit waarom dit zo is.
e Noem een praktisch probleem bij de elektrolyse van gesmolten TiO_2 .

Stel dat in een fabriek het rendement van het krollproces 72,5% is.

- f** Bereken bij dit rendement hoeveel kilogram titanium ontstaat uit 580 kg titanium(IV)oxide.



15.9 Het frame van deze racefiets is van titanium.

Experiment

15.1 De blauwe fles

Je bepaalt met behulp van de regels van de groene chemie welk experiment het groenst is.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- uitleggen wat wordt verstaan onder groene chemie;
- de atomeconomie en het rendement van een productieproces berekenen;
- de E-factor van een gegeven proces berekenen;
- de Q-factor van een gegeven proces toelichten;
- uitleggen wat wordt verstaan onder de grenswaarde van een stof en hiermee rekenen.

Zonne-energie

In China kun je deze zonnepanelen vinden waarmee zonne-energie wordt opgewekt. Het oppervlak van dit project is maar liefst 1000 km². Door dit project wordt er ruim een miljoen ton steenkool minder verbrand. Hierdoor wordt de CO₂-uitstoot met 2,74 miljoen ton verlaagd. Voor China is dit een eerste stap op de goede weg.



Je leert

- energie-effecten van reacties in diagrammen weergeven;
- de begrippen vormingswarmte en reactiewarmte toepassen.

15.2 Energiebalans

● Experiment 15.2



15.10 Ook in de industrie wordt steeds meer gebruikgemaakt van groene energie.

Het energie-effect van een reactie

De zonne-energie die bij de panda op de zonnepanelen valt, wordt voor een deel omgezet in elektrische energie en verder in warmte. Op dit moment is het rendement van zonnepanelen ongeveer 20%. Daardoor kunnen ze nog niet genoeg energie per seconde leveren voor grote chemische fabrieken. In die fabrieken is namelijk veel energie nodig om een proces op gang te helpen. Je hebt al gezien dat elke stof een hoeveelheid chemische energie bezit en die hoeveelheid energie is voor elke stof verschillend. Bij chemische reacties kunnen verschillende soorten energie ontstaan, maar bij alle processen geldt dat de totale hoeveelheid energie constant blijft. Dit heet de **energiebalans**.

De **wet van behoud van energie** is altijd van toepassing: energie gaat niet verloren, maar wordt omgezet van de ene vorm in een andere vorm, zoals licht, warmte of elektriciteit. Bij alle processen treedt een **energie-effect** op, de reactie is exotherm als er energie vrijkomt en endotherm als er voortdurend energie wordt toegevoerd. Voor elke reactie geldt dat de reactie-energie (ΔE) gelijk is aan het verschil in chemische energie van de reactieproducten en de beginstoffen.

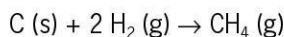
$$\Delta E = E_{\text{reactieproducten}} - E_{\text{beginstoffen}}$$

Bij een **exotherme reactie** komt energie vrij, de reactieproducten hebben dus minder chemische energie dan de beginstoffen. Het teken van de reactie-energie is dan negatief: $\Delta E < 0$ J. Bij een **endotherme reactie** wordt energie opgenomen, de reactieproducten hebben meer chemische energie dan de beginstoffen. Het teken van de reactie-energie is positief: $\Delta E > 0$ J. Omdat de reactie-energie meestal vrijwel volledig uit warmte bestaat, noem je de reactie-energie **reactiewarmte**.

● Experiment 15.3

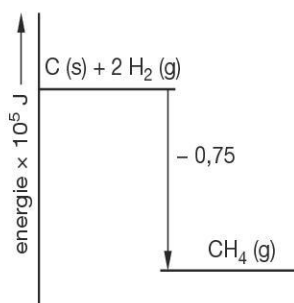
Vormingswarmte en reactiewarmte

Je kunt de reactiewarmte van een chemische reactie berekenen met behulp van de **vormingswarmte** van de deelnemende stoffen. De vormingswarmte is de energie die nodig is of vrijkomt bij de vorming van één mol stof uit de elementen. De chemische energie van de elementen stel je daarbij op nul. Bij de vorming van de meeste stoffen komt warmte vrij. In de tabellen 57A en B van Binas vind je de vormingswarmten van een aantal stoffen. Om je een voorbeeld te geven nemen we de vormingswarmte van methaan. Als je de stof methaan, $\text{CH}_4(\text{g})$, uit de elementen koolstof, $\text{C}(\text{s})$, en waterstof, $\text{H}_2(\text{g})$, wilt maken, is de vergelijking van deze reactie:

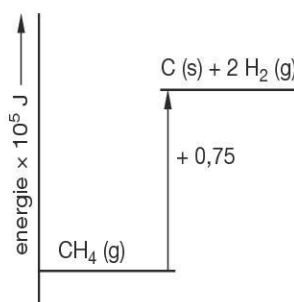


Bij deze exotherme reactie komt $0,75 \cdot 10^5$ joule aan energie per mol CH_4 vrij. Dat kun je schrijven als:

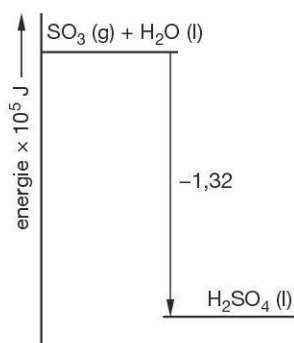
$$\Delta E = -0,75 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$$



15.11a Energiediagram van de vorming van $\text{CH}_4(\text{g})$



15.11b Energiediagram van de ontleding van $\text{CH}_4(\text{g})$



15.11c Energiediagram van de vorming van zwavelzuur

De vormingswarmte van CH_4 is $-0,75 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$. Als je één mol CH_4 ontleedt in zijn elementen is de reactie endotherm en de reactiewarmte is dan $\Delta E = +0,75 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$. Je moet energie toevoeren.

Je hebt tot nu toe energiediagrammen gebruikt waarin je ook de activeringsenergie weergaf, maar je kunt ook een vereenvoudigd diagram gebruiken waarbij je alleen de energieniveaus van de beginstoffen en de eindproducten en de reactiewarmte weergeeft. Voor de vorming van methaan uit de elementen en de ontleding van methaan zie je dat in figuur 15.11a en b.

De reactiewarmte van een reactie kun je berekenen met de vormingswarmten van de aan de reactie deelnemende stoffen. Daarbij maak je gebruik van de energiebalans waarbij je voor de $E_{\text{beginstoffen}}$ en de $E_{\text{reactieproducten}}$ de vormingswarmten gebruikt van de beginstoffen en de reactieproducten. In voorbeeld 1 en 2 zie je hoe je reactiewarmte moet berekenen.

Voorbeeld 1

Bereken de reactiewarmte van de vorming van zwavelzuur uit zwaveltrioxide en water.

De reactievergelijking is: $\text{SO}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4(\text{l})$

Je zoekt de vormingswarmten op:

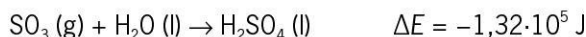
$$1 \text{ SO}_3: -3,96 \cdot 10^5 \text{ J} \quad 1 \text{ H}_2\text{O}: -2,86 \cdot 10^5 \text{ J} \quad 1 \text{ H}_2\text{SO}_4: -8,14 \cdot 10^5 \text{ J}$$

De energiebalans van de reactie is:

$$\Delta E = \text{vormingswarmte}_{\text{reactieproducten}} - \text{vormingswarmte}_{\text{beginstoffen}}$$

$$\Delta E = (-8,14 \cdot 10^5 \text{ J}) - (-3,96 \cdot 10^5 \text{ J} - 2,86 \cdot 10^5 \text{ J}) = -1,32 \cdot 10^5 \text{ J}$$

De reactiewarmte = $-1,32 \cdot 10^5 \text{ J}$, een negatief getal, zie figuur 15.11c. Dat betekent dat de reactie exotherm is. De reactiewarmte kun je nu achter de reactievergelijking zetten:





15.12 Er zal steeds minder aardgas worden gewonnen. We zullen moeten overschakelen naar duurzame vormen van energie.



15.13 De gevolgen van de Nederlandse aardgaswinning zijn desastreus.

15.15 Wetenschappers in Engeland hebben een biosynthese ontwikkeld om uit butanol het gas propaan te maken. Een alternatief voor aardgas?

Voorbeeld 2

Bereken de reactiewarmte voor de volledige verbranding van methaan.

De vergelijking voor de verbranding is: $\text{CH}_4(\text{g}) + 2 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

Je zoekt de vormingswarmten op:

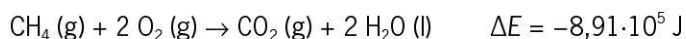
1 CH_4	$-0,75 \cdot 10^5 \text{ J}$
2 O_2	$2 \times 0 = 0 \text{ J}$
1 CO_2	$-3,935 \cdot 10^5 \text{ J}$
2 H_2O	$2 \times -2,86 \cdot 10^5 \text{ J} = -5,72 \cdot 10^5 \text{ J}$

De energiebalans van de reactie is:

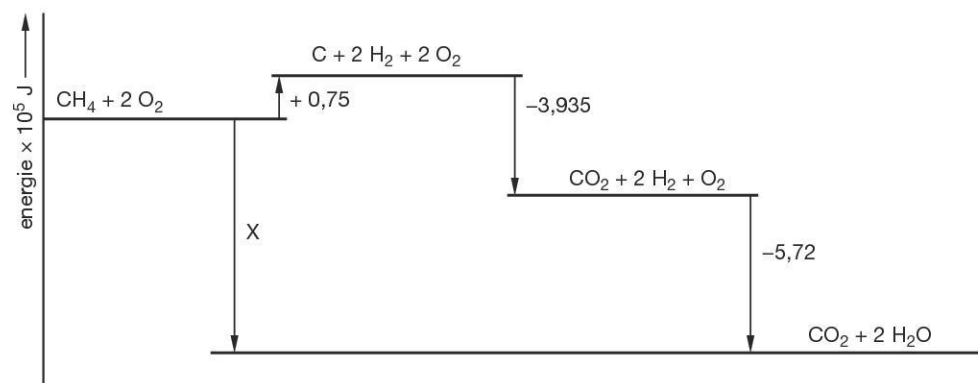
$$\Delta E = \text{vormingswarmte}_{\text{reactieproducten}} - \text{vormingswarmte}_{\text{beginstoffen}}$$

$$\Delta E = (-3,935 \cdot 10^5 \text{ J} - 5,72 \cdot 10^5 \text{ J}) - (-0,75 \cdot 10^5 \text{ J}) = -8,91 \cdot 10^5 \text{ J}$$

De reactiewarmte = $-8,91 \cdot 10^5 \text{ J}$, een negatief getal. Dat betekent dat de reactie exotherm is. De reactiewarmte kun je nu achter de reactievergelijking zetten:



Je kunt deze reactie ook in een energiediagram weergeven. In figuur 15.14 zie je dat je eerst de beginstoffen ontleeft in de elementen en daarna zie je in twee stappen de vorming van de reactieproducten. Eerst CO_2 en daarna H_2O . In dit schema vermeld je ook de coëfficiënten van de reactievergelijking. De vormingswarmten zijn immers in joule per mol gegeven.



15.14 Een grafische voorstelling van de verbranding van methaan. X = de reactiewarmte van deze verbranding.



Groen 'lage-energie' asfalt

Twee van de uitgangspunten van de groene chemie zijn:

- Energie-efficiënter ontwerpen. Probeer de energie die nodig is om een proces uit te voeren te verlagen.
- Gebruik van hernieuwbare grondstoffen.

Een bedrijf dat aan deze uitgangspunten invulling heeft gegeven is BAM, een Nederlands bouwconcern met zijn Lage Energie Asfalt Beton (LEAB). Nederland is een land met veel asfalt dat jaarlijks zo'n 9 miljoen ton asfalt verwerkt en produceert. Bij de productie van asfalt wordt oud asfalt gebruikt. Bij een traditioneel recyclingproces frees je oud asfalt van de weg, droog en verwarm je het tot 165 °C en meng je het simpel met nieuwe grondstoffen. In het nieuwe proces haal je eerst het oude asfalt uit elkaar. Asfalt bestaat voor 80% uit steentjes die direct herbruikbaar zijn. De rest van het asfalt is mastiek, een mengsel van zand, stof en bitumen (een aardolieproduct). Het bitumen veroudert op de weg en moet opgewaard worden met nieuw bitumen om het opnieuw te gebruiken.

Daarna wordt het nieuwe asfalt gemaakt. In tegenstelling tot het oude proces verwarm je de steentjes maar tot 105 °C in plaats van tot 165 °C. Dat scheelt 51% aan energie en 70% aan CO₂-uitstoot. De mastiek moet nog wel tot 165 °C worden verwarmd.

De laatste stap is het mengen van de steentjes met de mastiek. Om dit ook bij 100 tot 110 °C te doen heeft BAM een truc bedacht: eerst wordt wat water bij de mastiek gedaan, waardoor een schuim ontstaat en daarna wordt de mastiek met steentjes gemengd. Het resultaat van dit proces is een aantal proefstroken waarbij men gaat kijken hoe het wegdek zich houdt.

Het initiatief van BAM is niet het enige, er liggen ook proefstroken in Nederland waar de bitumen is vervangen door lignine, een reststroom uit de papierproductie en de productie van bio-ethanol. Dit bio-asfalt is een project van de Wageningen Universiteit en bevindt zich eveneens in de testfase. In de toekomst kunnen we zo op energie- en klimaatneutrale wijze asfalt maken.

Bron: C2W



15.16 In de toekomst alleen nog maar groen asfalt?

● Opdracht B15

Samenvatting

- Voor elk proces geldt de wet van behoud van energie. Die geef je weer in de energiebalans van het proces.
- Het energie-effect van een proces is: $\Delta E = E_{\text{reactieproducten}} - E_{\text{beginstoffen}}$. Bij een exotherm proces is $\Delta E < 0$ J, bij een endotherm proces is $\Delta E > 0$ J.
- In een energiediagram kun je de energieniveaus van beginstoffen, reactieproducten en tussenproducten aflezen.
- De vormingswarmte van een verbinding is de hoeveelheid warmte die nodig is of vrijkomt bij het vormen van één mol van de verbinding uit de elementen. De vormingswarmte van een element is nul. De reactie-energie van een chemische reactie wordt de reactiewarmte genoemd. Die kun je berekenen met behulp van vormingswarmten:

$$\Delta E = \text{vormingswarmte}_{\text{reactieproducten}} - \text{vormingswarmte}_{\text{beginstoffen}}$$

Opdrachten

A 8

- Leg uit wat de termen exotherm en endotherm betekenen.
- Wat houdt de wet van behoud van energie in?
- Wat is de energiebalans van een proces?
- Wat is een energiediagram?
- Leg uit wat vormingswarmte is.
- Wat is de betekenis van het begrip reactiewarmte?

A 9 

Leg aan de hand van de hoeveelheid chemische energie van de beginstoffen en de reactieproducten uit dat het energie-effect van een exotherm proces altijd negatief is en van een endotherm proces positief.

B 10

Je kunt in drie stappen zwavelzuur bereiden. Eerst moet je zwavel verbranden tot zwaveldioxide, vervolgens zet je het zwaveldioxide om in zwaveltrioxide. Als je dit zwaveltrioxide oplost in water ontstaat zwavelzuur (figuur 15.17).

- Geef voor elk van deze stappen de reactievergelijking.
- Bereken de reactiewarmte voor de bereiding van zwavelzuur met behulp van gegevens uit Binas tabel 57A.
- Leg uit of het proces exotherm of endotherm is.

B 11

Je kunt zink maken uitgaande van zinksulfide. In de eerste stap van de productie reageert zinksulfide (sphaleriet) met zuurstof. Daarbij ontstaan zinkoxide en zwaveldioxide.

- Stel de vergelijking voor deze reactie op.
- Bereken de reactiewarmte van de bereiding van zink met behulp van gegevens uit Binas tabel 57A.
- Leg uit of deze reactie exotherm of endotherm is.

B 12 

100 g water wordt verwarmd van 20 °C tot 100 °C. Daarvoor is $3,34 \cdot 10^4$ J aan energie nodig.

- Geef de energiebalans van dit proces.

Vervolgens wordt verder verwarmd totdat al het water is omgezet in waterdamp van 100 °C.

- Bereken met behulp van een gegeven uit Binas tabel 11 hoeveel energie hiervoor nodig is.
- Geef de energiebalans voor deze omzetting.
- Teken in één energiediagram de omzetting van 100 g water van 20 °C in 100 g waterdamp van 100 °C.

B 13

Er wordt op dit moment veel onderzoek gedaan naar thermochemische materialen, TCM's. In het bijzonder zouthydraten lijken geschikt. In de zomer wordt warmte gebruikt voor het dehydrateren van de zouthydraten. Hierbij wordt de warmte opgeslagen als chemische energie. In de winter wordt de chemische energie weer omgezet in warmte door de gedehydrateerde zouten met water te laten reageren. Het onderzoek gaat onder andere op dit moment over het gebruik van $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ als TCM.

- Aan welke twee voorwaarden moet een hydraat voldoen wil het als TCM toepasbaar zijn?

In de zomer wordt calciumchloride gedehydrateerd.

- Geef de vergelijking van de reactie die dan plaatsvindt.
- Leg uit of dit proces exotherm of endotherm is.
- Schets een energiediagram voor de reactie bij b.

Na toevoegen van voldoende water aan het gedehydrateerde calciumchloride treedt het omgekeerde warmte-effect op. Bij deze processen is de hoeveelheid warmte die wordt opgenomen en afgestaan steeds gelijk.

- Leg bovenstaande uitspraak uit aan de hand van het energiediagram bij d.

Er wordt ook onderzoek gedaan naar gebruik van magnesiumsulfaatheptahydraat.

- Geef de vergelijking van de reactie van magnesiumsulfaat met water waarbij dit hydraat wordt gevormd.
- Is dit proces exotherm of endotherm?
- Bereken hoeveel gram water je moet toevoegen aan 1,00 kg gedroogd magnesiumsulfaat om deze reactie volledig te laten verlopen.



15.17 Op de Rijn, vlak bij de rots Lorelei sloeg in 2011 een tanker met zwavelzuur om.

B 14

- a** Bereken de verbrandingswarmte van butaangas met behulp van de vormingswarmten (Binas tabel 57B).
- b** Vergelijk de gevonden verbrandingswarmte met de waarde die in Binas tabel 56 staat. Wat is je conclusie?

B 15

Lees de tekst in het kader 'Groen lage-energie asfalt' en beantwoord de volgende vragen.

Het recyclingproces van asfalt van BAM leidt tot energiebesparing en vermindering van CO₂-uitstoot. Een bepaalde asfaltcentrale produceert 180 000 ton asfalt per jaar. De energiekosten bij het traditionele proces zijn 327 MJ per ton asfalt. Ga ervan uit dat 70% van de energiekosten nodig is voor het verwarmen van de steentjes.

- a** Bereken de energiebesparing als de centrale overschakelt op het proces van BAM.

Per ton geproduceerd asfalt komt nu ongeveer 17 kg CO₂ vrij.

- b** Bereken de vermindering van de CO₂-uitstoot bij het nieuwe proces.

Bitumen kun je zien als de lijmstof in asfalt. Lignine heeft eenzelfde soort functie in planten en bomen en zou daarvoor geschikt kunnen zijn als vervanging voor bitumen. Bitumen heeft als nadeel dat het veroudert onder invloed van uv-straling. Lignine heeft een uv-stabiliserende werking.

- c** Leg met behulp van de bindingen in moleculen (microniveau) uit wat het voordeel op macroniveau van lignine is voor de levensduur van het asfalt.

C 16

In een hoogoven wordt ijzer gemaakt. Daarvoor laat men ijzererts, Fe₂O₃, reageren met koolstofmono-oxide. De reactieproducten zijn ijzer en koolstofdioxide.

- a** Geef de reactievergelijking van deze reactie.
- b** Bereken hoeveel ton ijzer kan ontstaan uit 1,00 ton ijzererts.
- c** Bereken de reactiewarmte voor dit proces.
- d** Is de reactie exotherm of endotherm?
- e** Teken een energiediagram voor deze reactie. Geef als tussenniveau de elementen.

C 17

De stof ammoniumnitraat is een bron van stikstof voor veel planten. Deze stof vormt dan ook een belangrijk bestanddeel van kunstmest. Eenmaal in de grond wordt ammoniumnitraat, onder invloed van bacteriën, omgezet in distikstofmono-oxide en water.

- a** Geef de vergelijking voor deze omzetting.

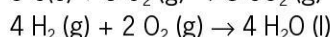
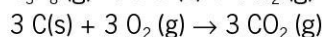
Je kunt voor deze ontledingsreactie de reactiewarmte berekenen door gebruik te maken van Binas tabel 57A.

- b** Bereken de reactiewarmte voor deze omzetting.
- c** Teken een energiediagram voor deze reactie.

C 18

- a** Geef de reactievergelijking voor de verbranding van propaan.

Bij de verbranding van propaan zou je een aantal theoretische stappen kunnen onderscheiden:



- b** Maak een energiediagram met bovenstaande gegevens. Vermeld alle beginstoffen, tussenproducten en eindproducten, zowel als alle energie-effecten.
- c** Leid de verbrandingswarmte van propaan af met behulp van tabel 57A en B en je energiediagram.

Experimenten

15.2 Exotherm of endotherm?

Je onderzoekt het energie-effect van verschillende processen.

15.3 Verbrandingsenergie van stearinezuur

Je bepaalt hoeveel energie er vrijkomt bij de verbranding van stearinezuur.

- Volledige instructie Chemie Overal online

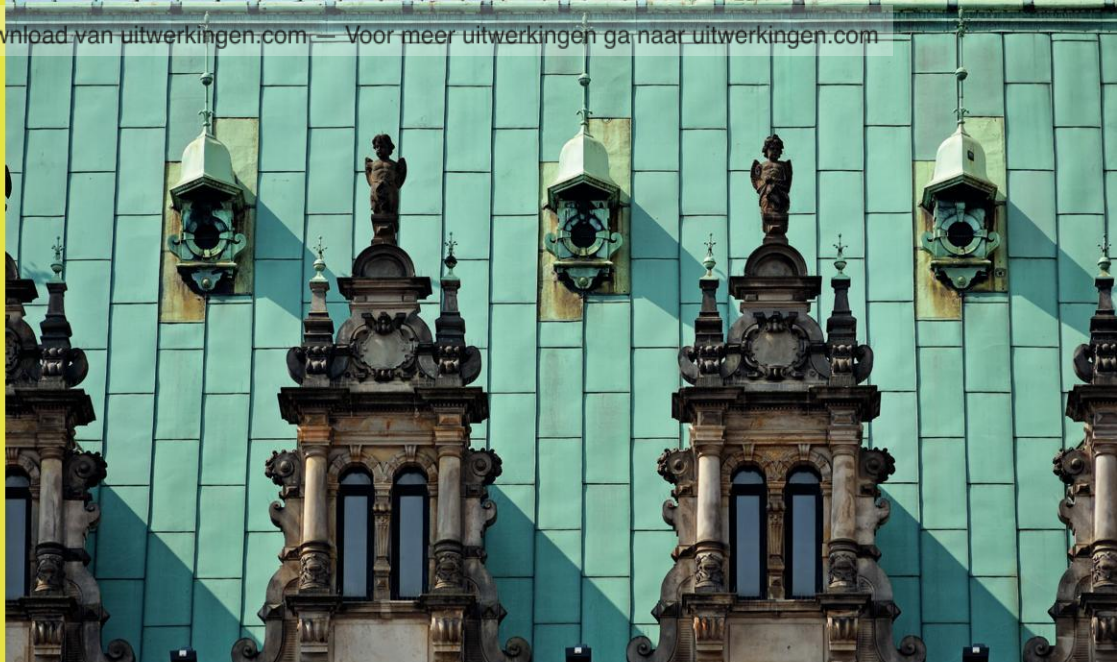
Je kunt nu

- exotherme en endotherme reacties en de bijbehorende activeringsenergie in diagrammen weergeven;
- uitleggen wat vormingswarmte is;
- de reactiewarmte van een reactie berekenen en uitleggen of deze reactie exotherm of endotherm is.

Koperen dak

Het gemeentehuis van het Duitse Hamburg heeft een koperen dak. Een koperen dak wordt na verloop van tijd groen door de vorming van kopercarbonaat en koperhydroxide.

De snelheid waarmee chemische reacties verlopen kan enorm verschillen. Zo duurt het vele jaren voor een koperen dak een zo mooi laagje groen heeft gekregen.

**Je leert**

- de reactiesnelheid berekenen;
- de snelheidsbepalende stap bepalen;
- aan de hand van een energiediagram de invloed van een katalysator toelichten.

15.3 Reactiesnelheid

- Experiment 15.4
- Experiment 15.5

Reactiesnelheid

In tegenstelling tot het groen worden van koper, waarvan de reactiesnelheid laag is, wil je in de industrie juist graag dat processen snel verlopen. Als de reactiesnelheid groot is, is de reactietijd klein en wordt de productiecapaciteit hoger, met mogelijk lagere kosten (figuur 15.18). Je hebt in hoofdstuk 1 al geleerd dat er vijf factoren zijn die invloed hebben op de reactiesnelheid: de soort stof, de concentratie van de beginstoffen, de verdelingsgraad, de reactietemperatuur en een katalysator.

De **reactiesnelheid**, s , is gedefinieerd als het aantal mol stof of het aantal mol deeltjes dat per seconde ontstaat of verdwijnt in een volume van één liter. De eenheid is $\text{mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$.



15.18 Een hoge reactiesnelheid kan bijdragen aan groene chemie.

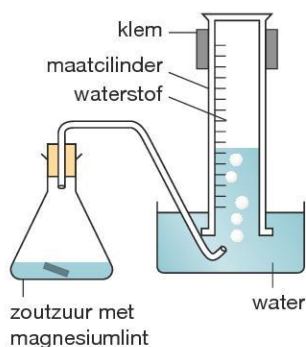
Voorbeeld 1

Bij de ontleding van SO_2Cl_2 (g) ontstaan zwaveldioxide en chloor. Uit metingen blijkt dat in een reactieruimte van $150,0 \text{ dm}^3$, vijf minuten na het begin van de ontledingsreactie, $1,8 \text{ mmol Cl}_2$ (g) is ontstaan. Bereken de gemiddelde reactiesnelheid.

De reactievergelijking is: SO_2Cl_2 (g) $\rightarrow$ SO_2 (g) + Cl_2 (g)

$1,8 \text{ mmol} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol Cl}_2$ is ontstaan in 5 minuten = 300 seconden. Het volume van het reactievat is 150 L .

De gemiddelde reactiesnelheid is $s = \frac{1,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{150 \text{ L} \times 300 \text{ s}} = 4,0 \cdot 10^{-8} \text{ mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$.



15.19 Eenvoudige opstelling om de gasproductie te meten

Voorbeeld 2

In een redoxreactie reageert aluminium met H^+ tot Al^{3+} . Uit metingen blijkt dat in een reactieruimte van $1,00 \text{ dm}^3$, tien minuten na het begin van de reactie, $7,2 \text{ mmol } H_2 (g)$ is gevormd. Bereken de gemiddelde reactiesnelheid.

De reactievergelijking is: $2 \text{ Al (s)} + 6 \text{ H}^+ (\text{aq}) \rightarrow 2 \text{ Al}^{3+} (\text{aq}) + 3 \text{ H}_2 (\text{g})$

$7,2 \text{ mmol} = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol } H_2$ is gevormd in 10 minuten = 600 seconden. Hier moet je opletten bij het invullen van de formule, want uit 2 mol Al ontstaat 3 mol H_2 . Dus uit 1 mol Al ontstaat 1,5 mol H_2 . De vorming van H_2 gaat dus 1,5 keer zo snel als het verdwijnen van Al. Een reactie heeft natuurlijk maar één snelheid, daarom moet je bij de berekening de hoeveelheid H_2 delen door 1,5. Die wordt dan $4,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol } H_2$.

De gemiddelde reactiesnelheid is: $s = \frac{4,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{1,00 \text{ L} \times 600 \text{ s}} = 8,0 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

De concentratie van de beginstoffen is een van de factoren die invloed heeft op de reactiesnelheid. Het verband tussen de reactiesnelheid en de concentratie van de beginstoffen bepaal je meestal experimenteel. Je doet een serie experimenten met verschillende concentraties beginstoffen waaruit je de reactiesnelheid berekent. Zie voorbeeld 3.



15.20 De vorming van zwavel is nog niet zichtbaar, je ziet het kruis onder de erlenmeyer.



15.21 Je meet de tijd op het moment dat het kruis niet meer zichtbaar is.

Voorbeeld 3

Bij het experiment in voorbeeld 1 onderzoek je ook hoe de ontleding van SO_2Cl_2 in chloor en zwaveldioxide verloopt bij verschillende concentraties van SO_2Cl_2 . Wat is het verband tussen de concentratie en de reactiesnelheid?

De reactievergelijking is: $\text{SO}_2\text{Cl}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{SO}_2 (\text{g}) + \text{Cl}_2 (\text{g})$

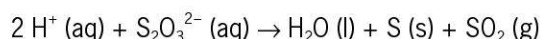
De concentraties van SO_2Cl_2 en de bij het experiment berekende reactiesnelheden staan in onderstaande tabel.

$\text{SO}_2\text{Cl}_2 (\text{mol L}^{-1})$	$s (\text{mol L}^{-1} \text{ s}^{-1})$
$1,0 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$
$2,0 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-8}$
$4,0 \cdot 10^{-3}$	$8,8 \cdot 10^{-8}$
$8,0 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$

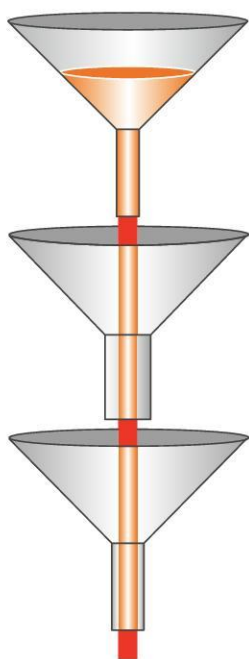
Je ziet in de tabel dat de reactiesnelheid twee keer zo groot wordt als de concentratie twee keer zo groot wordt. De reactiesnelheid is hier dus recht evenredig met de beginconcentratie van SO_2Cl_2 .

Als je bij een experiment de reactiesnelheid wilt meten, moet je kiezen voor een reactie waarvan je de concentratieverandering goed kunt meten. De snel verlopende neerslagreacties uit hoofdstuk 4 zijn hier niet geschikt voor.

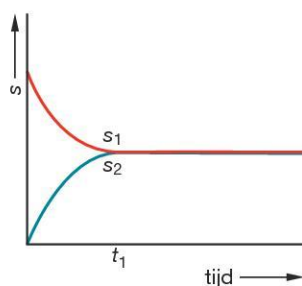
Een voorbeeld van een goed bruikbare reactie vind je in experiment 15.4 (figuur 15.20). We gebruiken hier de reactie die optreedt bij het samenvoegen van een oplossing van natriumthiosulfaat en zoutzuur. De reactie die verloopt is:



Bij deze reactie ontstaat onder andere het slecht oplosbare zwavel, waardoor de oplossing langzaam troebel wordt. Je kunt steeds de tijd meten die nodig is om een bepaalde troebeling te krijgen, zie figuur 15.21. Dit gebruik je dan bij de berekening van de reactiesnelheid.



15.22 De eerste stap, de bovenste trechter, is hier duidelijk snelheidsbepalend: de vloeistof kan door beide andere trechters sneller wegllopen.



15.23 De instelling van een evenwicht. De snelheid naar rechts is s_1 , de snelheid naar links is s_2 en de insteltijd is t_1 .

Snelheidsbepalende stap

Een reactie verloopt lang niet altijd in één stap. Er is vaak sprake van een reactiemechanisme waarbij meerdere stappen achter elkaar verlopen. De langzaamste stap (zie figuur 15.22) bepaalt dan de snelheid van de totale reactie. Je kunt experimenteel bepalen welke stap het langzaamst verloopt en daaruit de reactiesnelheid bepalen. De concentratie van de beginstoffen in de langzaamste stap bepalen dus ook de reactiesnelheid. In voorbeeld 4 zie je zo'n reactiemechanisme uitgewerkt.

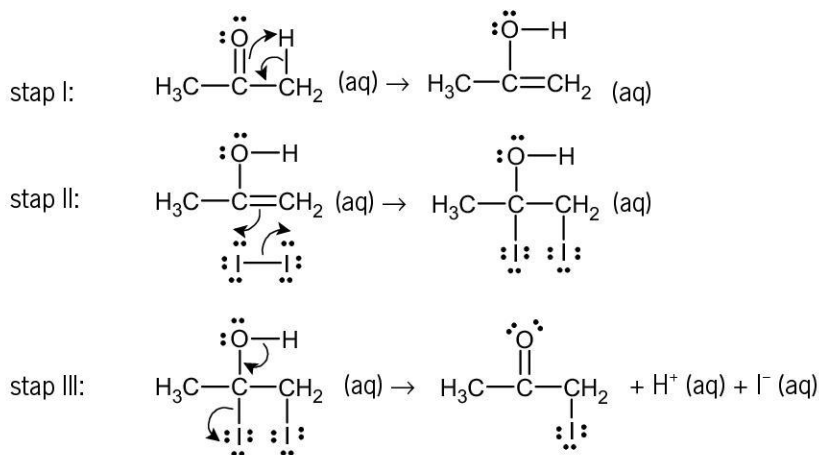
Voorbeeld 4: Snelheidsbepalende stap

De reactie van propanon met jood verloopt in drie stappen, waarbij experimenteel is bepaald dat de eerste stap het langzaamst is. De reactiesnelheid blijkt alleen afhankelijk te zijn van de concentratie van propanon. De reactievergelijking voor de totale reactie is:



Geef met behulp van een reactiemechanisme in drie stappen met structuurformules in lewisstructuren aan waarom de reactiesnelheid alleen afhangt van de concentratie van propanon.

Omdat de eerste stap het langzaamst is, moet de beginstof daar dus propanon zijn. Het reactiemechanisme kan dan zijn:



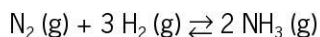
In dit reactiemechanisme komt in de eerste stap alleen propanon voor en de reactiesnelheid is dus alleen afhankelijk van de concentratie van propanon.

Reactiesnelheid en evenwicht

Veel reacties zijn evenwichtsreacties. In de industrie is dat knap lastig. Het rendement is daardoor immers relatief laag. Het is heel belangrijk dat de tijd tussen het begin van de reactie en het intreden van de evenwichtstoestand zo kort mogelijk is. Je noemt deze tijd de **insteltijd**, t_1 , van het evenwicht (figuur 15.23). Op de volgende bladzijde bekijk je hoe je de productie van ammoniak, die via een evenwichtsreactie verloopt, kunt versnellen.

De industriële productie van ammoniak

In een mengsel van stikstof en waterstof stelt zich na enige tijd het volgende evenwicht in:

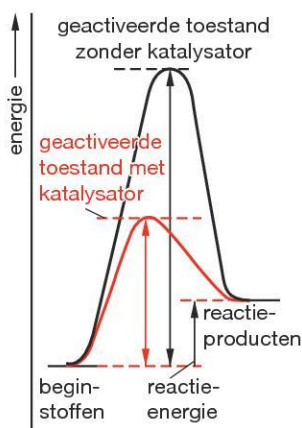


De vorming van ammoniak is exotherm. Om het evenwicht zo veel mogelijk naar rechts te verschuiven moet je de druk verhogen of de temperatuur verlagen (zie hoofdstuk 7).

Om een zo kort mogelijke insteltijd te bereiken, zoek je de meest gunstige combinatie van drie mogelijke maatregelen:

- Samenpersen van het gasmengsel. Hierdoor nemen de concentraties van de reagerende stoffen toe en daarmee nemen de snelheden van de reacties toe.
- Uitvoering van het proces bij hoge temperatuur. Elk proces verloopt dan weliswaar sneller, maar bij een exotherm proces is de opbrengst dan wel veel lager. Het evenwichtsmengsel bevat dus veel minder ammoniak dan bij lage temperatuur, maar de evenwichtssituatie wordt wel veel sneller bereikt.
- Het toevoegen van een katalysator, hierdoor worden de reactiesnelheden ook vergroot.

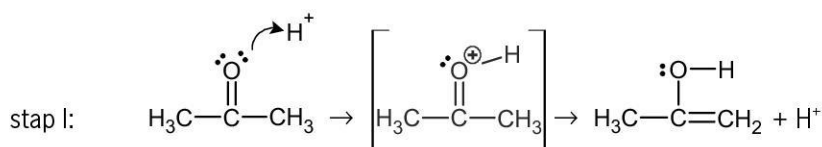
Voor de ammoniakproductie blijkt de meest gunstige combinatie een druk van 150 tot 250 bar, een temperatuur van rond de 450 °C en fijn verdeeld ijzerpoeder als katalysator te zijn.



15.24 Een katalysator zorgt voor een ander reactiemechanisme, de snelheidsbepalende stap heeft dan een lagere activeringsenergie.

Als je een **katalysator** in een productieproces met evenwichtsreacties gebruikt, neemt de snelheid van beide reacties evenveel toe. De ligging van het evenwicht zal daarom door toevoegen van een katalysator niet veranderen en de samenstelling van het evenwichtsmengsel blijft dus hetzelfde. Het voordeel van een katalysator is dat de insteltijd van het evenwicht kleiner wordt. Het punt t_1 wordt eerder bereikt, omdat de katalysator de activeringsenergie verlaagt, zoals je kunt zien in figuur 15.24.

Een katalysator kan op verschillende manieren invloed hebben op de reactiesnelheid. Eén van de manieren om de reactie te versnellen wordt veroorzaakt doordat in een reactiemechanisme een *andere* stap wordt gezet. Als voorbeeld kun je stap I in het reactiemechanisme uit voorbeeld 4 nemen. Deze stap blijkt een stuk sneller te verlopen als je H^+ als katalysator gebruikt. De eerste stap wordt dan:



Samenvatting

- De reactiesnelheid is het aantal mol stof of het aantal mol deeltjes dat tijdens de reactie per seconde ontstaat of verdwijnt in een volume van één liter. Het symbool voor de reactiesnelheid is s en de eenheid is $\text{mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$.
- Als een reactie via meerdere stappen verloopt, wordt de reactiesnelheid van de totale reactie bepaald door de snelheid van de langzaamste reactiestap.
- Bij een chemisch evenwicht hebben twee tegengesteld verlopende reacties dezelfde snelheid. De tijd tussen het begin van de reactie en het intreden van de evenwichtstoestand is de insteltijd. Een katalysator heeft geen invloed op de samenstelling van het evenwichtsmengsel, maar de insteltijd wordt kleiner.

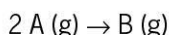
Opdrachten

A 19

- a Welke factoren bepalen samen de reactiesnelheid?
b Wat is het verband tussen reactietijd en reactiesnelheid?

A 20

Stof A neemt deel aan de volgende reactie:

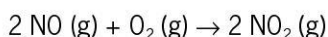


Tijdens een reactie daalt [A] in 8,40 minuten van $0,200 \text{ mol L}^{-1}$ tot $0,166 \text{ mol L}^{-1}$.

- a Bereken de gemiddelde reactiesnelheid waarmee stof B wordt gevormd voor het interval van 8,40 minuten in $\text{mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$.
b Waarom wordt bij a gesproken van *gemiddelde* reactiesnelheid?

B 21

In een reactievat van $10,0 \text{ dm}^3$ verloopt de volgende reactie:



In 120 seconde blijkt zich in het reactievat $10,0 \text{ mmol NO}_2$ te hebben gevormd.

Bereken de gemiddelde reactiesnelheid in deze tijd.

B 22

Distikstofpenta-oxide is een kleurloze stof die bij hogere temperatuur ontleedt onder vorming van het bruine stikstofdioxide en zuurstof volgens de vergelijking:



In een experiment werden bij constante temperatuur resultaten verkregen, weergegeven in onderstaande tabel.

reactietijd (s)	[NO ₂]
0	0,00
500	2,96
1500	6,50
2500	8,26

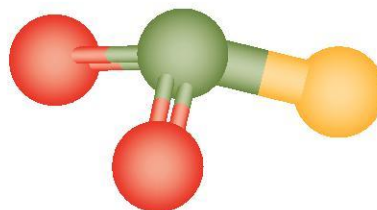
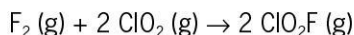
- a Teken een diagram waarin de concentratie van NO₂ tegen de tijd is weergegeven.

Op tijdstip $t = 0$ was [N₂O₅] $5,00 \text{ mol L}^{-1}$.

- b Bereken [N₂O₅] en [O₂] op elk van de tijdstippen die in de tabel zijn vermeld.
c Zet in het diagram van vraag a ook het verloop van de concentratie O₂ en N₂O₅ in mol L^{-1} uit tegen de tijd.
d Bereken de gemiddelde reactiesnelheid voor de vorming van O₂ in $\text{mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$ voor elk van de volgende tijdsintervallen: 0-500, 500-1500 en 1500-2500.
e Zet in een diagram de berekende reactiesnelheden uit tegen de gemiddelde reactietijd, dat wil zeggen: de tijd halverwege een interval. Maak een schatting van de snelheid op tijdstip 0.
f Welke experimentele methode(n) kun je bedenken om de reactiesnelheid van bovengenoemde reactie te meten?

C 23

Men heeft bij verschillende concentraties de snelheid gemeten van de productie van chlorylfluoride (figuur 15.25). De reactie kun je als volgt weergeven:



15.25 Model van chlorylfluoride

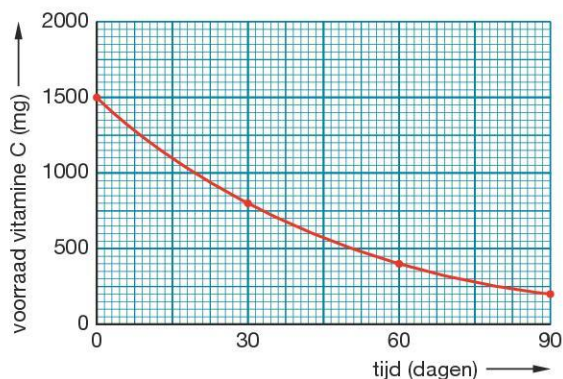
De experimentele gegevens staan in onderstaande tabel.

[F ₂]	[ClO ₂]	s (mol L ⁻¹ s ⁻¹)
0,10	0,010	$1,2 \cdot 10^{-2}$
0,10	0,030	$3,6 \cdot 10^{-2}$
0,10	0,040	$4,8 \cdot 10^{-2}$
0,20	0,010	$2,4 \cdot 10^{-2}$

- a Leg met behulp van de tabel uit welke stof(fen) de reactiesnelheid bepalen.
b Leg uit dat deze reactie niet in één stap verloopt.
c Stel een reactiemechanisme voor deze reactie op, dat in overeenstemming met de gegevens is.
d Leg uit welke stap in dit mechanisme de snelheidsbepalende stap is.

C 24

In een gezond menselijk lichaam bevindt zich een voorraad van ongeveer 1000 mg vitamine C. Deze voorraad wordt op peil gehouden door inname van ongeveer 30 mg vitamine C per dag. Als de lichaamsvoorraad vitamine C beneden de 300 mg komt, treden ziekteverschijnselen op, waaronder scheurbuik. In figuur 15.26 zie je een diagram dat het verloop van de lichaamsvoorraad vitamine C van een proefpersoon weergeeft, nadat die persoon is overgegaan van een dieet dat zeer rijk is aan vitamine C op een dieet zonder vitamine C.



15.26

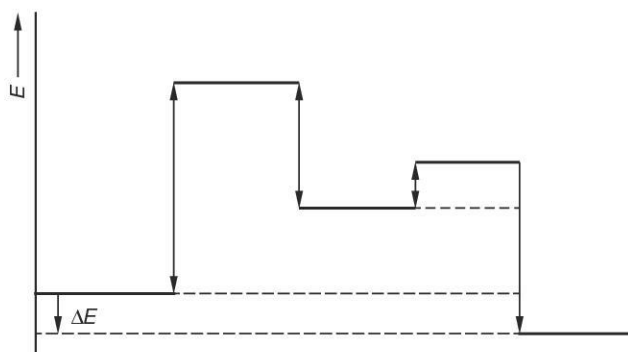
- Na hoeveel dagen zal deze proefpersoon gaan lijden aan scheurbuik?
- Bereken voor de drie tijdsintervallen 0-30, 30-60 en 60-90 dagen de gemiddelde verdwijnsnelheid van vitamine C in milligram per dag.
- Hoe verklaar je het verschil in verdwijnsnelheden die je bij vraag b hebt berekend?

Deel voor elk van de drie intervallen de gemiddelde verdwijnsnelheid door de gemiddelde lichaamsvoorraad vitamine C gedurende dat interval.

- Hoeveel procent van zijn lichaamsvoorraad vitamine C verliest de proefpersoon per dag?
- Bereken hoeveel milligram vitamine C de proefpersoon per dag moet slikken om zijn lichaamsvoorraad op 1000 mg te houden.

C 25 ★

Een exotherme reactie, $A + B \rightarrow C + D$, verloopt in twee stappen. Bij stap 1 reageert beginstof A als volgt: $A \rightarrow C + F$, waarbij F een tussenproduct is. Bij stap 2 reageert het tussenproduct met beginstof B volgens: $F + B \rightarrow D$. In figuur 15.27 vind je het onvolledige energiediagram van deze reactie.



15.27 Energiediagram

- Neem het energiediagram over en geef aan wat de pijlen en niveaus weergeven.
- Welke stap is bij deze reactie snelheidsbepalend?
- Teken een energiediagram voor het geval bij een vergelijkbare reactie $A + B \rightarrow C + D$, de andere stap snelheidsbepalend is.
- Leg uit dat bij het mechanisme waarbij de eerste stap sneller is, deze ook omkeerbaar is.
- Leg uit of bij het mechanisme waarbij de eerste stap sneller is, de tweede stap omkeerbaar is.

Experimenten

15.4 Reactiesnelheid en concentratie

Welke invloed heeft de concentratie van de reagerende stoffen op de snelheid van een reactie?

15.5 Reactiesnelheid en temperatuur

Welke invloed heeft de temperatuur van het reactiemengsel op de snelheid van een reactie?

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- de reactiesnelheid uitrekenen;
- experimenteel bepalen wat de snelheidsbepalende stap is, en dan de reactiesnelheid uitrekenen;
- een energiediagram tekenen en uitleggen waarom bij een evenwicht voor bepaalde reactieomstandigheden wordt gekozen.

Productieproces

Op het grote industrieterrein Chemelot in Limburg zit veel chemische industrie bij elkaar. Zo levert de ammoniakfabriek op het terrein ammoniak als grondstof aan de kunstmestfabriek daar. Deze bedrijven werken 24 uur per dag en 7 dagen van de week in een zogenaamd continu-proces. Om overzicht te houden over de productieprocessen worden de processen in blokschema's weergegeven.

**Je leert**

- verschillende soorten industriële processen onderscheiden;
- het weergeven van productieprocessen in een blokschema;
- rekenen aan chemische processen.

15.4 Blokschema's

Een chemische fabriek

Bij het goed laten verlopen van productieprocessen op een terrein als Chemelot is een groot aantal factoren van belang. In deze paragraaf maak je kennis met enkele van deze factoren. Bij de chemische industrie maak je onderscheid tussen de **fijnchemie** en de **bulkchemie**. Tot de fijnchemie horen onder andere farmaceutische bedrijven die vaak relatief kleine hoeveelheden van een stof maken waarvoor dan wel ingewikkelde syntheses nodig zijn (figuur 15.28). De meeste bedrijven in de chemische industrie houden zich bezig met de bulkchemie, het maken van enorme hoeveelheden van één product, zoals de ammoniakfabriek op Chemelot.



15.28 De productie van penicilline is een voorbeeld van fijnchemie.

Processen in een chemische fabriek verlopen in een aantal verschillende stappen. Bij deze stappen heb je te maken met stofstromen en energiestromen. De massabalans en de energiebalans moeten voor elk onderdeel van het proces in orde zijn, dat wil zeggen dat er altijd evenveel in moet gaan als eruit komt.

De volgende globale stappen vind je in elke chemische fabriek.

Aanvoer, opslag en voorbereiding

Elk proces begint met de aanvoer van grondstoffen. Hiervoor is het nodig dat de fabriek goed bereikbaar is via de weg of het water. Het product van de ene fabriek is soms een grondstof voor een andere, in de opening van deze paragraaf zag je daar een voorbeeld van. Dat is de reden dat veel industrieën bij elkaar zijn gevestigd op industrieterreinen als Chemelot.

Opslag is van belang omdat er voldoende voorraad aan grondstoffen moet zijn zodat de productie ook door kan gaan als de aanvoer stagneert.



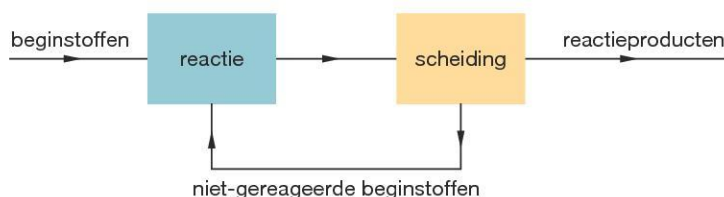
15.29 Vervoer over water wordt steeds belangrijker.

De voorbereiding is het geschikt maken van de grondstoffen voor de reactie door bijvoorbeeld zuivering, fijn verdelen van de grondstof of door de grondstoffen voor te verwarmen.

Reactie

De volgende stap is de chemische reactie die in een reactor plaatsvindt. Bij meer dan één uitgangsstof moeten deze stoffen in de juiste verhouding worden toegevoerd. Om economische redenen moet de reactiesnelheid zo hoog mogelijk zijn, hiertoe worden druk en temperatuur op een optimale waarde ingesteld en gemonitord tijdens het proces.

Een draaiend proces in een chemische fabriek kun je weergeven in een **blokschema**, waarvan je in figuur 15.30 een eenvoudig model ziet. Blokken geven een reactievat, een scheidingsapparaat of een ruimte voor de bewerking van stoffen aan. De pijlen stellen stofstromen voor. Bij de pijlen vermeld je de naam of de formule van de betrokken stoffen.



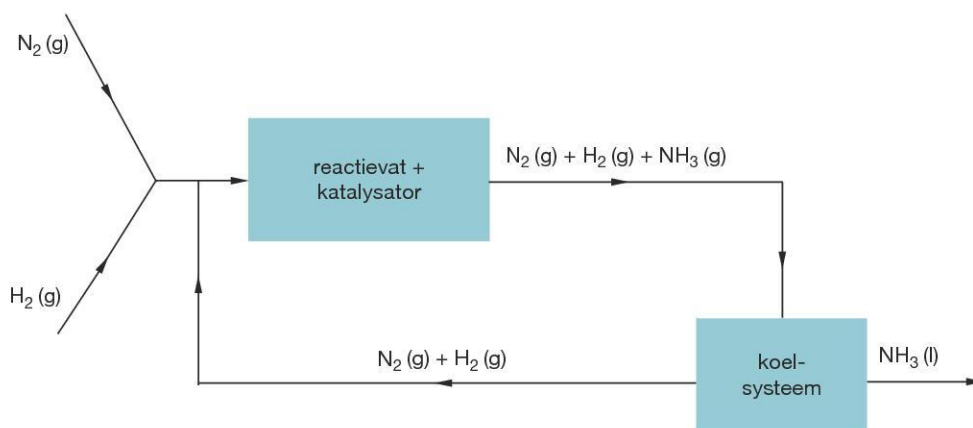
15.30 Algemeen model van een blokschema

Veel reacties zijn evenwichtsreacties, die je aflopend kunt maken door een reactieproduct aan het mengsel te onttrekken. Hierdoor wordt de opbrengst, het rendement, hoger. De overgebleven beginstoffen kunnen door **recirculeren** worden teruggevoerd naar de reactor (figuur 15.30). Als het nodig is de verhouding waarin de beginstoffen worden gemengd bij te stellen, worden de te recirculeren stoffen niet direct aan het reactievat toegevoegd, maar vermengd met de nieuwe aangevoerde beginstoffen, zie figuur 15.31.

Een katalysator staat niet bij de stofstromen, maar wordt eenmalig in de reactor gebracht. Voor elk blok geldt uiteraard dat de processen voldoen aan de wet van behoud van massa en energie.



15.32 Een batchreactor met eromheen een warmtewisselaar



15.31 Blokschema van de ammoniaksynthese met recirculatiestromen

Warmtebeheersing is bij alle productieprocessen belangrijk. Bij exotherme processen moet je warmte afvoeren en bij endotherme processen moet je voldoende warmte toevoeren. Warmte toe- en afvoeren gebeurt met warmtewisselaars, waarbij warmte van de ene buis wordt overgedragen aan de andere. Ze maken gebruik van het tegenstroomprincipe. Zie figuur 15.32 en 15.33.



15.33 Schematische weergave van een warmtewisselaar

Scheiding en zuivering

Bij een chemisch proces ontstaat vaak een mengsel waaruit het reactieproduct moet worden gewonnen. Zo wordt bij de productie van penicilline het reactiemengsel gefiltreerd, daarna vindt adsorptie met actieve koolstof plaats om ongewenste pigmenten te verwijderen en tot slot wordt geëxtraheerd met warme ethanol om de penicilline te verkrijgen.

Afval

Bij bijna alle processen ontstaat afval. Dat moet worden verwerkt en afgevoerd volgens veiligheids- en milieuwetten. Sommige fabrieken, zoals energiecentrales, gebruiken veel koelwater. Het opgewarmde koelwater wordt door gebruik van warmtewisselaars gekoeld en dan geloosd. Zo kan verhoging van de watertemperatuur in rivieren worden bestreden.

Soorten productieprocessen

Als bij een proces steeds een afgeronde hoeveelheid product wordt gemaakt is er sprake van een **batchproces**. Na elke batch wordt de reactor geleegd en opnieuw gevuld met de beginstoffen. Het proces heeft een duidelijk begin en eind (figuur 15.34).



15.34 Een appeltaart bakken is een voorbeeld van een batchproces.

Voordelen van een batchproces zijn:

- het is geschikt voor de productie van kleine hoeveelheden stof;
- het maakt het wisselen van product mogelijk;
- het eist geen volcontinudienst;
- het vergt lage investeringen.

Nadelen van een batchproces zijn:

- het geeft tijdverlies door het leeghalen, schoonmaken en vullen van de reactor en het opnieuw opstarten van het productieproces
- het is arbeidsintensief.

Bij veel bedrijven is er een **voortdurende** aanvoer van beginstoffen en afvoer van reactieproducten. Deze productiemethode heet een **continuproces**, ammoniak wordt bijvoorbeeld geproduceerd in een continuproces. Een continuproces kent geen begin en eind.

Voordelen van een continuproces zijn:

- het is geschikt voor de productie van grote hoeveelheden stof;
- het wordt volautomatisch gestuurd;
- het is niet arbeidsintensief.

Nadelen van een continuproces zijn:

- het is pas rendabel bij de productie van grote hoeveelheden stof;
- het is alleen geschikt voor de fabricage van één soort product;
- het eist volcontinudienst;
- het vergt hoge investeringskosten.

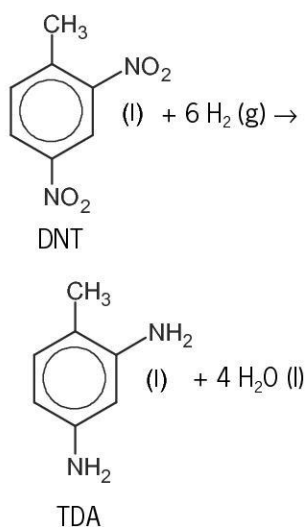


15.35 Het bakken van deze donuts is hier een continuproces.

De keuze van het procestype is afhankelijk van veel verschillende factoren die je zorgvuldig tegen elkaar moet afwegen. Veel processen binnen de chemische industrie zijn tegenwoordig continuprocessen. Ook daarbuiten komen continuprocessen voor (figuur 15.35).

Rekenen aan een blokschema

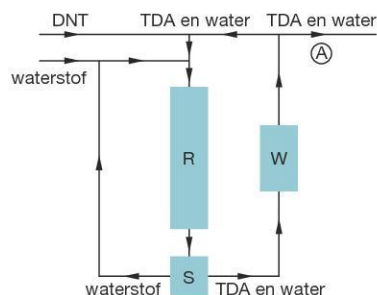
Met een blokschema kun je berekenen hoeveel stof je moet aan- en afvoeren om je proces op gang te houden. In het voorbeeld zie je hoe je dergelijke berekeningen kunt uitvoeren.



15.37 TDA is de grondstof voor de bereiding van polyurethanen, waar bijvoorbeeld matrassen en vloeren van worden gemaakt.

Rekenvoorbeeld

Bij de industriële bereiding van 4-methylbenzeen-1,3-diamine, weergegeven met de afkorting TDA, wordt een grondstof gebruikt die wordt aangeduid met de afkorting DNT. De reactie van deze bereiding staat hiernaast weergegeven. De reactie is exotherm. In figuur 15.36 staat het blokschema weergegeven van het continuproces van de bereiding van TDA.



R = reactor
S = scheider
W = warmtewisselaar
15.36

Om veiligheidsredenen moet de temperatuur in de reactor laag worden gehouden. Om dit te realiseren wordt steeds een kleine hoeveelheid DNT aan een mengsel van TDA en water toegevoegd. Dit mengsel wordt samen met de waterstof in de reactor gepompt.

Het mengsel van TDA en water treedt op als warmtebuffer. Het neemt de warmte op die bij de reactie vrijkomt en staat deze weer af in de warmtewisselaar. Een klein deel van het mengsel van TDA en water wordt bij A afgevoerd;

het grootste gedeelte wordt teruggeleid in de reactor. Bij een bepaalde opzet van dit continuproces wordt per minuut 25,0 g DNT gemengd met een kilogram van het mengsel van TDA en water.

Bereken hoeveel gram van het mengsel van TDA en water dat uit de warmtewisselaar komt, bij A per minuut moet worden afgevoerd. Ga er bij de berekening van uit dat de molverhouding TDA : water in dit continuproces gelijk blijft.

De hoeveelheid reactiemengsel die in het systeem zit, moet bij een continuproces constant blijven. De molaire massa van DNT is $182,1 \text{ g mol}^{-1}$ en van TDA $122,2 \text{ g mol}^{-1}$.

$$\text{Aangevoerd: } 25,0 \text{ g DNT} \triangleq \frac{25,0 \text{ g}}{182,1 \text{ g mol}^{-1}} = 0,137 \text{ mol DNT}$$

Dat levert $0,137 \text{ mol TDA}$ en $4 \times 0,137 = 0,549 \text{ mol H}_2\text{O}$. De totale massa die dus iedere minuut bij A moet worden afgevoerd is:

$$0,137 \times 122,2 \text{ g TDA} + 0,549 \times 18,02 \text{ g H}_2\text{O} = 26,7 \text{ g reactiemengsel}$$

Samenvatting

- Fijnchemie is het produceren van kleine hoeveelheden van een product. Bulkchemie is het produceren van grote hoeveelheden van een product. Beginstoffen die na de reactie overblijven worden gerecicleerd. Warmte wordt door een warmtewisselaar teruggewonnen.
- Er zijn twee soorten processen: batchprocessen en continuprocessen. Een batchproces is een productieproces waarbij telkens een afgeronde hoeveelheid van een product wordt gemaakt. Een continuproces is een productieproces dat 24 uur per dag doorgaat en volledig is geautomatiseerd.
- De processen in een chemische fabriek kun je weergeven in een blokschema.

Opdrachten

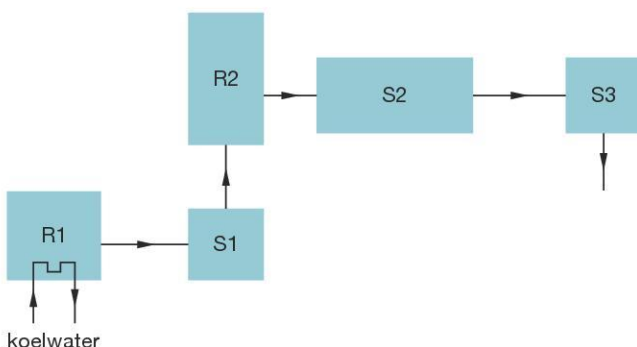
A 26

- Verklaar de termen batchproces en continuproces.
- Wat stellen de blokken in een blokschema voor?
- Wat stellen de pijlen in een blokschema voor?
- Wat zet je bij de pijlen in een blokschema?

B 27

De kunststof lexan wordt toegepast als coating van cd's en bijvoorbeeld als materiaal voor het venster in skibrillen. Lexan is een zogeheten polycarbonaat. Lexan wordt gemaakt uit twee monomeren. Eén van de monomeren van lexan is het gas fosgeen (COCl_2). Fosgeen is een zeer giftig zenuwgas en wordt daarom niet in grote hoeveelheden opgeslagen voor gebruik, maar ter plekke gemaakt uit chloor en koolstofmono-oxide.

In figuur 15.38 is een vereenvoudigd en onvolledig blokschema voor de productie van lexan weergegeven.



15.38 Blokschema voor de productie van lexan

In reactor 1 (R1) laat men een overmaat koolstofmono-oxide reageren met chloor. Het chloor reageert hierbij volledig.

Leg aan de hand van het blokschema uit of de vorming van fosgeen uit koolstofmono-oxide en chloor exotherm of endotherm is.

B 28

De omzetting van methanol in tetrachloormethaan gebeurt in twee stappen. In de eerste stap reageert methanol met waterstofchloride tot chloormethaan en water. Het mengsel dat nu is ontstaan moet eerst worden gescheiden voor je de volgende stap kunt uitvoeren.

- Geef de vergelijking voor deze reactie.
- Leg uit welke scheidingsmethode je hier kunt toepassen.

Het gevormde chloormethaan wordt na deze scheiding met chloor gemengd. Na reactie is onder andere het eindproduct tetrachloormethaan ontstaan. Daarnaast ontstaat ook waterstofchloride dat je na scheiding van de producten opnieuw kunt gebruiken.

- Welke bijproducten kunnen in de tweede reactiestap ontstaan?
- Leg uit of je alle gevormde waterstofchloride kunt hergebruiken in de eerste reactiestap.
- Teken het blokschema voor het beschreven proces.

B 29

Voor alle chemische reacties geldt de wet van massabehoud. Dit betekent dat voor het hele proces de massabalans in orde moet zijn. Het doet er niet toe of je met een batchproces of een continuproces hebt te maken.

- Leg uit waarom je in een chemische fabriek met massa's in kilogram of ton werkt in plaats van kilomol (kmol).

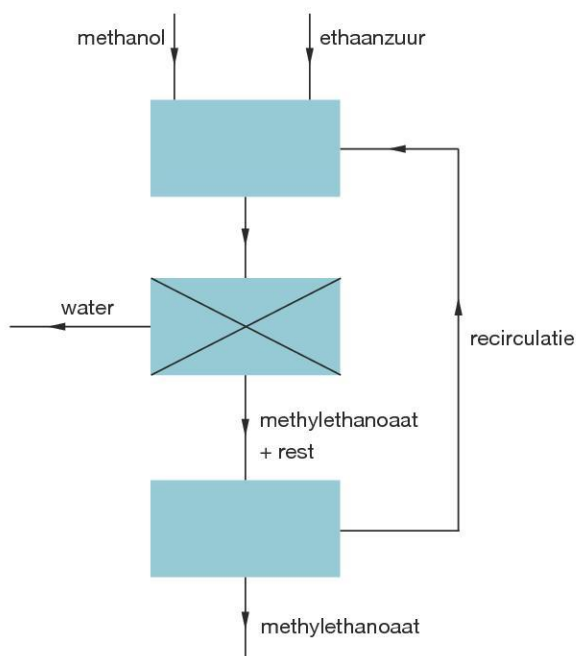
Voor de productie van een kleine hoeveelheid ammoniak uit de elementen wordt een batchproces gebruikt. De beginhoeveelheden zijn 50 kmol stikstof en 150 kmol waterstof. Er wordt 80 kmol ammoniak gevormd.

- Bereken de massa in kilogram van elk van de stoffen die in de evenwichtstoestand aanwezig zijn.
- Bereken het rendement van dit proces.

B 30

In het blokschema van figuur 15.39 zie je de bereiding van methylethanoaat weergegeven.

- Wat betekent het kruis in het middelste blok? Zie Binas tabel 38B1.
- Welk proces vindt achtereenvolgens in de drie blokken plaats?
- Waarom is het lastig om het reactiemengsel te scheiden?
- Leg uit of de recirculatiestroom nog moet worden gescheiden.
- Leg uit of het bij deze verestering gaat om een continu- of een batchproces.
- Bereken hoeveel ton van de ester is gevormd op het moment dat er 1,4 ton water is verwijderd. Neem aan dat er ook 1,4 ton water is gevormd.



15.39 Blokschema methylethanoaat

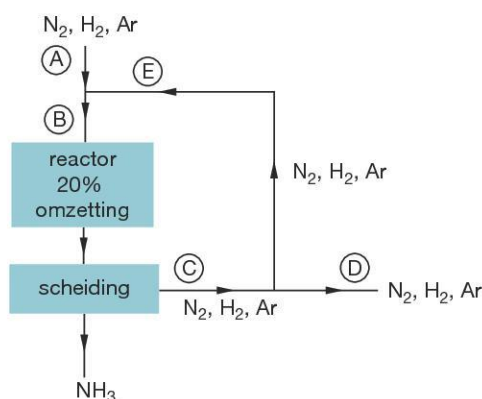
- g** Leg uit of de waterstroom uit zuiver water bestaat.
h Bereken de zuiverheid in massaprocent van het eindproduct wanneer er 6,2 ton product wordt afgetapt.
i Bereken hoeveel ton beginstoffen je moet toevoegen aan het eerste blok (verse voeding plus recirculatie) zodat het proces continu kan verlopen.

C 31 ★

In een ammoniakfabriek is de conversie 20%. De ammoniak wordt afgescheiden en de niet-omgezette stikstof en waterstof worden aangevuld met een nieuwe hoeveelheid en teruggevoerd naar de reactor. Doordat lucht wordt gebruikt bij de bereiding van het gasmengsel bevat dit een laag percentage argon. Dit edelgas komt ook in de reactor terecht. Als het argon niet wordt afgescheiden, zou de argonconcentratie in de reactor voortdurend stijgen.

- a** Leg uit waarom de argonconcentratie stijgt.

Om het oplopen van de argonconcentratie te voorkomen, wordt een klein deel van het reactiemengsel niet gerecirculeerd, maar gespuid. In het blokschema van figuur 15.40 is een en ander weergegeven.



15.40 Blokschema ammoniakfabriek

In het gasmengsel van stikstof, waterstof en argon dat langs punt A wordt ingeleid, is de molverhouding $N_2 : H_2 : Ar = 80 : 240 : 1,0$.

De gasstromen die langs de punten A en E komen zijn zó op elkaar afgestemd, dat bij punt B een gasmengsel passeert met constante samenstelling. Per minuut passeert bij punt B 80 kmol N_2 , 240 kmol H_2 en 4,0 kmol Ar. Om een continuproces te verkrijgen waarin het percentage argon in de gasstroom constant is, wordt van het gasmengsel dat langs punt C de scheidingsruimte verlaat 1/16 deel via punt D gespuid.

- b** Bereken hoeveel kmol N_2 en hoeveel kmol H_2 per minuut je bij punt A moet inleiden om een continuproces te verkrijgen.
c Laat met een berekening zien dat het argonpercentage nu niet toeneemt.

Je kunt nu

- het verschil uitleggen tussen batch- en continuprocessen;
- een blokschema ontwerpen van een chemisch proces en daarin ook aangeven hoe recirculeren werkt;
- de functie van een warmtewisselaar uitleggen;
- rekenen aan chemische processen.

Jeans en aniline

De kunstenaar Ian Berry, ook wel Denimu genoemd, vindt dagelijks pakketten met oude jeans op zijn stoep. Hij maakt fraaie kunstwerken van die oude jeans, zoals hier een portret van Debbie Harry, legendarisch zangeres van de popgroep Blondie. Spijkerbroeken krijgen hun karakteristieke blauwe kleur door een behandeling met indigo, een kleurstof die wordt gemaakt uit aniline.

**Je leert**

- op grond van veel verschillende factoren voorspellen hoe groen een proces is;
- op grond van argumenten een (voorlopige) keuze maken voor één bepaald proces.

15.5 Welk proces is groener?

Het ontwerpen van een proces

De grondstof voor indigo is aniline. Bij het ontwerpen van een industrieel proces voor het produceren van aniline spelen een groot aantal verschillende factoren een rol. Je kent nu de atomeconomie, het rendement, de E-factor en de Q-factor. Dit zijn belangrijke factoren om rekening mee te houden.

Daarnaast moeten ook technische, economische en maatschappelijke problemen worden opgelost. Hierbij wordt gelet op:

- kostprijs van beginstoffen;
- veiligheid rond het werken met de stoffen;
- technische voorzieningen;
- energieverbruik;
- gemak en efficiëntie van het isoleren en zuiveren van het reactieproduct.



15.41 Biologische producten kunnen fossiele grondstoffen vervangen.

Ook de omgevingsfactoren spelen een belangrijke rol. Je moet daarbij denken aan de beschikbaarheid van (goedkope) energie en het gemak waarmee grondstoffen kunnen worden aangevoerd en reactieproducten afgevoerd. Je probeert door rekening te houden met deze factoren een chemisch proces zo groen mogelijk te laten verlopen (figuur 15.41).

In deze paragraaf houd je je bezig met de keuze van een proces. Je vergelijkt drie industriële processen met elkaar en toetst ze aan de principes van de groene chemie. Je kiest ten slotte op basis van argumenten het meest duurzame proces.



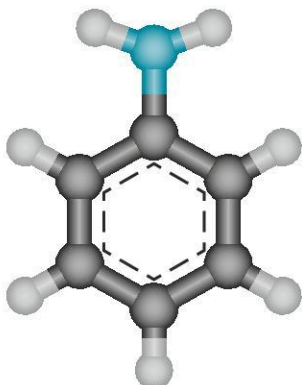
15.42 Is voor een productieproces goedkope en groene stroom beschikbaar?

Hoe groen is een proces?

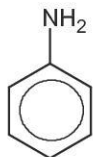
Er zijn al heel wat factoren opgenoemd die met elkaar bepalen hoe groen een proces uiteindelijk is. Er worden pogingen ondernomen om in een getal uit te drukken hoe groen een proces precies is. Daarbij worden de factoren atomeconomie, rendement, E-factor en Q-factor betrokken. In deze paragraaf hebben we als voorbeeld voor de bereiding van aniline gekozen, een grondstof voor onder andere kleurstoffen. De systematische naam van aniline is aminobenzeen (figuur 15.43).

Drie mogelijk industriële processen

We bespreken drie processen om aminobenzeen, aniline, te maken. De structuurformule van aniline is:



15.43 Molecuulmodel van aniline



Als grondstof voor de productie van aniline kun je nitrobenzeen of chloorbenzeen gebruiken.

Bereiding van aminobenzeen uit nitrobenzeen

Dit gebeurt op twee manieren:

Proces 1: Het béchamp-proces, een batchproces. Nitrobenzeen wordt met ijzer en een geschikte katalysator in een redoxreactie omgezet in aminobenzeen. Dit proces werk je uit in opdracht 33.

Proces 2: Het hydreren van nitrobenzeen tot aminobenzeen in de gasfase met behulp van een geschikte katalysator. Dit is een continuproces, je werkt het uit in opdracht 34.

Bereiding van aminobenzeen uit chloorbenzeen

Proces 3: Het dow-proces. Chloorbenzeen reageert met een ammoniakoplossing tot aminobenzeen. Dit proces werk je uit in opdracht 35.



15.44 Nieuwe ontwikkelingen bij Covestro

Naast deze drie conventionele processen is het de materiaalfabrikant Covestro in 2017 gelukt aniline te maken uit plantaardige grondstoffen (figuur 15.44). In plaats van aardolie kan suiker worden gebruikt dat al op industriële schaal wordt gewonnen uit mais, stro en hout. In de eerste stap van het nieuwe procedé wordt een micro-organisme gebruikt als katalysator om de suiker om te zetten in een voorproduct voor aniline. In een tweede stap wordt dan met gebruik van een katalysator aniline gevormd. De koolstof in de aniline komt dan volledig uit hernieuwbare grondstoffen.

Samenvatting

- Een chemisch proces moet zo veel mogelijk voldoen aan de principes van de groene chemie.
- Een proces moet worden aangepast aan omgevingsfactoren.

Geschiedenis van aniline

Aniline werd in 1826 voor het eerst gemaakt uit natuurlijk indigo. Een goedkopere methode om aniline uit kolenteer te produceren werd ontdekt in 1855. Van de tweede helft van de negentiende eeuw tot het einde van de eerste wereldoorlog werd aniline uitsluitend als grondstof in de kleurstoffenindustrie gebruikt.

In 1865 begon de Duitse scheikundige Adolf von Baeyer met aniline te werken. Dit resulteerde in de synthese van indigo in 1880 (figuur 15.45). Drie jaar later werd de chemische structuur bekendgemaakt (figuur 15.46). De *Badische Anilin- und Soda-Fabrik* (BASF) ontwikkelde een commerciële productietechniek die vanaf 1897 in gebruik werd genomen. Rond 1913 was het natuurlijke indigo vrijwel geheel vervangen door synthetisch indigo. In 2002 werd wereldwijd ongeveer 17 000 ton indigo geproduceerd.

In 1968 werd nog maar 15% van de wereldproductie aan aniline in de kleurstoffenindustrie verwerkt.



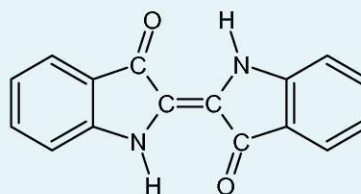
15.45 Indigo als kleurstof

Aniline is nu ook een belangrijke grondstof voor de rubberindustrie, de farmaceutische industrie en de foto-industrie. Aniline is ook een grondstof voor een bepaald polymeer.

De belangrijkste toepassing van indigo is het kleuren van spijkerbroeken. De kleur wordt ook wel gebruikt om wol navy blue te verven. Indigo bindt zich niet erg sterk aan de vezels in het textiel, waardoor slijtage en herhaald wassen ervoor zorgen dat de verf langzaam uit de stof verdwijnt.

Sinds ongeveer 1970 willen dragers van spijkerbroeken liever dat ze er van het begin af aan wat versleten uitzien. Daardoor zie je de originele donkere indigo kleur niet vaak meer op straat.

Indigo wordt ook gebruikt als pigment in de schilderkunst. Het is een vrij overheersende blauwe kleur, die enigszins naar groen neigt.



15.46 Structuurformule van indigo



15.47 Aniline wordt gebruikt om leer te verven. De stof zorgt voor mooi en soepel leer.

● Opdracht 33, 34 of 35

Opdrachten

A 32

Geef met een toelichting een aantal verschillen tussen een continu- en een batchproces wat betreft:

- a productiegrootte;
- b investeringskosten van de installatie bij eenzelfde productie;
- c aantal arbeidsplaatsen per eenheid product;
- d flexibiliteit wat betreft aard en hoeveelheid van het product.

In de volgende opdrachten bekijk je de drie bestaande industriële processen voor de productie van aniline. In overleg met je docent kies je één van die processen en je maakt de bijbehorende opdracht 33, 34 of 35.

Gegevens en opmerkingen

- Van de processen zijn alleen de belangrijkste onderdelen beschreven. De opbrengsten zijn voor het gemak op 100% gesteld en de vorming van sommige bijproducten is verwaarloosd.
- Afhankelijk van de manier waarop je afrondt kan de berekende massa voor en na de reactie iets verschillen.

Grootheden die je bij je proceskeuze nodig kunt hebben

Kookpunten

water	100 °C
nitrobenzeen	211 °C
aminobenzeen	184 °C
chloorbenzeen	132 °C

Oplosbaarheden bij 25 °C

3,5 g aminobenzeen lost op in 100 g water.

5,0 g water lost op in 100 g aminobenzeen.

- Nitrobenzeen lost praktisch niet op in water en omgekeerd.
- Chloorbenzeen lost vrijwel niet op in water en omgekeerd.
- Aminobenzeen en nitrobenzeen zijn volledig mengbaar.
- Aminobenzeen en chloorbenzeen zijn volledig mengbaar.

Dichtheden bij 25 °C

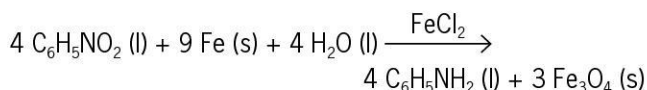
water	0,99 g cm ⁻³
nitrobenzeen	1,20 g cm ⁻³
aminobenzeen	1,02 g cm ⁻³
chloorbenzeen	1,11 g cm ⁻³

Op de chemiekaarten (in Binas, Veilig Practicum, Chemiekaarten of op de site) vind je allerlei informatie over veiligheid bij het werken met gevaarlijke stoffen.

B 33 Proces 1

De redoxreactie van nitrobenzeen tot aminobenzeen met ijzerkrullen.

In dit proces wordt ijzer(II)chloride als katalysator gebruikt. Het is een batchproces, per batch wordt 2000 kg nitrobenzeen omgezet. De vergelijking van de hoofdreactie is:



Het reactiemedium is water. De reactie is exotherm.

Nitrobenzeen en de ijzerkrullen worden in de molverhouding van 4 : 9 in een batchreactor gevoerd. De reactie verloopt het best als er per mol nitrobenzeen 4 mol water aanwezig is. Als de reactor vol is, wordt het mengsel op de reactietemperatuur van 100 °C gebracht. Met behulp van koeling blijft de reactietemperatuur op 100 °C gehandhaafd. De verblijftijd in de reactor bedraagt 8 uur, waarna deze wordt leeggemaakt.

Het gevormde Fe₃O₄ wordt door filtratie van de vloeistof-fase gescheiden. Het filtraat scheid je in een separator in een waterige en een organische fase. De waterige fase bevat weinig aminobenzeen en al het ijzer(II)chloride, dat als katalysator is gebruikt. Uit de organische fase wordt door middel van destillatie zuiver aminobenzeen gewonnen. De aminobenzeenopbrengst kan worden gesteld op 100%. IJzerchloride en nitrobenzeen zijn gemengd in de molverhouding 1 : 10. Het bij de filtratie afgescheiden Fe₃O₄ bevat een beetje aminobenzeen.

- a Bestudeer in hoofdstuk 1 nog eens de scheidingsmethoden en in het bijzonder destillatie en extractie.
- b Bereken hoeveel kilogram water en ijzerkrullen volgens de reactievergelijking nodig zijn voor de volledige omzetting van 2000 kg nitrobenzeen in aminobenzeen.
- c Bereken ook hoeveel kmol aminobenzeen en Fe₃O₄ hierbij worden gevormd.
- d Teken een blokschema van het proces in het geval dat er geen stof wordt gerecirculeerd.
 - Vermeld in ieder blok welk proces plaatsvindt.
 - Vermeld de stofstromen, waar nodig.
 - Vermeld de massa's van de ingaande en uitgaande stoffen bij het blokschema.
 - Ga na welke stoffen in aanmerking komen voor recirculatie.

- e Teken opnieuw het blokschema, nu met recirculatie.
 - Vermeld in elk blok welk proces plaatsvindt.
 - Vermeld de stofstromen, waar nodig.
 - Vermeld ook bij het tweede blokschema de massa van de ingaande en uitgaande stoffen.
 - Vermeld tevens de massa van de stoffen die worden gerecirculeerd.
- f Bereken voor dit proces de atomeconomie.
- g Bereken de E-factor voor dit proces.
- h Leg uit of je denkt dat de Q-factor voor dit proces hoog of laag zal zijn.

Fe_3O_4 wordt als pigment in de kleurstoffenindustrie verwerkt. Omdat Fe_3O_4 na filtratie nog aminobenzene bevat, wordt het met water schoongewassen. Om dit water te kunnen lozen moet eerst het aminobenzene eruit worden verwijderd.

- i Bedenk twee methoden waarop je dit kunt doen.

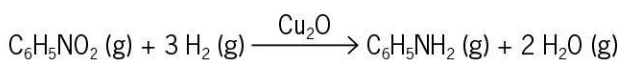
In de organische fase bevinden zich vaak nog enkele bijproducten met kookpunten boven de 200°C .

- j Hoe kunnen deze bijproducten worden gewonnen?
- k Leg uit of je de gerecirculeerde waterfase rechtstreeks in de reactor kunt leiden.
- l Stel een energiebalans voor de reactor op.

B 34 Proces 2

Bereiding van aminobenzene via een redoxreactie van nitrobenzene met waterstof in de gasfase onder invloed van een katalysator.

Het proces is een continuproces met een productie van 40 ton zuiver aminobenzene per dag. De reactievergelijking is:



De verse voeding bestaat uit zuiver nitrobenzene en waterstofgas. Nitrobenzene wordt vrijwel volledig omgezet in aminobenzene. De reactie is exotherm.

Vloeibaar nitrobenzene en waterstofgas worden bij kamertemperatuur samengebracht, voorverwarmd en in de buisreactor geleid. In de reactor bevindt zich koper(I)oxide als katalysator.

De reactietemperatuur bedraagt 280°C en de bedrijfsdruk is 1 atmosfeer. Van het in de reactor gevoerde waterstofgas wordt slechts 5% omgezet.

De reactiegassen worden in een condensor tot 50°C gekoeld. De daarbij ontstane vloeistoffen aminobenzene en water worden in een separator zo goed mogelijk van elkaar gescheiden. Het ruwe aminobenzene, dat nog water bevat, wordt door destillatie gezuiverd.

- a Bestudeer in hoofdstuk 1 nog eens de scheidingsmethoden en in het bijzonder destillatie en extractie.
- b Bereken zowel in kmol als in ton hoeveel nitrobenzene en waterstof volgens de reactievergelijking per dag nodig zijn.
- c Bereken zowel in kmol als in ton hoeveel water er per dag ontstaat.
- d Teken een blokschema van het proces in het geval dat er geen stof wordt gerecirculeerd.
 - Vermeld in ieder blok welk proces plaatsvindt.
 - Vermeld de stofstromen, waar nodig.
 - Vermeld de massa's van de ingaande en uitgaande stoffen bij het blokschema.
 - Ga na welke stoffen in aanmerking komen voor recirculatie.
- e Teken opnieuw het blokschema, nu met recirculatie.
 - Vermeld in elk blok welk proces plaatsvindt.
 - Vermeld de stofstromen, waar nodig.
 - Vermeld ook bij het tweede blokschema de massa van de ingaande en uitgaande stoffen.
 - Vermeld tevens de massa van de stoffen die worden gerecirculeerd.
- f Bereken voor dit proces de atomeconomie.
- g Bereken de E-factor voor dit proces.
- h Leg uit of je denkt dat de Q-factor voor dit proces hoog of laag zal zijn.

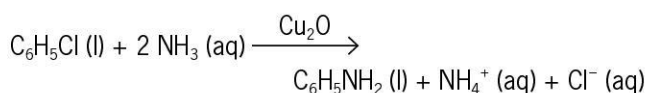
Het water dat uit de separator komt, bevat nog ongeveer 5 massa-% aminobenzene. Voordat het water kan worden geloosd moet het aminobenzene eruit worden gehaald.

- i Bedenk methoden waarmee je dit kunt doen.
- j Een veelgebruikte oplossing is extractie met nitrobenzene. Vul het tweede blokschema aan.
- k Stel een energiebalans voor de reactor op.

B 35 Proces 3

De bereiding van aminobenzene uit chloorbenzene en ammoniak bij aanwezigheid van een katalysator.

Het proces is een continuproces met een productie van 20 ton zuiver aminobenzene per dag. De reactievergelijking is:



De voeding bestaat uit zuiver chloorbenzene en ammoniak. Het toegevoerde chloorbenzene wordt in de reactor voor 50% omgezet. De opbrengst van het proces op basis van chloorbenzene bedraagt 100%. De reactie is exotherm.

Ammoniak wordt in water opgelost tot een oplossing met 20 massa-% NH_3 . Een mengsel bestaande uit chloorbenzeen, ammoniakoplossing en koper(I)oxide als katalysator wordt verwarmd tot de reactietemperatuur van 200 °C. Het mengsel wordt dan in de buisreactor geleid. De druk in de reactor is gelijk aan of groter dan de dampdruk van de reagerende stoffen. De reactie verloopt dus in de vloeistoffase.

De uit de reactor tredende vloeistofstroom wordt eerst gekoeld en daarna in een separator gescheiden in een organische en een waterige laag. Aminobenzeen wordt uit de organische laag, die verder nog bestaat uit chloorbenzeen, water en ammoniak, in een destillatiekolom afgescheiden. Om de waterige laag te kunnen recirculeren, ondergaat deze verscheidene behandelingen. Het koper(I)oxide wordt afgefiltreerd en naar de reactor geleid.

Dan wordt ammoniumchloride door kristallisatie afgescheiden, zodat voor het proces bruikbare stoffen als ammoniak, aminobenzeen en water kunnen worden teruggevoerd. In dit mengsel kan ammoniak worden opgelost.

De molverhouding van chloorbenzeen en ammoniak in de voeding van de reactor is 1 : 3.

De molverhouding van koper(I)oxide en chloorbenzeen is 1 : 5. Het verbruik van de katalysator kun je verwaarlozen.

Neem aan dat ammoniumchloride alleen in de waterige laag voorkomt en de hoeveelheden ammoniak en water in de organische laag zijn te verwaarlozen.

- a Bestudeer in hoofdstuk 1 nog eens de scheidingsmethoden en in het bijzonder destillatie en extractie.
- b Bereken zowel in kmol als in ton hoeveel chloorbenzeen en ammoniak volgens bovenstaande reactievergelijking nodig zijn voor de productie van 20 ton aminobenzeen per dag.
- c Bereken zowel in kmol als in ton hoeveel ammoniumchloride er bij het proces wordt gevormd.

- d Teken een blokschema van het proces in het geval dat er geen stof wordt gerecirculeerd.
 - Vermeld in ieder blok welk proces plaatsvindt.
 - Vermeld de stofstromen, waar nodig.
 - Ga na welke stoffen in aanmerking komen voor recirculatie.
- e Teken opnieuw het blokschema, nu met recirculatie.
 - Vermeld in elk blok welk proces plaatsvindt.
 - Vermeld de stofstromen, waar nodig.
 - Vermeld bij het tweede blokschema de massa van de ingaande en uitgaande stoffen.
 - Vermeld tevens de massa van de stoffen die worden gerecirculeerd.
- f Bereken voor dit proces de atomeconomie.
- g Bereken de E-factor voor dit proces.
- h Leg uit of je denkt dat de Q-factor voor dit proces hoog of laag zal zijn.
- i Wat zou je met het ammoniumchloride doen? Noem enkele argumenten voor je oplossing.
- i Stel een energiebalans voor de reactor op.

B 36

Wissel met de andere leerlingen in de klas je gegevens uit. Je hebt de berekeningen en resultaten van alle drie de processen nodig om de opdrachten 37 en 38 te kunnen maken.

B 37

- a Vergelijk de atomeconomieën van de drie processen met elkaar. Wat is je conclusie?
- b Vergelijk de E-factoren van de drie processen met elkaar. Wat is je conclusie?
- c Vergelijk de Q-factoren met elkaar. Wat is je conclusie?

B 38

Ben je er zeker van dat het proces dat je bij vraag 37 hebt gekozen het meest groene proces is? Welke factoren spelen, naast de atomeconomie, de E-factor en de Q-factor ook nog een rol?

Je kunt nu

- de factoren noemen die bepalen hoe groen een proces is;
- op grond van atomeconomie, E-factor en Q-factor voorspellen welk proces groener is;
- op grond van argumenten een (voorlopige) keuze maken voor één van de besproken processen.

Afsluiting

Oefenopdrachten

- 1** Zink kan op twee manieren uit zinkoxide worden gewonnen.
 Proces 1: Zinkoxide kan met methaan worden omgezet in zink, koolstofdioxide en water.
 Proces 2: Zinkoxide wordt met koolstofmono-oxide omgezet in zink en koolstofdioxide.
- Geef de reactievergelijking van proces 1 en bereken de atomeconomie.
 - Geef de reactievergelijking van proces 2 en bereken de atomeconomie.
 - Welk proces heeft de meest gunstige atomeconomie?
 - Bereken voor het proces met de gunstigste atomeconomie de E-factor als het rendement 70% is.

- 2**  **a** Leg uit dat de atomeconomie van de productie van ammoniak uit de elementen 100% is.
b Bereken de E-factor van deze reactie als het rendement 65% is.
c Beredeneer hoe de E-factor verandert als het rendement van de reactie hoger wordt.

- 3** Je kunt methanol maken door koolstofmono-oxide te laten reageren met waterstof. Hierbij ontstaat uitsluitend methanol.
a Geef de vergelijking van deze reactie.

Onder bepaalde omstandigheden ontstaat uit 1,0 kg koolstofmono-oxide en een overmaat waterstof 0,80 kg methanol.

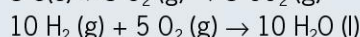
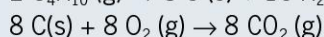
- Bereken het rendement van deze reactie.
- Bereken de E-factor van de reactie onder deze omstandigheden.

- 4**  Butaan in campinggasflessen zorgt ervoor dat je kunt koken op de camping (figuur 15.48).
a Geef de reactievergelijking voor de verbranding van butaan.



15.48 Butaan als flessengas

Bij de verbranding van butaan zou je een aantal theoretische stappen kunnen onderscheiden:



- Leid de verbrandingswarmte van butaan af uit de vormingswarmten van butaan, zuurstof, koolstofdioxide en water.
- Maak een energiediagram van de gegevens die je bij a hebt gebruikt en vermeld alle beginstoffen, tussenproducten en eindproducten, zowel als alle energie-effecten.

5 Kerosine uit zonlicht

Europese chemici zijn erin geslaagd om vliegtuigbrandstof (kerosine) te produceren uit koolstofdioxide en water (figuur 15.49). De onderzoekers gebruikten voor deze omzetting een zogeheten solarreactor. Hierin wordt zonlicht gebundeld waardoor in de reactor een zeer hoge temperatuur ontstaat. De reactie (reactie 1) tussen koolstofdioxide en water verloopt bij hoge temperatuur (1000 K).





15.49 Een Boeing 747 gebruikt maar liefst 13 500 L kerosine per uur.

- a** Bereken de reactiewarmte voor reactie 1 per mol water. Neem aan dat je onder deze omstandigheden de waarden van de vormingswarmten uit Binas mag gebruiken.

Je moet de gevormde zuurstof verwijderen voordat het gasmengsel verder kan worden gebruikt. De onderzoekers hebben hiervoor in de reactor een fijn gaas aangebracht, bedekt met cerium(III)oxide.

Als cerium(III)oxide reageert met zuurstof ontstaat cerium(IV)oxide (reactie 2). Uiteindelijk wordt door reacties 1 en 2 een mengsel van CO en H₂ verkregen.

- b** Geef de vergelijking voor reactie 2.
c Bereken hoeveel mol cerium(III)oxide minimaal per mol CO₂ aanwezig moet zijn voor het wegvangen van alle zuurstof die ontstaat bij reactie 1.

Het in de reactor gevormde cerium(IV)oxide kan door sterke verhitting weer worden omgezet tot cerium(III)oxide (reactie 3). De onderzoekers willen reacties 1 en 2 uitvoeren met een continue instroom en uitstroom van de gassen. Om de productie van CO en H₂ als een continuproces uit te voeren moeten reacties 1 en 3 tegelijk plaatsvinden.

- d** Geef een mogelijk blokschema van deze productie van CO en H₂. Uit het antwoord moet blijken dat het proces als een continuproces verloopt. Geef reactoren en stofstromen weer. Zet bij alle stofstromen de namen en/of formules van de stoffen.

Naar: CE vwo 2017-II



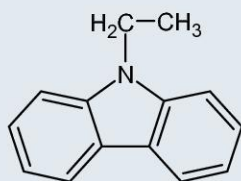
6

Waterstofopslag in carbazool

Waterstof wordt pas een alternatief voor het gebruik van benzine als autobrandstof wanneer waterstofauto's met een volle tank eenzelfde afstand kunnen afleggen als een gangbare benzineauto met een tank gevuld met 50 L benzine. Uit metingen is gebleken dat een benzineauto voor het afleggen van eenzelfde afstand tweemaal zo veel chemische energie nodig heeft als een waterstofauto.

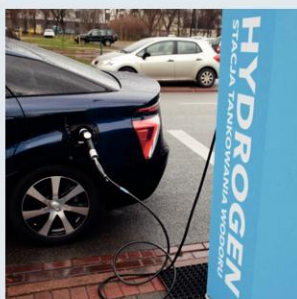
- a** Bereken hoeveel kilogram waterstof een auto moet tanken om dezelfde afstand af te leggen als een benzineauto met een tank gevuld met 50 L benzine ($T = 298 \text{ K}$, $p = p_0$). Bij beide verbrandingen komt het water als gas vrij. Bij de verbranding van 1,0 m³ benzine komt $3,3 \cdot 10^{10} \text{ J}$ vrij.

Waterstof als brandstof heeft als groot nadeel dat je het onder hoge druk moet opslaan (figuur 15.50). Daarom wordt veel onderzoek gedaan naar manieren om waterstof chemisch aan een drager te binden. Recent onderzoek richt zich op N-ethylcarbazool als waterstofdrager. Hieronder zie je de structuurformule van deze stof.



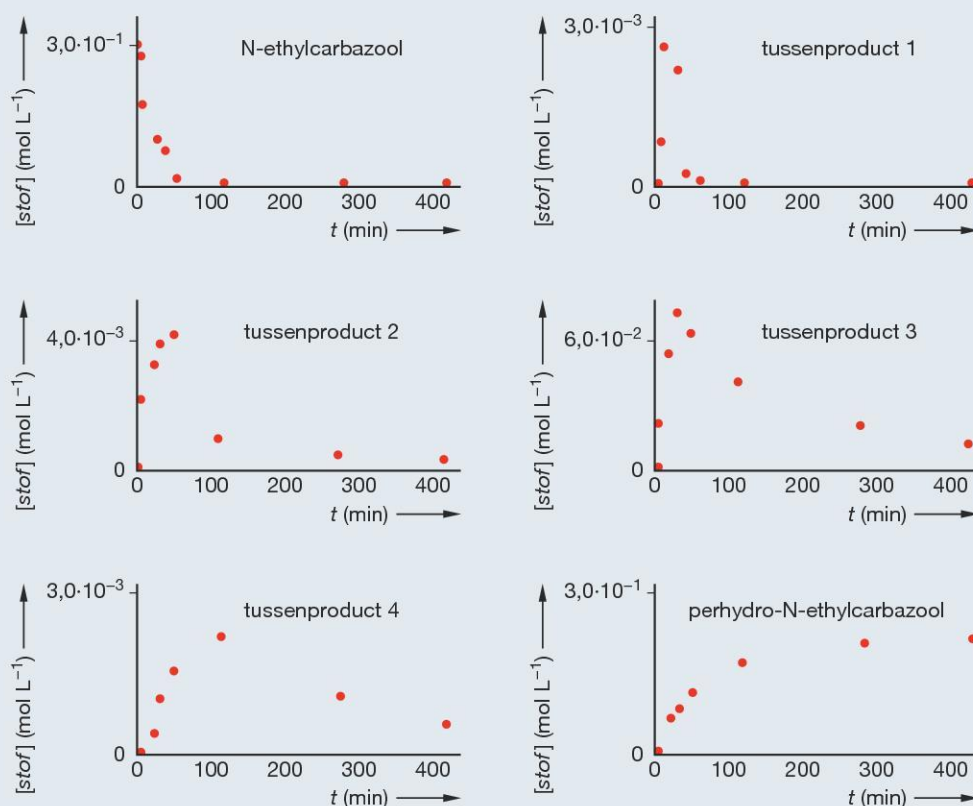
N-ethylcarbazool bindt waterstof door additie. Alle dubbele bindingen in N-ethylcarbazool worden hierbij omgezet tot enkelvoudige bindingen. Het product wordt perhydro-N-ethylcarbazool genoemd. De massa neemt hierbij minder dan 10% toe.

- b** Bereken met welk percentage van zijn oorspronkelijke massa de massa van N-ethylcarbazool toeneemt als alle dubbele bindingen in N-ethylcarbazool worden omgezet tot enkelvoudige bindingen. Geef je antwoord in twee significante cijfers.



15.50 Veilig opslaan van waterstof is nog niet zo gemakkelijk.

In een experiment is het verloop van de additie van waterstof aan N-ethylcarbazonol onderzocht. Het bleek dat in de loop van het experiment enkele tussenproducten konden worden aangetoond. Van de beginstof en het eindproduct en van een aantal tussenproducten is het verloop van de concentraties gemeten. In figuur 15.51 zijn enkele resultaten van de metingen weergegeven. De schaal op de y-assen verschilt per diagram. Het volume van het reactiemengsel was gedurende het gehele experiment constant.



15.51 Diagrammen van de omzetting van N-ethylcarbazonol

- c** Leg aan de hand van de diagrammen in figuur 15.51 uit of na 400 minuten een volledige omzetting tot perhydro-N-ethylcarbazonol is bereikt.

Uit de diagrammen kun je opmaken welke van de vijf weergegeven omzettingen de snelheidsbepalende stap is voor de omzetting van N-ethylcarbazonol tot perhydro-N-ethylcarbazonol.

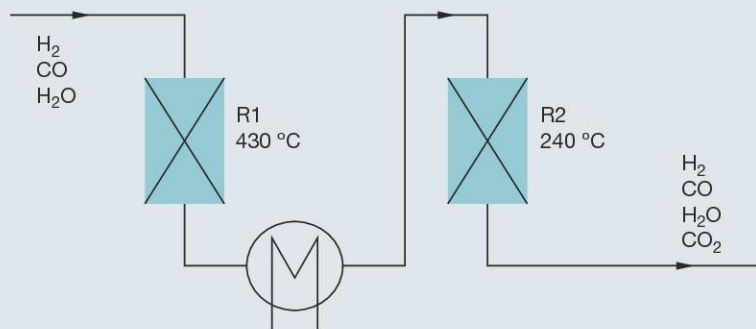
- d** Leg aan de hand van de diagrammen in figuur 15.51 uit welke omzetting de snelheidsbepalende stap is.

Naar: CE vwo 2017-I

7 Duurzame ammoniak

Ammoniak wordt in Europa vooral geproduceerd uit stikstof en methaan. Methaan treedt in het proces op als energiebron, maar ook als bron van waterstofatomen. Om waterstof te produceren uit methaan wordt bij hoge temperatuur en druk methaan in reactie gebracht met water en zuurstof. Hierbij wordt een gasmengsel van CO, H₂O en H₂ verkregen. Om een groot deel van het aanwezige CO te verwijderen wordt vervolgens in twee reactoren de zogeheten gas-shiftreactie uitgevoerd.

In figuur 15.52 is weergegeven hoe dit deel van het proces wordt uitgevoerd. Zowel in R1 als in R2 is een katalysator aanwezig en heerst een hoge druk.



15.52 Blokschema winning waterstof uit methaan

In beide reactoren treedt onderstaand evenwicht op:



In de gasstroom na R1 bedraagt het volumepercentage CO nog 2 tot 4% en na R2 is er nog 1% CO.

- Leg uit of de reactie naar rechts van dit evenwicht exotherm of endotherm is.
- Geef aan welk doel de hogere temperatuur in R1 heeft.

De waterstof afkomstig uit R2 wordt in een aantal stappen afgescheiden van de rest van het gasmengsel. Allereerst wordt water afgescheiden. Daarna wordt CO_2 gescheiden van de overige gassen.

- Leg uit op welke wijze je CO_2 kunt afscheiden uit het gasmengsel dat is ontstaan na het verwijderen van water uit het gasmengsel afkomstig van R2.

De gezuiverde waterstof wordt in een volgende reactor in reactie met stikstof gebracht. Het totaalproces van de productie van ammoniak uit onder andere methaan kun je weergeven met onderstaande reactievergelijking (reactie 1):



Als in een proces deze molverhoudingen worden toegepast, is het proces ongeveer energieneutraal. Dat betekent dat vrijwel geen extra energie nodig is of overtollige warmte ontstaat.

- Bereken de reactiewarmte van het totaalproces volgens reactie 1 per mol gevormde ammoniak. Neem aan dat H_2O in gasvorm aanwezig is. Rond bij deze berekening niet tussentijds af en geef je antwoord in twee significante cijfers.

In de praktijk blijkt dat de meest efficiënte ammoniakfabrieken 25% meer energie nodig hebben dan wat op basis van reactie 1 kan worden berekend. In het proces wordt dan ook 25% meer methaan per mol ammoniak gebruikt. De extra hoeveelheid methaan levert dan de benodigde energie.

- Geef de vergelijking van reactie 1 voor de praktijksituatie.

De waterstof die nodig is voor de productie van ammoniak kun je ook verkrijgen uit andere processen. In tabel 15.54 is het relatieve energieverbruik weergegeven voor de productie van waterstof uit een aantal grondstoffen.



15.53 Duurzame ammoniak voor de bereiding van duurzame kunstmest

In de reacties zijn de grondstoffen zware stookolie en nafta weergegeven met de gemiddelde verhouding tussen het aantal C-atomen en het aantal H-atomen in deze grondstoffen.

grondstof (proces)	reactie	relatief energieverbruik
kolen	$\text{C} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{CO}_2$	170%
zware stookolie	$\text{CH} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2,5 \text{H}_2 + \text{CO}_2$	135%
nafta	$\text{CH}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3 \text{H}_2 + \text{CO}_2$	104%
aardgas	$\text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{H}_2 + \text{CO}_2$	100%

15.54 Tabel relatief energieverbruik

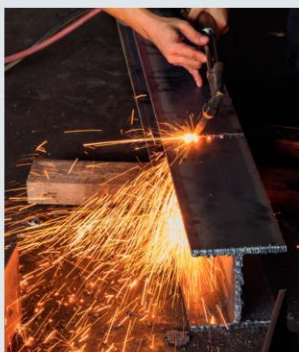
Zware stookolie en nafta zijn producten die afkomstig zijn van de destillatie van aardolie. Als onvoldoende aardgas beschikbaar is, kun je aan de hand van de tabel een afweging maken tussen de grondstoffen zware stookolie en nafta.

f Leg uit welke van de twee grondstoffen, zware stookolie of nafta, de voorkeur verdient voor de productie van waterstof. Geef twee argumenten op basis van tabel 15.54.

Naar: CE vwo 2016-II

8

Heet



15.55 Snijbrander met acetyleen

Voor het snijden van ijzeren voorwerpen zoals spoorrails of stalen platen worden snijbranders gebruikt. In een snijbrander wordt vrijwel altijd acetyleen (ethyn, C_2H_2) gebruikt in combinatie met zuivere zuurstof (figuur 15.55). Met deze ethyn-zuurstofvlam kan een vlamtemperatuur van ruim boven het smeltpunt van ijzer worden bereikt. Andere koolwaterstoffen zoals ethaan (C_2H_6) zijn onbruikbaar voor het snijden van ijzer door een te lage vlamtemperatuur.

De temperatuur die een vlam maximaal kan bereiken, hangt vooral af van twee factoren:

- de reactiewarmte van de verbranding van de brandstof;
- welke verbrandingsproducten ontstaan en in welke hoeveelheden.

Als wordt aangenomen dat ethyn volledig verbrandt, ontstaan koolstofdioxide en waterdamp. Wanneer verlies van energie naar de omgeving wordt verwaarloosd, wordt de vrijkomende energie uitsluitend gebruikt om koolstofdioxide en waterdamp te verwarmen. Met behulp van de reactiewarmte van de verbranding (de verbrandingswarmte) van ethyn en de soortelijke warmtes van koolstofdioxide en water kun je de temperatuurstijging van het gasmengsel berekenen. Bij volledige verbranding van ethyn zou de maximale temperatuur van de vlam boven $7 \cdot 10^3 \text{ K}$ liggen.

De soortelijke warmte van een stof is te definiëren als het aantal joule dat nodig is om 1 g stof 1 K in temperatuur te laten stijgen.

a Laat met een berekening zien dat bij volledige verbranding van ethyn een temperatuurstijging van meer dan $7 \cdot 10^3 \text{ K}$ wordt bereikt. Neem aan dat alle energie wordt gebruikt om de ontstane waterdamp en koolstofdioxide te verwarmen. Maak onder andere gebruik van de volgende gegevens:

- de verbrandingswarmte van ethyn waarbij water als waterdamp vrijkomt, bedraagt $-1,26 \cdot 10^6 \text{ J mol}^{-1}$;
- de soortelijke warmte van waterdamp bedraagt $2,8 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$;
- de soortelijke warmte van koolstofdioxidegas bedraagt $1,3 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Uit metingen blijkt dat bij de reactie van ethyn met zuurstof vooral koolstofmono-oxide en waterstof worden gevormd.

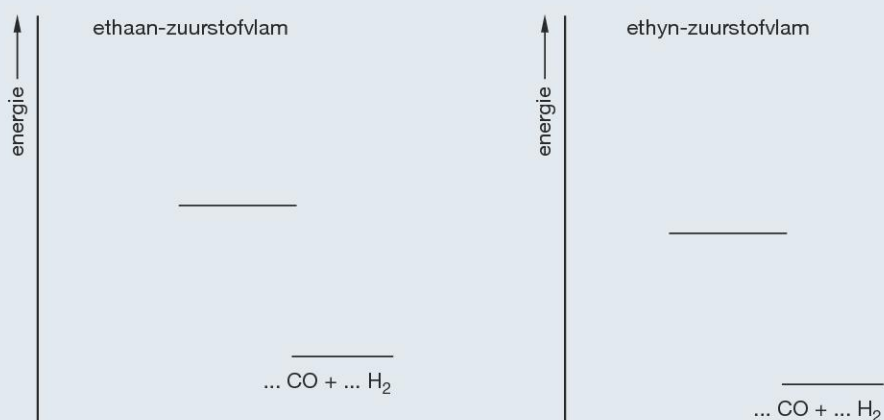
- b** Bereken de reactiewarmte per mol ethyn van de reactie waarbij ethyn met zuurstof reageert tot koolstofmono-oxide en waterstof. Gebruik Binas-tabel 57.

Op basis van de aanname dat de verbrandingsproducten van de ethyn-zuurstofvlam CO en H_2 zijn, kun je berekenen dat dan een temperatuurstijging van ruim $3 \cdot 10^3$ K wordt bereikt. De temperatuurstijging die kan worden bereikt met een ethaan-zuurstofvlam, waarbij ook CO en H_2 ontstaan, is lager dan van de ethyn-zuurstofvlam. Dit wordt onder andere veroorzaakt doordat bij de ethaan-zuurstofvlam meer mol gas moet worden verwarmd. Ook is de reactiewarmte lager. In figuur 15.56 zijn twee energiediagrammen weergegeven. Hierin zijn de energieniveaus van de niet-ontleedbare stoffen en de reactieproducten al aangegeven.

- c** Neem figuur 15.56 over in je schrift en maak de energiediagrammen voor beide reacties af zodat duidelijk wordt waarom de reactiewarmte van de ethaan-zuurstofvlam lager is dan die van de ethyn-zuurstofvlam.

Gebruik Binas tabel 57B. Geef in de diagrammen het volgende aan:

- de ontbrekende energieniveaus van de beginstoffen;
- de molecuulformules en coëfficiënten van de reacties.



15.56

Naar: CE vwo 2016-I

Keuzeopdrachten

Hieronder staat een korte beschrijving van twee keuzeopdrachten. Op de site vind je meer informatie. In overleg met je docent kun je één of beide keuzeopdrachten uitvoeren.

1 De reactiesnelheid beïnvloeden

In deze opdracht voer je een aantal experimenten uit met een elektronisch meetprogramma zoals Coach of je rekenmachine. Je kunt de invloed van de concentratie en de temperatuur op de reactiesnelheid met behulp van een lichtsensor goed in kaart brengen.

2 Een geneesmiddel

Op de site vind je twee keuzeopdrachten over medicijnen. Een bijzondere procesindustrie!

Overzicht begrippen

Activeringsenergie

De hoeveelheid energie die nodig is om de reactietemperatuur te bereiken. De beginstoffen komen hierdoor in de **geactiveerde toestand**. De activeringsenergie wordt verlaagd door een **katalysator**.

Atoomeconomie

De atomeconomie geeft de efficiëntie van een reactie aan. De definitie is:

$$\text{atoomeconomie} = \frac{m_{\text{gewenst product}}}{m_{\text{beginstoffen}}} \times 100\%, \text{ waarin } m \text{ de molecuulmassa is.}$$

Batchproces

Als bij een proces steeds een afgeronde hoeveelheid product wordt gemaakt, heet dit een batchproces.

Blokschema

De processen in een chemische fabriek kun je weergeven in een eenvoudig blokschema. De blokken geven voorbewerking, reacties of scheidingsprocessen weer, de pijlen geven stofstromen weer. In het blokschema geef je ook het **recirculeren** van niet-gereageerde stoffen aan.

Chemische industrie

De meeste bedrijven in de chemische industrie houden zich bezig met de **bulkchemie**, het maken van enorme hoeveelheden van één product. Tot de **fijnchemie** horen onder andere farmaceutische bedrijven die vaak relatief kleine hoeveelheden van een stof maken.

Continuproces

Een proces waarbij een *voortdurende* aanvoer van beginstoffen en afvoer van reactieproducten is.

E-factor

De E-factor is de hoeveelheid afval per kg product en wordt gegeven door de volgende formule:

$$\text{E-factor} = \frac{\text{massa}_{\text{beginstoffen}} - \text{massa}_{\text{gewenst product}}}{\text{massa}_{\text{gewenst product}}}. \text{ De } \mathbf{Q\text{-factor}} \text{ geeft de mate aan waarin een}$$

stof vervuילend is.

Grenswaarde

De grenswaarde is de maximaal toegestane hoeveelheid van een stof in mg per m³ lucht op de werkplek en kan ook worden gegeven in ppb, ppm, procent of promille.

$$\text{Grenswaarde in ppb} = \frac{\text{hoeveelheid stof X}}{\text{hoeveelheid mengsel}} \times 10^9 \text{ ppb}$$

Groene chemie

Groene chemie is het toepassen van duurzame ontwikkelingen in de chemische industrie. De productieprocessen zijn gebaseerd op de principes van groene chemie.

Reactie-energie of reactiewarmte

Elke reactie heeft een **energie-effect**, de reactie is **exotherm** of **endotherm**.

De hoeveelheid energie die vrijkomt bij een reactie of nodig is voor een reactie, is:

$$\Delta E = E_{\text{reactieproducten}} - E_{\text{beginstoffen}}. \text{ Bij alle processen geldt dat de totale hoeveelheid energie constant blijft, dit is de } \mathbf{energiebalans}.$$

Reactiesnelheid

Het aantal mol stof of het aantal mol deeltjes dat per seconde ontstaat of verdwijnt in een volume van één liter. De eenheid is dus mol L⁻¹ s⁻¹.

Vormingswarmte

De vormingswarmte is de energie die nodig is of vrijkomt bij de vorming van één mol stof uit de elementen.

16 Chemie van het leven

Inhoud

- 16.1** Koolhydraten
Experimenten:
16.1 Elementenanalyse
16.2 Suikerbepaling in een voedingsmiddel
16.3 Zoetstoffen
16.4 Glucose of sacharose?

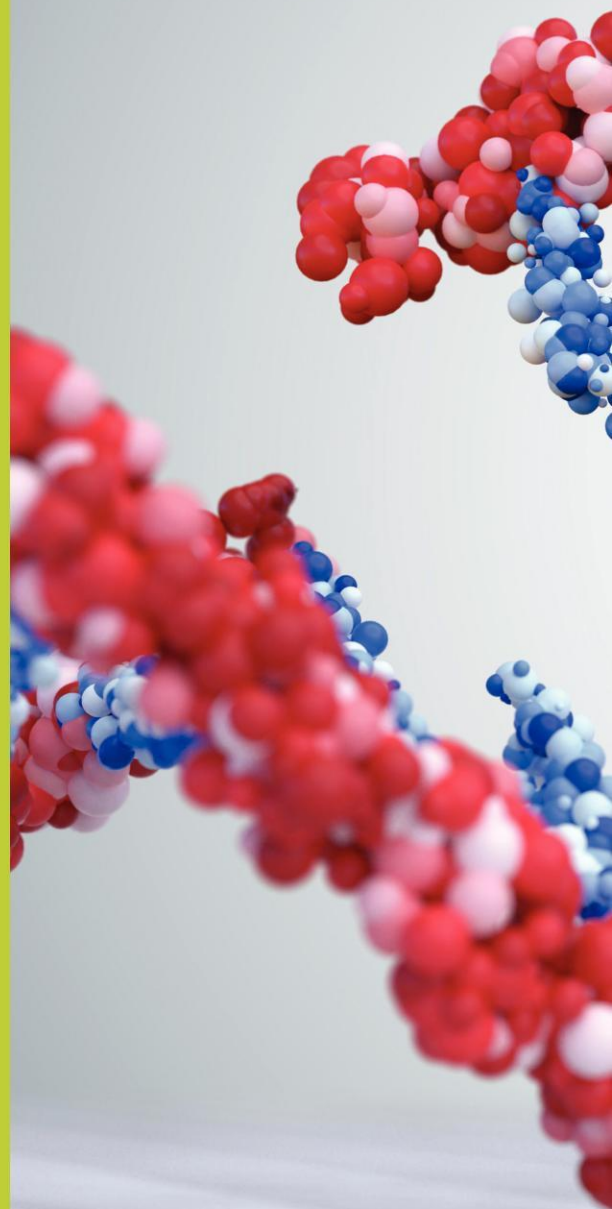
- 16.2** Vetten
Experimenten:
16.5 Vetbepaling in een voedingsmiddel
16.6 Joodgetal
16.7 Onverzadigd vet aantonen

- 16.3** Eiwitten
Experimenten:
16.8 Eiwitbepaling in een voedingsmiddel
16.9 K_z van asparaginezuur

- 16.4** DNA en RNA

Afsluiting

Overzicht begrippen



Sleutelen aan DNA

Met steeds nieuwere technieken is de mens in staat veranderingen aan te brengen in het DNA. Het eiwit CRISPR-Cas kan heel precies een stukje DNA knippen. Het geknipte deel wordt daarna door een ander stukje DNA vervagen. Het zijn ontwikkelingen waarvan de risico's nog niet precies zijn in te schatten.



Glycogeen

Van glucose krijg je energie. Als je de energie niet nodig hebt, wordt de overtollige glucose opgeslagen als glycogeen in je (spier)cellen. Elke spiercel in je lijf heeft zijn eigen glycogeenvoorraad. Als je intensief sport, wordt er weer glucose vrijgemaakt uit de glycogeenvoorraad. Is de voorraad op, dan gaan je spieren verzuren.

**Je leert**

- welke functies koolhydraten hebben;
- wat koolhydraten zijn en hoe ze zijn opgebouwd.

16.1 Koolhydraten

- Experiment 16.1
- Experiment 16.2



16.1 Katoen bestaat vrijwel uitsluitend uit cellulose.

Functies en bouw van koolhydraten

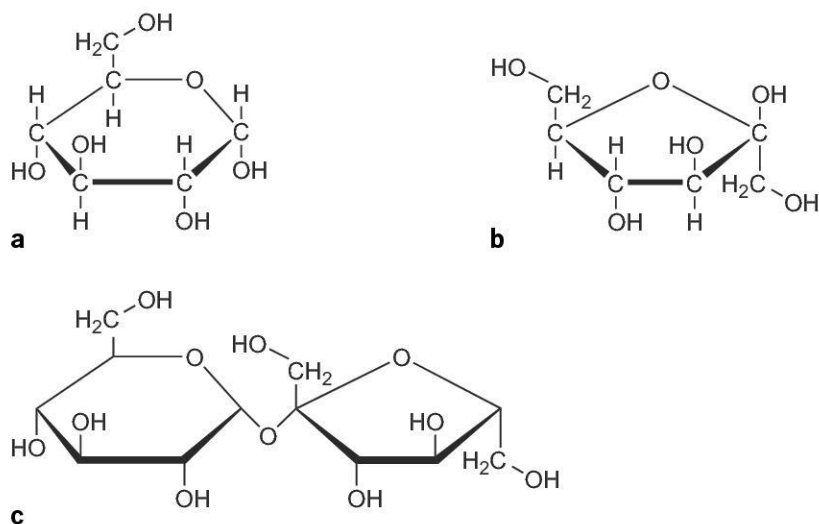
Glucose en glycogeen zijn koolhydraten. Je lichaam gebruikt koolhydraten als brandstof. Glucose, $C_6H_{12}O_6$, wordt in je lichaam afgebroken tot koolstofdioxide en water. Bij deze afbraak komt energie vrij. Behalve glucose kunnen ook bijvoorbeeld de koolhydraten fructose of sacharose als brandstof worden gebruikt.

Koolhydraten hebben ook andere functies. Sommige koolhydraten geven stevigheid aan de celwanden van planten (figuur 16.1). Deze koolhydraten worden niet afgebroken in je maag of darmen en zijn dus onverteerbaar. Andere koolhydraten zijn wel verteerbaar en zijn daardoor belangrijk als voedingsstof.

Koolhydraten zijn afkomstig uit groene planten, waar ze worden gevormd uit koolstofdioxide en water. Hierbij ontstaat ook zuurstof. Deze reactie, de fotosynthese, verloopt onder invloed van licht.

Op microniveau is een **koolhydraat** een koolstofverbinding met de algemene formule $C_nH_{2m}O_m$. Vroeger werd de algemene formule $C_n(H_2O)_m$ gebruikt, maar deze notatie wekt ten onrechte de indruk dat koolhydraten bestaan uit koolstofatomen verbonden met watermoleculen, en ze wordt daarom niet meer gebruikt.

In figuur 16.2 zie je de structuren van veelvoorkomende koolhydraten. Zoals je in deze structuren kunt zien, bestaan veel koolhydraten uit ringvormige eenheden van vijf of zes atomen per ring. Deze koolhydraten worden ook wel **sachariden** of **suikers** genoemd.



16.2 Structuren van veelvoorkomende koolhydraten: glucose (a), fructose (b), sacharose (c)

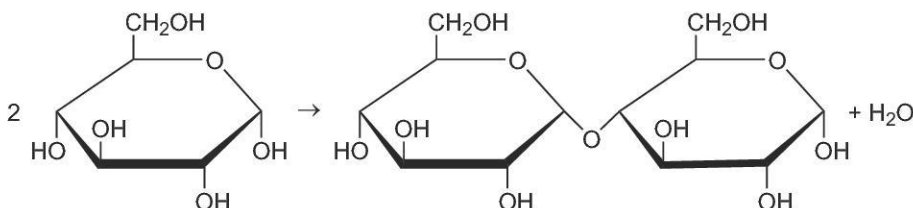
Mono- en disachariden

Monosachariden zijn koolhydraten waarvan de moleculen uit één ringvormige eenheid van vijf of zes atomen bestaan (figuur 16.2a en 16.2b). De meest voorkomende monosacharide is glucose. Glucose komt onder andere voor in je bloed en in het sap van zoete vruchten zoals druiven en peren. Glucose is een *hexose*, een molecuul met zes C-atomen. Een monosacharide waarvan de moleculen vijf C-atomen hebben heet een *pentose*. Een voorbeeld van een pentose is D-2-deoxyribose (zie Binas tabel 67F1 en figuur 16.3).



16.3 D-2-deoxyribose is één van de bouwstenen van DNA.

Er bestaan ook koolhydraten waarvan de moleculen uit twee ringvormige eenheden bestaan, zoals sacharose (figuur 16.2c). Zo'n **disacharide** kan ontstaan door een condensatiereactie van twee monosacharide-eenheden, waarbij ook water ontstaat:



Voorbeelden van mono- en disachariden vind je in Binas tabel 67F1 en 67F2.

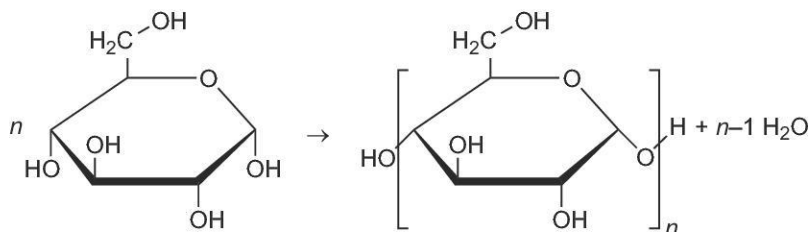
- Experiment 16.3
- Experiment 16.4



16.4 Gedroogd fruit bestaat vaak voor meer dan 50 massaprocent uit suikers, meestal glucose.

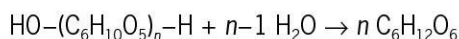
Polysachariden

Uit monosachariden kan door een condensatiereactie ook een **polysacharide** worden gevormd. De polycondensatie van glucose is hiervan een voorbeeld:



Omdat in de monosachariden meerdere OH-groepen voorkomen waaraan polycondensatie kan optreden, kunnen polysachariden zowel vertakt als onvertakt zijn. Glycogeen en amylopectine (een bestanddeel van zetmeel) zijn bijvoorbeeld allebei polymeren gevormd uit glucose, waarvan de moleculen enkel verschillen in het aantal vertakkingen. Andere voorbeelden van polysachariden vind je in Binas tabel 67F3.

Om polysachariden zoals zetmeel als energiebron te gebruiken moet je lichaam deze macromoleculen eerst omzetten in monosachariden. Onder invloed van het enzym amylase in je speeksel wordt de hydrolyse van zetmeel in je mond gestart. In je maag wordt dit proces voortgezet onder invloed van het zure maagsap. In je dunne darm wordt het hydrolyseproces voltooid. Het volledige proces kan als volgt versimpeld worden weergegeven:



Sommige zetmeelsoorten worden op specifieke plaatsen in je darmen gehydrolyseerd (zie figuur 16.5). Van alle koolhydraten uit je voeding blijven uiteindelijk de monosachariden glucose en fructose over. Deze worden daarna via je darmwand opgenomen in je bloed. Het bloed transporteert de monosachariden naar diverse weefsels. Ze worden vervolgens opgenomen in de cellen en omgezet in water en koolstofdioxide.



16.5 Bananen bevatten een soort zetmeel dat pas in de dikke darm wordt afgebroken.

Samenvatting

- Koolhydraten of sachariden zijn verbindingen met de algemene formule $\text{C}_n\text{H}_{2m}\text{O}_m$. Ze worden onder invloed van zonlicht gevormd in groene planten uit koolstofdioxide en water.
- Monosachariden zijn koolhydraten waarvan de moleculen uit één ringvormige eenheid van vijf tot zes atomen bestaan. Disacharidemoleculen bestaan uit twee van deze ringvormige eenheden.
- Polysachariden zijn polymeren van monosacharidemoleculen. Ze ontstaan door polycondensatie.
- Di- en polysachariden kunnen door hydrolyse worden afgebroken tot monosachariden.

Zoete antibiotica

Toen Alexander Fleming in 1928 penicilline ontdekte – het eerste bruikbare antibioticum – betekende dit een enorme doorbraak in de medische wereld. Veel bacteriële infecties waren vanaf die tijd eenvoudig te bestrijden (figuur 16.6).

Ruim negentig jaar later staat de medische wereld voor een nieuwe uitdaging: resistentie. De bacteriën die een antibioticum toch overleven vermenigvuldigen zich, waaruit een nieuwe generatie bacterie ontstaat die resistent is tegen het gebruikte antibioticum. Door veelvuldig gebruik van antibiotica zijn er al diverse bacteriefamilies die resistent zijn tegen de meest gangbare antibiotica.

Eén manier waarop bacteriën resistentie opbouwen, is door aan te leren een antibioticum niet meer op te eten. Een antibioticum is alleen effectief als het door een bacterie wordt verteerd. Sommige bacteriën – zogenaamde *persisters* – schakelen hun metabolisme uit zodra ze merken dat omringende bacteriën afsterven. Ze gaan dan maandenlang in een soort winterslaap en worden weer actief lang nadat het antibioticum uit het lichaam is verdwenen.

De veelvoorkomende suiker sacharose kan de oplossing voor de resistentie bieden. Bacteriën gebruiken vooral sacharose als energiebron en ze kunnen de verleiding niet weerstaan om nabijgelegen sacharosemoleculen te verteren.

Door antibiotica te binden aan sacharosemoleculen worden de bacteriën gedwongen ook het antibioticum op te eten. Een studie uit het wetenschappelijke tijdschrift *Nature* beschrijft dat wel 99,9% van alle persistente bacteriën door deze aanpak worden vernietigd.

Een andere vorm van resistentie is wanneer bacteriën wel antibiotica blijven verteren, maar dat ze er simpelweg niet dood aan gaan. Ook deze vorm van resistentie kan met suikers worden opgelost.

Sommige bacteriën produceren zelf suikers als onderdeel van hun metabolisme. Als deze suikerproductie op de een of andere manier wordt uitgeschakeld, sterft de bacterie af. Geneesmiddelen die gericht de suikerproductie van bacteriën uitschakelen kunnen daardoor dienstdoen als een nieuw type antibioticum. Bacteriële suikers komen van nature niet in je lichaam voor, waardoor deze vorm van antibiotica heel gericht te werk kan gaan.

Beide vormen van bacteriebestrijding bevinden zich nog in de vroege testfase, dus het zal helaas nog wel even duren voor ze daadwerkelijk kunnen worden ingezet.



16.6 Fleming ontdekte penicilline per ongeluk: op een voedingsbodem zag hij dat rond de schimmel *Penicillium notatum* alle bacteriën, die op de voedingsbodem waren aangebracht, waren verdwenen.

● Opdracht C6

Opdrachten

A 1

- a** Geef de algemene formule van een koolhydraat.
b Geef aan wat het verschil is tussen een mono-, di- en polysacharide.

B 2

Van de meeste monosachariden komt zowel een α - als een β -variant in de natuur voor. Dat heeft te maken met de ruimtelijke oriëntatie van de OH-groepen.

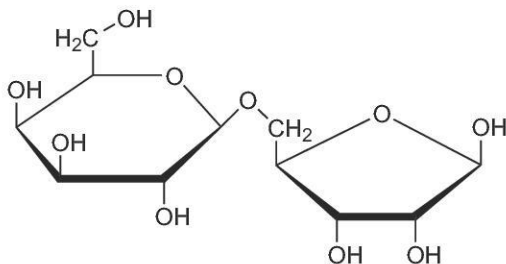
- a** Leg uit waarin α -D-glucose en β -D-glucose van elkaar verschillen. Gebruik Binas tabel 67F1.

Daarnaast komen in monosachariden meerdere OH-groepen voor. Hierdoor kunnen er bij de vorming van een disacharide verschillende producten ontstaan, afhankelijk van welke OH-groepen met elkaar reageren.

In Binas tabel 67F1 staat hoe de C-atomen in een monosacharide zijn genummerd. Bij de vorming van een disacharide spreek je bijvoorbeeld van $\alpha(1\rightarrow4)\beta$ -binding. Hiermee wordt bedoeld dat de OH-groep op het eerste koolstofatoom van een α -monosacharide reageert met de OH-groep op het vierde koolstofatoom van een β -monosacharide. Geef de reactievergelijkingen van de vorming van:

- b** een $\alpha(1\rightarrow4)\alpha$ -binding tussen glucose en glucose;
c een $\alpha(1\rightarrow1)\beta$ -binding tussen glucose en ribose.

Bekijk de onderstaande disacharide.

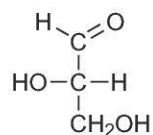


- d** Geef de namen van de monosachariden waaruit deze disacharide is opgebouwd en geef de aanduiding van de binding.

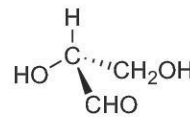
B 3

Glyceraldehyde is het kleinste koolhydraat, met maar drie C-atomen. Van glyceraldehyde bestaan twee stereo-isomeren: D-glyceraldehyde en L-glyceraldehyde.

Het verschil tussen deze twee isomeren is pas zichtbaar als je het molecuul driedimensionaal weergeeft.



2D-notatie



3D-notatie D-glyceraldehyde

- a** Laat aan de hand van de algemene formule zien dat glyceraldehyde een koolhydraat is.
b Leg uit welk type stereo-isomerie voorkomt in glyceraldehyde en geef de 3D-notatie van L-glyceraldehyde.

B 4

Katoen, watten en keukenrolpapier bestaan hoofdzakelijk uit cellulose (Binas tabel 67F3). Daardoor kunnen ze goed water opnemen.

- a** Geef een verklaring op microniveau voor het sterk waterabsorberend vermogen van cellulose.

Schrijfpapier is voorzien van een hydrofobe laag van bijvoorbeeld celluloseacetaat. Deze stof ontstaat door cellulose te veresteren met azijnzuur.

- b** Geef de structuurformule van een monomeereenheid van cellulose, die volledig is veresterd met azijnzuur.
c Geef een verklaring voor het geringe waterabsorberende vermogen van celluloseacetaat.

C 5 Thermoplastisch zetmeel

Thermoplastisch zetmeel (TPS) is een kunststof die onder andere als verpakkingsmateriaal wordt gebruikt. TPS wordt bereid uit aardappelzetmeel, water en een weekmaker.

- a** Geef de reactievergelijking voor de vorming van zetmeel uit glucose. Neem aan dat zetmeel alleen uit amylose bestaat.

Bij de bereiding van TPS wordt zetmeel grondig gemengd met water en een weekmaker. De gemiddelde molaire massa van zetmeel neemt hierbij door hydrolyse af van $3,7 \cdot 10^7 \text{ g mol}^{-1}$ tot $1,9 \cdot 10^6 \text{ g mol}^{-1}$ in TPS. Het gevormde TPS kan vervolgens worden gesmolten en verwerkt.

- b** Bereken het gemiddelde aantal monomeereenheden in een molecuul zetmeel met een gemiddelde molaire massa van $3,7 \cdot 10^7 \text{ g mol}^{-1}$. Neem aan dat zetmeel alleen uit amylose bestaat.

- c Bereken hoeveel gram water wordt verbruikt als 100 g zetmeel wordt omgezet tot TPS.

Een weekmaker die in TPS wordt gebruikt, is glycerol. Moleculen glycerol nestelen zich tussen polymeerketens en vormen daar waterstofbruggen mee. Door de aanwezigheid van glycerol tussen de polymeerketens is TPS beter te vervormen dan zetmeel met een vergelijkbare ketenlengte.

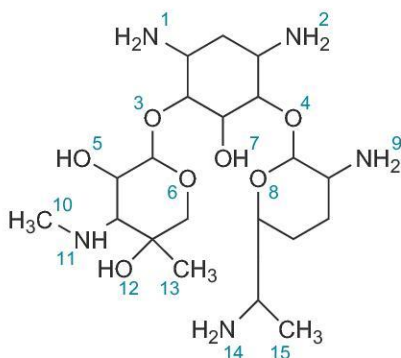
- d Leg met behulp van begrippen op microniveau uit hoe toevoeging van glycerol aan TPS het polymeer beter te vervormen maakt.

Naar: CE vwo 2015-I

C 6 ★

Lees de tekst in het kader 'Zoete antibiotica' en beantwoord de volgende vragen.

Een veelvoorkomend antibioticum is gentamicine. Het wordt voornamelijk uitwendig gebruikt in de vorm van oog- en oor-druppels. Bij inwendig gebruik kan het schade aanbrengen aan het gehoor en de nieren. Deze bijwerkingen treden pas op als de concentratie in het bloed voor langere tijd boven de $12 \mu\text{g mL}^{-1}$ blijft. Hieronder is een molecuul gentamicine weergegeven. Sommige atomen/atoomgroepen hierin zijn genummerd.



- a Bereken de maximale concentratie in mol L^{-1} , die gentamicine in het bloed mag hebben zonder bijwerkingen.

Om ook resistente bacteriën te kunnen doden, worden gentamicinemoleculen gebonden aan sacharosemoleculen.

- b Geef de nummers van de atomen/atoomgroepen in gentamicine waar een sacharosemolecuul door middel van een condensatiereactie aan kan binden.

In een experiment wordt onderzocht hoe de sacharosemoleculen aan de gentamicinemoleculen kunnen binden. Wat het experiment bemoeilijkt, is dat er meerdere sacharosemoleculen aan een enkel gentamicinemolecuul kunnen binden. Eén van de uitkomsten in het experiment is als volgt:

aantal gebonden sacharosemoleculen per gentamicinemolecuul	voorkomen (%)
2	11,4
1	67,3
0	21,3

Door het binden van sacharose neemt de gemiddelde molare massa van het antibioticum toe. Aangezien het effect hiervan op de maximaal toegestane concentratie gentamicine in het bloed onduidelijk is, blijft men in het experiment een oplossing gebruiken met een concentratie van $12 \mu\text{g mL}^{-1}$.

- c Bereken met behulp van de tabel de totale concentratie gentamicine (zowel gebonden als ongebonden) in de oplossing in mol L^{-1} . Neem hierbij aan dat er bij de binding tussen gentamicine en sacharose een watermolecuul afsplitst.

Experimenten

16.1 Elementenanalyse

Je ontwerpt een opstelling om een elementenanalyse uit te voeren.

16.2 Suikerbepaling in een voedingsmiddel

Je onderzoekt hoeveel reducerende suikers een voedingsmiddel bevat.

16.3 Zoetstoffen

Je onderzoekt hoe zoet verschillende zoetstoffen zijn.

16.4 Glucose of sacharose?

Je toont aan of een voedingsmiddel glucose of sacharose bevat.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- de algemene formule van een koolhydraat geven;
- uitleggen wat mono-, di- en polysachariden zijn en met behulp van Binas de structuur van deze sachariden beschrijven;
- voor een di- of polysacharide de reactievergelijking voor de vorming en de hydrolyse geven.

Chocolademelk

Het maken van chocolademelk was 150 jaar geleden niet eenvoudig. Cacaobonen bestaan voor een deel uit onoplosbare vetten, waardoor er een laag vet in de drank overbleef.

De chemicus Van Houten heeft in 1828 het cacao-poeder ontwikkeld dat we nu kennen: door het vet eruit te persen en het vetarme product te behandelen met een base.

**Je leert**

- welke functies vetten en oliën hebben;
- wat vetten en oliën zijn en hoe ze zijn opgebouwd;
- hoe op microniveau het verschil tussen een olie en een vet ontstaat.

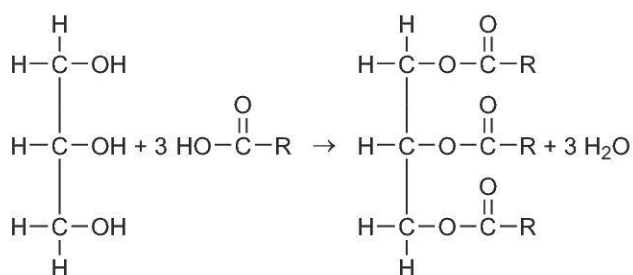
16.2 Vetten

● Experiment 16.5

Functies en bouw van vetten en oliën

Behalve in cacaobonen komen vetten en oliën in meer of mindere mate in vrijwel alle voedingsmiddelen voor. In het lichaam hebben ze onder andere de functie van (reserve)-brandstof. Verder dienen ze als bouwstof voor het vormen van celmembranen.

In hoofdstuk 6 heb je al gezien dat op microniveau **oliën** en **vetten** esters zijn van glycerol (propan-1,2,3-triol) en **vetzuren**, carboxzuren met een lange koolstofketen. De vorming van een vet verloopt als volgt:



De letter R geeft hierbij een koolstofketen aan die vaak tussen de 4 en 28 C-atomen lang is. Omdat de meeste oliën en vetten tri-esters van glycerol zijn, worden ze ook **triglyceriden** genoemd. In de biologie worden ze ook wel **lipiden** genoemd. In Binas tabel 67G2 staan de structuurformules van de bekendste vetzuren en in tabel 67G1 staat de algemene reactievergelijking voor de vorming van een vet.



16.7 Avocado's zijn een goede bron van onverzadigde vetzuren, net als noten, olijfolie en vette vis.

● Experiment 16.6

● Experiment 16.7



16.8 Een olie is bij kamertemperatuur vloeibaar.

In natuurlijke triglyceriden vallen twee dingen op:

- De vetzuren bestaan uit lange onvertakte ketens met een even aantal C-atomen: 12, 14, 16, en 18 C-atomen komt het meest voor.
- Bij sommige vetzuren komen één of meer dubbele bindingen tussen twee koolstofatomen voor. De ruimtelijke oriëntatie van de groepen rond de dubbele bindingen is meestal de *cis*-vorm. Voorbeelden zijn oliezuur ($1 \times C=C$), linolzuur ($2 \times C=C$) en linoleenzuur ($3 \times C=C$). Vetzuren waarin $C=C$ -bindingen voorkomen noem je **onverzadigde vetzuren**.

Aangezien er in een vetmolecuul geen OH- of NH-groepen voorkomen, worden er geen waterstofbruggen met watermoleculen gevormd. Vetmoleculen zijn dus apolair en daardoor slecht oplosbaar in water.

Vertering van vetten en oliën

Vetten en oliën worden tijdens de spijsvertering gehydrolyseerd. Onder invloed van een enzym ontstaan hierbij weer 'vrije' vetzuren en glycerol. De meeste vetzuren kunnen in je lichaam door hydrolyse van olie en vet worden gemaakt. Deze vetzuren kun je dus zelf aanmaken. Sommige moet je binnenkrijgen via voeding, dit zijn de **essentiële vetzuren**.

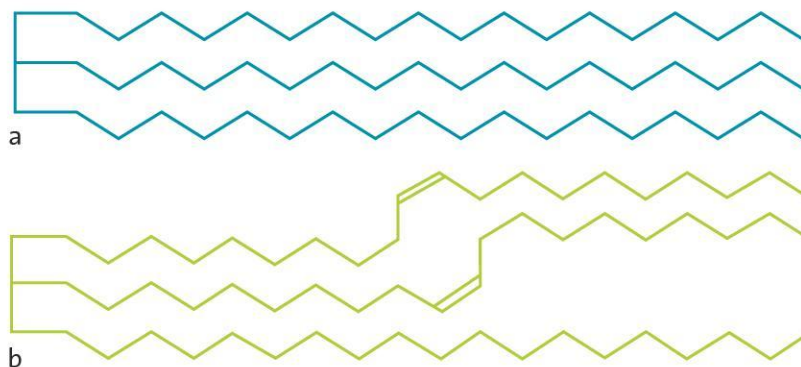
Er is nog steeds discussie gaande over de invloed van soorten vetzuren op de gezondheid. Een dieet waarin te veel verzadigde vetzuren voorkomen kan een te hoog cholesterolgehalte veroorzaken. Onverzadigde vetzuren worden over het algemeen beschouwd als beter voor de gezondheid (figuur 16.7).

Verschil tussen een olie en een vet

Een olie en een vet verschillen op macroniveau in de fase: een vet is bij kamertemperatuur een vaste stof, terwijl een olie bij kamertemperatuur vloeibaar is (figuur 16.8). De verklaring hiervoor is op het microniveau te vinden.

In vetten komen alleen triglyceridemoleculen met verzadigde vetzuren voor. Deze vetzuren liggen redelijk dicht op elkaar in een regelmatig patroon (figuur 16.9a). De ruimte tussen de triglyceridemoleculen is hierdoor klein. Het gevolg is een relatief sterke vanderwaalsbinding en een hoger smeltpunt. De stof is bij kamertemperatuur vast.

In een olie komen triglyceridemoleculen met onverzadigde vetzuren voor. Deze waaieren enigszins uit, door de 'knik' bij elke *cis*- $C=C$ -binding, zie figuur 16.9b. Door de onregelmatige vorm van de triglyceridemoleculen wordt de afstand tussen de moleculen groter. Hierdoor is de vanderwaalsbinding zwakker dan bij verzadigde vetten. Een olie heeft daardoor een iets lager smeltpunt en is dus vloeibaar bij kamertemperatuur.



16.09 Triglyceride met verzadigde vetzuren (a) en met onverzadigde vetzuren (b)

Afval redt het oerwoud

Niels van Stralen en Bart Raedts willen met hun bedrijf ChainCraft een bijdrage aan het milieu leveren en doen dat op een slimme manier: Ze zamelen groente-, fruit- en tuinafval (gft-afval) in en zetten dat om in vetzuren.

Bij dit proces maken ze gebruik van bacteriën. Het blijkt dat sommige bacteriën enzymen bevatten die koolwaterstofketens van twee tot zes koolstofatomen om kunnen zetten in middellange vetzuren van acht tot achttien koolstofatomen. De productie zal in de beginfase 1000 ton per jaar omvatten, maar de uiteindelijke productie zal uitkomen op zo'n 20 000 ton vetzuren per jaar.

De vetzuren worden gebruikt als additief in bijvoorbeeld smeermiddelen, verf, coatings en verpakkingsmateriaal. De vetzuren die daar nu voor worden gebruikt komen voornamelijk uit palmolie.

Palmolie is een omstreden grondstof, aangezien in Zuid-Amerika en Azië talloze vierkante kilometers regenwoud worden gekapt om plaats te maken voor palmolieplantages (figuur 16.10).

Verder kunnen de vetzuren worden gebruikt in diervoeding voor de veeteelt. Niet alleen dienen de vetzuren als voedingsmiddel, ze hebben ook een antibacteriële werking en kunnen daarmee antibiotica vervangen.

Aangezien de vetzuren worden geproduceerd uit gft-afval zijn ze CO_2 -neutraal. Hierdoor kan de CO_2 -uitstoot aanzienlijk worden teruggebracht.

Door dit slimme productieproces worden dus twee milieuproblemen tegelijk aangepakt.



16.10 Voor de grootschalige productie van palmolie worden grote delen van het oerwoud op met name Borneo gekapt.

● Opdracht B10

Samenvatting

- Oliën en vetten functioneren in je lichaam als reservebrandstof en bouwstof. Ze zijn nodig voor de vorming van celmembranen.
- Oliën en vetten zijn esters van glycerol en vetzuren: triglyceriden. Als de vetzuren grotendeels verzadigd zijn, is het vet vast. Als ze grotendeels onverzadigd zijn, is het vet vloeibaar. In dat geval spreek je van een olie. De $\text{C}=\text{C}$ -bindingen in een olie komen in de moleculen vrijwel altijd in de *cis*-vorm voor.
- Oliën en vetten worden door hydrolyse afgebroken tot glycerol en vrije vetzuren.
- Essentiële vetzuren kan het lichaam niet zelf maken en moeten uit de voeding worden opgenomen.

Opdrachten

A 7

- Geef het verschil op macroniveau tussen een olie en een vet aan. Geef ook het verschil op microniveau aan.
- Welke functies hebben oliën en vetten in je lichaam?
- Leg uit wat essentiële vetzuren zijn.
- Geef de structuurformule van glycerol.
- Geef de structuurformule van oliezuur.

B 8

- Geef de structuurformule van glyceryltriolaat (= de tri-ester van glycerol en oliezuur).
- Geef de reactievergelijking in structuurformules voor de hydrolyse van glyceryltriolaat.

Door additie van H_2 kunnen onverzadigde vetzuren in een oliemolecuul (gedeeltelijk) worden omgezet in verzadigde vetzuren. Hierdoor stijgt het smeltpunt van de olie. Dit proces wordt harden genoemd.

- Geef de reactievergelijking in structuurformules voor de harding van glyceryltriolaat met H_2 .
- Wat is de naam van het gevormde product?

B 9

Een nadeel van boter is dat hij ranzig kan worden. Bij hydrolyse vrijgekomen kleine carbonzuren zoals butaan-1-ol (boterzuur) bederven de smaak.

Ook in margarine kan een dergelijke hydrolyse optreden, maar hierbij komen geen kleine carbonzuren vrij. Toch kan margarine op den duur ranzig worden door redoxreacties. Hierbij reageren de onverzadigde vetzuren als reductor met zuurstof als oxidator, waardoor de $C=C$ -binding wordt verbroken en aan beide nieuwe ketenuiteinden carbonzuurgroepen ontstaan.

- Geef de vergelijking in structuurformules van de hydrolyse van glyceryltributanoaat.
- Geef de structuurformule van linolzuur (= *cis*-octadeca-9,12-dieenzuur). Zie eventueel Binas tabel 67G2.
- Leg uit welke carbonzuren in principe kunnen ontstaan als beide $C=C$ -bindingen in linolzuur in een redoxreactie met zuurstof reageren. Geef de structuurformule van elk zuur.

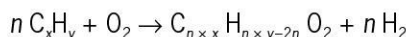
B 10

Lees de tekst in het kader 'Afval redt het oerwoud' en beantwoord de hiernaast staande vragen.

Palmolie wordt gewonnen uit een roodachtige pulp die afkomstig is van het fruit van de oliepalm. De verkregen palmolie bestaat voornamelijk uit glyceryltri-esters, waarbij glycerol gemiddeld veresterd is met 46 (mol)procent palmitinezuur, 39 (mol)procent oliezuur, 10 (mol)procent linolzuur en 5 (mol)procent stearinezuur.

- Geef de structuurformule van een onverzadigde tri-ester die in palmolie voorkomt en is opgebouwd uit onder andere palmitinezuur. De vetzuurstaarten mag je verkort weergeven.
- Bereken de gemiddelde molaire massa van de glyceryltri-esters in palmolie.

De omzetting van een korte verzadigde koolstofketen tot een vetzuur door een enzym kun je als volgt vereenvoudigd weergeven:



- Geef de reactievergelijking voor de vorming van stearinezuur uit propaan volgens deze vergelijking.
- Bereken hoeveel ton propaan vereist is voor de productie van 1000 ton stearinezuur.

C 11 ★

Voordat een partij (spijs)olie wordt gehard, wordt bepaald hoe onverzadigd de betreffende olie is. Daarna kun je berekenen hoeveel waterstof ongeveer nodig is om de olie te harden tot de gewenste consistentie.

Een voorbeeld van zo'n onderzoek is de bepaling van het *joodgetal*. Dat is het aantal gram I_2 dat aan 100 g olie geaddieerd kan worden.

- Leg uit waarom bepaling van het joodgetal informatie geeft over de mate van onverzadigdheid van een triglyceride.

Het joodgetal van een bepaalde olie is 88.

- Bereken het aantal mol $C=C$ -bindingen per ton olie.

Bij een ander onderzoek naar het aantal $C=C$ -bindingen van een olie of vet wordt die olie volledig verzeepd. Het gaat om de bepaling van het *verzepingsgetal*. Dat is het aantal milligram KOH dat nodig is voor de verzeepingsreactie van 1,00 g olie of vet. Uit het verzepingsgetal kun je de gemiddelde molaire massa van het triglyceride berekenen.

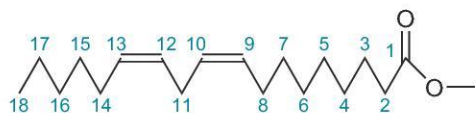
De olie waarvan je het joodgetal hebt bepaald, heeft het verzepingsgetal 196.

- c** Bereken de gemiddelde molaire massa van deze olie. Neem hierbij aan dat een triglyceride en KOH in de molverhouding 1 : 3 met elkaar reageren. Bij een verzepingsreactie ontstaan glycerol en de kaliumzouten van de vetzuren.
- d** Bereken, gebruikmakend van eerdere antwoorden, het gemiddeld aantal C=C-bindingen per oliemolecuul.

C 12

Plantaardige olie is een belangrijk bestanddeel van je voeding. Plantaardige olie bestaat voornamelijk uit triglyceriden van diverse vetzuren. In deze opgave wordt aangenomen dat er geen andere molecuulsoorten in aanwezig zijn. Van de veresterde vetzuren in plantaardige olie is een groot deel onverzadigd.

In de meeste plantaardige oliën hebben de C=C-bindingen in de onverzadigde veresterde vetzuren de *cis*-configuratie. Zo kan de configuratie van een deel van een veresterd molecuul linolzuur als volgt worden weergegeven:



16.11

In deze schematische weergave zijn de koolstofatomen van het veresterde linolzuurmolecuul genummerd.

Plantaardige oliën hebben een laag smeltpunt. Om deze oliën in margarine of in frituurvet toe te kunnen passen wordt de olie zodanig bewerkt dat een product ontstaat dat bij een hogere temperatuur vloeibaar wordt. Daartoe laat men de olie reageren met waterstof. Bij deze zogenaemde harding wordt een groot deel van de C=C-bindingen in de onverzadigde veresterde vetzuurmoleculen omgezet tot enkele bindingen.

Behalve de reactie waarbij dubbele bindingen worden omgezet tot enkele bindingen vindt tijdens de harding nog een andere omzetting plaats. Het is namelijk gebleken dat tijdens de harding de configuratie rond de dubbele bindingen kan overgaan van *cis* in *trans*.

- a** Teken schematisch de configuratie van het gedeelte van het achtste tot en met het veertiende koolstofatoom van een veresterd molecuul linolzuur, als daarin de configuratie rond beide dubbele bindingen is overgegaan van *cis* in *trans*.

Bij vetharding kunnen uit veresterd linolzuur veresterde octadecenezuren (octadeca = 18) ontstaan. De koolstofketen van een veresterd molecuul octadecenezuur bevat één C=C-binding

- b** Leg uit hoeveel verschillende veresterde octadecenezuren kunnen ontstaan bij harding van veresterd linolzuur.

Uit onderzoek is gebleken dat veresterde vetzuren met dubbele bindingen in de *trans*-configuratie een nadelige invloed op de gezondheid hebben. Daarom wordt er veel onderzoek gedaan naar de samenstelling van margarine en frituurvet. Hierbij worden de triglyceriden van het vet met behulp van een overmaat methanol volledig omgezet tot glycerol en de methylesters van de vetzuren. Dit noemt men omesteren.

- c** Geef van deze omestering de reactievergelijking in structuurformules. Noteer daarbij de drie koolwaterstofstaarten van de veresterde vetzuren als Rx, Ry en Rz.

Naar: CE vwo 2002-I

Experimenten

16.5 Vetbepaling in een voedingsmiddel

Je bepaalt de totale hoeveelheid vet in een voedingsmiddel.

16.6 Joodgetal

Met een additiereactie bepaal je in welke mate een vet onverzadigd is.

16.7 Onverzadigd vet aantonen

Door middel van een additiereactie bepaal je of een voedingsmiddel verzadigde of onverzadigde vetten bevat.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- uitleggen dat vetten (tri-)esters van glycerol en vetzuren zijn (triglyceriden);
- uitleggen wat een vetzuur is en een aantal vetzuren in Binas opzoeken;
- het verschil op macro- en microniveau tussen een vet en een olie aangeven;
- voor een gegeven triglyceride de reactievergelijking voor de vorming en de hydrolyse geven;
- uitleggen wat essentiële vetzuren zijn.

Keratine

De hoorns van dit schaap zijn gemaakt van levend bot dat is bedekt met een dikke laag keratine. Keratine is een taai, onoplosbaar eiwit waar ook haar, klauwen en hoeven van zijn gemaakt.

Er zijn twee varianten: α -keratine en het veel hardere β -keratine. Van deze laatste soort zijn bijvoorbeeld schubben van reptielen en schildpadschilden gemaakt.

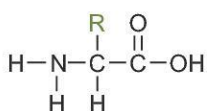


Je leert

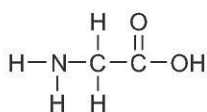
- welke functies eiwitten hebben;
- wat eiwitten zijn en hoe ze zijn opgebouwd.

16.3 Eiwitten

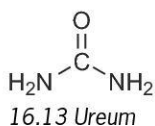
- Experiment 16.8
- Experiment 16.9



16.12a Algemene structuur van aminozuren



16.12b Glycine



16.13 Ureum

Functies en bouw van eiwitten

Keratine is slechts één voorbeeld van een eiwit. Eiwitten zijn een van de meest veelzijdige soorten stoffen in je lichaam. Ze kunnen dienstdoen als bouwstof (structuureiwitten), maar ze spelen ook een belangrijke regulerende rol: ze zorgen voor transport van stoffen en voor communicatie (hormonen). Een kleine, maar belangrijke groep van eiwitten zijn de **enzymen**. Enzymen zijn **biokatalysatoren** die reacties met een factor van wel 10^6 tot 10^{10} kunnen versnellen. Daarnaast worden bij een tekort aan koolhydraten en vetten, eiwitten verbrand en ze dienen dan als brandstof.

Op microniveau zijn de bouwstenen van eiwitten **aminozuren**, zie figuur 16.12a en b. De R staat voor een restgroep. In de natuur komen ongeveer twintig aminozuren voor, waarbij er op de plaats van de R een andere groep atomen voorkomt. De structuurformules van deze aminozuren vind je in Binas tabel 67H1. Het eenvoudigste aminozuur is glycine (Gly), waarvoor geldt: R = H.

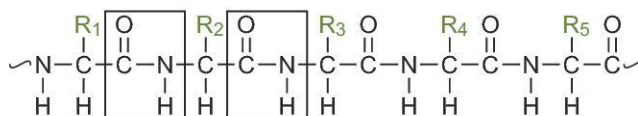
Eiwitten worden in je lichaam constant gevormd en weer afgebroken. De aminozuren worden hierbij hergebruikt. Sommige aminozuren kan je lichaam zelf aanmaken, andere moet je via voedsel binnenkrijgen. Deze aminozuren worden **essentiële aminozuren** genoemd. Overtollige aminozuren worden in de lever afgebroken. Hierbij wordt de NH_2 -groep omgezet tot ammoniak en vervolgens tot ureum (figuur 16.13). **Ureum** wordt door de nieren uitgescheiden. De rest van het aminozuurmolecuul wordt omgezet in glucose of direct gebruikt voor de verbranding in de levercel.



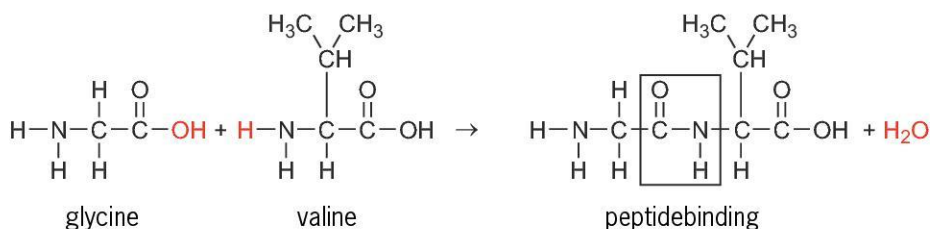
16.14 Het dipeptide carnosine komt vooral voor in je spieren. Het treedt daar op als een anti-oxidant.

Peptiden

Eiwitten zijn polymeren die door polycondensatie van aminozuren ontstaan. In hoofdstuk 13 heb je geleerd dat uit één of twee monomeren met een COOH-groep en een NH₂-groep door polycondensatie een polyamide kan ontstaan. De binding die dan wordt gevormd heet een amidebinding. De amidebinding tussen aminozuren noem je een **peptidebinding**. Een eiwitmolecuul bevat heel veel peptidebindingen:



Korte eiwitten (minder dan 20 aminozuren) worden ook wel **peptiden** genoemd. Als bijvoorbeeld de aminozuren glycine en valine met elkaar reageren (figuur 16.15), ontstaan een zogenaamd dipeptide en een watermolecuul.



Deze reactie kan ook van rechts naar links verlopen en heet dan een **hydrolysereactie**.



16.15 Hij ziet er onschuldig uit, maar deze paddenstoel, de death cap (groene knolamaniet), is extreem giftig. Hij bevat een giftig octapeptide: een molecuul dat uit acht aminozuren bestaat.

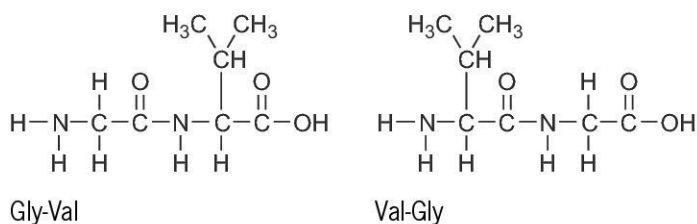
De naam van een peptide geef je weer door de drieletterafkortingen van de aminozuren in het peptide achter elkaar te zetten. In het voorbeeld hierboven is dat Gly-Val. Volgens een internationale afspraak staat het aminozuur met de vrije NH₂-groep *links*. Voor grotere peptiden en eiwitten worden ook wel de éénletterafkortingen van de aminozuren gebruikt. Deze vind je, net als de drieletterafkortingen, in Binas tabel 67H1.

Het aantal aminozuureenheden per eiwitmolecuul verschilt sterk: van tientallen tot duizenden. De molecuulmassa van een eiwit kan daardoor oplopen tot meer dan 10⁶ u.

Voorbeeld

Laat met structuurformules zien dat Gly-Val niet hetzelfde dipeptide is als Val-Gly.

Naast het dipeptide Gly-Val, dat in de reactievergelijking hierboven is gevormd, kan er ook het dipeptide Val-Gly ontstaan:



De molecuulstructuur van een eiwit

De structuur van een eiwit kun je op vier niveaus beschrijven: de primaire, secundaire, tertiaire en quaternaire structuur. Zie ook Binas tabel 67H2.

Primaire structuur

De **primaire structuur** van een eiwitmolecuul geeft de volgorde en het aantal van de verschillende aminozuren in het eiwit weer. Het ontrafelen van de primaire structuur van een eiwitmolecuul is een tijdrovende bezigheid, zelfs nu er geautomatiseerde aminozuuranalysatoren bestaan. Na gedeeltelijke hydrolyse van een eiwit (meestal met enzymen) wordt de volgorde van de aminozuren in de eiwitfragmenten bepaald. Via een legpuzzeltechniek (software) kan de primaire structuur van het hele eiwitmolecuul worden bepaald.

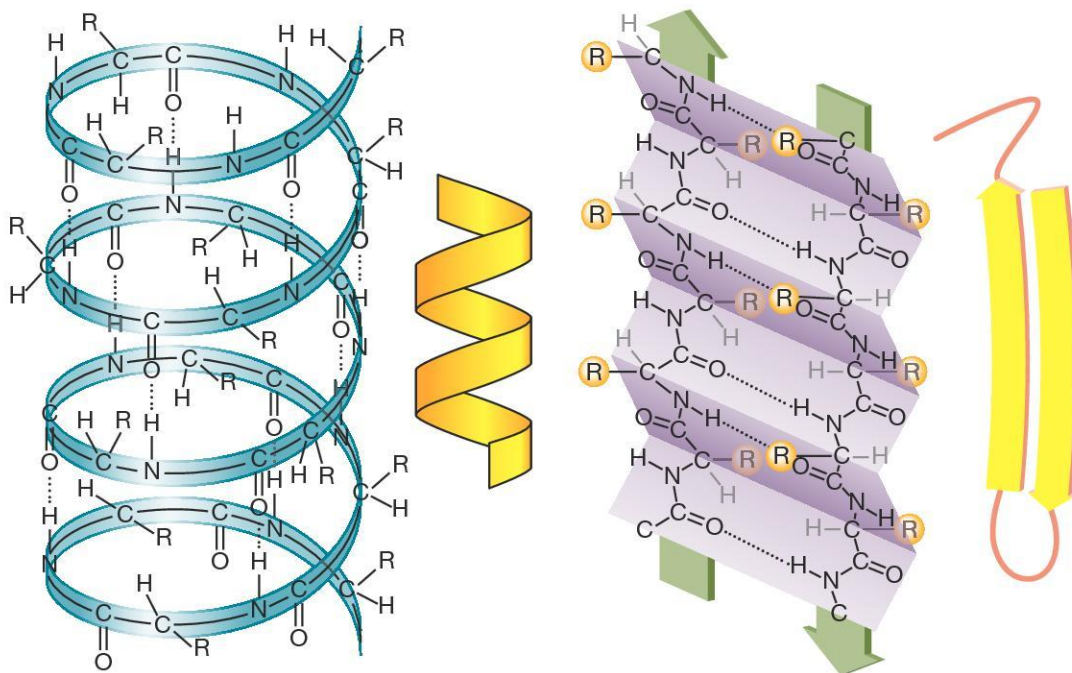
Secundaire structuur

Door de vorming van waterstofbruggen ontstaat de **secundaire structuur**. Een polypeptideketen kan op sommige plaatsen een spiraalstructuur aannemen (figuur 16.16a) en op andere plaatsen een plaatstructuur (figuur 16.16b). Deze structuren noem je ook wel **α -helix** en **β -sheet**.

In figuur 16.16 zie je hoe de spiraal- en plaatstructuren door **H-bruggen** tussen NH- en C=O-groepen in hun ruimtelijke vorm worden gehouden. Soms komen er tussen beide structuren ook stukjes van de polypeptideketen voor die geen secundaire structuur vertonen.

Tertiaire structuur

De secundaire structuur beschrijft alleen de ruimtelijke bouw van *delen* van de polypeptideketen. De ruimtelijke bouw van een heel eiwitmolecuul noem je de **tertiaire structuur**. Hierin speelt naast de vorming van H-bruggen ook het hydrofobe karakter van de restgroepen een rol. Soms treedt er aantrekking tussen tegengesteld geladen groepen op. In figuur 16.17 op de volgende pagina zie je als voorbeeld een carboxylgroep met een negatieve lading tegenover een positief geladen aminogroep.



16.16 De secundaire structuur kan een spiraalstructuur (a) of een plaatstructuur (b) zijn.

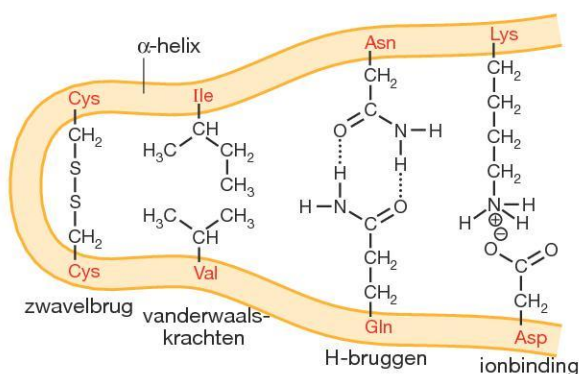
Er kan ook sprake zijn van **zwavelbruggen**. Deze zwavelbruggen zijn atoombindingen. Ze treden op tussen cysteine-eenheden in delen van de keten die in de 'gestrekte' polymeerketen vaak ver van elkaar zijn verwijderd. Daardoor ontstaan meestal de grote 'lussen' in de ruimtelijke structuur.

In figuur 16.17 kun je zien welke bindingstypen in een eiwitmolecuul voor kunnen komen. Als de primaire structuur van een eiwit verandert, komen er ook andere bindingstypen in de keten voor en verandert de secundaire en tertiaire structuur. Hierdoor worden de secundaire en tertiaire structuur van een eiwit volledig bepaald door de primaire structuur.

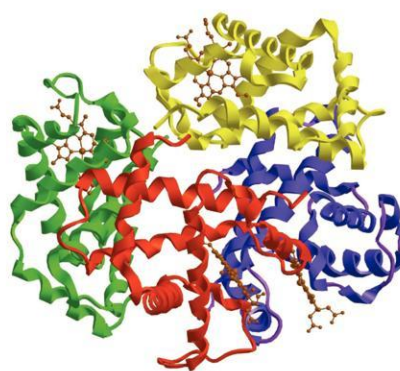
De bindingen die voor de secundaire en tertiaire structuur zorgen zijn gevoelig voor temperatuurverhoging en veranderingen van de pH. Bij een te hoge temperatuur worden H-bruggen bijvoorbeeld verbroken, waardoor de secundaire structuur wordt verbroken. Het eiwit verliest dan zijn functie. Dit proces heet **denatureren**.

Quaternaire structuur

Sommige eiwitten bestaan niet uit een enkele polypeptideketen, maar uit meerdere ketens die in elkaar verstrengeld zijn. De bouw van zo'n eiwit noem je de **quaternaire structuur**. Een klassiek voorbeeld is hemoglobine, dat uit vier polypeptideketens bestaat, waarvan er steeds twee identiek zijn (figuur 16.18).



16.17 Voorbeelden van bindingstypen in een eiwitmolecuul



16.18 Hemoglobine bestaat uit vier polypeptideketens. De gele en de rode keten zijn identiek aan elkaar, net als de groene en de paarse keten.

Samenvatting

- Eiwitten kunnen dienen als enzym, hormoon of bouwstof. Eiwitten zijn polymeren van aminozuren. Essentiële aminozuren moeten in je voeding voorkomen: je lichaam kan ze niet maken. Overvloedige aminozuren kunnen in de lever worden afgebroken en omgezet in ureum.
- Aminozuren kunnen door een condensatiereactie worden gekoppeld tot dipeptiden, tripeptiden en uiteindelijk polypeptiden, die ook wel eiwitten worden genoemd. De ontstane binding heet een peptidebinding.
- Bij eiwitten onderscheid je een primaire structuur, een secundaire structuur door de vorming van H-bruggen en een tertiaire structuur voor het eiwitmolecuul als geheel. Sommige eiwitten bestaan uit meerdere polypeptideketens, er is dan ook een quaternaire structuur.

Opdrachten

A 13

- Geef de triviale naam en het drielettersymbool van een niet-essentieel aminozuur met een aromatische ring.
- Geef de triviale naam en de drielettersymbolen van twee niet-essentiële niet-aromatische aminozuren.
- Geef met behulp van de drielettersymbolen aan welke dipeptiden kunnen ontstaan uit deze (drie) bij a en b genoemde aminozuren.

B 14

‘Gebleken is dat uilen ’s nachts beter kunnen zien dan mensen door een klein verschil in de primaire structuur van het eiwit rodopsine bij mens en uil.’

- Leg uit wat met deze uitspraak wordt bedoeld.

Een klein stukje van een polypeptideketen in rodopsine kan worden weergegeven met: $\sim \text{Gly} - \text{Cys} - \text{Ser} \sim$

- Geef de vorming van dit stukje polypeptide in een reactievergelijking in structuurformules weer.

B 15

- Schrijf de structuurformule op van het dipeptide Gly-Ala.
- Laat zien dat Ala-Gly een andere structuur heeft dan Gly-Ala.
- Noteer in verkorte vorm alle tripeptiden die bestaan uit een eenheid van de volgende aminozuren: Ala, Gly en Phe. Laat stereo-isomerie buiten beschouwing.
- Geef de vergelijking van de hydrolyse van Gly-Ala in structuurformules.

B 16

Het eiwit collageen neemt gemakkelijk water op. Het wordt daardoor minder hard en wat soepeler. Als je collageen met water kookt, ontstaat in water oplosbare gelatine.

- Verklaar het hydrofiele karakter van collageen met de samenstelling van het eiwit.

Gebruiksvoorwerpen van leer (bijvoorbeeld stoelen en banken) zijn gemakkelijk te onderhouden door ze af te nemen met een vochtige doek.

- Geef een verklaring voor deze manier van onderhoud.

C 17

De vrije NH_2 -groep in een peptide kan reageren met 1-fluor-2,4-dinitrobenzeen (nitrogroep: $-\text{NO}_2$). Bij deze condensatiereactie wordt HF afgesplitst.

In een volgende (hydrolyse)reactie met verdund zoutzuur blijft de dinitrofenylgroep aan het aminozuur gebonden.

- Geef de reactievergelijking van Gly-Val met 1-fluor-2,4-dinitrobenzeen in structuurformules.
- Geef in structuurformules de vergelijking van de hydrolyse van het reactieproduct bij opdracht a.

Een peptide kan reageren met hydrazine ($\text{H}_2\text{N}-\text{NH}_2$).

Daarbij worden peptidebindingen in het peptide verbroken. Er ontstaan nieuwe peptidebindingen met hydrazine. De vrije carbonzuurgroep aan het uiteinde van een dipeptide reageert niet met hydrazine.

- Geef de reactievergelijking van Gly-Val met hydrazine in structuurformules.

Een onbekend tripeptide is opgebouwd uit Gly, Ala en Val. De volgorde van de aminozuren in het tripeptide is onbekend. Als het tripeptide met 1-fluor-2,4-dinitrobenzeen reageert en het reactieproduct daarna hydrolyseert, ontstaan er twee vrije aminozuren: Gly en Val. De reactie van het tripeptide met hydrazine levert een vrij aminozuur op: Val.

- Geef de aminozuurvolgorde in het tripeptide.

C 18

Keratine is een structureiwit dat onder andere voorkomt in je haar en je nagels. Keratine bevat relatief veel cysteïne en als gevolg daarvan veel zwavelbruggen. Deze dwarsverbindingen zorgen voor een star polymeer netwerk. Je gebruikt deze eigenschap bij het permanenten van je haar.

- Verklaar waardoor eiwit in haar en wol veel beter bestand is tegen denaturering dan eiwit in een ei.

Het permanenten van haar berust op twee redoxreacties. In de eerste redoxreactie worden zwavelbruggen in keratine verbroken met behulp van de reductor methylthioglycolaat ($\text{HS}-\text{CH}_2-\text{COO}-\text{CH}_3$). De zwavelbrug wordt omgezet in twee $-\text{SH}$ -groepen en de $-\text{SH}$ -groepen van methylthioglycolaat vormen juist onderling een zwavelbrug.

- Geef met behulp van de halfreacties de vergelijking van de totaalreactie van de verbreking van een zwavelbrug in keratine met methylthioglycolaat. Schrijf de zwavelbrug in keratine als $\text{R}_1-\text{S}-\text{S}-\text{R}_2$.

In de tweede redoxreactie wordt de zwavelbrug in keratine op nieuw gevormd door een reactie met de oxidator $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ die in basisch milieu wordt omgezet in SO_4^{2-} .

- c Geef met behulp van de halfreacties de vergelijking van de totaalreactie voor het herstel van de zwavelbrug in keratine.
- d Geef in dit verband een chemische verklaring voor het woord 'permanent'.

C 19

Je denkt bij aminozuren vast niet direct aan een kunstmatige zoetstof. Toch is in 1965, tijdens het onderzoek naar een medicijn tegen maagzweren, bij toeval een zoetstof ontdekt. Deze zoetstof, aspartaam, is een verbinding van twee aminozuren die wel 150 tot 200 keer zoeter is dan suiker.

Het gaat om de methylester van het dipeptide van asparaginezuur en fenylalanine. In de zoetstof is de stereo-isomeer L-fenylalanine verwerkt. De variant D-fenylalanine smaakt bitter.

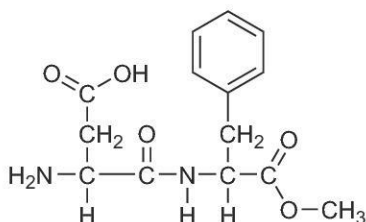
Bij hogere temperatuur kan L-fenylalanine vrij gemakkelijk overgaan in D-fenylalanine. Je kunt daarom in gebak beter geen aspartaam verwerken: het resultaat kan dan immers bitter smaken. Aspartaam is tot nu toe veilig gebleken, behalve voor mensen met een stofwisselingsziekte. Fenylalanine is een essentieel aminozuur.

- a Leg uit wat daarmee wordt bedoeld.

Aspartaam wordt bereid uit fenylalanine, asparaginezuur en methanol.

- b Geef de formules van fenylalanine en asparaginezuur en geef een asymmetrisch C-atoom daarbij aan met een *.

Hieronder zie je de structuurformule van aspartaam.



- c Leg met behulp van je antwoord bij b uit welke factoren het lastig maken om langs chemische weg aspartaam te maken.

C 20

Trimethylamine, $(\text{CH}_3)_3\text{N}$, wordt onder invloed van bacteriën in het lichaam uit voedsel gevormd. In de lever wordt trimethylamine omgezet tot trimethylamineoxide, $(\text{CH}_3)_3\text{NO}$. Deze omzetting gebeurt onder invloed van een enzym dat wordt aangeduid met FMO.

Er zijn mensen die het enzym FMO niet, of in onvoldoende hoeveelheid, kunnen aanmaken. De omzetting van trimethylamine tot trimethylamineoxide gebeurt daardoor niet of in zeer geringe mate. Trimethylamine hoopt zich bij deze mensen op in het lichaam. Uitscheiding van trimethylamine gebeurt via de urine, maar voor een niet onbelangrijk deel ook via de adem en het zweet. Deze mensen verspreiden daarbij een onaangename vislucht. Deze aandoening staat bekend als het visluchtsyndroom.

Voedsel bestaat hoofdzakelijk uit eiwitten, koolhydraten en vetten. Mensen die lijden aan het visluchtsyndroom krijgen vaak een eiwitarm dieet voorgeschreven.

- a Leg uit waarom een dieet met weinig eiwit wel helpt bij het visluchtsyndroom en een dieet met weinig vet niet. Betrek in je uitleg de samenstelling van de genoemde stoffen.
- b Geef aan waarom niet een dieet zonder eiwit wordt voorgeschreven.

Het enzym FMO is een eiwit dat 533 aminozuren lang is.

De primaire structuur is bekend. Een deel van het enzym is hieronder weergegeven:

Nummer aminozuur: 152 153 154

Afkorting aminozuur: ~ Tyr – Pro – Asn ~

- c Geef het hierboven weergegeven fragment uit het enzym FMO in een structuurformule weer.

Experimenten

16.8 Eiwitbepaling in een voedingsmiddel

Je bepaalt het eiwitgehalte in een voedingsmiddel.

16.9 K_z van asparaginezuur

Je bepaalt de waarde van K_z van dit zwakke aminozuur.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- de belangrijkste functies en reacties van eiwitten noemen;
- aangeven wat een peptidebinding is;
- de vorming van dipeptiden, tripeptiden en polypeptiden met structuurformules toelichten;
- de primaire, secundaire en tertiaire structuur van een eiwit beschrijven;
- de bindingstypes die voorkomen in een eiwit herkennen en beschrijven.

De mammoet komt terug

Een team onderzoekers van Harvard University wil de mammoet weer tot leven wekken. Tenminste, ze willen het DNA van de Aziatische olifant aanpassen, zodat er een nieuwe diersoort ontstaat met mammoetachtige eigenschappen. Hiermee kan de bedreigde Aziatische olifant voor uitsterven worden behoed.

**Je leert**

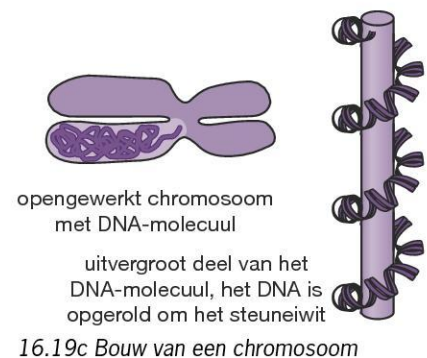
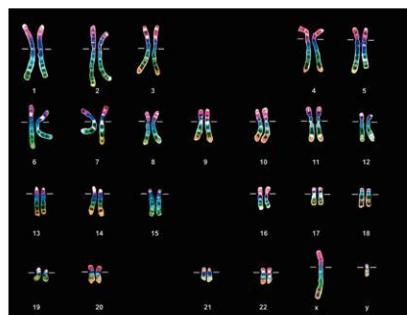
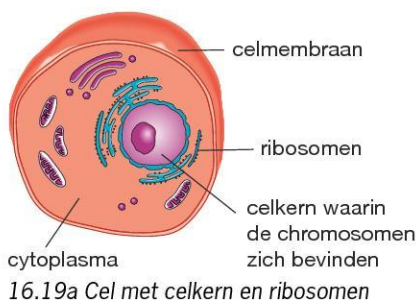
- wat de functie is van DNA en RNA en hoe DNA en RNA zijn opgebouwd;
- hoe eiwitten worden gevormd uit DNA.

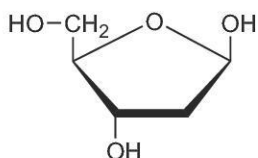
16.4 DNA en RNA

Cellen en DNA

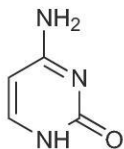
In het DNA van een organisme is de basis van alle erfelijke eigenschappen van dat organisme terug te vinden. Aan het DNA van Aziatische olifantenembryo's voegen de onderzoekers kleine stukjes DNA van de uitgestorven mammoet toe. Erfelijke eigenschappen van de mammoet komen zo tot uiting in de olifant, waardoor een nieuwe diersoort ontstaat.

De erfelijke eigenschappen van de mens worden bepaald door 46 **DNA**-moleculen die zich in elke menselijke cel bevinden, zie figuur 16.19a. De totale lengte van de gestrekte DNA-moleculen in een celkern is bijna twee meter. Door zorgvuldig opvouwen wordt die lengte met een factor 10^3 verkleind. De zo gevormde **chromosomen** (zie figuur 16.19b) hebben de vorm van staafjes en bestaan uit een steuneiwit, dat voor de stevigheid zorgt, met daaromheen gewikkeld het DNA-molecuul, zie figuur 16.19c.

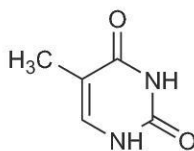




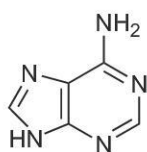
16.20 D-2-deoxyribose



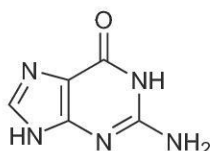
16.21 Cytosine



16.22 Thymine



16.23 Adenine



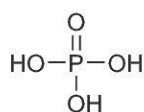
16.24 Guanine

De afkorting DNA staat voor **Deoxyribo Nucleic Acid** (acid is Engels voor zuur). Een DNA-molecuul bestaat uit twee polyesterketens, **nucleotideketens** genaamd, die in een dubbele spiraal om elkaar heen liggen: de **dubbele helix van DNA**, zie figuur 16.27.

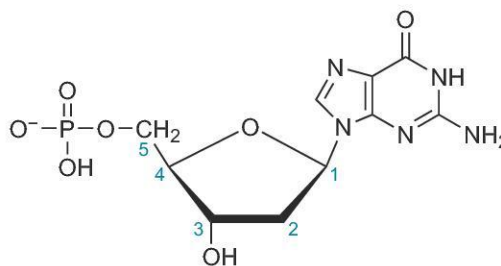
Een nucleotideketen is opgebouwd uit de monosacharide D-2-deoxyribose, een fosfaatgroep en vier basen. Een eenheid die is gevormd uit D-2-deoxyribose, een fosfaat en één van de vier basen noem je een **nucleotide**. De vier basen in DNA zijn adenine, guanine, cytosine en thymine, zie figuur 16.20 t/m 16.25. Op plaats 1 van D-2-deoxyribose is één van de basemoleculen gekoppeld. Op plaats 5 koppelt het fosfaat. Zie Binas tabel 71C. In figuur 16.26 is het nucleotide deoxyguanosinemonowaterstoffosfaat afgebeeld. Op dezelfde manier kun je nucleotiden van adenine, cytosine en thymine vormen. De nucleotideketen wordt gevormd als de resterende OH-groep in de fosfaatgroep verestert met de OH-groep op plek 3 van het deoxyribose.

In het DNA-molecuul worden de nucleotideketens onderling verbonden door waterstofbruggen (Binas tabel 71C). Adenine (A) en thymine (T) vormen hierin elk *twee* waterstofbruggen, guanine (G) en cytosine (C) elk *drie*. In de dubbele helix van het DNA-molecuul is adenine altijd gepaard aan thymine, en guanine altijd aan cytosine. In Binas tabel 71B zijn de waterstofbruggen aangegeven.

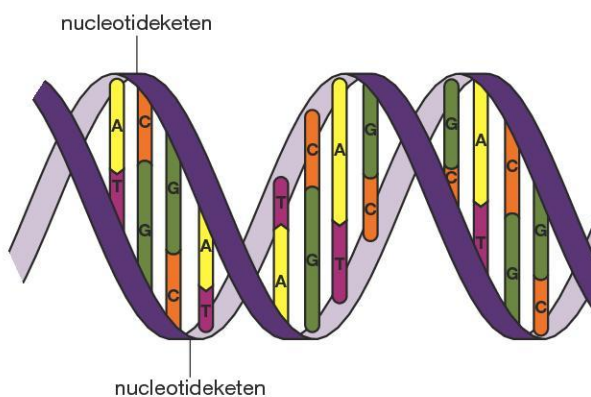
Een nucleotideketen wordt vaak getekend als een lint, terwijl de basen opzij worden aangegeven met hoofdletters A, T, G en C. Door de spiraalstructuur van beide ketens vormen de basenparen als het ware de treden van een wenteltrap. Je ziet deze manier van afbeelden in figuur 16.27 en figuur 16.28 (zie ook Binas tabel 71E).



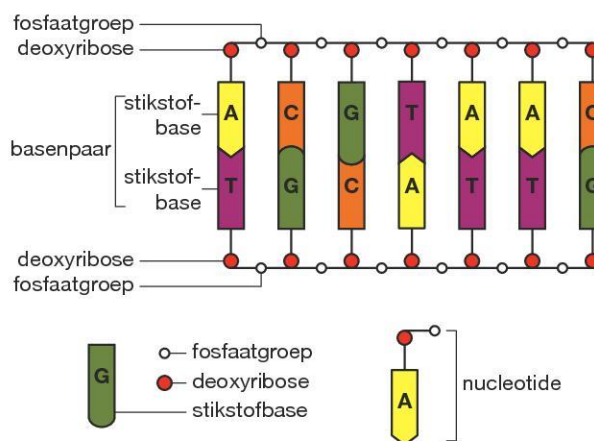
16.25 Fosforzuur

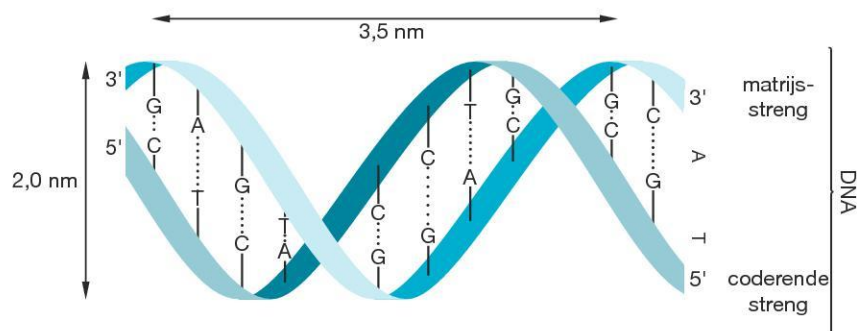


16.26 Nucleotide met de base guanine, deoxyguanosinemonofosfaat

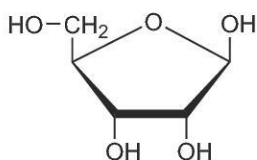


16.27 Een DNA-molecuul bestaat uit twee ketens van nucleotiden die aan elkaar zijn gekoppeld.

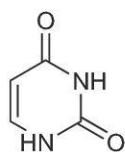




16.28 De door waterstofbruggen verbonden nucleotideketens vormen een dubbele helix.



16.29 D-ribose



16.30 Uracil

Transcriptie

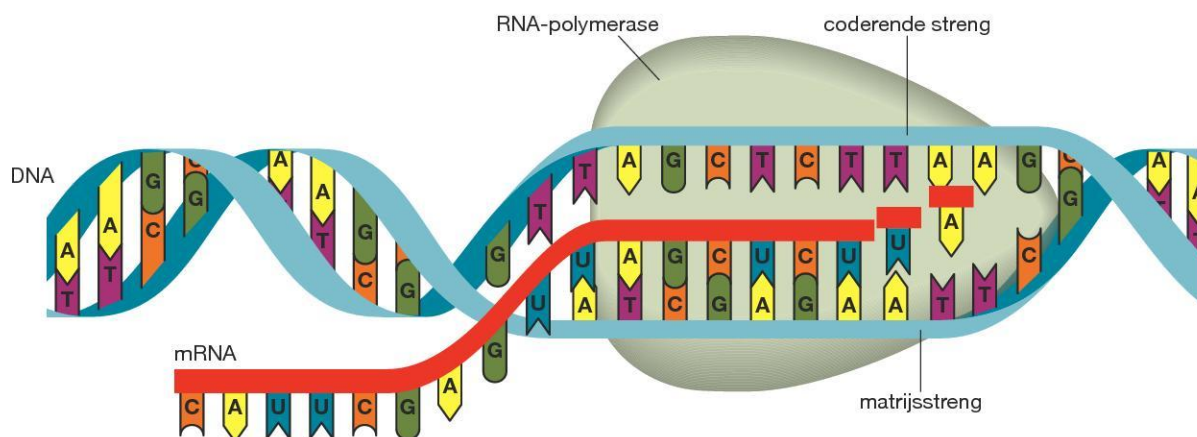
Om het DNA te beschermen, verlaat het de celkern niet. Toch zal het DNA processen buiten de celkern in gang moeten zetten. Daarom worden in de cel kopieën van het DNA gemaakt die de celkern wel verlaten; ze zijn nodig voor de eiwitsynthese. Deze kopieën zijn geen DNA-moleculen, maar RNA-moleculen (figuur 16.32). **RNA (Ribo Nucleic Acid)** lijkt op DNA, maar er zijn ook belangrijke verschillen tussen DNA en RNA:

- In RNA komt D-ribose voor als bouwsteen in plaats van D-2-deoxyribose. Ribose is bijna hetzelfde als deoxyribose, maar op plaats 2 is nu een OH-groep aanwezig (zie figuur 16.29 en Binas tabel 67F1).
- In RNA komt in plaats van de base thymine (T), de base uracil (U) voor (zie figuur 16.30 en Binas tabel 71A).
- RNA is een polymeer met een enkele keten. Het vormt dus geen dubbele helix.

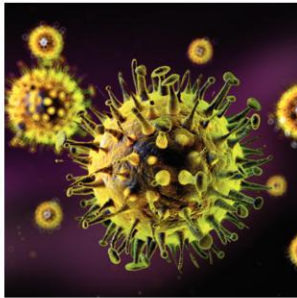
Bij het maken van een DNA-kopie worden de twee nucleotideketens uit elkaar gehaald onder invloed van het enzym RNA-polymerase. De relatief zwakke waterstofbruggen laten zich gemakkelijk verbreken.

In het DNA-molecuul zijn een **coderende streng** en een **matrijsstreng** te onderscheiden. Alleen de matrijsstreng wordt na de splitsing 'gelezen'. Volgens de regels van de basenparing ontstaat er een RNA-kopie. Het proces waarbij een RNA-kopie wordt gemaakt heet **transcriptie** (zie figuur 16.31 en Binas tabel 71E en F).

De informatie van de coderende streng wordt dus via de matrijsstreng overgebracht in een nieuwe RNA-keten. De RNA-keten heeft dus dezelfde lettervolgorde van de basen als de coderende streng, met een verschil: in het RNA-molecuul zijn alle T's vervangen door U's. Er kan overigens meer dan één RNA-molecuul tegelijk worden gevormd.



16.31 Transcriptie



a



b

16.32 Het influenzavirus (a), dat de griep veroorzaakt (b) gebruikt geen DNA, maar RNA als genetisch materiaal.

Translatie

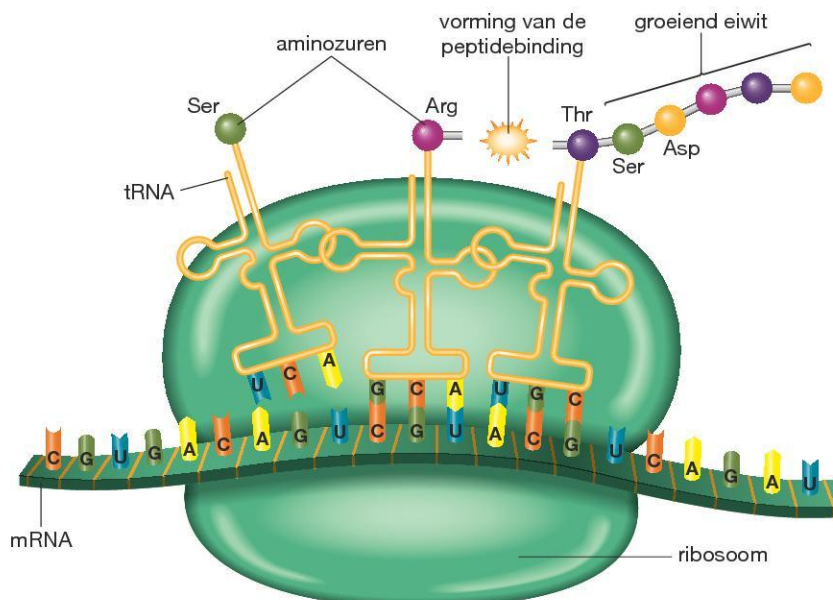
Het RNA dat nu is gevormd noem je boodschapper-RNA of messenger-RNA (mRNA). Het mRNA verlaat de celkern en komt bij de ribosomen, de eiwitfabrieken van de cel. Hier volgt het vertalen van een mRNA-code in een **aminozuurvolgorde** van een eiwit, zie figuur 16.33.

Elk groepje van drie nucleotiden, een **codon** genaamd, codeert voor een bepaald amino-zuur. De synthese start altijd bij een startcodon, AUG, dat codeert voor het aminozuur methionine. Daarna volgen de codons die volgens de **genetische code** (tripletcode) de volgorde van de aminozuren bepalen. AAU is bijvoorbeeld de code voor Asn en GGC is de code voor Gly. Ten slotte is er een stopcodon, dat kan UAA, UAG of UGA zijn. Zie ook Binas tabel 71G.

In het cytoplasma zijn de aminozuren gebonden aan transfer-RNA (tRNA), de code hiervan is tegengesteld aan die van het mRNA. Dit wordt een **anticodon** genoemd. Zo is het amino-zuur Asn in het tRNA gebonden aan het anticodon UUA, dat zich bindt aan het codon AAU in het mRNA.

Dit vertalen van de code in het mRNA naar de aminozuurvolgorde in het te vormen eiwit noem je **translatie**. De eiwitsynthese is in Binas tabel 71J schematisch getekend.

De natuur werkt heel efficiënt. Zo kan een molecuul mRNA voor meerdere, verschillende eiwitten coderen, die allemaal hun eigen start- en stopcode op het mRNA hebben. Verder kunnen verschillende ribosomen tegelijkertijd een molecuul mRNA aflezen.



16.33 De eiwitsynthese. Op het ribosoom wordt de code op het mRNA vertaald naar de aminozuurvolgorde in het eiwit.

Hetzelfde, maar toch anders?

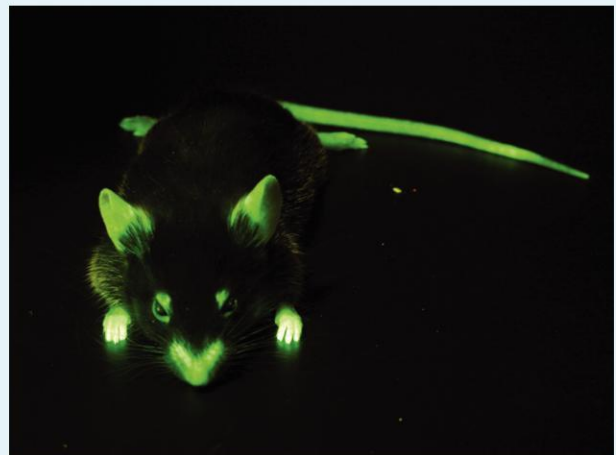
Als je al een blik hebt geworpen op Binas tabel 71G, dan heb je waarschijnlijk gemerkt dat sommige codons in het mRNA voor hetzelfde aminozuur coderen. Isoleucine wordt bijvoorbeeld door zowel AUA, AUU en AUC gecodeerd. Het is daarom mogelijk dat kleine verschillen in twee strengen mRNA toch hetzelfde eiwit opleveren. Oftewel, deze verschillen hebben op het eerste oog geen effect.

De realiteit blijkt echter anders. Anna Kashina en collega's van de Universiteit van Pennsylvanie hebben ontdekt dat identieke eiwitten die uit verschillende genetische codes ontstaan toch afwijkende functies vertonen.

Het onderzoek richtte zich op actines: een familie eiwitten die zorgdragen voor de vorm van een cel. In muizen komen twee verschillende varianten van dit eiwit voor, zogeheten bèta- en gamma-actine, met elk een eigen functie. Schakel je het gen voor bèta-actine uit, dan sterft de muis als embryo. Schakel je het gen voor gamma-actine uit, dan haalt de muis gewoon de volwassenheid, hoewel hij doof wordt en kleiner wordt dan normaal.

De genetische code voor bèta- en gamma-actine verschilt maar in 13% van alle nucleotiden. Aangezien niet al die verschillen een ander aminozuur opleveren, komt er in de twee eiwitten maar op vier plekken een ander aminozuur voor.

In haar onderzoek paste Kashina de genetische code voor deze vier aminozuren van bèta-actine aan, waardoor het chemisch gelijk werd aan gamma-actine. Het resultaat: hoewel er geen bèta-actine werd aangemaakt, werden er volkomen gezonde muizen geboren. Een mogelijke verklaring voor dit resultaat is dat codons die voor hetzelfde aminozuur coderen met verschillende snelheden worden vertaald. Deze afleessnelheid kan wel een factor duizend verschillen. Hierdoor ontstaan er door het ene codon concentratiepieken van het eiwit die bij het andere codon niet voor zouden komen. De concentratie zou weleens bepalend kunnen zijn voor de functie van het eiwit.



16.34 De aanwezigheid van actine in cellen kan zichtbaar worden gemaakt met groen, fluorescerende eiwit.

● Opdracht C27

Samenvatting

- In de kern van een menselijke cel bevinden zich DNA-moleculen. De DNA-moleculen zijn om een staafvormig steuneiwit gewikkeld en vormen zo een chromosoom.
- Een DNA-molecuul bestaat uit twee nucleotideketens in een dubbele helix. Een nucleotide is een combinatie van D-2-deoxyribose, een fosfaatgroep en één van de vier basen adenine, guanine, cytosine of thymine. In het DNA-molecuul worden de twee nucleotideketens verbonden met H-bruggen. A is altijd gepaard aan T en G aan C.
- Tijdens transcriptie wordt een RNA-kopie gemaakt van de matrisstreng van het DNA. RNA bestaat maar uit een enkele keten, bevat D-ribose in plaats van D-2-deoxyribose en bevat de base uracil (U) in plaats van thymine (T).
- Het mRNA verlaat de celkern en gaat naar de ribosomen voor translatie. Codons, een groepje van drie nucleotiden, bepalen de volgorde waarin de aminozuren worden gecodeerd tot aan een stopcodon. De aminozuren zijn gebonden aan tRNA waarvan de code tegengesteld is aan die van het mRNA.

Opdrachten

A 21

Leg uit wat wordt bedoeld met de volgende begrippen.

- a** chromosoom **c** transcriptie
b genetische code **d** translatie

A 22 

Noteer de belangrijkste overeenkomsten en verschillen tussen mRNA en DNA.

B 23 

In de coderende streng van een dubbelstrengs DNA-molecuul komt deze basenvolgorde voor: GATCAACCT

- a** Noteer de basenvolgorde in de matrijsstreng.

Met dit stukje DNA wordt mRNA gesynthetiseerd.

- b** Geef de basenvolgorde in het mRNA.
c Voor welk tripeptide codeert het stukje mRNA?

B 24

Het ontrafelen van de genetische code is voor een belangrijk deel het werk geweest van de Amerikaanse onderzoekers Nirenberg en Matthaei. Hun eerste probleem was: welke base (of groep van basen) codeert voor welk aminozuur? Om dit probleem op te lossen, dienden zij poly-U (UUU, enzovoort) toe aan een extract van colibacteriën. Het poly-U diende als boodschapper-RNA.

- a** Leg uit welk polypeptide de onderzoekers hebben gevonden. Zie Binas tabel 71G.

De volgende vraag was: uit hoeveel U's is een code opgebouwd? De onderzoeker Khorana synthetiseerde het boodschappermolecuul UGUGUG enzovoort, dus een lange keten met repeterende eenheden UG. Hij vond dat deze boodschapper leidde tot de productie van het polypeptide Cys-Val-Cys-Val- enzovoort.

- b** Laat zien dat dit resultaat uitsluit dat twee basen naast elkaar coderen voor een aminozuur.
c Leg uit waarom het onmogelijk is dat één base codeert voor een aminozuur.
d Laat zien dat het resultaat van het experiment van Khorana in overeenstemming is met het idee dat drie (opeenvolgende) basen coderen voor een aminozuur.

De code voor Val is GUG.

- e** Wat is de code voor Cys? Licht je antwoord toe met de beschrijving van een experiment dat het bewijs hiervan zou kunnen leveren.

B 25

In een keten van een dubbelstrengs DNA-molecuul is het percentage A's 30% en het percentage G's 24%.

- a** Wat kun je zeggen over het percentage T's en C's in dezelfde keten?
b Wat kun je zeggen over de percentages A's, G's, T's en C's in de andere keten van de DNA-helix?

C 26

Voor de analyse van de primaire structuur van eiwitten wordt tegenwoordig met succes gebruikgemaakt van DNA-analyse. Licht deze werkwijze toe.

C 27

Lees de tekst in het kader 'Hetzelfde, maar toch anders?' en beantwoord de volgende vragen.

Actine komt in diverse vormen in een veelvoud aan organismen voor. Gedurende het evolutieproces is de structuur van actine amper gewijzigd, waardoor het nog steeds voor ruim 80% hetzelfde is in bijvoorbeeld mensen en algen.

Een stukje van de coderende streng van DNA dat codeert voor actine in konijnen is hieronder weergegeven.

	11	12	13	14	15	16
DNA:	GAT	GAC	GGG	TCT	GGC	CTG

- a** Geef de code van de bijbehorende matrijsstreng en die van het mRNA dat hiervan wordt afgelezen. Noteer je antwoord als volgt:
code matrijsstreng: ...
code mRNA: ...
b Teken een stukje uit het midden van het eiwit actine, geef hierbij de aminozuureenheden die door codons 14, 15 en 16 worden gecodeerd in structuurformules weer.

Sommige basenparen in het DNA kunnen wijzigen, zonder dat dit een verandering in een aminozuurvolgorde teweegbrengt. Codon nummer 11 had bijvoorbeeld ook GAC kunnen zijn.

- c** Bereken hoeveel procent van de hierboven weergegeven basenparen maximaal kan wijzigen, zonder dat dit een verandering in de aminozuurvolgorde veroorzaakt.

De totale code voor actine bestaat uit 1122 basenparen.

- d** Bereken hoeveel basenparen kunnen wijzigen, zonder de aminozuurvolgorde te veranderen, als het percentage van vraag c gelijk blijft voor de hele code.

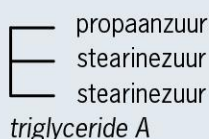
Afsluiting

Oefenopdrachten



16.36 IJs eten zonder schuldgevoel? Met vetvrij ijs kan het. Tenminste, als er niet zo veel suiker in zat ...

- 1** Omdat het eten van te veel vet schadelijk voor de gezondheid is, is de voedingsmiddelenindustrie al geruime tijd op zoek naar zogenoemde vetvervangers (figuur 16.36). Dit zijn stoffen die in de mond aanvoelen als plantaardige of dierlijke vetten, maar bij vertering in het lichaam minder energie leveren. Salatrim is zo'n vetvervanger en wordt verwerkt in koekjes en chocolade. Salatrim bestaat uit een mengsel van triglyceriden. In de moleculen van deze triglyceriden is glycerol op minstens één positie veresterd met een verzadigd vetzuur met een lange koolstofketen en op minstens één positie met een (vet)zuur met een korte koolstofketen. Hieronder is zo'n triglyceride schematisch weergegeven:



- a** Geef de structuurformule van dit triglyceride.

- Maak hierbij gebruik van Binas tabel 67B.
- De koolwaterstofrest van stearinezuur mag je weergeven met $\text{C}_{17}\text{H}_{35}$.

Triglyceride A kan worden gevormd uit glycerylristearaat (een triglyceride dat uitsluitend vetzuren met een lange koolstofketen bevat) en glyceryltripropanoaat (een triglyceride dat uitsluitend (vet)zuren met een korte koolstofketen bevat). Deze twee soorten triglyceriden worden toegevoegd aan een oplossing van het enzym lipase. Er treedt dan een zogenoemde omestering op: De triglyceriden worden gehydrolyseerd tot glycerol en (vet)zuren en daaruit worden vervolgens nieuwe triglyceriden gevormd. Na afloop is een mengsel ontstaan van triglyceriden waarbij de verschillende soorten (vet)zuren random zijn verdeeld over de verschillende triglyceriden. In dit mengsel komen onder andere glycerylristearaat, glyceryltripropanoaat en triglyceride A voor.

- b** Geef op eenzelfde wijze als voor triglyceride A is gedaan, de schematische aanduiding van drie andere triglyceriden die in dit mengsel voorkomen. Laat hierbij spiegelbeeldisomerie buiten beschouwing.

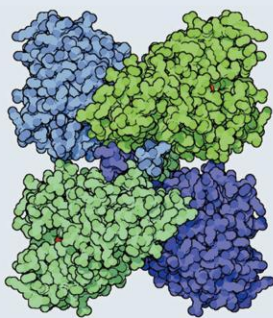
Naar: CE vwo 2015-II

- 2** Het aminozuur fenylalanine wordt in het lichaam onder invloed van het enzym PAH (phenylalanine hydroxylase, figuur 16.37) omgezet tot het aminozuur tyrosine. Het begin van een molecuul PAH kan als volgt worden weergegeven: Met – Ser – Thr ~

De aminozuureenheid met nummer 1 heeft het NH_2 -uiteinde van het molecuul.

- a** Geef het bovenbedoelde fragment van PAH in structuurformules weer.

Een van de afwijkingen waarop pasgeboren baby's worden onderzocht, is PKU (PhenylketonUrie). Bij mensen met PKU vindt de omzetting van fenylalanine tot tyrosine niet plaats. Fenylalanine hoopt zich dan op in het bloed, waardoor hersenbeschadigingen kunnen ontstaan.



16.37 Schematische weergave van fenylalanine hydroxylase

Bij mensen met PKU is in het gen dat codeert voor het enzym PAH op plaats 1222 een basenpaar anders dan bij mensen die geen PKU hebben. Daardoor wordt een eiwit gevormd waarin op een plaats in het molecuul een aminozuureenheid anders is dan in een PAH molecuul. Dit eiwit, dat hierna 'verkeerd-PAH' wordt genoemd, is niet in staat om fenylalanine om te zetten tot tyrosine.

Hieronder is een gedeelte weergegeven van de coderende streng van het gen dat op het DNA de informatie voor PAH bevat, en van de coderende streng van het gen dat op het DNA de informatie voor 'verkeerd-PAH' bevat.

1215 1222
 ↓ ↓
 PAH: ... A A T A C C T C G G C C C T T ...
 verkeerd PAH: ... A A T A C C T T G G C C C T T ...

De code voor het aminozuur met nummer 1 begint bij het basenpaar met nummer 1.

- b** Leg uit wat het nummer is van de aminozuureenheid die in 'verkeerd-PAH' anders is dan in PAH.
- c** Geef het drielettersymbool van de aminozuureenheid in PAH en geef het drielettersymbool van de aminozuureenheid die op dezelfde plaats in 'verkeerd-PAH' anders is. Geef een verklaring voor je antwoord.

Als PKU is vastgesteld, wordt een eiwitarm dieet voorgeschreven (figuur 16.39). Door het dieet wordt precies de hoeveelheid fenylalanine ingenomen die nodig is voor het functioneren van het lichaam, maar beslist niet meer. Bovendien moet dagelijks een fenylalaninevrij voedingssupplement worden ingenomen. Dit voedingssupplement bevat, behalve een kleine hoeveelheid tyrosine, nog enkele andere aminozuren zoals leucine.

- d** Geef aan waarom leucine in het supplement aanwezig moet zijn.

Op de verpakking van veel voedingsmiddelen staat de tekst: 'bevat een bron van fenylalanine'. Dit is om te voorkomen dat mensen met PKU via de voeding ongemerkt fenylalanine binnenkrijgen.

Aspartaam, een kunstmatige zoetstof, is zo'n stof die bij inname een ongewenste verhoging van het fenylalaninegehalte in het bloed kan bewerkstelligen. Bij de omzetting van aspartaam in het lichaam wordt namelijk fenylalanine gevormd. Hierbij ontstaat uit één mol aspartaam één mol fenylalanine.

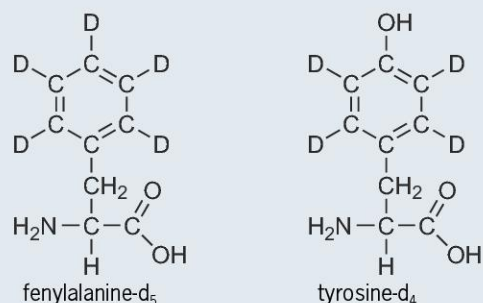
Voor gezonde mensen is de ADI-waarde van aspartaam tamelijk hoog, zie Binas tabel 95B. Maar wanneer mensen met PKU deze stof gebruiken, kan dat leiden tot een onaanvaardbare stijging van de concentratie fenylalanine in het bloed.

- e** Ga door berekening na wat de toename van de hoeveelheid fenylalanine in het bloed is van iemand van 65 kg met 5,0 L bloed, die gedurende een dag de ADI aan aspartaam inneemt.
- Geef je antwoord in mg fenylalanine per dL bloed.
 - Neem aan dat alle fenylalanine zich tijdens die dag in het bloed ophoopt.
 - De molecuulmassa van aspartaam is 294,3 u.

Om vast te stellen of er sprake is van PKU worden de concentraties van fenylalanine en tyrosine in het bloed van pasgeboren baby's bepaald. Een moderne methode om die concentraties te bepalen maakt gebruik van de referentiestoffen fenylalanine-d5 (Phe-d5) en tyrosine-d4 (Tyr-d4); zie de structuurformules op de volgende pagina. Het symbool D in deze formules staat voor deuterium, de isotoop H-2. De aminozuren worden met methanol uit het bloed geëxtraheerd. In de methanol zijn de referentiestoffen opgelost.



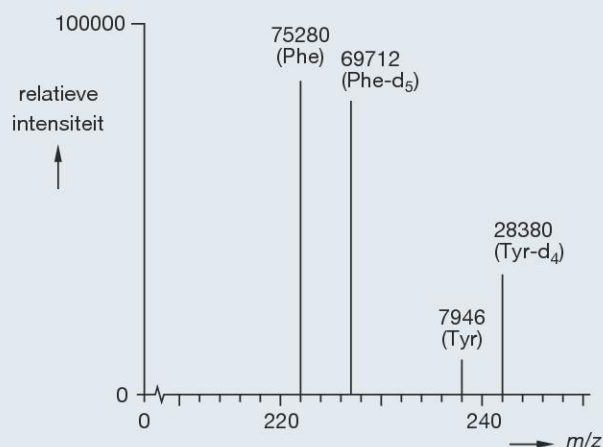
16.39 Een eiwitarm dieet, dat betekent (bijna) geen melk, kaas of vlees meer.



De oplossing van aminozuren in methanol wordt ingedampt. Aan het mengsel van aminozuren dat aldus wordt verkregen, wordt aangezuurd butaan-1-ol toegevoegd. Daarbij reageren alle aminozuren, ook de aminozuren die als referentiestoffen zijn toegevoegd, met butaan-1-ol onder vorming van de butylesters van de aminozuren.

f Geef de structuurformule van de ester van fenylalanine-d₅ en butaan-1-ol.

Doordat het toegevoegde butaan-1-ol een ruime overmaat zuur bevat, worden de aminogroepen in alle esters omgezet tot -NH_3^+ -groepen. Voor de verdere bepaling wordt een speciale vorm van massaspectrometrie toegepast. Bij deze methode vallen de positief geladen ('geprotoneerde') butylesters van de aminozuren niet uiteen in brokstukken; ze blijven intact. Bij massaspectrometrie is de hoogte van de piek (de relatieve intensiteit) recht evenredig met het aantal mol van de stof die wordt gedetecteerd. Gelijke hoeveelheden van verschillende stoffen geven bij deze vorm van massaspectrometrie niet een even hoge piek. Gelijke hoeveelheden fenylalanine en fenylalanine-d₅ geven echter wel een even hoge piek en dat geldt ook voor tyrosine en tyrosine-d₄. Een kleine hoeveelheid oplossing met de geprotoneerde butylesters wordt in de massaspectrometer gebracht. Het deel van het massaspectrum dat bij het onderzoek van het bloed van een baby is verkregen en dat voor de bepaling van belang is, staat hieronder afgebeeld. De getallen bij de signalen zijn de relatieve intensiteiten.



16.40

De bepaling is zodanig uitgevoerd dat de pieken in het massaspectrum die betrekking hebben op de geprotoneerde butylesters van fenylalanine-d₅ en tyrosine-d₄ (de referentiestoffen), overeenkomen met 200 μmol fenylalanine-d₅ en 200 μmol tyrosine-d₄ per liter bloed.

In Nederland gaat men ervan uit dat er sprake is van PKU wanneer in het bloed de verhouding $\frac{[\text{Phe}]}{[\text{Tyr}]}$ groter is dan 1,7 en bovendien [Phe] groter is dan 150 μmol per liter bloed.

g Ga door berekening na of de onderzochte baby aan PKU lijdt. Gebruik onder andere de relatieve intensiteiten die bij de pieken in het massaspectrum zijn vermeld.

Naar: CE vwo 2010-I

- 3** In een waterige oplossing is de tertiaire structuur van eiwitten zodanig dat bepaalde aminozuureenheden in aanraking komen met water en zich dus aan de 'buitenkant' van het eiwit bevinden, terwijl andere delen juist naar binnen zijn gevouwen.

Gegeven zijn de volgende aminozuren: Val, Phe, Asp, Lys, Ile en His.

- a** Leg uit welke van de gegeven aminozuren je in waterige oplossing aan de binnenkant verwacht en welke aan de buitenkant van het eiwit.
- b** Waarom kunnen glycine en alanine zowel binnen als buiten worden gevonden?
- c** Leg uit waar je cysteine in het eiwit zult aantreffen.

4 Accoya

Hout is een veelgebruikt constructiemateriaal. Het bestaat voor een groot deel uit cellulose. Cellulose is een polymeer van glucose en geeft sterkte aan het hout. Cellulose is een eindproduct van een reeks reacties die begint met de fotosynthese. Uit de glucose, die hierbij ontstaat, wordt cellulose gevormd.

- a** Geef in één reactievergelijking het proces weer waarbij in een aantal stappen cellulose ontstaat. Ga uit van de beginstoffen van de fotosynthese. Geef cellulose weer met $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$.

Een ander polymeer dat in hout voorkomt, is hemicellulose. Hemicellulose is opgebouwd uit verschillende monosachariden. Een monosacharide dat veel in ketens van hemicellulose is verwerkt, is xylose. Xylose is een stereo-isomeer van D-ribose en verschilt van D-ribose in de oriëntatie van de OH-groep aan het C-atoom met nummer 3 (zie Binas tabel 67A).

- b** Teken een fragment uit het midden van een hemicelluloseketen, bestaande uit een eenheid van D-galactose en een eenheid van xylose. D-galactose koppelt door middel van de OH-groepen aan de C-atomen met nummers 1 en 4 en xylose door middel van de OH-groepen aan de C-atomen met nummers 1 en 5. Gebruik de notatie die ook in Binas wordt gehanteerd.

Naar: CE vwo 2012-I

- 5** In zoogdieren komen twee peptidehormonen voor, oxytocine en vasopressine, met een gelijksoortige structuur, maar een andere biologische functie. Oxytocine speelt een belangrijke rol bij moederbinding, vriendschappen en romantische interacties. Het wordt daarom ook wel het 'knuffelhormoon' genoemd (figuur 16.41). Vasopressine regelt de opname van water in de nieren, speelt een rol bij agressie en speelt mogelijk een rol bij de vorming van herinneringen.

Hieronder zie je een aantal codons van de matrijsstreng van DNA dat codeert voor oxytocine.

ACA ATA TAA GTT TTA ACG GGG GAA CCC

- a** Geef de basevolgorde van het mRNA-molecuuldeel dat je verkrijgt door transcriptie van deze matrijsstreng.



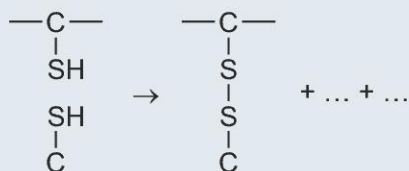
16.401 Als je je huisdier knuffelt, krijgt zowel jij als je huisdier een flinke dosis oxytocine.

- b** Geef, gebruikmakend van je antwoord op vraag a, de aminozuurvolgorde die je krijgt na translatie. Gebruik hierbij de drieletterige afkortingen en Binas tabel 71.
- c** Teken een fragment van oxytocine: geef de eerste drie aminozuureenheden in structuurformules weer.

Het ontstane eiwit neemt vervolgens een ringvormige structuur aan. Bij deze ringvorming spelen de cysteïnedelen van het molecuul een rol.

- d** Hoe noem je de binding die wordt gevormd als oxytocine een ringvorm aanneemt?

De vorming van deze binding kan zoals hieronder schematisch worden weergegeven. Dit is een halfreactie.



- e** Neem de vergelijking over en vul de juiste formules en coëfficiënten op de stippellijnen in.
- f** Leg uit of voor de vorming van bovenstaande binding de SH-groepen met een oxidator of met een reductor moeten reageren.

De aminozuurvolgorde van vasopressine en oxytocine verschilt slechts op twee plaatsen. In vasopressine is het derde aminozuur (van het weergegeven DNA-deel van oxytocine) Phe en het achtste aminozuur is Arg.

- g** Neem de DNA-matrijsstreng boven vraag a over en geef aan welke twee basen daarin zijn vervangen. Geef ook aan welke twee basen daarvoor in de plaats zijn gekomen.

Keuzeopdrachten

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

1 Omega 3-vetzuren

Wat zijn verzadigde vetzuren, transvetzuren, omega 3-, omega 6- en omega 9-vetzuren? Zijn ze essentieel of niet en hoe (on)gezond zijn ze nu eigenlijk?

2 De energieomzettingen in het menselijk lichaam

Wil je rekenen, dan is dit echt iets voor jou.

3 RNA, alleen boodschapper?

RNA doet veel meer dan alleen informatie overdragen. In deze opdracht onderzoek je de verschillende types RNA en hun werking.

Overzicht begrippen

Aminozuur

Een aminozuur is een carbonzuur met een aminogroep op het tweede koolstofatoom. Je lichaam kan aminozuren hergebruiken, maar sommige aminozuren moet je via voeding binnenkrijgen. Dat zijn de **essentiële aminozuren**. Overtollige aminozuren worden als **ureum** via de urine uitgescheiden.

DNA

Het DNA bevat de genetische code van een organisme. Een DNA-molecuul bestaat uit nucleotideketens. Een nucleotideketen is opgebouwd uit **D-2-deoxyribose**, een fosfaatgroep en vier basen. De base adenine is altijd gepaard aan thymine en guanine is altijd gepaard aan cytosine.

Eiwit

Een **eiwit** is een polymeer dat is opgebouwd uit aminozuren. De aminozuren binden door middel van een condensatiereactie, waarbij **peptidebindingen** ontstaan. De structuur van een eiwit kun je beschrijven op vier niveaus. De **primaire structuur** is de volgorde en het aantal van de verschillende aminozuren in het eiwit. Door waterstofbruggen tussen aminozuureenheden worden α -helixen en β -sheets gevormd, dit is de **secundaire structuur**. De ruimtelijke bouw van het hele eiwit is de **tertiaire structuur**. Hierbij spelen aantrekkingskrachten en bindingen van de R-groepen van de aminozuureenheden een rol, zoals waterstofbruggen, zwavelbruggen, vanderwaalskrachten en ionbindingen.

Hydrolysereactie

Koolhydraten, vetten en eiwitten worden afgebroken door een hydrolysereactie waarvoor watermoleculen nodig zijn. Uit koolhydraten ontstaan zo losse monosachariden, uit vetten glycerol en losse vetzuren en uit eiwitten losse aminozuren.

Koolhydraat

Ook wel **sachariden** of **sukkers** genoemd. De moleculen voldoen aan de algemene formule $C_nH_{2m}O_m$ en bestaan uit ringvormige eenheden van vijf of zes koolstofatomen. Een **mono-sacharide** bestaat uit één, een **disacharide** uit twee en een **polysacharide** uit meerdere van deze ringvormige eenheden.

Olie/vet

Een vetmolecuul ontstaat uit de reactie tussen **glycerol** (propaan-1,2,3-triol) en vetzuren. Een **vetzuur** is een carbonzuur met een lange koolstofketen. Vetzuren kunnen alleen enkelvoudige bindingen bevatten (**verzadigde vetzuren**), of één of meer dubbele bindingen (**onverzadigde vetzuren**). Sommige vetzuren moet je via voedsel binnenkrijgen, dat zijn de **essentiële vetzuren**.

RNA

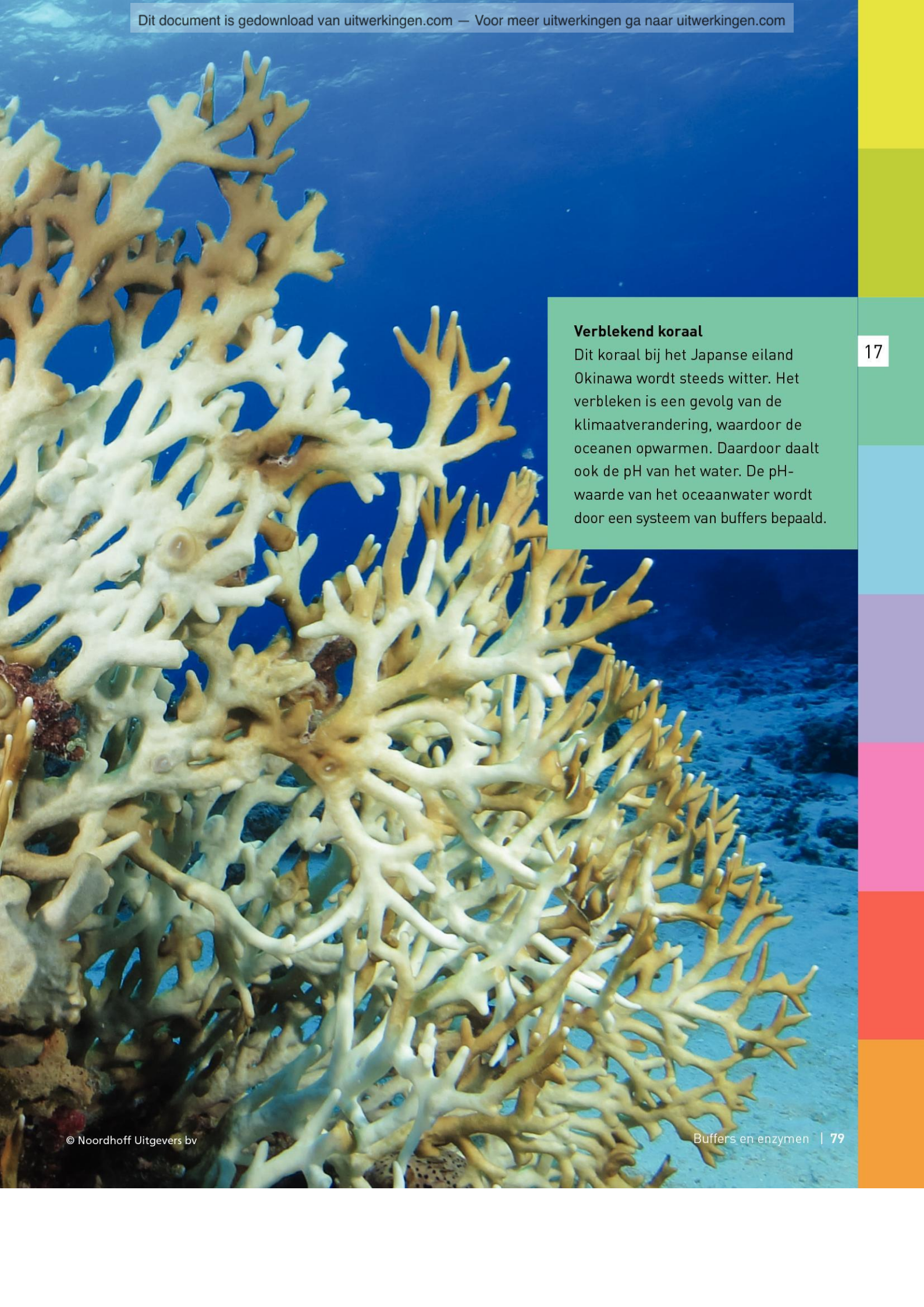
RNA bestaat in tegenstelling tot DNA uit een enkele nucleotideketen, bevat **D-ribose** in plaats van D-2-deoxyribose en bevat de base uracil (U) in plaats van thymine (T). Het RNA (mRNA) zorgt in de cel voor de vorming van eiwitten. Een groep van drie nucleotiden op het mRNA, een codon, codeert samen voor een bepaald aminozuur.

17 Buffers en enzymen

Inhoud

- 17.1** Amfolyten
 - Experimenten:
 - 17.1 pH van zoutoplossingen
 - 17.2 Zuur of base?
- 17.2** Buffers
 - Experiment:
 - 17.3 Bufferoplossingen
- 17.3** Enzymen
 - Experimenten:
 - 17.4 Enzymatische ontleding van waterstofperoxide
 - 17.5 Enzymactiviteit
- 17.4** Celmembraan en transport
 - Afsluiting
 - Overzicht begrippen





Verblekend koraal

Dit koraal bij het Japanse eiland Okinawa wordt steeds witter. Het verbleken is een gevolg van de klimaatverandering, waardoor de oceanen opwarmen. Daardoor daalt ook de pH van het water. De pH-waarde van het oceaanwater wordt door een systeem van buffers bepaald.

17

Umami

Umami is een van de vijf basissmaken, samen met zout, zoet, zuur en bitter. Het glutamaation is verantwoordelijk voor de smaak umami. Zouten met glutamaat komen van nature in veel etenswaren voor zoals tomaten, champignons, vlees, erwten en kaas. Het wordt als smaakversterker gebruikt in hartige kant-en-klare etenswaren zoals chips en bouillonblokjes.



Je leert

- wat amfolyten zijn;
- bepalen of een amfolytoplossing zuur of basisch is.

17.1 Amfolyten



17.1 Natriumglutamaat is te koop als de smaakversterker vetsin.

Sterkte van zuren en basen

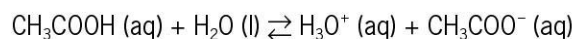
Glutamaat is het zuurrestion van het aminozuur glutaminezuur. Glutaminezuur is zoals elk aminozuur een zuur, maar het bevat ook een basische groep: -NH_2 . De reacties van zuren vind je in hoofdstuk 8 en die van basen in hoofdstuk 9. Daar heb je geleerd dat een sterk zuur in water volledig in ionen splitst; dit is een aflopende reactie. Een zwak zuur splitst in water gedeeltelijk in ionen; dit is een evenwichtsreactie. Eenzelfde onderscheid ken je bij sterke en zwakke basen. Een sterke base reageert aflopend met water. Bij een zwakke base met water treedt een evenwichtsreactie op, zie voorbeeld 1 en 2.

De sterkte van zuren en basen kun je in Binas tabel 49 vinden. Hoe groter de evenwichtsconstante, K_z voor zuren en K_b voor basen, des te sterker is het zuur of de base. In tabel 49 staan de zuren met grootste K_z bovenaan in de tabel en de basen met de grootste K_b onderaan.

Voorbeeld 1

Geef de vergelijking van de reactie van azijnzuur met water. Geef ook aan welk deeltje de geconjugeerde base is.

Azijnzuur is een zwak zuur, er ontstaat dus een evenwicht met water.



$\text{CH}_3\text{COO}^- \text{ (aq)}$ is de geconjugeerde base van $\text{CH}_3\text{COOH (aq)}$.

● Experiment 17.1

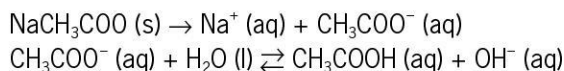


17.2 Snelle kristallisatie van natriumacetaat door toevoeging van een entkristal aan een oververzadigde oplossing

Voorbeeld 2

Geef de vergelijking van de reactie die optreedt als natriumacetaat aan water wordt toegevoegd.

In een oplossing van natriumacetaat komt de zwakke base acetaat voor:



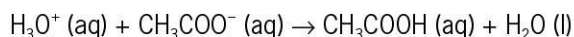
Een zuur en een base kunnen met elkaar reageren. Het zuur draagt daarbij een H^+ over aan de base, zie voorbeeld 3.

Voorbeeld 3

Je voegt zoutzuur toe aan een oplossing van natriumacetaat. Geef de vergelijking van de zuur-basereactie die optreedt.

Het zuur is $\text{H}_3\text{O}^+ \text{ (aq)}$ en de base is $\text{CH}_3\text{COO}^- \text{ (aq)}$.

De vergelijking voor de reactie is:



Amfolyten

Behalve deeltjes die als zuur of als base kunnen reageren, ken je ook deeltjes die als zuur én als base kunnen reageren. Dit soort deeltje heet een **amfolyt**.

Als je in Binas tabel 49 zoekt naar alle deeltjes waar ' PO_4 ' in voorkomt, vind je deze deeltjes in de kolom 'zuren' en in de kolom 'basen', zie tabel 17.3 en 17.4 hieronder. Er zijn twee deeltjes met ' PO_4 ' die volgens Binas tabel 49 als zuur en als base kunnen reageren: H_2PO_4^- en HPO_4^{2-} . Dit zijn dus amfolyten.

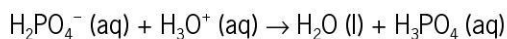
naam	formule	K_z
fosforzuur	H_3PO_4	$6,9 \cdot 10^{-3}$
diwaterstoffsosfaation	H_2PO_4^-	$6,2 \cdot 10^{-8}$
monowaterstoffsosfaation	HPO_4^{2-}	$4,8 \cdot 10^{-13}$

17.3 Deeltjes waarin ' PO_4 ' in de kolom 'zuren' voorkomt

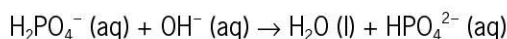
naam	formule	K_b
diwaterstoffsosfaation	H_2PO_4^-	$1,4 \cdot 10^{-12}$
monowaterstoffsosfaation	HPO_4^{2-}	$1,6 \cdot 10^{-7}$
fosfaation	PO_4^{3-}	$2,1 \cdot 10^{-2}$

17.4 Deeltjes waarin ' PO_4 ' in de kolom 'basen' voorkomt

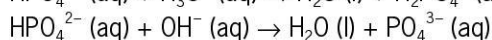
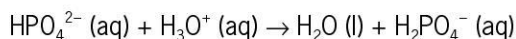
Als een amfolyt in aanraking komt met een zure oplossing, zal het als een base reageren.



Komt het amfolyt in aanraking met een basische oplossing, dan zal het juist als een zuur reageren.

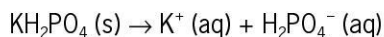


Op dezelfde manier kan HPO_4^{2-} reageren met een zuur en een base:

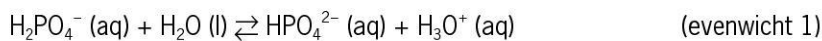


Amfolyten in water

Als je kaliumdiwaterstoffsfaat oplost in water, komt de amfolyt diwaterstoffsfaat vrij.



Als het diwaterstoffsfaat zich gedraagt als een zuur stelt zich het volgende evenwicht in, met eronder de bijbehorende evenwichtsvoorwaarde:



$$K_z = \frac{[\text{HPO}_4^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = 6,2 \cdot 10^{-8}$$

Als het diwaterstoffsfaat zich gedraagt als een base stelt zich het volgende evenwicht in, met eronder de bijbehorende evenwichtsvoorwaarde:



$$K_b = \frac{[\text{H}_3\text{PO}_4][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = 1,4 \cdot 10^{-12}$$

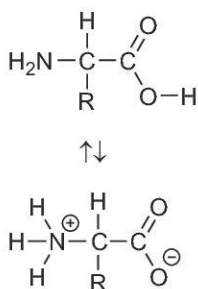
Als de amfolyt H_2PO_4^- in water komt, treedt zowel evenwicht 1 als evenwicht 2 op. Je ziet dat de K_z van het ion groter is dan de K_b . Dat betekent dat evenwicht 1 meer aan de rechterkant ligt dan evenwicht 2. Er wordt dus meer H_3O^+ dan OH^- gevormd. In water zal het diwaterstoffsfaat zich daardoor gedragen als een zuur en zal de pH van de oplossing kleiner zijn dan 7.

Je kunt voor ieder amfolyt bepalen of het zich in water als zuur of als base gedraagt door de K_z en de K_b uit Binas tabel 49 te vergelijken. Als de K_z groter is, zal het amfolyt zich in water als zuur gedragen. Is de K_b groter, dan zal het amfolyt zich in water als base gedragen.



17.5 Een enorm kunstmatig gegroeid kristal van kaliumdiwaterstoffsfaat

● **Experiment 17.2**

**Aminozuren**

Aminozuren bestaan, in tegenstelling tot andere moleculaire stoffen, niet uit ongeladen moleculen, maar uit **dubbelionen**. Deze ionen zijn ontstaan door de reactie van carbonzuurgroepen met aminogroepen van het aminozuur, waarbij een deeltje ontstaat met een positieve lading op het N-atoom en een negatieve lading bij de zuurrest, zie de structuurformules van het aminozuur hiernaast. Alle aminozuurmoleculen zijn daardoor amfolyten. De ladingen zorgen voor een extra aantrekkingskracht tussen de moleculen, naast vanderwaalsbindingen en waterstofbruggen. Hierdoor zijn alle aminozuren vaste stoffen met een relatief hoog smeltpunt ($> 200^\circ\text{C}$).

Samenvatting

- Een amfolyt kan reageren als een zuur en als een base.
- Een amfolyt gedraagt zich in water als een zuur als geldt: $K_z > K_b$ en als base als geldt: $K_b > K_z$.
- Aminozuren komen voor als dubbelionen. Aminozuurmoleculen zijn amfolyten.

Opdrachten

A 1

- a Wat wordt verstaan onder een geconjugeerd zuur-basepaar? Geef een voorbeeld.
- b Wat is een amfolyt? Geef een voorbeeld.
- c Leg uit of watermoleculen amfolyten zijn.

B 2

Het zout natriumwaterstofsulfiet wordt door hobbywijnmakers toegevoegd vóór het gisten om te zorgen dat alle aanwezige organismen doodgaan. Na de gisting wordt het ook toegevoegd om verzuring door azijnzuurbacteriën te voorkomen.

- a Waarom moet er tijdens de gisting geen waterstofsulfiet aanwezig zijn?
- b Geef de oplosvergelijking van natriumwaterstofsulfiet.
- c Leg uit of de pH van een natriumwaterstofsulfietoplossing groter dan, kleiner dan of gelijk aan 7,0 is.

B 3

Het essentiële aminozuur fenylalanine, Phe, is onder andere nodig voor het aanmaken van neurotransmitters in de hersenen. Bij mensen met de ziekte fenylketonurie, PKU, kan fenylalanine hersenbeschadigingen veroorzaken. Belangrijke bronnen van fenylalanine zijn kaas, pinda's, sojabonen en veel eiwitten. Ook in de zoetstof aspartaam komt fenylalanine voor.

- a Geef de structuurformule van fenylalanine als dubbelion. Gebruik Binas.

Het smeltpunt van fenylalanine is relatief hoog: 275 °C.

- b Leg uit waardoor dit smeltpunt zo hoog is.
- c Geef de structuurformule van fenylalanine onder zeer zure omstandigheden.
- d Geef de structuurformule van fenylalanine onder zeer basische omstandigheden.

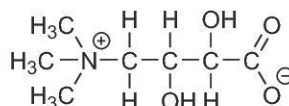
B 4

In planten en dieren spelen aminen een belangrijke rol. De zeeanemoon die voorkomt langs de Californische kust is een lekkernij voor zeenaaktslakken. Als de zeeanemoon wordt aangevreten, produceert ze een stof, anthopleurine, die soortgenoten in de omgeving waarschuwt voor het gevaar. Deze amine heeft de rol van alarmferomoon. De soortgenoten trekken zich razendsnel samen, wanneer anthopleurine de anemonen bereikt.



17.6 Zeeanemoon *Anthopleura elegantissima*

Hieronder zie je de formule van anthopleurine:



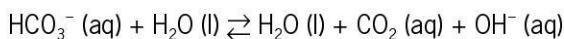
- a Geef twee oorzaken op microniveau van het feit dat anthopleurine heel goed oplosbaar in water is.
- b Leg op basis van de structuurformule uit dat anthopleurine geen aminozuur is.
- c Geef de vergelijking voor de reactie van anthopleurine met de oplossing van een sterk zuur. Gebruik structuurformules voor de koolstofverbindingen.

C 5

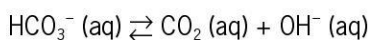
Natriumwaterstofcarbonaat is een goed oplosbaar zout.

- a Geef de oplosvergelijking van natriumwaterstofcarbonaat.

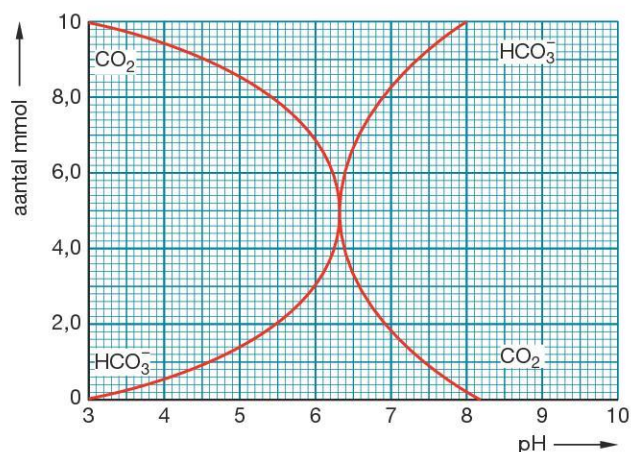
Doordat waterstofcarbonationen als base kunnen reageren, stelt zich in een oplossing met waterstofcarbonationen onderstaand evenwicht in:



Als je water wegstreept, houd je over:



Sjoerd heeft 1,0 L van een oplossing die 10 mmol HCO_3^- bevat. In deze oplossing leidt hij telkens kleine hoeveelheden HCl-gas. Na elke toevoeging bepaalt hij het aantal mmol HCO_3^- en het aantal mmol CO_2 . Tevens bepaalt hij de pH van de oplossing. In het diagram op de volgende pagina zijn deze gegevens verwerkt.



17.7

- b** Is de oplossing waarmee Sjoerd deze proef begint zuur, neutraal of basisch? Geef, onder andere met behulp van het diagram, een verklaring voor je antwoord.

De evenwichtsvoorwaarde van het evenwicht luidt:

$$K_b = \frac{[\text{CO}_2][\text{OH}^-]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

Met behulp van de gegevens uit het diagram kan Sjoerd de waarde van K_b berekenen.

- c** Laat met behulp van het diagram en een berekening zien

dat bij $\text{pH} = 6,7$ $\frac{[\text{CO}_2]}{[\text{HCO}_3^-]}$ gelijk is aan 0,4.

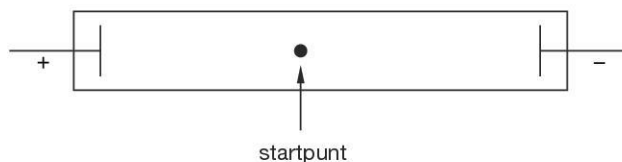
- d** Bereken, onder andere met behulp van de gegevens uit vraag c, de waarde van K_b .

C 6 ★

De lading van een aminozuur is afhankelijk van de pH van de oplossing. Ieder aminozuur heeft een bepaalde pH-waarde waarbij er sprake is van evenveel positieve lading als negatieve lading. De gemiddelde nettolading is dan nul. Deze pH-waarde is het zogenaamde iso-elektrisch punt en die vind je bij elk aminozuur in Binas tabel 67H1. Bij een pH lager dan het iso-elektrisch punt is het aminozuur positief geladen door de $-\text{NH}_3^+$ -groep. Bij een pH hoger dan het iso-elektrisch punt is het aminozuur negatief geladen door de COO^- -groep.

- a** Geef de structuurformule met formele ladingen van elk van de volgende vier aminozuren in een oplossing met pH 6,0: glutaminezuur, glycine, lysine en serine. Gebruik Binas tabel 67H1.

Elektroforese is een methode om aminozuren te identificeren en te scheiden. Hierbij maak je gebruik van het feit dat aminozuurdeeltjes in een elektrisch veld naar de positieve of de negatieve elektrode gaan bewegen. Welke kant ze op gaan en hoe ver ze komen, wordt beïnvloed door de lading. Midden op een papierstrookje wordt een druppel van een oplossing aangebracht waarin de vier onder a genoemde aminozuren zitten. Het papier wordt bevochtigd met een oplossing die een constante $\text{pH} = 6,0$ heeft en vervolgens in een elektrisch veld gebracht, zie figuur 17.8.



17.8

- b** Neem bovenstaande figuur over en schets hierin het eindresultaat van de scheiding. Zet een stip voor elk van de vier bovengenoemde aminozuren.
- c** Bij welke pH verloopt de scheiding tussen de aminozuren glycine en serine optimaal?

De pH beïnvloedt de looprichting van de aminozuurdeeltjes bij elektroforese.

- d** Noem twee factoren die van invloed zijn op de loopsnelheid van de deeltjes bij elektroforese en bereken welke invloed elk van deze factoren zal hebben: verhoging of verlaging van de loopsnelheid?

Experimenten

17.1 pH van zoutoplossingen

Je onderzoekt de pH van oplossingen van K_3PO_4 , K_2HPO_4 en KH_2PO_4 .

17.2 Zuur of base?

Je voert een onderzoek uit naar de pH van koolzuur.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- uitleggen of de oplossing van een amfolyt zuur of basisch is;
- uitleggen hoe een aminozuur als base en als zuur kan reageren.

Hoogteziekte

De beklimming van een hoge berg als de Mount Everest is gevaarlijk, zeker door het risico op hoogteziekte. Die ontstaat als je te snel naar grote hoogte klimt. Je krijgt daarbij door een gebrek aan zuurstof last van hoofdpijn, duizeligheid en uiteindelijk raak je bewusteloos. De ingeademde lucht op 5500 m bevat de helft minder zuurstof per volume-eenheid dan op zeeniveau.

**Je leert**

- wat buffers zijn en hoe je een buffer kiest;
- rekenen aan buffers;
- een voorbeeld van een buffersysteem in je bloed kennen.

17.2 Buffers

● Experiment 17.3



17.9 Ook oceanen bevatten buffers.

Werking van een buffer

Het zuurstoftekort op grote hoogte kan leiden tot verandering van de pH van je bloed. Dit veroorzaakt de symptomen van hoogteziekte; in ernstige gevallen kan dit zelfs dodelijk zijn. Je lichaam probeert de pH van het bloed constant te houden door een mengsel van een zuur: koolzuur (CO_2 en H_2O) en een base: HCO_3^- . Dit mengsel noem je een **buffer**. Op grote hoogte duurt het even voordat de buffer kan zorgen dat de pH constant blijft.

De pH van een oplossing is afhankelijk van de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ en de $[\text{OH}^-]$. Toevoegen van een (kleine) hoeveelheid zuur of base aan een gewone oplossing, die geen buffer bevat, zal zorgen voor een flinke verandering in de pH. Ook als je een oplossing van een zuur of base in water gaat verdunnen, zal de pH veranderen en meer naar $\text{pH} = 7$ gaan.

Als je experiment 17.3 hebt uitgevoerd, heb je gezien dat de pH vrijwel niet verandert als je een kleine hoeveelheid zuur of base toevoegt aan een oplossing waarin zowel H_2PO_4^- -ionen als HPO_4^{2-} -ionen voorkomen. Ook bij verdunnen blijft de pH constant. De oplossing van H_2PO_4^- -ionen en HPO_4^{2-} -ionen is een voorbeeld van een bufferoplossing.

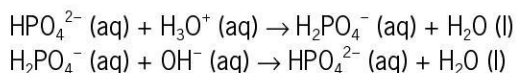
Je spreekt van een bufferoplossing of buffer wanneer een oplossing in staat is om schommelingen in de pH door zuur, base en verdunnen tegen te gaan.



17.10 Bij de koppeling van treinstellen worden ook buffers gebruikt om de klap op te vangen.

Samenstelling van een buffer

In een oplossing waarin H_2PO_4^- -ionen en HPO_4^{2-} -ionen voorkomen, is H_2PO_4^- sterker als zuur ($K_z > K_b$) en HPO_4^{2-} sterker als base ($K_b > K_z$). Samen vormen ze een geconjugeerd zuur-basepaar. Doordat HPO_4^{2-} vrijwel aflopend reageert met H_3O^+ en H_2PO_4^- ook vrijwel aflopend reageert met OH^- , is dit mengsel uitstekend in staat om sterke schommelingen in de pH te voorkomen. Onderstaande reacties treden daarbij op:



Als je dus H_3O^+ -ionen aan een bufferoplossing toevoegt, dan zullen deze reageren met de sterkste aanwezige base. Hierdoor komen er geen extra H_3O^+ -ionen in de oplossing en verandert de pH vrijwel niet. Voeg je OH^- -ionen toe, dan zullen deze reageren met het sterkste aanwezige zuur.

Om een schommeling in de pH goed te kunnen opvangen moet er wel voldoende zuur en base aanwezig zijn. In een ideale buffer is de concentratieverhouding tussen het zuur en zijn geconjugeerde base 1 : 1. Het vermogen om schommelingen op te vangen is dan maximaal. In de praktijk wordt een mengsel van een zwak zuur en zijn geconjugeerde base nog een buffer genoemd als de concentratieverhouding tussen 1 : 10 en 10 : 1 ligt.

Bufferkeuze

Als de concentratie van het zwakke zuur (HZ) en zijn geconjugeerde base (Z^-) gelijk is, dan geldt voor de evenwichtsvoorwaarde hiervan:

$$K_z = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{Z}^-]}{[\text{HZ}]} = [\text{H}_3\text{O}^+]$$

want $[\text{Z}^-]$ en $[\text{HZ}]$ zijn gelijk aan elkaar en vallen dus weg uit de concentratiebreuk. Als je aan beide kanten van de vergelijking de negatieve logaritme ($-\log$) neemt, dan staat er:

$$-\log K_z = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

$-\log K_z$ heet ook wel **pK_z** en $-\log [\text{H}_3\text{O}^+]$ is gelijk aan pH. Voor een buffer waarin het zuur en zijn geconjugeerde base 1 : 1 zijn gemengd, geldt dus $\text{pK}_z = \text{pH}$. In Binas tabel 49 kun je van alle zwakke zuren de pK_z vinden. Als je een buffer van een bepaalde pH nodig hebt, zoek je de pK_z van een zuur-basekoppel op die gelijk is of dicht in de buurt komt van de gewenste pH.



17.11 Het hypochlorietion (ClO^-) wordt gebruikt bij het ontsmetten van onder andere zwembaden

Het zuur HClO heeft volgens Binas tabel 49 een pK_z van 7,40. Bij gelijke hoeveelheden van HClO en van zijn geconjugeerde base ClO^- (zie figuur 17.11) ontstaat dus een ideale buffer met $\text{pH} = 7,40$.

Omdat de verhouding voor de deeltjes in een goede buffer tussen de 1 : 10 en 10 : 1 mag liggen, kan de pH van een buffer tot 1,0 afwijken van de pK_z . Met bijvoorbeeld het zuur-basekoppel HClO/ClO^- kun je dus buffers maken waarvan de pH varieert tussen de 6,40 en 8,40. Andere zuur-basekoppels zou je dus ook kunnen gebruiken voor $\text{pH} = 7,40$.

Als de pH van een buffermengsel bekend is, kun je met de evenwichtsvoorwaarde ook berekenen in welke verhouding het zuur en zijn geconjugeerde base in de bufferoplossing aanwezig zijn. In het voorbeeld zie je hoe je dat doet voor een azijnzuur/acetaat-buffer.



17.12 Een strook niemandsland tussen twee landen heet een bufferzone.

Voorbeeld

In welke verhouding komen CH_3COOH en CH_3COO^- voor in een azijnzuur/acetaat-buffer met $\text{pH} = 4,17$?

De evenwichtsvoorwaarde is:

$$K_z = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

De K_z van azijnzuur is $1,7 \cdot 10^{-5}$ (Binas tabel 49).

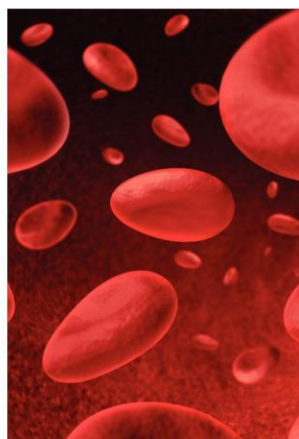
$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-4,17} = 6,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$$

Beide ingevuld in de evenwichtsvoorwaarde geeft:

$$1,7 \cdot 10^{-5} = \frac{6,8 \cdot 10^{-5} [\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{1,7 \cdot 10^{-5}}{6,8 \cdot 10^{-5}} = 0,25 = \frac{1}{4}$$

De verhouding waarin CH_3COOH en zijn geconjugeerde base CH_3COO^- in de buffer aanwezig zijn, is dus 4 : 1.



17.13 Bloed bestaat voor het grootste deel uit rode bloedcellen: blaasjes gevuld met hemoglobine.

Bloed

De belangrijkste functie van bloed is het transporteren van stoffen. Behalve de verbrandingsproducten koolstofdioxide en water zijn er nog veel andere stoffen die in het lichaam ontstaan en vervoerd moeten worden. Zo ontstaat melkzuur (2-hydroxypropaanzuur) na intensieve spierarbeid, acetylazijnzuur ($\text{CH}_3\text{—CO—CH}_2\text{—COOH}$) bij sterke vetverbranding en zwavelzuur bij de verbranding van zwavelhoudende eiwitten. Door de vorming van deze zuren zou de pH van het bloed kunnen dalen, met negatieve effecten tot gevolg. Als de pH kleiner wordt dan 6,8 kan dat zelfs levensbedreigend zijn.

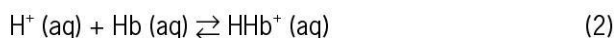
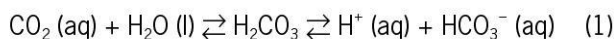
Om te zorgen dat de pH tijdens deze transporten niet te veel varieert, zijn er buffers in het bloed aanwezig. De belangrijkste buffer is de koolzuurbuffer $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$. De samenstelling van deze buffer is zodanig dat het buffersysteem veel H_3O^+ kan opnemen.

Een andere belangrijke buffer is het eiwit **hemoglobine**, zie figuur 17.13. Hemoglobine zorgt, naast het constant houden van de pH in het bloed, ook voor het transport van zuurstof naar de cellen in je lichaam. De koolzuurbuffer zorgt voor het transport van het koolstofdioxide naar de longen. De ademhalingscyclus is een samenwerking van de koolzuurbuffer en de hemoglobinebuffer.

Op de volgende pagina lees je hoe die buffers samenwerken. Die tekst moet je kunnen volgen, maar je hoeft hem niet van buiten te leren.

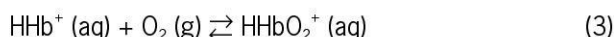
De werking van buffers bij de ademhalingscyclus

In alle lichaamscellen wordt voortdurend CO_2 gevormd. Onder invloed van het enzym koolzuuranhydrase in het bloed reageert dit CO_2 snel met H_2O onder vorming van HCO_3^- en H^+ . De hemoglobinebuffer (Hb) kan H^+ opnemen om verzuring te voorkomen. Dit proces kun je samenvatten in twee evenwichtsvergelijkingen:

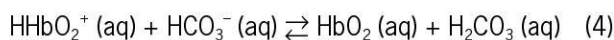


Door de grote hoeveelheid CO_2 die in de cellen wordt gevormd, liggen deze evenwichten sterk rechts.

De producten van evenwicht 1 en 2 worden door het bloed naar de longen gevoerd. In de longen is een grote hoeveelheid O_2 aanwezig. Het HHb^+ neemt nu zuurstof op en er ontstaat dan HHbO_2^+ (evenwicht 3).

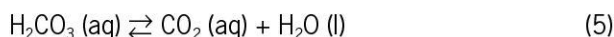


Dit HHbO_2^+ , dat een veel sterker zuur is dan HHb^+ , staat een H^+ af aan HCO_3^- waardoor er meer H_2CO_3 ontstaat.



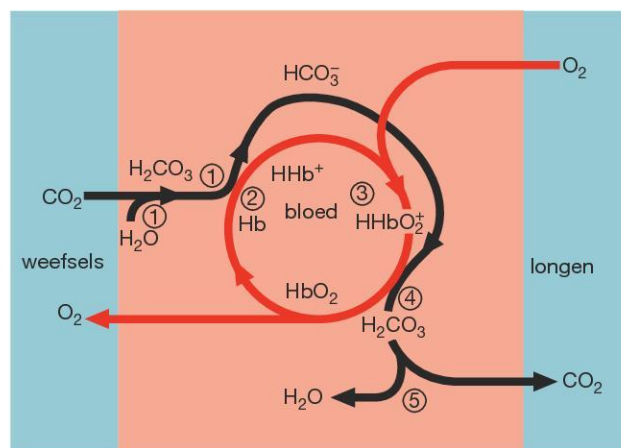
Evenwicht 3 en 4 liggen in de longen sterk rechts.

Door de toename van H_2CO_3 verschuift het evenwicht 5 naar rechts:



Hierdoor ontstaat er CO_2 dat door de longen wordt uitgeademd. Het HbO_2 uit evenwicht 4 wordt door het bloed naar de weefsels vervoerd en geeft daar het O_2 weer af, waardoor het weer Hb wordt en weer een H^+ kan opnemen.

In figuur 17.15 is dit proces schematisch weergegeven; de nummers geven de beschreven evenwichten aan.



17.15 Model van de werking van de buffers bij de ademhalingscyclus



17.14 Bij hyperventilatie adem je in en uit in een zak zodat er meer CO_2 in je bloed komt.

Gebufferd speeksel

Onder normale omstandigheden is de pH van speeksel ongeveer 7. Als de pH in de mond daalt tot een waarde die lager is dan 5,5 kan aantasting van het gebit optreden. Speeksel bevat een aantal buffers. Die buffers kunnen de daling van de pH binnen bepaalde grenzen houden. Daardoor wordt het gebit beschermd. De zogenoemde buffercapaciteit geeft aan hoe goed een buffer de daling van de pH kan beperken. Bij de bepaling van de buffercapaciteit van speeksel wordt met zogenoemd 'gestimuleerd speeksel' gewerkt. Dat is speeksel dat ontstaat als op iets wordt gekauwd.

Er zijn twee methoden om de buffercapaciteit van 'gestimuleerd speeksel' te bepalen.

methode 1

- de pH van het 'gestimuleerde speeksel' wordt gemeten;
- 1,0 mL speeksel wordt toegevoegd aan 3,0 mL 0,0050 M zoutzuur;
- het mengsel wordt 20 minuten geroerd om de ontstane CO_2 te verwijderen;
- de pH wordt gemeten.

methode 2

Tandartsen gebruiken vaak een vereenvoudigde methode. Daarbij wordt gewerkt met een teststrookje waarop zuren en een indicator zijn aangebracht.

Met een bijgeleverd pipetje wordt een druppel 'gestimuleerd speeksel' op het teststrookje gebracht (zie figuur 17.16). Dan reageren de zuren met de basen van de buffers die in het speeksel aanwezig zijn. Het teststrookje krijgt daarbij een bepaalde kleur. Met een bijgeleverde kleurenkaart kun je aflezen in welk gebied de uiteindelijke pH ligt. Hiermee kan de tandarts een indruk krijgen van de buffercapaciteit van het speeksel.



17.16

● Opdracht C13

Samenvatting

- Een buffer is een oplossing waarvan de pH maar weinig verandert bij toevoeging van een kleine hoeveelheid zuur of base of bij verdunning. Een bufferoplossing bestaat uit een mengsel van een zwak zuur en zijn geconjugeerde zwakke base.
- In een bufferoplossing verandert de pH vrijwel niet bij toevoegen van OH^- -ionen of H_3O^+ -ionen, omdat het zwakke zuur reageert met OH^- en de zwakke base reageert met H_3O^+ .
- De pH van een buffer kan uit het zuurevenwicht worden berekend en is gelijk aan de pK_a bij gelijke concentraties van zuur en base.
- Via het transport van zuurstof en koolstofdioxide zorgen de koolzuurbuffer en de hemoglobinebuffer voor het constant houden van de pH van je bloed.

Opdrachten

A 7

Wat is een buffer en waaruit bestaat een buffer?

B 8

Beredeneer of de volgende oplossingen buffers zijn.

- a** 1,0 M NaCl
- b** één oplossing van 50 mL CH_3COOH en 50 mL CH_3COONa , beide 0,20 M
- c** één oplossing van HCl en NaCl, beide 0,010 M
- d** een oplossing met $\text{pH} = 4,70$, die is verkregen door een overmaat CH_3COOH én NaOH op te lossen
- e** 20 mL 0,10 M CH_3NH_2 en 20 mL 0,10 M $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Cl}$

B 9 

Een bekend buffersysteem in organismen is de fosfaatbuffer. De twee ionen die deze buffer vormen zijn HPO_4^{2-} en H_2PO_4^- . De optimale pH-waarde van bloed is 7,4.

- a** Leg aan de hand van Binas tabel 49 uit dat deze amfolytische deeltjes geschikt zijn om een buffer te maken met $\text{pH} = 7,4$.
- b** Laat aan de hand van een reactievergelijking zien op welke manier de fosfaatbuffer reageert op het toevoegen van een kleine hoeveelheid H_3O^+ -ionen.

In een laboratorium wordt een bepaalde fosfaatbuffer met behulp van indicatoren onderzocht. De resultaten staan hieronder.

- Broomfenolrood is in deze oplossing paarsrood.
- Neutraalrood is hierin roodgekleurd.
- c** Welke pH-waarde heeft de oplossing op grond van deze waarnemingen?
- d** Bereken in welke molverhouding de fosfaathoudende deeltjes in deze bufferoplossing aanwezig zijn.

B 10

Niet al te verdunde oplossingen van sterke zuren of basen gedragen zich als buffer. Toevoeging van een kleine hoeveelheid zuur of base heeft vrijwel geen invloed op de pH van een dergelijke oplossing.

Maagsap kun je opvatten als zoutzuur met $\text{pH} = 1,4$.

De pH van maagsap zal nauwelijks veranderen door voedselopname of het slikken van medicijnen. Omgekeerd geldt wel dat de pH in de maag bepaalt in welke vorm opgeloste stoffen in het maagsap aanwezig zijn. Zwakke zuren bijvoorbeeld zijn in maagsap nauwelijks geïoniseerd.

- a** Leg dit uit aan de hand van de reactievergelijking voor het evenwicht tussen een zwak zuur en water.

Acetylsalicylzuur, aspirine, is een zwak zuur met $K_z = 3,3 \cdot 10^{-4}$, waarvoor je de formule HZ kunt gebruiken.

- b** Bereken de verhouding $[\text{HZ}] : [\text{Z}^-]$ voor acetylsalicylzuur dat is opgelost in maagsap met $\text{pH} = 1,4$.

B 11

Het Searlesmeer in Californië is een basisch en extreem zout meer. Het meer bevat bovendien hoge concentraties arseenverbindingen die voor de meeste levende organismen zeer giftig zijn.

In het Searlesmeer leven bacteriën die zich hebben aangepast aan het leven in een omgeving waarin veel arseenverbindingen aanwezig zijn. Een bacterie in deze zoutrijke omgeving heeft veel energie nodig om haar waterhuishouding in stand te houden. Deense onderzoekers hebben een bacterie in het Searlesmeer gevonden die de in het meer aanwezige arsenaten gebruikt voor haar energievoorziening.

Met arsenaten worden de ionen aangeduid die ontstaan als H_3AsO_4 één of meer H^+ ionen afsplitst.

De pH in het Searlesmeer bedraagt 9,80. Bij deze pH is vrijwel uitsluitend monowaterstofarsenaat HAsO_4^{2-} aanwezig. Van de andere arsenaten is de concentratie arsenaat AsO_4^{3-} het hoogst.

- a** Bereken de verhouding waarin AsO_4^{3-} en HAsO_4^{2-} voorkomen bij $\text{pH} = 9,80$ ($T = 298 \text{ K}$). Maak gebruik van Binas tabel 49. Geef je antwoord weer als:
 $[\text{AsO}_4^{3-}] : [\text{HAsO}_4^{2-}] = 1,0 : \dots$
- b** Bereken het percentage HAsO_4^{2-} dat bij $\text{pH} = 9,80$ is omgezet in AsO_4^{3-} .

Naar: CE vwo 2015-I

C 12 ★

Sorbinezuur ($\text{C}_5\text{H}_7\text{COOH}$) wordt als conserveermiddel aan bijvoorbeeld vruchtensappen toegevoegd. Sorbinezuur is een zwak eenwaardig zuur.

- a** Geef de vergelijking in molecuulformules van de reactie die optreedt als sorbinezuur in water komt en ioniseert.

De conserverende werking van sorbinezuur wordt toegeschreven aan uitsluitend de niet-geïoniseerde sorbinezuurmoleculen. Hoe groter de concentratie aan niet-geïoniseerd sorbinezuur is, des te sterker is de conserverende werking.

Joris voegt de maximaal toelaatbare hoeveelheid sorbinezuur toe aan 1 liter perziksap van $\text{pH} = 3,5$.

Hij voegt ook een even grote hoeveelheid sorbinezuur toe aan 1 liter perziksap van $\text{pH} = 4,0$.

- b** Leg uitgaande van het evenwicht van sorbinezuur in waterig milieu uit, in welk van de twee soorten perziksap de conserverende werking als gevolg van het toegevoegde sorbinezuur het sterkst zal zijn.
- c** Leg uit of door het toevoegen van het conserveermiddel de pH van de perziksappen toeneemt, afneemt, gelijk blijft of dat je dat niet kunt zeggen.

De K_2 van sorbinezuur bedraagt $1,5 \cdot 10^{-5}$.

Bij toevoeging van de maximaal toelaatbare hoeveelheid sorbinezuur aan vruchtensap is de werking als conserveermiddel nog juist voldoende als nog 10% van het toegevoegde sorbinezuur in niet-geïoniseerde vorm aanwezig is. De pH waarbij dat het geval is, noem je de pH-grenswaarde.

- d** Bereken de pH-grenswaarde van sorbinezuur ($T = 298 \text{ K}$).

C 13

Lees de tekst in het kader 'Gebufferd speeksel' en beantwoord de volgende vragen.

- a** Leg aan de hand van de gegevens in het contextkader en het feit dat de pH van speeksel ongeveer 7 is uit, welk zuur-basekoppel in ieder geval in het 'gestimuleerde speeksel' aanwezig is.
- b** Bereken in welke molverhouding dit zuur en zijn geconjugeerde base in speeksel met $\text{pH} = 6,8$ voorkomen. Noteer de uitkomst van je berekening als volgt:

$$\frac{\text{aantal mol zuur}}{\text{aantal mol geconjugeerde base}} = \frac{\dots}{1}$$

Bij een proefpersoon werd de buffercapaciteit van het speeksel onderzocht volgens methode 1. De begin-pH van zijn speeksel was 7,0. Na afloop van de bepaling was de pH van het mengsel 4,5.

- c** Toon met behulp van een berekening aan dat het speeksel van deze proefpersoon inderdaad een bufferende werking bezit.

In figuur 17.17 is de kleurenkaart uit methode 2 enigszins gewijzigd afgebeeld. De vakjes waarin 'kleur A', 'kleur B' of 'kleur C' staat, hebben in werkelijkheid een bepaalde kleur. De grenzen op de kleurenkaart zijn nogal onnauwkeurig aangegeven.

Dentobuff® Strip		
	eind pH-waarde	buffer-capaciteit
kleur A	6,0 of meer	hoog
kleur B	4,5 - 5,5	gemiddeld
kleur C	4,0 of minder	laag

17.17

- d** Geef aan welke indicator kan zijn gebruikt op zo'n teststrookje en geef aan welke kleuren kleur A, kleur B en kleur C zijn.

Noteer je antwoord als volgt:

Indicator is: ...

kleur A is: ...

kleur B is: ...

kleur C is: ...

Bron: CE wvo 2009-II

Experiment

17.3 Bufferoplossingen

Je onderzoekt de bufferende werking van een oplossing.

- Volledige instructie *Chemie Overal* online

Je kunt nu

- uitleggen wat een buffer is en waaruit die bestaat;
- uitleggen hoe je een buffersamenstelling voor een bepaalde pH kiest;
- rekenen aan buffers;
- uitleggen wat de rol van koolzuur en hemoglobine is bij de stofwisseling en de buffering van het bloed.

Lenzenvloeistof

Vloeistoffen voor het reinigen van contactlenzen hebben een pH van 7,4 net als het oogvocht. Ze bevatten conserverende en ontsmettende stoffen en daarnaast ook vaak enzymen zoals lipases en proteases. Deze enzymen breken respectievelijk vetten (lipiden) en eiwitten (proteïnen) af die zich door gebruik op het lensoppervlak afzetten.

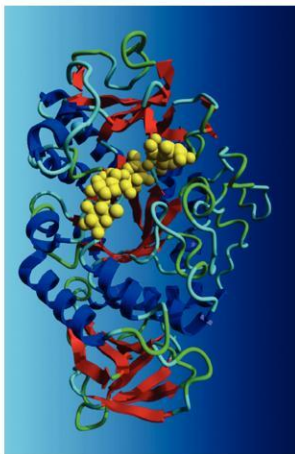
**Je leert**

- wat enzymen zijn en wat de werking van enzymen is;
- welke omstandigheden de werking van enzymen beïnvloeden.

17.3 Enzymen

Samenstelling van enzymen

Bij de afbraak van stoffen door lenzenvloeistof reageren enzymen buiten het lichaam. Enzymen zijn het meest bekend van het katalyseren van reacties in het lichaam. Daarom worden **enzymen** ook wel biokatalysatoren genoemd. Het zijn eiwitten die heel specifiek één stof omzetten. De stof waar het enzym op inwerkt, heet het **substraat**. De naam van enzymen is vaak afgeleid van het proces dat ze katalyseren, gevolgd door de uitgang -ase. Een voorbeeld is amylase dat amylose (onvertakt zetmeel) afbreekt (zie figuur 17.18).

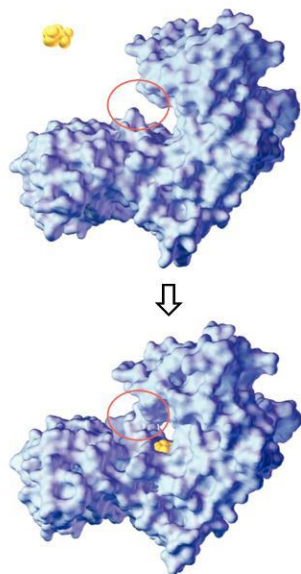


17.18 Computermodel van het enzym amylase met zetmeel als gele bolletjes

Enzymen kunnen een **co-enzym** hebben, een kleiner organisch molecuul, dat het enzym nodig heeft om werkzaam te zijn. Het co-enzym is meestal een soort aan-uitschakelaar van het enzym. Daarnaast hebben veel enzymen ook ionen nodig om te functioneren. Dit kan een ion zijn van zink, mangaan, koper, magnesium, ijzer, kalium of natrium: de sporenelementen uit het voedsel.

In hoofdstuk 16 zijn de primaire, secundaire en de tertiaire structuren van eiwitten besproken. De primaire structuur van een eiwitmolecuul is het aantal en de volgorde van de verschillende aminozuureenheden. De secundaire structuur van een polypeptideketen is de vorming van een α -helix: een spiraalstructuur, of een β -sheet: een plaatstructuur. De verschillende zijgroepen van alle aminozuureenheden bepalen de totale ruimtelijke bouw van het eiwitmolecuul, de tertiaire structuur. Voor het functioneren van een enzym is het essentieel dat de tertiaire structuur van het eiwit in stand blijft. Bij het ontvouwen van een enzym, **denatureren** genaamd, wordt een enzym onwerkzaam.

● Experiment 17.4



17.19 Tijdens de vorming van een enzym-substraatcomplex verandert de ruimtelijke bouw van het enzym, zie de rode cirkel in de figuur.

Werking van enzymen

Als een enzym een reactie katalyseert, hecht het zich aan het substraat. De locatie waar het substraat hecht, noem je het **actieve centrum** van het enzym (ook wel **actieve plaats** genoemd). In figuur 17.18 zag je dat het actieve centrum van amylase de plaats is waar het zetmeel aanhecht. In dit actieve centrum vindt de eigenlijke reactie plaats: het substraatmolecuul wordt omgezet in een nieuw molecuul. De enzymwerking staat hieronder in drie stappen uitgelegd.

1 Binding van het substraat aan het enzym

Vrijwel alle enzymen hebben een specifieke werking. Dat wil zeggen dat ze alleen één bepaalde omzetting katalyseren. Daarnaast zijn ze ook selectief, want ze katalyseren maar voor één bepaalde molecuulsoort, het substraat. Dit houdt in dat een enzym een bepaalde molecuulsoort moet kunnen 'herkennen'. Dit herkennen is een kwestie van ruimtelijke bouw van het enzymmolecuul en de polariteit of lading van groepen bij het actieve centrum. Het actieve centrum is een 'holte', waarin het substraatmolecuul past, zie figuur 17.19. Een enzym is vaak ook **stereospecifiek**, dat wil zeggen dat bij spiegelbeeld- en *cis-trans*-isomeren het enzym maar één van de isomeren kan omzetten.

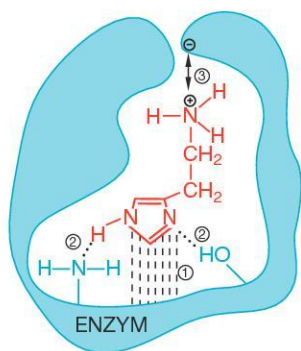
Als een substraat wordt 'herkend', treedt er een binding met het enzym op. Zo ontstaat een **enzym-substraatcomplex**. Tijdens de vorming van het enzym-substraatcomplex verandert de ruimtelijke bouw van het enzym zelf, zie de omgeving van de rode cirkel in figuur 17.19. Bij de bindingen tussen enzym en substraat (zie een voorbeeld in figuur 17.20) kunnen de volgende bindingstypen een rol spelen:

- vanderwaalsbinding;
- H-brug;
- ionbinding.

2 De enzymgekatalyseerde reactie

Na de vorming van het enzym-substraatcomplex vindt de reactie plaats. Bij chemische reacties moeten meestal atoombindingen worden verbroken en gevormd. Voor de snelheid waarmee dit gebeurt, is een aantal factoren van belang, onder andere de temperatuur, de pH en de activeringsenergie.

De binding van het substraat aan het enzym wordt benut voor een gedeeltelijke verbreking (verzwakking) van een atoombinding. Je kunt ook zeggen: als het substraat aan het enzym bindt, vindt al een vervorming plaats in de richting van het reactieproduct. Ook daardoor zal de reactie worden versneld, omdat bij reacties het verbreken van atoombindingen de meeste energie kost. Als de atoombindingen zijn verbroken, verloopt de reactie verder, waarbij ook andere moleculen een rol kunnen spelen. Zo zijn bij een enzymatische hydrolyse ook watermoleculen nodig.



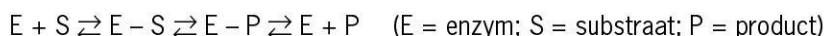
17.20 Bindingen tussen enzym en substraat,

- (1) vanderwaalsbinding,
(2) H-bruggen en (3) ionbinding

3 De afscheiding van de reactieproducten van het enzym

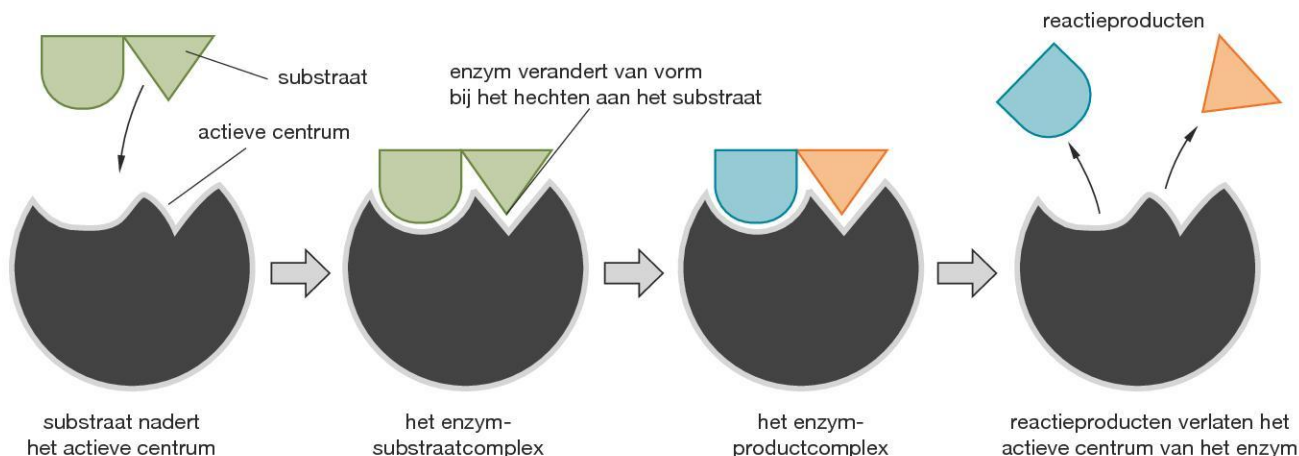
Zodra het substraat heeft gereageerd, komen de reactieproducten uit het enzym. Het enzym keert daarbij terug naar zijn oorspronkelijke toestand en is klaar om het volgende substraatmolecuul op te nemen (zie figuur 17.21 op de volgende pagina). Alle afzonderlijke stappen: binding, omzetting en afscheiding zijn evenwichtsreacties.

Samengevat kun je de enzymwerking weergeven als:



Een enzym zorgt er alleen voor dat het evenwicht zich sneller instelt. De richting waarin een enzymatisch proces verloopt, hangt af van de concentraties van S en P.

Bij experiment 17.4 heb je kunnen zien dat dit een rol speelt bij het verlopen van de reactie. Bij de enzymatisch gekatalyseerde reactie van de ontleding van waterstofperoxide ontwijkt de gevormde zuurstof, waardoor het evenwicht naar rechts afloopt.



17.21 Schematische voorstelling van een enzymgekatalyseerde reactie

● Experiment 17.5

pH-optimum

Vrijwel elk enzym heeft een **pH-optimum**: een pH-waarde waarbij de werkzaamheid maximaal is. Het constant houden van de pH in het bloed door buffers is onder andere van belang voor de werkzaamheid van enzymen. Zowel bij verlaging als bij verhoging van de pH neemt de werkzaamheid af.

Verlagen van de pH

Als een negatief geladen zijgroep, bijvoorbeeld een COO^- -groep, een H^+ -ion opneemt door verlaging van de pH, kan een ionbinding met een positief geladen zijgroep worden verbroken. Hierdoor wordt de tertiaire structuur van het enzym gedestabiliseerd en kan ook de lading van groepen in de buurt van het actieve centrum veranderen. Ongeladen basische groepen nemen bij het verlagen van de pH een H^+ -ion op, waardoor juist geladen zijgroepen ontstaan.

Verhogen van de pH

Als je de pH verhoogt, kunnen groepen als de COOH -groep juist een H^+ -ion verliezen, waardoor een geladen groep ontstaat, en een geladen NH_3^+ -groep zal een H^+ -ion afgeven en daardoor ongeladen worden. Ook dan treedt destabilisering van het enzym op. In een levend organisme is de pH binnen een bepaalde omgeving constant, maar kan van plaats tot plaats sterk verschillen, zoals in het spijsverteringskanaal. Spijsverteringsenzymen hebben daardoor zeer verschillende pH-optima, zie figuur 17.23.



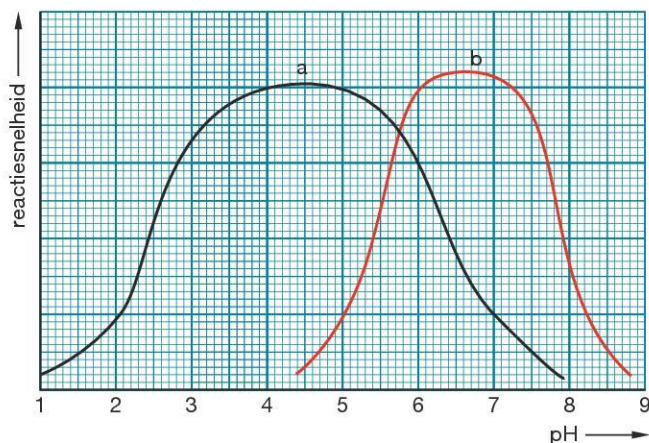
17.22 Gelijke ladingen stoten elkaar af; tussen plus en min vindt aantrekking plaats.

Temperatuuroptimum

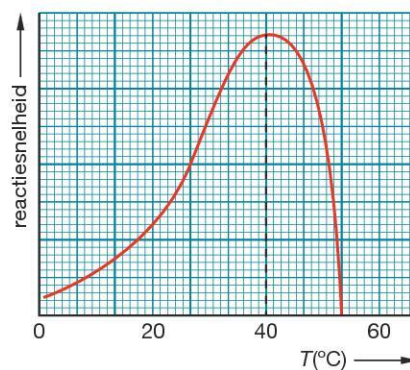
In warmbloedige organismen is een enzym bij een constante temperatuur werkzaam, het **temperatuuroptimum**. In koudbloedige organismen en bij reacties buiten een levend organisme is dat niet het geval. Het diagram in figuur 17.24 geeft aan hoe de snelheid van een enzymatische reactie van de temperatuur afhangt.

Bij lage temperatuur is het verloop exponentieel, in overeenstemming met de vuistregel dat de reactiesnelheid verdubbelt bij elke tien graden temperatuurstijging. Boven een bepaalde temperatuur treedt denaturatie van het enzym op. Het enzymmolecuul verliest zijn tertiaire structuur en daarmee zijn werkzaamheid.

Verhogen van de temperatuur is dus uiteindelijk desastreus voor het enzym, maar verlagen van de temperatuur heeft wel invloed op de snelheid van de katalyse, maar geen invloed op de tertiaire structuur van het enzym.



17.23 De activiteit van twee enzymen, afhankelijk van de pH. Enzym a heeft een vlak pH-optimum en enzym b heeft een scherp pH-optimum.



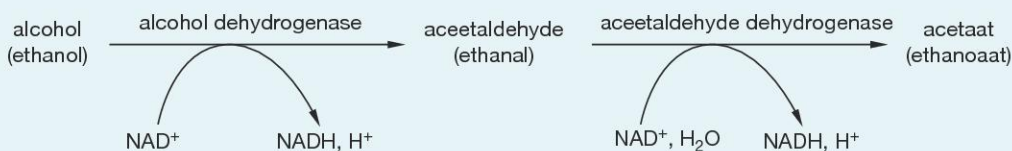
17.24 De activiteit van enzymen heeft een temperatuuroptimum.

Alcoholafbraak

Wanneer alcohol in het menselijk lichaam wordt afgebroken, gebeurt dat in een aantal stappen. In de eerste stap reageert alcohol met NAD^+ (Nicotineamide-Adenine-Dinucleotide) onder invloed van het enzym alcoholdehydrogenase. Het reactieproduct is ethanal. De niet-systematische naam van ethanal is aceetaldehyde. Vervolgens reageert aceetaldehyde door met NAD^+ onder invloed van het enzym aceetaldehyde dehydrogenase. Deze eerste twee stappen van het afbraakproces van alcohol kun je schematisch weergeven zoals in figuur 17.25. Aceetaldehyde is de stof die je misselijk maakt en je een

ziek gevoel geeft. Bij veel mensen wordt na alcoholconsumptie de alcohol wel omgezet tot aceetaldehyde, maar wordt de aceetaldehyde slechts heel langzaam omgezet tot acetaat. Dit verschijnsel wordt alcoholintolerantie genoemd en komt onder andere in veel Aziatische landen voor.

Aziatische mensen hebben een actievere variant van het enzym alcoholdehydrogenase, waardoor er sneller aceetaldehyde ontstaat. Ze hebben echter een minder actieve variant van aceetaldehyde dehydrogenase. Dit komt door mutaties in het DNA.



17.25

● Opdracht B16

Samenvatting

- Een enzym is een eiwit en werkt als biokatalysator. Een enzym is stereospecifiek. De tertiaire structuur van een enzym is essentieel voor het functioneren.
- De plaats waar substraat en enzym aan elkaar hechten heet het actieve centrum van het enzym. Een reactie onder invloed van een enzym verloopt in drie stappen: het enzym bindt zich aan het substraat, de enzymgekatalyseerde reactie vindt plaats, waarna de afscheiding van de reactieproducten verloopt. Alle stappen zijn evenwichten.
- Voor elk enzym is er een optimale pH. Bij een hogere en/of lagere pH verloopt de reactie langzamer of niet.
- Voor elk enzym is er een optimale temperatuur. Bij een hogere en/of lagere temperatuur verloopt de reactie langzamer of niet. Bij te hoge temperaturen treedt denaturatie op.

Opdrachten

A 14

- a Beschrijf de werking van een enzym met behulp van het begrip 'substraat'.
- b Leg uit waardoor enzymen zeer specifiek werken.
- c Leg uit waardoor denaturatie leidt tot verlies van enzymwerking.

B 15

- a Waarom mag de pH in speeksel 6,00 zijn, maar in het bloed liefst 7,41 (met een verschil van hoogstens $\pm 0,05$)?
- b Leg uit waardoor hoge koorts zeer gevaarlijk voor mensen is.

B 16 

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

Bij mensen die onder invloed zijn van alcohol leidt meer drinken niet tot verhoging van de snelheid waarmee de alcohol in het lichaam wordt afgebroken.

- a Leg uit waardoor verhoging van de alcoholconcentratie geen invloed heeft op de afbraaksnelheid.
- b Leg aan de hand van de stof aceetaldehyde uit waardoor mensen met alcoholintolerantie geen alcohol drinken.

Di-ethyleenglycol is een stof waaruit bij afbraak in het lichaam het zeer giftige oxaalzuur ontstaat. Als iemand is vergiftigd met di-ethyleenglycol, wordt gewone alcohol, bijvoorbeeld in de vorm van jenever, als tegengif toegediend. Het merendeel van de di-ethyleenglycol wordt dan niet afgebroken, maar verlaat het lichaam via de urine. Bij de afbraak van di-ethyleenglycol en gewone alcohol is hetzelfde enzym betrokken.

- c Wat kun je uit het voorgaande afleiden over de bindingssterkte tussen beide substraten en het enzym?

B 17

De ziekte van Parkinson is een neurologische aandoening. Wanneer van een bepaalde soort hersencellen een aanzienlijk deel is afgestorven, komt deze ziekte tot uiting. Deze hersencellen produceren de stof dopamine. Dopamine speelt een rol in de overdracht van impulsen vanuit de hersenen naar het ruggenmerg. In deze hersencellen wordt dopamine via twee opeenvolgende reacties gevormd. In de eerste reactie wordt uit L-tyrosine met behulp van een enzym L-dopa gevormd. In de tweede reactie ontstaat dopamine uit L-dopa, onder invloed van het enzym L-dopa-decarboxylase.

L-dopa wordt vaak aan parkinsonpatiënten toegediend. De bedoeling is dat het toegediende L-dopa in de hersenen wordt omgezet tot dopamine. Het enzym L-dopa-decarboxylase komt echter ook in de bloedbaan voor, zodat de omzetting van L-dopa tot dopamine al voor een groot deel buiten de hersenen plaatsvindt. Om dit te voorkomen, wordt het L-dopa vaak samen met een zogenoemde enzymremmer toegediend. Deze enzymremmer bestaat uit moleculen die niet tot de hersencellen kunnen doordringen. Stel een hypothese op waarmee je kunt verklaren dat de enzymremmer de omzetting van L-dopa tot dopamine in de bloedbaan tegengaat.

C 18 ★

Voor zuur-basekoppels (HB/B^-) geldt dat als $\text{pH} = \text{pK}_z$, dan is $[\text{HB}] = [\text{B}^-]$.

Uit bovenstaande relatie volgt dat bij $\text{pH} < \text{pK}_z$ het zuur-basekoppel overwegend in de zure vorm voorkomt.

In een in water opgelost eiwitmolecuul zijn vrijwel altijd ladingen aanwezig. Deze ladingen zijn in hoge mate bepalend voor de structuur van de eiwitten en voor de werking van een eiwit als enzym. Dit is dus afhankelijk van de pH van de oplossing en van de pK_z -waarden van de groepen. In onderstaande tabel zijn de pK_z -waarden bij 25 °C van de zure groepen in een aantal aminozuren opgenomen. Je mag aannemen dat deze pK_z -waarden in een eiwit dezelfde zijn als in de afzonderlijke aminozuren.

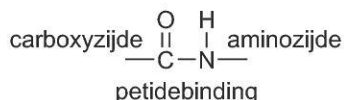
aminozuur	pK_z zuurgroep	pK_z aminogroep	pK_z zijketen
alanine	2,3	9,9	
glycine	2,4	9,8	
fenylalanine	1,8	9,1	
serine	2,1	9,2	
valine	2,3	9,6	
asparaginezuur	2,0	10,0	3,9
glutaminezuur	2,2	9,7	4,3
histidine	1,8	9,2	6,0
cysteïne	1,8	10,8	8,3
tyrosine	2,2	9,1	10,9
lysine	2,2	9,2	10,8
arginine	1,8	9,0	12,5

17.26

Bij pH = 8,0 hebben de moleculen van het tetrapeptide Asp-Lys-His-Ala gemiddeld netto lading 0.

- a** Leg uit dat dit in overeenstemming is met de gegevens uit de tabel.

Aan een peptidebinding kunnen twee kanten worden onderscheiden: de carboxyzijde en de aminozijde, zie de tekening hieronder.



Het enzym trypsine katalyseert specifiek de hydrolyse aan de carboxyzijde van peptidebindingen waarbij de aminozuren arginine en lysine zijn betrokken. Dat komt doordat de lange, geladen zijketens van deze twee aminozuren uitstekend in een 'holte' (pocket) passen, die is gevormd door de eiwitketen van dit enzym. Als zo'n zijketen eenmaal in die pocket zit, ligt de peptidebinding aan de carboxyzijde van het aminozuur precies goed ten opzichte van het katalytisch actieve centrum van het enzym.

Hieronder zie je de primaire structuur, met éénletterafkortingen voor de aminozuren, van een toxine (giftige stof) die kan worden geproduceerd door *Helicobacter pylori*, een bacterie die in de maag van mensen kan voorkomen.

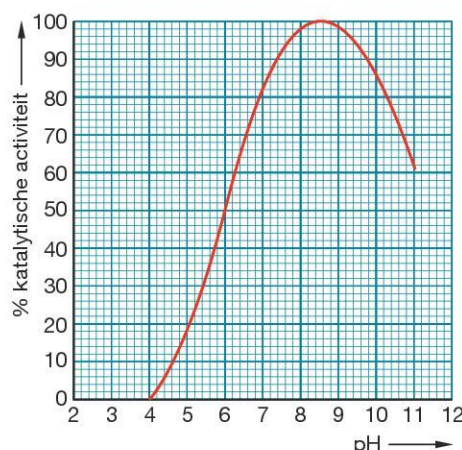
MATKHGKNSWKTLTKISFLGCKVWALLKR

Het eiwit wordt gehydrolyseerd onder invloed van trypsine.

- b** Geef met éénletterafkortingen de peptiden die bij deze hydrolyse ontstaan.

De pH-waarde waarbij 50% van het enzym aan het substraat is gebonden, komt overeen met de pK_z -waarde van de zijketen van het aminozuur waar het substraat bindt. Een zuur-basekoppel in een zijketen van een bepaald aminozuur dat ligt in het actieve centrum van het enzym trypsine zorgt voor de katalytische activiteit.

In de grafiek in figuur 17.27 staat het percentage van de trypsinemoleculen die katalytisch actief zijn, uitgezet tegen de pH.



17.27

- c** Bereken aan de hand van de grafiek of dit katalytisch actieve zuur-basekoppel in de zure of de basische vorm zit.
- d** Ga aan de hand van de grafiek en de tabel na welk aminozuur in het actieve centrum van trypsine bij deze hydrolyse reactie betrokken zou kunnen zijn.

Experimenten

17.4 Enzymatische ontleding van waterstofperoxide

Door metingen aan de reactiesnelheid bepaal je de invloed van een enzym op de ontleding van waterstofperoxide.

17.5 Enzymactiviteit

In dit experiment onderzoek je de invloed van de pH en de temperatuur op de werking van een enzym.

- Volledige instructie *Chemie Overal* online

Je kunt nu

- uitleggen wat enzymen zijn;
- uitleggen hoe enzymen werken;
- uitleggen welke omstandigheden de werking van enzymen beïnvloeden.

Insuline

Na het eten van koolhydraten worden deze door spijsverteringsenzymen omgezet in onder andere glucose. Dit wordt via de darmen en het bloed naar de cellen getransporteerd. Voor opname van glucose in cellen is het eiwithormoon insuline nodig. Bij een tekort aan insuline spreek je van suikerziekte. Mensen met deze aandoening moeten regelmatig insuline spuiten.



Je leert

- wat er in cellen gebeurt;
- hoe het celmembraan is opgebouwd;
- hoe stoffen de cel in- en uitgaan.

17.4 Celmembraan en transport

De cel

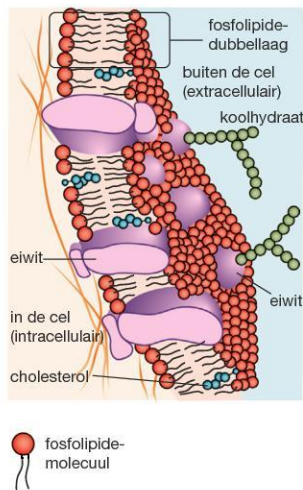
Om te snappen hoe stoffen zoals glucose de **cel** in en andere stoffen de cel uit kunnen, moet je eerst iets weten over de cel en de bouw van het membraan. Het **celmembraan** houdt de inhoud van de cel gescheiden van de omgeving. In de cel zit het cytoplasma, een stroperige vloeistof waarin zich de kern bevindt. In het cytoplasma verlopen de meeste stofwisselingsprocessen van de cel. Stoffen worden daar omgezet in deeltjes waarmee onderdelen van de cel kunnen worden gebouwd. Er komt bij deze stofwisseling energie vrij en die energie wordt weer naar de plaats gebracht waar energie nodig is om chemische reacties te laten plaatsvinden.



17.28 Model van de cel

Op de ribosomen in het cytoplasma worden de eiwitten gevormd die het lichaam nodig heeft, zoals insuline en hemoglobine. De aminozuren, die de grondstoffen zijn voor de bouw van deze lichaamseigen eiwitten, zijn ontstaan bij de hydrolyse van de eiwitten in je voedsel.

In de celkern bevinden zich de chromosomen. Zoals in hoofdstuk 16 is besproken bestaat een chromosoom uit DNA-moleculen die om een staafvormig steuneiwit zijn gewikkeld. Vanuit het DNA in de kern wordt het mRNA gevormd. Dit mRNA kan de code bevatten voor de productie van een bepaald eiwit. Het mRNA verlaat de kern en zorgt op de ribosomen in het cytoplasma voor het koppelen van de aminozuren tot eiwitten.



17.29 Schematische tekening van een celmembraan

De bouw van het celmembraan

Celmembranen zijn opgebouwd uit een dubbele laag van fosfolipiden (vetachtige stoffen) en bevatten daarnaast eiwitten, koolhydraten en cholesterol, zie figuur 17.29.

Een **fosfolipide** lijkt op een triglyceride. De glycerol is hier ook drie keer veresterd, maar slechts twee keer met een vetzuur. De derde $-OH$ -groep van de glycerol is veresterd met fosforzuur. Aan de fosfaatgroep kunnen verschillende soorten kleine moleculen gebonden zijn, zoals het aminozuur serine of een alcohol, zie figuur 17.30. De fosfaatgroep en de andere polaire groepen vormen de hydrofiele kop en de vetzuren de hydrofobe staarten. De staarten steken naar elkaar toe en de koppen steken naar buiten toe: naar de waterige celinhoud en naar de waterige omgeving van de cel.

In het celmembraan zitten naast fosfolipiden grote eiwitten die door het membraan steken en die vaak betrokken zijn bij het transport van stoffen. Deze eiwitten laten stoffen of ionen door als gevolg van een kleine elektrische stroom, zoals bij zenuwcellen, of als gevolg van de binding van een stof aan de buitenkant van het eiwit. Zulke membraaneiwitten heten **receptoren**. De binding aan een receptor is vaak stereospecifiek, net als bij enzymen.

Transport van stoffen

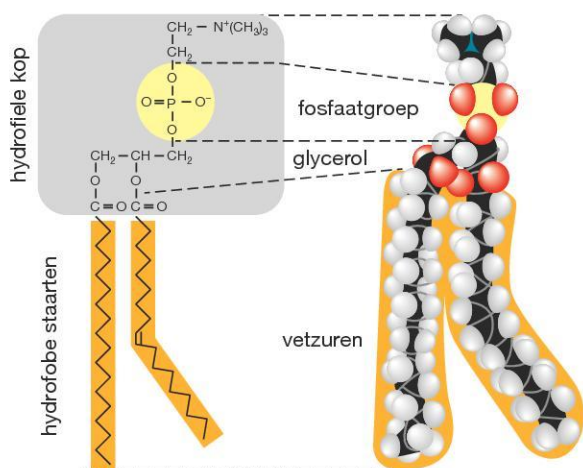
Het transport van stoffen door een membraan kan op twee manieren plaatsvinden: passief, hier is geen energie voor nodig en actief, waar wel energie voor nodig is.

Passief transport

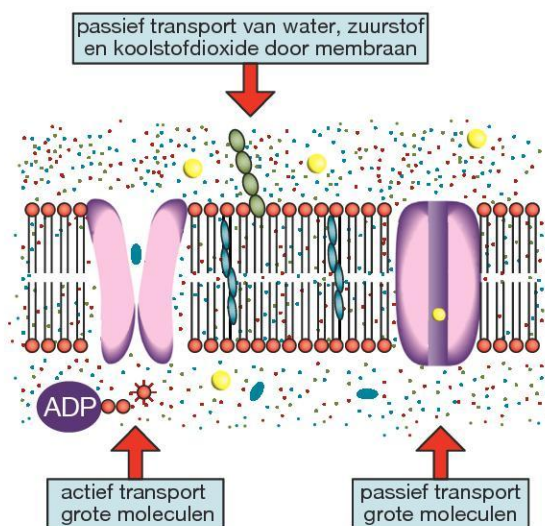
Stoffen die uit kleine ongeladen moleculen bestaan, zoals zuurstof-, koolstofdioxide- en stikstofmoleculen kunnen gemakkelijk door de fosfolipidenlagen heen diffunderen. Grotere moleculen kunnen veel moeilijker het membraan passeren. Om dat toch mogelijk te maken bevat het celmembraan speciale eiwitten die als transportenzymen werkzaam zijn.

Actief transport

Het transport kan ook actief plaatsvinden. Het cytoplasma bestaat voor het grootste deel uit water met opgeloste stoffen. Doordat de fosfolipiden in het celmembraan vetachtige stoffen zijn, stoten ze in water oplosbare stoffen af. Deze moleculen kunnen niet zonder meer door het celmembraan diffunderen. Voor dit proces is energie nodig. Die energie wordt geleverd door **ATP**, adenosinetriphosfaat (zie Binas tabel 67L). ATP wordt daarbij omgezet in ADP. Het ADP wordt weer omgezet in ATP door de energie die vrijkomt bij exotherme reacties die binnen en buiten de cel verlopen.



17.30 Structuurformule en molecuulmodel van een fosfolipide



17.31 Model van actief en passief transport via het celmembraan

Poolkevers

Sommige kevers, zoals de *Upis ceramboides* (zie figuur 17.32), kunnen in poolgebieden een temperatuur van $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ overleven. Dat hebben ze onder andere te danken aan twee mechanismen die bevriezing van het water in hun lichaam voorkomen.

Mechanisme 1: ijsbindende eiwitten

Sommige poolkevers maken speciale eiwitten (AFP's) aan. De AFP-moleculen binden met waterstofbruggen aan kleine ijskristallen en voorkomen zo het uitgroeien tot grotere ijskristallen die cellen en/of organen zouden beschadigen. Een goed gekarakteriseerde AFP van een kever is TmAFP (zie figuur 17.33). AFP's van andere kevers lijken hierop: karakteristiek zijn de windingen van telkens twaalf aminozuren. De aminozuurvolgorde van iedere winding kun je weergeven met de codering TCTxSxxCxxAx. In deze codering wordt elk aminozuur weergegeven met één letter (zie Binas tabel 67H) en is een x gebruikt voor een willekeurig aminozuur.

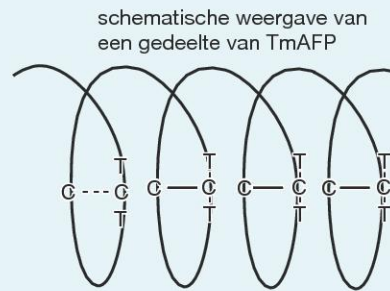


17.32 Een poolkever komt uit de sneeuw.

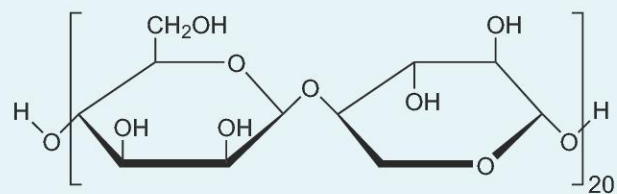
Mechanisme 2: ijsbindende suikers

Behalve de ijsbindende eiwitten hebben de kevers een tweede beschermingsmechanisme. Op de celmembranen van bepaalde cellen van de kevers bevinden zich moleculen van een polysacharide, waarin de monosachariden mannose (afgekort Man) en xylose (afgekort Xyl) elkaar afwisselen. In figuur 17.34 zie je een voorbeeld van zo'n molecuul. Deze moleculen verhinderen de vorming van ijskristallen tussen de cellen.

Naar: CE vwo 2016-II



17.33 Schematische weergave van een gedeelte van TmAFP



17.34

● Opdracht B21

Samenvatting

- Een celmembraan bestaat uit een dubbele laag fosfolipiden. De hydrofobe staarten vormen een apolaire binnenlaag en de hydrofiële koppen vormen de polaire buitenlagen.
- Transport van stoffen door het celmembraan vindt onder andere passief plaats door diffusie tussen fosfolipiden in het membraan of met behulp van transportenzymen. Actief transport heeft energie nodig; die wordt geleverd door ATP.

Opdrachten

A 19

- a** Beschrijf de bouw van een celmembraan.
b Beschrijf de bouw van een fosfolipide.

A 20

Leg uit hoe het kan dat zuurstof-, koolstofdioxide- en stikstofmoleculen gemakkelijk door de fosfolipidenlagen heen diffunderen.

B 21

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

- a** Geef het gedeelte ~ TCT ~ uit het ijsbindende eiwit in een structuurformule weer en geef weer hoe een molecuul water aan dit gedeelte gebonden zit.

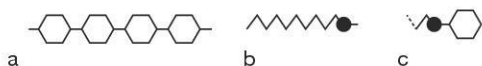
Bij het onderzoek naar mechanisme 2 werd de polysaccharide uit figuur 17.34 onder invloed van een enzym bij pH = 7,5 volledig gehydrolyseerd. De ontstane oplossing bleek het beschermende effect tegen bevriezing niet te bezitten.

- b** Geef de reactievergelijking in structuurformules van de volledige hydrolyse van het polysaccharide in figuur 17.34.

In de oplossing die ontstond na de hydrolyse waren ook vrije vetzuren aanwezig. Een onderzoeker vermoedde dat moleculen van de polysaccharide veresterd zijn met één of meerdere moleculen van de vetzuren. Hij stelde de volgende hypothese op: 'Moleculen van de antivriesstof bevinden zich in de vloeistof buiten de cel. Deze moleculen zijn verankerd in het celmembraan door de staarten van één of meerdere vetzuren.'

- c** Teken schematisch een celmembraan met fosfolipiden en geef hierbij weer hoe een molecuul van de antivriesstof volgens deze onderzoeker in het celmembraan verankerd is. Geef het polysaccharidegedeelte weer als in figuur 17.35a, het vetzuurgedeelte als in figuur 17.35b en de verestering als in figuur 17.35c.

Naar: CE vwo 2016-II



17.35

B 22

Elke keer dat je met je ogen knippert, wordt traanvocht in een dun laagje gelijkmatig over het oog verdeeld. Dit dunne laagje wordt de traanfilm genoemd en dient om het oogoppervlak glad te houden en te beschermen tegen de buitenlucht.

De traanfilm bestaat uit drie lagen: een slijmlaagje, een waterlaagje en een vetlaagje, zie figuur 17.36a. Het vetlaagje bevat onder andere fosfolipiden.

Neem de laagjes uit figuur 17.36a over en teken hierin twee fosfolipidemoleculen in de traanfilm. Teken de fosfolipidemoleculen zoals in figuur 17.36b.

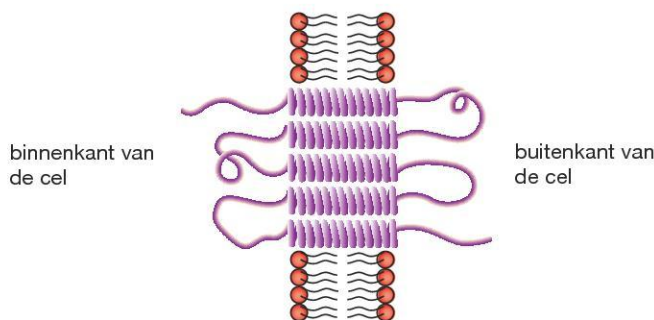
Naar: CE havo 2016-I



17.36

C 23

Communicatie tussen cellen en hun omgeving (bijvoorbeeld het transport van ionen en voedingsstoffen) komt vooral tot stand door transmembraaneiwitten met specifieke functies. Transmembraaneiwitten bevatten zogenaamde transmembraandomeinen. Dit zijn karakteristieke peptidegroeperingen van twintig aminozuren, sequenties genaamd, die een links-draaiende spiraalvormige structuur vormen: een alfa-helix. De alfa-helix steekt dwars door het membraan heen en staat dus loodrecht op het vlak van het membraan, zie figuur 17.37.



17.37

De zijketens van de aminozuren in de alfa-helixstructuur dringen door in de lipidenlaag van het celmembraan, min of meer parallel aan het vlak van het membraan om het membraaneiwit te verankeren. Cyclische aminozuren kunnen niet in een alfa-helixstructuur worden geïntegreerd. De lengte van een alfa-helix langs de helix-as neemt toe met 0,15 nm per aminozuureenheid, terwijl er 3,5 aminozuureenheden nodig zijn voor een complete winding van 360°.

- a Bereken de gemiddelde lengte van de vetzuurstaarten van de lipiden in het celmembraan.

In de tabel hieronder staan drie peptidesequenties van twintig aminozuren (A, B en C). De aminozuren zijn hier niet aangegeven met een drielettersymbool maar met een éénlettersymbool, zie Binas tabel 67H1.

	1	5	10	15	20
A	IVVG	PLLA	PVAGV	PYWLYM	
B	IVVG	LLLA	LVAGV	VYWLYM	
C	IVVG	KLLA	RVAGV	KYWLYM	

- b Welke is de meest waarschijnlijke kandidaat voor een transmembraandomein? Geef voor elke sequentie argumenten waarom ze meer of minder geschikt is.

Een aantal transmembraaneiwitten bevat meer dan één transmembraandomein. De aanwezige transmembraandomeinen (dit zijn soms wel meer dan tien alfa-helixstructuren naast elkaar) kunnen dan met elkaar koppelen en bijvoorbeeld afgeschermd kokers vormen, deze zijn dan transportkanalen voor geladen ionen. Deze kanalen kunnen eventueel worden gestabiliseerd door de aanwezigheid van het aminozuur cysteïne en de vorming van covalente zwavelbruggen tussen verschillende transmembraandomeinen.

- c Leg uit op hoeveel plaatsen en op welke plaatsen cysteïne dient te worden ingebouwd om een maximale stabilisatie te realiseren tussen twee parallelle identieke transmembraandomeinen van twintig aminozuren als de eerste cysteïne is ingebouwd in positie 2.

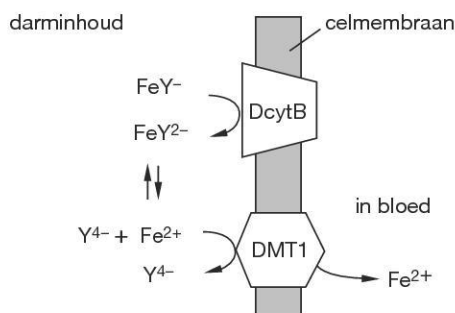
C 24

Circa 1,6 miljard mensen lijden aan bloedarmoede. Vooral in ontwikkelingslanden is bloedarmoede een probleem, doordat voedsel vaak arm aan ijzerionen is. Daarom wordt gezocht naar manieren waarop voedsel met goed opneembaar ijzer kan worden verrijkt.

De Nederlandse firma AkzoNobel heeft een stof ontwikkeld om voedsel met goed opneembare ijzerionen te verrijken: Ferrazone (NaFeY).

Ferrazone is een zout dat bestaat uit Na^+ -ionen en FeY^- -ionen. Een FeY^- -ion wordt gevormd als Fe^{3+} en het zwakke zuur EDTA (H_4Y) worden samengevoegd. Als Ferrazone via voeding het menselijk lichaam binnenkomt, lost het volledig op en valt het uiteen in Na^+ en FeY^- . In figuur 17.38 is de opname van Fe^{2+} uit FeY^- in de darmen weergegeven.

In de twaalfvingerige darm zet het enzym DcytB FeY^- om tot FeY^{2-} . Het eiwit DMT1 transporteert Fe^{2+} vervolgens door het celmembraan van de darmwand: het ijzer is nu opgenomen en kan door het lichaam worden gebruikt voor bijvoorbeeld zuurstoftransport.



17.38

In Binas tabel 47 is informatie te vinden over de ligging van evenwichten waarin FeY^- en FeY^{2-} voorkomen. Uit de tabel kun je concluderen dat de omzetting van FeY^- tot FeY^{2-} ervoor zorgt dat er ter plekke meer vrije ijzerionen in oplossing komen, waardoor er meer ijzerionen in de darmwand worden opgenomen.

- a Leg met behulp van Binas tabel 47 uit dat de omzetting van FeY^- tot FeY^{2-} ervoor zorgt dat er ter plekke meer vrije ijzerionen in oplossing komen.

De pH dicht bij de darmwand is laag. Dit draagt bij aan het vrijkomen van de ijzer(II)ionen uit FeY^{2-} .

- b Leg uit dat de lage pH bijdraagt aan het vrijkomen van de ijzer(II)ionen uit FeY^{2-} .

De vrije Fe^{2+} -ionen worden door het zogeheten ionkanaal van het eiwit DMT1 getransporteerd. Het ionkanaal wordt gevormd door enige α -helices van het eiwit. In de eiwitketen bevindt zich een aminozuureenheid Asp. Men vermoedt dat deze aminozuureenheid een rol speelt in het binden en transporteren van Fe^{2+} .

De zijketen van Asp bevat een negatieve lading en wordt schematisch weergegeven met Asp^- . Het fragment in DMT1 dat de bindingsplek bevat is $\sim \text{Leu} - \text{Asp}^- - \text{Pro} \sim$.

- c Geef het fragment $\sim \text{Leu} - \text{Asp}^- - \text{Pro} \sim$ weer in een structuurformule. Geef in deze structuurformule ook de negatieve lading aan.

Naar: CE vwo 2014-II

Je kunt nu

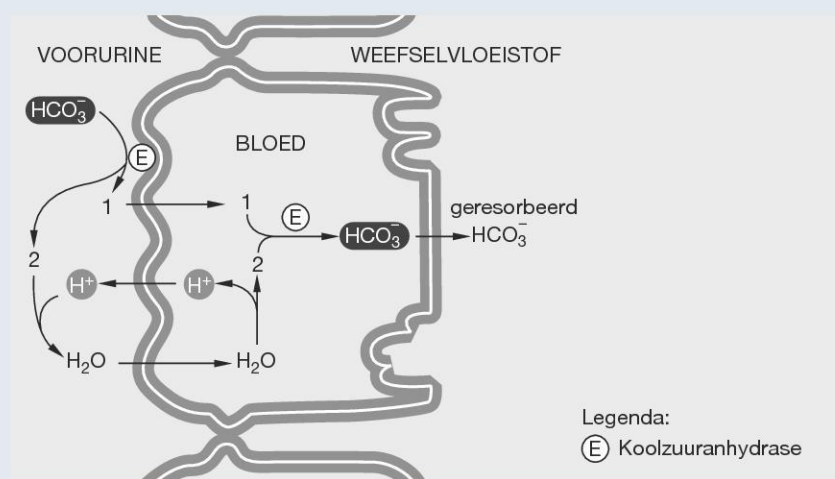
- uitleggen hoe het celmembraan is opgebouwd;
- uitleggen hoe het transport van stoffen de cel in en uit verloopt.

Afsluiting

Oefenopdrachten

- 1 Wandelen en klimmen hoog in de bergen is niet zonder risico's. Een daarvan is hoogteziekte. Zonder adequaat handelen kan hoogteziekte een dodelijke afloop hebben. Naarmate je hoger komt, neemt de luchtdruk af. De ijle lucht bevat nog steeds ongeveer 20% zuurstof, maar als je hoger komt bevat elke ademteug steeds minder zuurstofmoleculen. Een ademteug ter hoogte van het basiskamp op de Mount Everest (5334 m) bevat nog maar 53% van het aantal zuurstofmoleculen in vergelijking met een ademteug op zeeniveau. Een laag zuurstofgehalte in het bloed kan hoogteziekte veroorzaken. Hoogteziekte merk je aan hoofdpijn met daarbij misselijkheid, slapeloosheid en/of vermoeidheid. De gevoeligheid voor hoogteziekte verschilt van persoon tot persoon en is niet gekoppeld aan leeftijd, geslacht, conditie of ervaring. Hoogteziekte kan, indien onbehandeld, uitmonden in hersenoedeem (vochtophopping in de hersenen) en longoedeem (vochtophopping in longweefsel) en is dan levensbedreigend.

Een veelgebruikt medicijn om een snellere aanpassing aan hoogte mogelijk te maken en daardoor de kans op hoogteziekte te verkleinen, is acetazolamide. Acetazolamide remt het enzym koolzuuranhydrase. Dit enzym is in veel typen cellen aanwezig, zoals rode bloedcellen. In de cellen aan de buitenkant van nierbuisjes is koolzuuranhydrase betrokken bij de regulatie van de pH van het inwendig milieu (zie afbeelding 17.39).



17.39

In figuur 17.39 zijn twee tussenproducten met respectievelijk nummer 1 en nummer 2 aangegeven.

a Noteer de formules van deze twee tussenproducten.

Door het gebruik van acetazolamide daalt de pH van het bloed.

b Leg dit uit aan de hand van de gegevens in figuur 17.39.

De activiteit van veel enzymen varieert met de pH. De oorzaak hiervan is soms de aanwezigheid van een zure of basische groep in het actieve centrum. Alleen de geladen óf de ongeladen groep is dan katalytisch actief.

Het enzym koolzuuranhydrase heeft drie histidine-eenheden in het actieve centrum. Het enzym is actief als de histidine-eenheden ongeladen zijn.

- c** Voorspel op grond van dit gegeven of de enzymwerking van koolzuuranhydrase een optimum heeft bij hoge of lage pH.

De koolzuurbuffer $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$, is de belangrijkste buffer in je bloed.

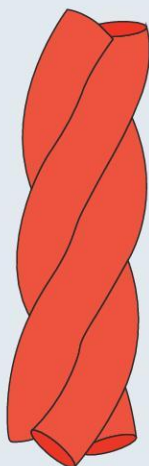
- d** Bereken de verhouding tussen HCO_3^- en H_2CO_3 . Bij lichaamstemperatuur is de K_z van dit evenwicht gelijk aan $8,0 \cdot 10^{-7}$. De pH van het bloed is 7,4.

Naar: CE biologie vwo 2018-I

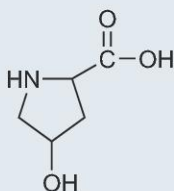


Leer wordt gemaakt van huiden van dieren. Hierbij ondergaan de huiden eerst een aantal bewerkingen waarbij hoofdzakelijk collageen overblijft. Collageen is een eiwit dat voor de stevigheid van weefsels zorgt.

In een artikel over de bereiding van leer staat het volgende over collageen.



17.40



17.41 Hydroxyproline

Collageen wordt allereerst gekenmerkt door het hoge gehalte glycine: één glycine-eenheid op elke derde plaats in de aminozuurketen. Ook heeft het een hoog gehalte proline. In de aminozuurketen zitten de glycine-eenheden en proline-eenheden vaak naast elkaar. En ten slotte heeft het een kenmerkend hoog gehalte hydroxyproline. Meestal zit een hydroxyproline-eenheid naast een proline-eenheid.

De aanwezigheid van proline zorgt ervoor dat de keten een linksdraaiende spiraal wordt. De aanwezigheid van glycine op elke derde plaats zorgt ervoor dat drie van die spiralen in elkaar draaien tot een drievoudige, rechtsdraaiende spiraal (zie figuur 17.40). De aanwezigheid van hydroxyproline heeft een sterk stabiliserend effect door waterstofbruggen.

Naar: Chemical Society Reviews

In het tekstfragment worden aminozuren genoemd die kenmerkend zijn voor collageen. Ook kun je uit het tekstfragment afleiden welke aminozuurvolgorde kenmerkend is voor collageen. Deze informatie kun je samenvatten in een structuurformule van een stukje uit het midden van de eiwitketen. Om alle informatie weer te geven moet dit stukje bestaan uit vier aminozuureenheden.

- a** Geef een structuurformule van zo'n stukje eiwit dat uit vier aminozuureenheden bestaat. Dit stukje moet beginnen met een glycine-eenheid en het komt uit het midden van het eiwitmolecuul. De structuurformule van hydroxyproline zie je in figuur 17.41.

In een bepaalde zin in het tekstfragment wordt de secundaire structuur van collageen beschreven.

- b** Schrijf de zin uit het tekstfragment over waarin de secundaire structuur wordt beschreven.

Het eiwit collageen komt bij zoogdieren onder andere voor in de huid, botten, pezen, bloedvaten en tanden. Een collageenvezel is opmerkelijk sterk: er is ten minste 10 kg nodig om een vezel met een diameter van 1 mm te laten breken.

De sterkte van de collageenvezel is te danken aan verschillende aanpassingen aan de polypeptideketen nadat deze is gevormd. Eén van de aanpassingen die leidt tot versteviging van de collageenvezel is de hydroxylering van het aminozuur proline. Bij dit proces, dat wordt gekatalyseerd door het enzym prolylhydroxylase, worden sommige proline-eenheden voorzien van OH-groepen.



17.42 Leerlooierij in Marokko

De aanwezigheid van OH-groepen zorgt voor de mogelijkheid tot waterstofbrugvorming tussen verschillende aminozuren in de polypeptidketens, waardoor de vezel aan stevigheid wint. Alleen de proline-eenheden waarvan de carboxylgroep aan een glycine-eenheid is gebonden, worden gehydroxyleerd.

- c** Formuleer een hypothese waarom alleen de proline-eenheden waarvan de carboxylgroep aan een glycine-eenheid is gebonden, worden gehydroxyleerd.

De collageenvezel wordt ook op een andere manier verstevigd, namelijk doordat de zijketens van lysine-eenheden met elkaar reageren onder vorming van dwarsverbindingen. Een enzym dat daarbij betrokken is, is lysyloxidase.

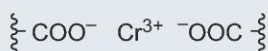
Van het enzym lysyloxidase blijken verschillende varianten te bestaan. Deze varianten verschillen in de aminozuursamenstelling van het enzym, zonder dat de werking van het enzym anders is. Bij sommige mensen komt op plaats 158 in de eiwitketen van lysyloxidase het aminozuur arginine (Arg) voor, terwijl bij andere mensen op deze plaats het aminozuur glutamine (Gln) is te vinden. Deze verschillen ontstaan door een mutatie in het gen dat codeert voor lysyloxidase.

- d** Leg uit wat het nummer is van het basenpaar dat anders is in het gen voor lysyloxidase. Neem aan dat het basenpaar met nummer 1 tot het triplet behoort dat codeert voor het aminozuur met nummer 1.
- e** Geef de symbolen van de basen die anders zijn (zie vraag d) in het gen voor lysyloxidase van de mensen die glutamine in plaats van arginine in de eiwitketen van lysyloxidase hebben. Noteer je antwoord als volgt:
base op de coderende streng: ...
base op de matrijsstreng: ...

Na het vrijmaken van het collageen uit de huiden vindt het zogenoemde looien plaats (figuur 17.42). Bij het looien van leer worden de eiwitketens aan elkaar gekoppeld, waardoor het leer minder krimpt onder invloed van verschillen in temperatuur en vochtigheidsgraad. Ook is geloid leer beter bestand tegen de inwerking van micro-organismen.

Voor het looien van leer wordt veelal gebruikgemaakt van chroom(III)sulfaat. De koppeling van de eiwitketens wordt veroorzaakt door chroom(III)ionen en geïoniseerde COOH-groepen uit de zijketens van aminozuureenheden zoals asparaginezuur en glutaminezuur. Voor het verkrijgen van geloid leer van goede kwaliteit wordt tijdens het looiproces, dat plaatsvindt in een oplossing van chroom(III)sulfaat, het ionisatiepercentage van de COOH-groepen voortdurend geregeld. Dit wordt bereikt door de keuze van de pH.

- f** Bereken hoeveel procent van de COOH-groepen van de asparaginezuureenheden van collageen zijn geïoniseerd bij pH = 3,00. Bij deze berekening mag je de COOH-groepen en de COO⁻-groepen beschouwen als opgelost. De K_a van asparaginezuureenheden in collageen heeft een waarde van $1,6 \cdot 10^{-4}$.



17.43

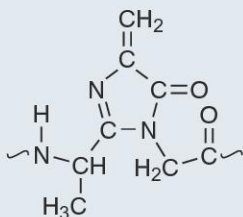
Bij het looien ontstaat tussen de ketens een koppeling, die schematisch kan worden weergegeven zoals in figuur 17.43.

Geloid leer heeft een goede kwaliteit als de koppelingen tussen de eiwitketens niet alleen aan het oppervlak, maar ook in het binnenste van het collageen ontstaan. Daartoe wordt gestart bij een pH waarbij de chroom(III)ionen eerst in het collageen kunnen binnendringen. Vervolgens wordt de pH zodanig veranderd dat de koppelingen tussen de ketens tot stand komen.

- g** Leg uit of je, nadat de chroom(III)ionen het collageen zijn binnengedrongen, de pH moet verlagen of verhogen om de koppelingen tussen de ketens tot stand te brengen.

Naar: CE vwo 2002-I en CE vwo 2006-II

- 3** PAL is een enzym dat voorkomt in planten en micro-organismen. Uit onderzoek naar de structuur van PAL bleek dat in PAL een opvallende kenmerkende groep aanwezig is: de zogeheten MIO-groep. De MIO-groep is in figuur 17.44 weergegeven. De MIO-groep wordt bij de synthese van PAL gevormd door ringsluiting van een deel van de eiwitketen dat kan worden weergegeven met $\sim \text{Ala} - \text{Ser} - \text{Gly} \sim$. De eerste stap in de vorming van de MIO-groep is de sluiting van de in figuur 17.44 weergegeven vijfkring door een additiereactie binnen het enzymmolecuul. In de reacties die leiden tot MIO worden twee watermoleculen afgesplitst. Hierbij wordt onder andere de $\text{C}=\text{C}$ -binding gevormd.

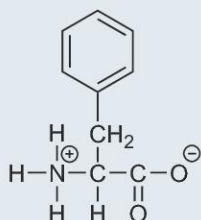


17.44 MIO-groep

- a** Geef de structuurformule van het gedeelte $\sim \text{Ala} - \text{Ser} - \text{Gly} \sim$. Geef in de structuurformule met pijlen aan welke twee atomen bij de ringsluiting met elkaar worden verbonden. Omcirkel in de structuurformule de H-atomen en de O-atomen die bij de vorming van de MIO-groep worden afgesplitst.

De onderzoekers vermoedden dat de MIO-groep een rol speelt in de omzetting van fenylalanine tot kaneelzuur. Om vast te stellen welke aminozuureenheden nog meer een rol spelen bij de omzetting, hebben ze rondom de MIO-groep veranderingen aangebracht in de aminozuursamenstelling van PAL. Wanneer op positie 110 het aminozuur Phe werd ingebouwd, bleek de gevormde PAL nauwelijks nog katalytische activiteit te vertonen. In actieve PAL is op plaats 110 de aminozuureenheid Tyr (Tyr110) aanwezig.

- b** Geef twee chemische redenen waarom Phe is gekozen als vervanger van Tyr110. Licht je antwoord toe, zodat duidelijk wordt waarom dit voor het onderzoek relevante redenen zijn.



17.45 Fenylalanine (pH = 8,80)

Het pH-optimum van PAL ligt bij pH = 8,80. Bij deze pH komen moleculen fenylalanine vooral voor in de vorm zoals in figuur 17.45 is weergegeven.

De K_z van de $\sim \text{NH}_3^+$ -groep in fenylalanine bedraagt $7,4 \cdot 10^{-10}$.

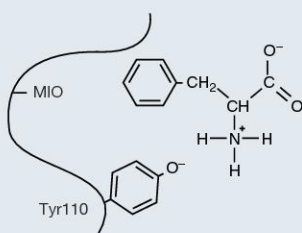
- c** Bereken hoeveel procent van de aminogroepen van fenylalanine aanwezig is als $\sim \text{NH}_3^+$ bij pH = 8,80 ($T = 298 \text{ K}$).

Nader onderzoek leidde uiteindelijk tot opheldering van de rol van de MIO-groep en van Tyr110 bij de omzetting van fenylalanine tot kaneelzuur. De volgende punten zijn vastgesteld:

- de MIO-groep bevindt zich in een holte van het enzym en katalyseert de omzetting van fenylalanine;
- de restgroep van Tyr110 bevindt zich bij de ingang van deze holte;
- bij het pH-optimum van PAL heeft de restgroep van Tyr110 een negatieve lading.

In figuur 17.46 is schematisch weergegeven hoe volgens de onderzoekers een fenylalanine-deeltje het actieve centrum van een molecuul PAL nadert. Tyr110 oefent aantrekkende en afstotende krachten uit op atoomgroepen van een fenylalanine-deeltje.

- d** Leg uit welke twee elektrostatistische interacties tussen een fenylalaninedeeltje en het Tyr110 optreden. Geef ook aan welke atoomgroep van het fenylalanine-deeltje betrokken is bij elke afzonderlijke interactie.



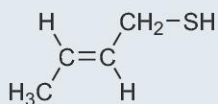
17.46

In een meting bleek een monster van 148 mg onzuivere PAL de vorming van 158 μmol kaneelzuur per minuut te katalyseren. Het monster bestond voor 90 massa-% uit PAL. De overige 10 massa-% bestond uit enzymen zonder katalytisch effect op de reactie. Met behulp van deze gegevens is het mogelijk de turnover frequency (TOF) te berekenen. De TOF is gedefinieerd als het aantal substraatmoleculen dat per minuut door één molecuul PAL kan worden omgezet.

- e** Bereken de TOF van PAL. De molaire massa van PAL bedraagt $2,75 \cdot 10^5 \text{ g mol}^{-1}$.

Naar: CE vwo 2017-I

- 4** Wanneer stinkdieren worden belaagd, scheiden zij een vloeistof af met een zeer onaangename geur. De belagers slaan daardoor op de vlucht. De samenstelling van stinkdiervloeistof is omstreeks 1895 voor het eerst onderzocht door T.B. Aldrich. De conclusie was dat stinkdiervloeistof één of meer zogenoemde thiolen bevat.
- Een thiol is een organische verbinding met de karakteristieke groep –SH. Een thiol kan worden weergegeven met de formule R – SH; hierin stelt R een organische groep voor. Alleen de stereo-isomeer met de in figuur 17.47 getekende structuurformule is in de stinkdiervloeistof aanwezig.



17.47



17.48 Een stinkdier klaar om te spuiten

- a** Leg uit waardoor van de stof met de in figuur 17.47 afgebeelde structuurformule een stereo-isomeer bestaat.
- b** Geef een mogelijke verklaring waarom slechts één van de stereo-isomeren in de stinkdiervloeistof voorkomt.

In Noord-Amerika worden huisdieren soms door stinkdieren besproeid (figuur 17.48). Ze verspreiden daarna gedurende een lange tijd een ondraaglijke stank. Om die stank te laten verdwijnen, kunnen de huisdieren worden gewassen met een basische oplossing van waterstofperoxide. Om de juiste pH te verkrijgen, wordt natriumwaterstofcarbonaat gebruikt. Aanbevolen wordt om de oplossing waarmee je het huisdier moet wassen als volgt te maken:

- neem 1 liter 3% waterstofperoxide-oplossing;
- voeg een kwart kopje (50 g) bakpoeder (natriumwaterstofcarbonaat) toe;
- voeg een theelepel afwasmiddel toe.

Het waterstofcarbonaat is een amfolyt.

- c** Leg uit of een oplossing van natriumwaterstofcarbonaat zuur, neutraal of basisch is.

De $[\text{H}_3\text{O}^+]$ van een oplossing van natriumwaterstofcarbonaat is zowel afhankelijk van de K_z als van de K_b van HCO_3^- . Bovendien is de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ afhankelijk van K_w (de waterconstante).

De volgende formule geldt: $[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{\frac{K_w \times K_z}{K_b}}$

- d** Bereken met behulp van bovenstaande formule de pH van een oplossing van natriumwaterstofcarbonaat ($T = 298 \text{ K}$).
- e** Wordt de pH van de oplossing hoger, of lager wanneer een half kopje bakpoeder in plaats van een kwart kopje wordt gebruikt, of krijg je een oplossing met dezelfde pH ($T = 298 \text{ K}$)? Geef een verklaring voor je antwoord.

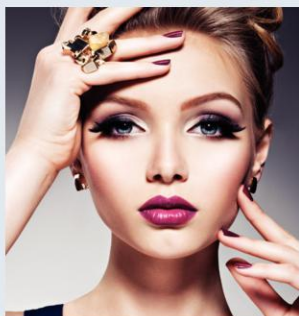
Naar: CE vwo 2010-I

- 5** Cola bevat fosforzuur. Waarom weet men niet, omdat het recept geheim is. Het feit dat fosforzuur een conserveermiddel (E338) is, speelt zeker een rol.
- Wilbert krijgt de opdracht om het fosforzuurgehalte in coca-cola te bepalen. Hij voert een zuur-basetitratie met natronloog uit.

- a** Geef de reactievergelijking tussen een fosforzuuroplossing en natronloog.

Wilbert berekent uit de resultaten van zijn titratie het massapercentage fosforzuur in cola. Amber zegt dat de concentratie fosforzuur niet klopt. Wilbert is vergeten dat coca-cola naast fosforzuur ook koolzuur, citroenzuur en wijnsteen zuur bevat. Na bestudering van het etiket blijkt dat Amber gelijk heeft.

- b** Beredeneer of het door Wilbert bepaalde massapercentage fosforzuur te hoog of te laag is.



17.49 Fosforzuur wordt ook als zuurteregelaar in cosmetica gebruikt.

Fosforzuur kan in drie stappen ioniseren. Bij twee van die ionisatiestappen ontstaat een amfolyt.

- c Leg aan de hand van een van de waterstoffosfaationen uit wat een amfolyt is.
- d Leg uit of de pH van een oplossing van natriummonowaterstoffosfaat hoger dan, gelijk aan of lager dan 7 is.

Er bestaat een fosforbevattend zuur met de formule $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$. Dit zuur heet pyrofosforzuur. De ionen die bij het afgeven van H^+ ontstaan, heten pyrofosfaten.

Pyrofosforzuur ioniseert in vier stappen. De pK_z -waarden van deze vier ionisatie-evenwichten zijn respectievelijk 0,85, 1,50, 5,77 en 8,22.

- e Geef de formule en de naam van het fosforbevattende ion dat bij de eerste ionisatiestap ontstaat.
- f Leg uit welke pH een mengsel van gelijke hoeveelheden van het ion van vraag e en $\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$ heeft.

Als je 1,0 mol pyrofosforzuur mengt met 1,0 mol $\text{Na}_3\text{HP}_2\text{O}_7$ en je lost dat op in water, verloopt een reactie. Het reactieproduct is een buffer.

- g Leg aan de hand van een reactievergelijking uit dat een buffer is ontstaan.

Een oplossing van pyrofosforzuur in water hydrolyseert bij verwarmen. Er ontstaat daarbij fosforzuur.

- h Geef de reactievergelijking van deze hydrolyse.
- i Leg uit of de pH bij deze reactie hoger of lager wordt of onveranderd blijft.

Keuzeopdrachten

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

1 Zure regen

In deze opdracht 'maak' je zelf zure regen. Je onderzoekt ook de mogelijke buffers die er in de natuur zijn en die jouw zure regen kunnen neutraliseren.

2 Een buffer met pH 9,0

In deze opdracht maak je een buffermengsel met pH 9,0 en je onderzoekt het bereik van deze buffer in de praktijk.

3 Biotechnologie

In deze opdracht verdiep je je in de genetische modificatie die nodig is om een organisme een nieuwe stof te laten produceren.

Overzicht begrippen

Actieve centrum	Het actieve centrum is de precieze locatie in een enzym waar het substraat bindt. Het wordt ook wel actieve plaats genoemd.
Amfolyt	Een amfolyt is een deeltje dat als zuur en als base kan reageren. Alle aminozuren zijn amfolyten. Een amfolyt gedraagt zich in water als een zuur als geldt: $K_z > K_b$ en als base als geldt: $K_b > K_z$.
Buffer(oplossing)	Een bufferoplossing is een oplossing die niet van pH verandert door het toevoegen van kleine beetjes zuur, base of water. Een bufferoplossing bevat een zwak zuur en zijn geconjugeerde base. De pH van een bufferoplossing wordt bepaald door de pK_z van het zuur en de verhouding tussen de concentratie van het zuur en zijn geconjugeerde base.
Celmembraan	Het celmembraan is de buitenste laag van een cel die beschermt tegen invloeden van buitenaf. Via eiwitten en andere poorten in het membraan worden stoffen de cel in en uit getransporteerd. Het celmembraan bestaat uit een dubbele laag fosfolipiden die met hun hydrofobe staarten naar elkaar toe zijn gekeerd en met hun hydrofiele koppen naar buiten toe.
Enzym	Een enzym is een eiwit dat functioneert als biokatalysator en zeer specifiek één stof omzet.
Enzym-substraatcomplex	Onder enzym-substraatcomplex wordt de structuur verstaan die ontstaat als een substraat in het actieve centrum van een enzym is gebonden. Het substraat wordt vervolgens omgezet in een product dat het enzym daarna verlaat.
Fosfolipide	Een fosfolipide is een vetmolecuul, een triglyceride, dat is veresterd met twee vetzuren (apolaire staarten) en met een fosforzuurmolecuul (polaire kop). Aan het fosforzuur kunnen nog kleine moleculen zijn gekoppeld.
pH-optimum	Het pH-optimum is de pH waarbij een enzym het snelst een substraat omzet.
pK_z	De pK_z is de negatieve logaritme ($-\log$) van de zuurconstante K_z . Als er evenveel van een zuur en zijn geconjugeerde base aanwezig is, dan is de pK_z gelijk aan de pH.
Substraat	Het substraat is de stof die door een enzym wordt omgezet.
Temperatuuroptimum	Het temperatuuroptimum is de temperatuur waarbij een enzym het snelst een substraat omzet. Bij een te hoge temperatuur denatureert het enzym. De tertiaire structuur verandert daarbij en het enzym is niet meer werkzaam.
Zuur-baseverhouding in een buffer	Je kunt de verhouding van het zuur $[HZ]$ en de geconjugeerde base $[Z^-]$ in een bufferoplossing berekenen via de formule: $\frac{[Z^-]}{[HZ]} = \frac{K_z}{[H_3O^+]}$

18 Accu's en brandstofcellen

Inhoud

- 18.1** Elektrochemische cel
Experiment:
18.1 Spanning meten met een daniellcel
- 18.2** Batterij en brandstofcel
Experimenten:
18.2 Loodaccu bouwen
18.3 Citroencel
- 18.3** Accu's en duurzaamheid
Experiment:
18.4 Vermogen van een brandstofcel bepalen
- 18.4** Energietransitie
Afsluiting
Overzicht begrippen





Energietransitie

Voor de opslag van duurzame energie zijn enorme hoeveelheden accu's nodig. Een grondstof voor accu's is kobalt, dat in Congo onder mensonterende omstandigheden wordt gewonnen. Door de enorme vraag dreigt een tekort aan kobalt. Het is dan ook van belang te zoeken naar nieuwe vormen van energieopslag.

18

Kikkerpoten

Toen de Italiaanse arts Galvani in 1786 een poot van een dode kikker met een metalen staaf aanraakte, bewoog de poot. Galvani dacht dierlijke elektriciteit als een verborgen levenskracht ontdekt te hebben. Galvani's tijdgenoot Volta ontdekte dat de elektriciteit ontstond uit de verschillende metalen die werden gebruikt. Met deze kennis werd de eerste batterij uitgevonden.



Je leert

- hoe een elektrochemische cel werkt;
- de spanning van een elektrochemische cel berekenen.

18.1 Elektrochemische cel



18.1 De voltazuil

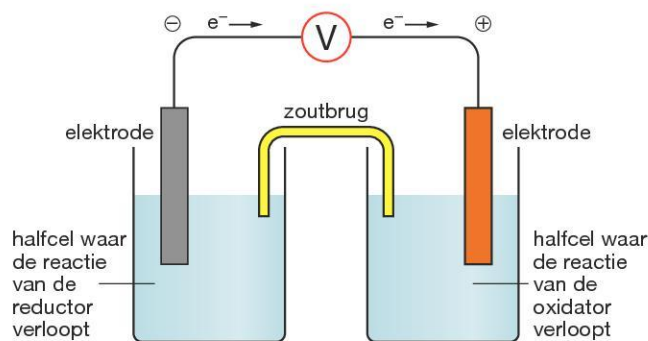
Stroom uit stoffen

Het experiment van Galvani bracht Volta op het idee om met verschillende metalen te proberen elektrische energie op te wekken. Hij bouwde een stapel met verschillende metaalplaatjes die waren gescheiden door in zoutoplossing gedrenkte velletjes papier. Hierdoor ging er een elektrische stroom lopen. Deze voltazuil was de eerste draagbare bron van elektrische energie: de eerste batterij (figuur 18.1).

Voor batterijen en accu's gebruik je in de scheikunde de verzamelnaam **elektrochemische cellen**. Deze cellen zetten via redoxreacties chemische energie om in elektrische energie.

De redoxreacties die je in hoofdstuk 11 hebt gezien, verlopen in één reactievat. De reductor draagt rechtstreeks elektronen over aan de oxidator. Bij elektrochemische cellen maken de oxidator en reductor geen rechtstreeks contact. Er zijn twee reactievaten, één waarin de reactie van de oxidator verloopt en één waarin de reactie van de reductor verloopt. Deze twee reactievaten, **halfcellen** genaamd, kun je verbinden via stroomdraden en een zogenaamde zoutbrug. Door het plaatsen van elektronische apparatuur in de stroomdraad kun je gebruikmaken van de elektronenstroom.

In figuur 18.2 zie je een eenvoudig voorbeeld van een elektrochemische cel. In de linker halfcel, waar de reductor aan de elektrode reageert, komen elektronen vrij. De elektrode krijgt daardoor een negatieve lading, dit is dus de **negatieve elektrode** of de minpool. De elektronen die bij de reactie van de reductor vrijkomen stromen via een stroomdraad naar de rechter halfcel waar de reactie van de oxidator plaatsvindt. Daar neemt de oxidator aan de elektrode elektronen op. De elektrode krijgt daardoor een positieve lading, dit is de **positieve elektrode** of de pluspool.



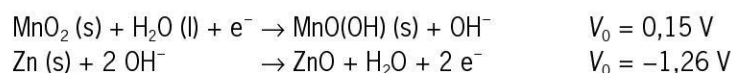
18.2 Een elektrochemisch cel

De twee reactievaten zijn ook nog verbonden door een **zoutbrug**. Zonder zoutbrug zou er geen stroom lopen, omdat de stroomkring dan niet gesloten is. In de zoutbrug zit een zout opgelost, de **elektrolyt**. De ionen van de elektrolyt zorgen voor de stroomgeleiding. In figuur 18.2 bewegen de negatieve ionen in dezelfde richting rond als de elektronen, dus naar links. De positieve ionen bewegen precies in tegengestelde richting. De bewegingsrichting van de ionen in de zoutbrug kun je ook vinden door te kijken naar de lading van de oplossingen in de halfcellen. Doordat de oxidator elektronen opneemt, ontstaat er een overschot aan negatieve lading in de halfcel, terwijl in de halfcel waar de reductor reageert een tekort aan negatieve lading ontstaat. Omdat oplossingen evenveel positieve als negatieve lading moeten bevatten, gaan er dus positieve ionen uit de zoutbrug in de richting van de oxidatorhalfcel en negatieve ionen in de richting van de reductorhalfcel. In voorbeeld 1 op de volgende pagina vind je de theorie toegepast op de daniellcel. In plaats van een zoutbrug wordt ook wel gebruikgemaakt van een membraan. Het **membraan** laat selectief deeltjes door, zoals bijvoorbeeld H^+ -ionen, waardoor stroomgeleiding mogelijk is en oxidator en reductor toch geen rechtstreeks contact hebben.

Bronspanning

In hoofdstuk 11 heb je geleerd hoe je moet bepalen of een redoxreactie verloopt. Je bepaalt daarbij het verschil tussen de **standaardelektrodepotentiaal** van de oxidator en die van de reductor, ΔV_0 . Om elektrische apparaten te laten werken moet het verschil in standaardelektrodepotentiaal voldoende groot zijn.

Een gewone batterij gebruikt de onderstaande twee halfreacties voor de stroomlevering:

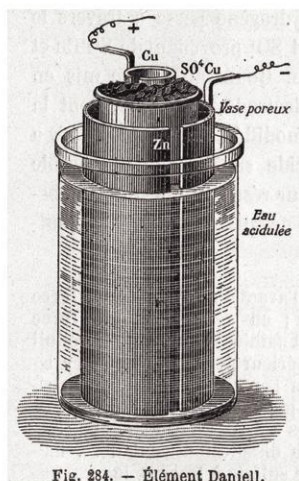


Het verschil in standaardelektrodepotentiaal is dan:

$$\Delta V_0 = V_0 \text{ oxidator} - V_0 \text{ reductor} = 0,15 - (-1,26) = 1,41 \text{ V}$$

Deze spanning noem je de **bronspanning**. De waarden voor de standaardelektrodepotentiaal zijn gemeten onder standaardomstandigheden, dus bij $p = p_0$ en $T = 298 \text{ K}$ (zie Binas tabel 48).

● Experiment 18.1

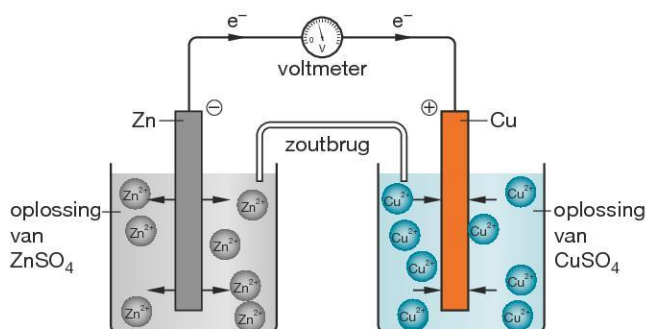


18.3 De daniellcel is een van de eerste batterijen.

Voorbeeld 1 De daniellcel

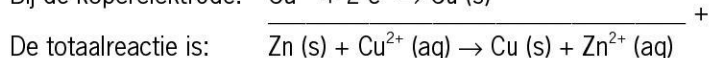
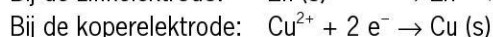
De eerste elektrochemische cel die een behoorlijke hoeveelheid stroom kon leveren is de daniellcel, zie figuur 18.4. De daniellcel kun je gebruiken om te bekijken hoe op microniveau de stroomlevering verloopt. De ene halfcel bevat een zinkstaaf in een zinksulfaatoplossing en de andere halfcel bevat een koperstaaf in een kopersulfaatoplossing. De zoutbrug bevat een oplossing van kaliumchloride.

- Geef de vergelijking van de halfreactie van de oxidator en van de reductor.
- Leg uit waardoor de zinkelektrode de negatieve elektrode is.
- Leg uit in welke richting de positieve en negatieve ionen in de zoutbrug bewegen.
- Bereken de bronspanning van deze cel.
- Wat kun je waarnemen als de cel lang stroom levert?



18.4 De daniellcel

- De sterkste reductor is Zn en de sterkste oxidator is Cu^{2+} .
In elk van de halfcellen vindt dan een halfreactie plaats:



- Het zink staat elektronen af aan de elektrode die daardoor de negatieve elektrode wordt.
- In de halfcel met de koperelektrode verdwijnen koperionen. Deze worden aangevuld met kaliumionen uit de zoutbrug. De kaliumionen bewegen dus naar rechts en de chloride-ionen naar links. In de halfcel met de zinkelektrode ontstaan positieve zinkionen. De oplossing houdt evenveel positieve als negatieve lading door de aanvoer van chloride-ionen uit de zoutbrug.
- Er geldt: $\Delta V_0 = V_0 (\text{Cu}^{2+}) - V_0 (\text{Zn}) = 0,34 - (-0,76) = 1,10 \text{ V}$
- Uit de reactievergelijking kun je afleiden dat de blauwe kleur van de halfcel met de kopersulfaatoplossing lichter wordt, de massa van de koperelektrode toeneemt en de massa van de zinkelektrode afneemt.

Bodem wordt batterij

De vangrail in Ede (figuur 18.5) werd verlicht op basis van de stroom uit de bodem van een naastgelegen natte groenstrook.

Door middel van fotosynthese produceert een plant organisch materiaal. Een deel van dit organisch materiaal gebruikt de plant voor de eigen groei, maar een groot deel kan hij niet gebruiken en dat wordt uitgescheiden in de grond via zijn wortels.

In de grond rondom deze wortels leven bacteriën die het organisch materiaal afbreken. In dit afbraakproces komen elektronen vrij die normaal gesproken door zuurstof uit de lucht worden opgenomen. Door op de juiste plaatsen elektroden en een membraan in de grond te plaatsen blijkt je voldoende energie te kunnen opwekken om apparaten die niet te veel stroom gebruiken van elektriciteit

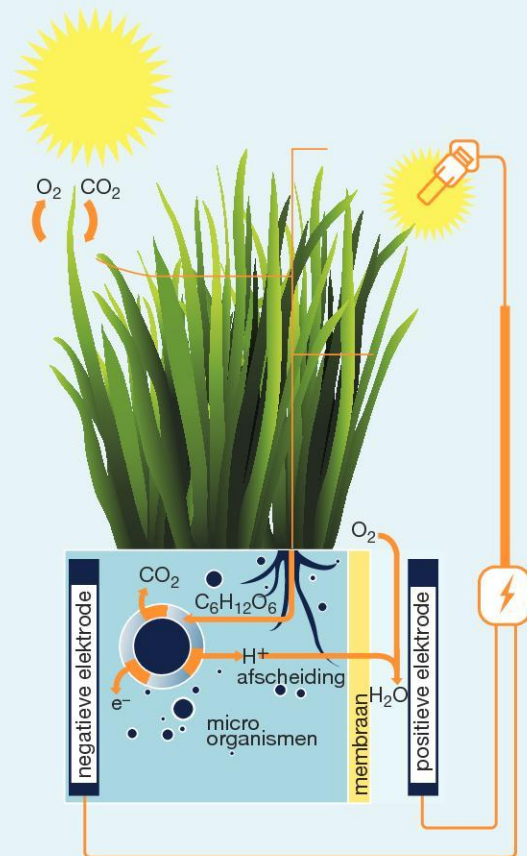


18.5 Vangrail in Ede

te voorzien. Zie figuur 18.6. De grasstrook zorgt hier voor de verlichting van de vangrail.

Helaas is door vandalisme deze verlichting inmiddels gesloopt.

Bron: Plant-e



18.6 Batterij in de bodem

● Opdracht C5

Samenvatting

- Een elektrochemische cel zet via een redoxreactie chemische energie om in elektrische energie. De cel bestaat uit twee halfcellen. De reductorreactie verloopt in de ene halfcel, de oxidatorreactie in de andere halfcel. De elektronenstroom die ontstaat, kun je gebruiken als energiebron.
- De halfcellen in een elektrochemische cel zijn met elkaar verbonden via een stroomdraad en een zoutbrug of een membraan. Deze zorgen voor een gesloten stroomkring.
- De bronspanning van een elektrochemische cel is het verschil tussen de standaard-elektrodepotentiaal van de oxidator en die van de reductor.

Opdrachten

A 1 

- a** Wat is het verschil tussen een gewone redoxreactie en een redoxreactie in een elektrochemische cel?
- b** Leg uit of de elektrode in de halfcel met de oxidator de positieve of de negatieve elektrode is.

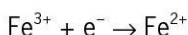
B 2 

Geef aan of onderstaande zinnen juist of onjuist zijn. Als een zin onjuist is, verbeter hem dan door een of twee woorden te vervangen of toe te voegen.

- a** Bij een elektrochemische cel gaan elektronen van de negatieve naar de positieve elektrode.
- b** In een elektrochemische cel wordt de gesloten stroomkring uitsluitend gevormd door bewegende elektronen.
- c** Een zoutbrug zorgt tijdens stroomlevering voor het transport van ionen tussen de halfcellen.

B 3

Er is een elektrochemische cel met twee halfcellen A en B. In halfcel A met oplossingen van ijzer(III)chloride en ijzer(II)chloride vindt de volgende reactie plaats:



- a** Leg uit of de elektrode in deze halfcel een positieve of negatieve elektrode is.

Deze halfcel is met een zoutbrug met halfcel B verbonden. De zoutbrug bevat een oplossing van natriumchloride.

- b** Geef voor beide ionen in de zoutbrug aan in welke richting ze bewegen.

In halfcel B bevindt zich een ijzeren staaf als elektrode in een keukenzoutoplossing. Op de elektrochemische cel is een lampje aangesloten dat brandt.

- c** Geef de vergelijking voor de reactie in halfcel B en geef ook de vergelijking van de totale reactie.
- d** Teken de complete elektrochemische cel. Geef hierin aan wat de positieve en wat de negatieve elektrode is. Geef ook de richting van de elektronenstroom aan.
- e** Wat is de functie van het natriumchloride in halfcel B?
- f** Bereken de bronspanning van deze elektrochemische cel.

Je wilt de zoutbrug vervangen door een membraan.

- g** Leg uit welke ionen het membraan wel en welke ionen het membraan niet door mag laten.

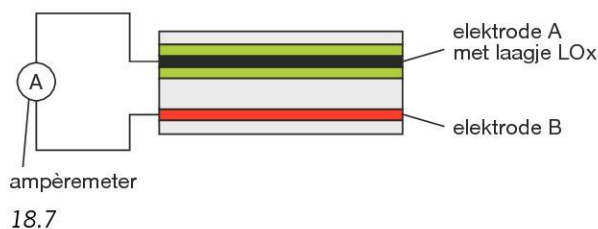
B 4

Onderzoekers aan de Universiteit van Californië hebben een melkzuursensor ontwikkeld. Dat is een soort poreuze pleister die is voorzien van een kleine elektrochemische cel. Met de melkzuursensor kan de conditie tijdens een sportprestatie worden bepaald.

Sporten kost energie. Het lichaam haalt die energie uit de afbraak van glucose. Wanneer voldoende zuurstof wordt aangevoerd, wordt glucose volledig verbrand.

- a** Geef de reactievergelijking van de volledige verbranding van glucose.

Bij onvoldoende zuurstoftoevoer wordt glucose afgebroken tot melkzuur ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$). Wanneer melkzuur zich ophoopt in de spieren, treedt verzuring op. Hoe beter de conditie van een sporter is, des te later treedt verzuring op. Het gevormde melkzuur komt voor een deel ook in zweet terecht. Met de melkzuursensor wordt de concentratie van melkzuur in het zweet bepaald. De elektrochemische cel van de melkzuursensor is in figuur 18.7 vergroot en schematisch weergegeven.



Elektrode A is gemaakt van grafiet (koolstof) en is bedekt met het enzym lactaatoxidase (verder afgekort als LOx). Zweet fungeert als elektrolyt. Onder invloed van LOx wordt melkzuur omgezet tot pyrodruivenzuur ($\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$). Melkzuur treedt in deze reactie op als reductor.

- b** Geef de vergelijking van deze halfreactie.
- c** Leg uit welke elektrode bij deze elektrochemische cel positief is.

Behalve melkzuur bevat zweet nog meer reductoren.

- d** Waarom heeft alleen melkzuur invloed op de gemeten waarde en de andere reductoren niet?

Zweet heeft meestal een pH tussen 4 en 6.

- e** Bereken de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ bij een pH van 5,1.
- f** Bedenk welk oxidator in deze cel kan reageren en geef de vergelijking van de halfreactie.

C 5

Lees de tekst in het kader 'Bodem wordt batterij' en beantwoord de volgende vragen.

- a** Waarom werkt de bodem als batterij alleen in vochtig moerasachtig gebied?

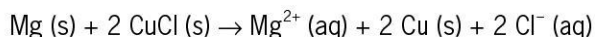
In de tekening van figuur 18.6 is het proces zeer schematisch weergegeven. De bacteriën zetten $C_6H_{12}O_6$ om in CO_2 en H^+ . De H^+ -ionen gaan vervolgens door het membraan waar ze bij de positieve elektrode samen met zuurstof worden omgezet in water.

- b** Geef de vergelijking van de halfreactie die plaatsvindt bij de negatieve elektrode.
- c** Geef ook de vergelijking van de halfreactie die bij de positieve elektrode verloopt en stel met beide vergelijkingen de totale reactievergelijking op.
- d** Leg uit of de stroomrichting van de elektronen klopt met de getekende stroomrichting van de H^+ -ionen.
- e** Bedenk wat de belangrijkste beperkende factor is van deze energiebron: de bronspanning van de elektrochemische cel of de geleidbaarheid van de grond?

C 6

Reddingsvesten zijn vaak uitgerust met een lampje. Bij bepaalde uitvoeringen is dat lampje via stroomdraadjes verbonden met een magnesiumstrip en een koperstrip. Op de koperstrip is wat vast koper(II)chloride aangebracht. Koper(II)chloride is slecht oplosbaar.

Zodra zo'n reddingsvest in zee belandt, gaat het lampje branden. De stroom voor het lampje wordt geleverd door het optreden van een redoxreactie. Deze reactie is een combinatie van twee halfreacties, die de volgende totaalreactie oplevert:



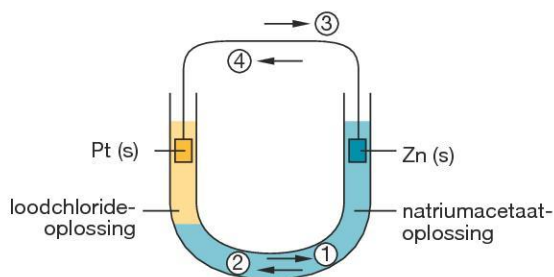
- a** Geef van deze redoxreactie de vergelijkingen van de beide halfreacties die tijdens de stroomlevering plaatsvinden.
- b** Leg uit of de magnesiumstrip tijdens de stroomlevering de positieve of de negatieve elektrode is.
- c** Geef aan waarom het lampje pas gaat branden als het reddingsvest in zee belandt.

C 7 ★

Als je een plaatje zink in een oplossing van lood(II)chloride plaatst, vormt zich op het zink al snel een laagje loodkristallen.

- a** Geef aan de hand van halfreacties de vergelijking van de reactie die plaatsvindt.

Elsje vult een glazen U-buis met een natriumacetaatoplossing. Daarna giet ze in het ene been van de U-buis voorzichtig een lood(II)chlorideoplossing zodat beide oplossingen niet mengen, zie figuur 18.8.



18.8

Nu plaatst ze een plaatje platina in de lood(II)chlorideoplossing en een plaatje zink in de natriumacetaatoplossing. Dan verbindt ze de beide plaatjes met een metaaldraad. Zo ontstaat een elektrochemische cel.

- b** Leg uit waarom de beide oplossingen niet mogen mengen.
- c** Bereken de bronspanning van deze cel.
- d** Leg uit welke van de vier genummerde pijlen in figuur 18.8 de elektronenstroom weergeeft.
- e** Leg uit welke elektrode (platina of zink) de positieve elektrode van deze cel is.
- f** Leg uit welke ionen bij pijl 1 en welke bij pijl 2 horen.

Experiment

18.1 Spanning meten met een daniellcel

Je meet de spanning van een daniellcel bij verschillende concentraties van de kopersulfaatoplossing.

- Volledige instructie *Chemie Overal* online

Je kunt nu

- uitleggen wat een elektrochemische cel is;
- in een elektrochemische cel de reductor, oxidator, positieve elektrode, negatieve elektrode en de richting van de elektronen- en ionenstroom aangeven;
- uitleggen wat de functie van het membraan of de zoutbrug in een elektrochemische cel is;
- de bronspanning van een elektrochemische cel berekenen.

Noodstroomvoorziening

Op de intensive care mag de stroom nooit wegvallen. Dat zou dodelijk kunnen zijn. Elk ziekenhuis heeft daarom een noodaggregaat op diesel, maar het opstarten daarvan duurt te lang. Daarom is er in ziekenhuizen ook een grote hoeveelheid accu's aanwezig. Deze kunnen wel snel voldoende energie leveren om de tijd tussen de stroomuitval en het opstarten van het aggregaat te overbruggen.

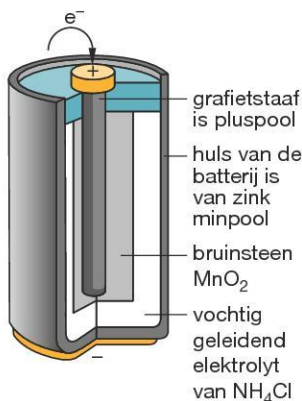
**Je leert**

- hoe staafbatterijen en accu's werken en wanneer een batterij oplaadbaar is;
- hoe een brandstofcel werkt.

18.2 Batterij en brandstofcel

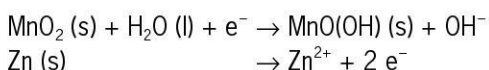
Batterij

Naast de accu's zijn eenvoudige wegwerpbatterijen een veelgebruikte toepassing van de elektrochemische cel. Een batterij is een accu, die je gemakkelijk kunt verwisselen. In figuur 18.9 zie je de doorsnede van een staafbatterij. In deze batterij is zink de reductor en mangaan(IV)oxide de oxidator. Deze stoffen zijn van elkaar gescheiden door een zoutbrug die gedrenkt is in de elektrolyt ammoniumchloride.



18.9 Dwarsdoorsnede van een staafbatterij

In de batterij vinden de volgende reacties plaats:



Het mangaan(IV)oxide neemt elektronen op, de binnenkant van de batterij is dus de positieve elektrode. Het zink staat elektronen af, de buitenkant is dus de negatieve elektrode. Door de zoutbrug bewegen de ammonium- en chloride-ionen.

Oplaadbare batterij

Als de batterij hierboven stroom levert, lossen de zinkionen op in het elektrolyt en zitten ze dus niet meer bij de elektrode. Daarom kun je zo'n batterij niet opladen. Bij het **opladen** van een batterij verlopen de reacties van de stroomlevering in omgekeerde richting. Daarom moeten bij een oplaadbare batterij de reactieproducten tijdens de stroomlevering bij de elektroden blijven.

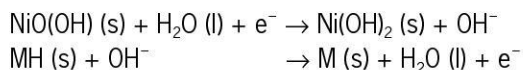
Om een batterij op te laden, verbind je haar met een externe spanningbron. Je zorgt ervoor dat de spanning van deze bron groter is dan de spanning van de batterij, waardoor de reacties in de batterij in omgekeerde richting gaan verlopen. Dit proces, waarbij reacties onder invloed van elektrische stroom verlopen, noem je **elektrolyse**.

● Experiment 18.2 en 18.3



18.10 In een auto laadt de dynamo de accu op.

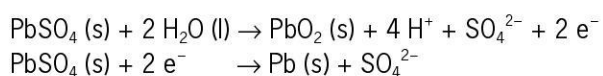
Een voorbeeld van een oplaadbare batterij is de nikkelmetaalhydride, NiMH-batterij. In de batterij vinden bij stroomlevering de volgende reacties plaats:



Het metaal M is een mengsel van verschillende soorten metalen. De zoutbrug is een gel van kaliumhydroxide-oplossing. Alle stoffen links en rechts van de pijlen zijn vast of komen voor in de zoutbrug. Daardoor blijven de stoffen die bij de reacties zijn betrokken op hun plaats en kan de batterij vaak worden opgeladen. Zie ook de loodaccu in het voorbeeld. Een loodaccu in een auto wordt opgeladen door de dynamo (figuur 18.10).

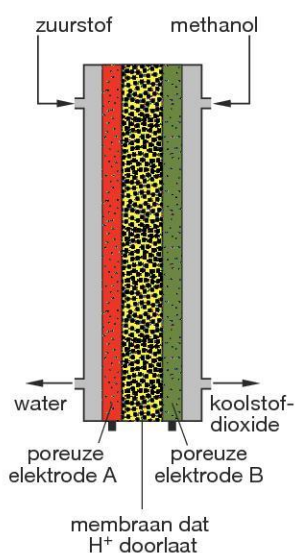
Voorbeeld

De eerste oplaadbare batterij is de loodaccu. Deze elektrochemische cel bestaat uit twee loodplaten bedekt met loodsulfaat in een bak met zwavelzuuroplossing, daarom ook wel accuzuur genoemd. Als de accu wordt opgeladen, vinden de volgende halfreacties plaats:



- Leg uit welke elektrode je op de positieve elektrode van de dynamo moet aansluiten.
- Bereken hoe hoog de spanning bij het opladen minstens moet zijn.
- Waarom is bij een loodaccu geen zoutbrug of membraan nodig?

- De positieve elektrode van de dynamo onttrekt elektronen aan de cel. Je moet haar dus aansluiten op de elektrode waar het PbO_2 ontstaat.
- De bronspanning van de accu is: $\Delta V_0 = V_0 (\text{PbO}_2 + 4 \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}) - V_0 (\text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}) = 1,69 - (-0,36) = 2,05 \text{ V}$. De spanning van de dynamo moet dus hoger zijn dan 2,05 V.
- De beginstoffen en reactieproducten zijn vast en blijven daardoor bij de elektroden. Het zwavelzuur in de oplossing werkt als elektrolyt.

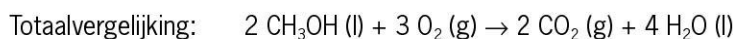
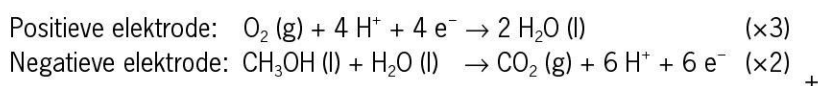


18.11 Methanolbrandstofcel

Brandstofcel

Als vervanging van accu's komen er steeds meer **brandstofcellen** op de markt. Die zijn kleiner en minder zwaar en kunnen meer energie bevatten dan moderne batterijen en accu's. Een brandstofcel is een elektrochemische cel waarbij in de ene halfcel continu zuurstof, de oxidator, wordt geleid. In de andere halfcel reageert een brandstof, dit is de reductor. Veelgebruikte reductoren zijn waterstof, methaan en methanol.

In het voorbeeld van de brandstofcel uit figuur 18.11 zijn de elektroden poreus, waardoor er goed contact is tussen de reactieproducten en de elektroden. Er vinden bij stroomlevering de volgende halfreacties plaats:



Let erop dat je bij het optellen H_2O en H^+ links en rechts wegstreept. De totaalvergelijking is nu de vergelijking van de verbranding van methanol.

Elektriciteit in hout opslaan

Door toepassing van duurzame energie als zonne-energie en windenergie is er steeds meer behoefte aan opslag van energie in batterijen. Omdat de huidige batterijen gebruikmaken van zeldzame metalen wordt druk gezocht naar alternatieven. Eén mogelijke oplossing is de batterij die gebruikmaakt van lignine, houtstof. Lignine is een afvalproduct bij de papierproductie. De lignine wordt behandeld waardoor er zijgroepen ontstaan die identiek zijn aan de chinongroep in figuur 18.12.

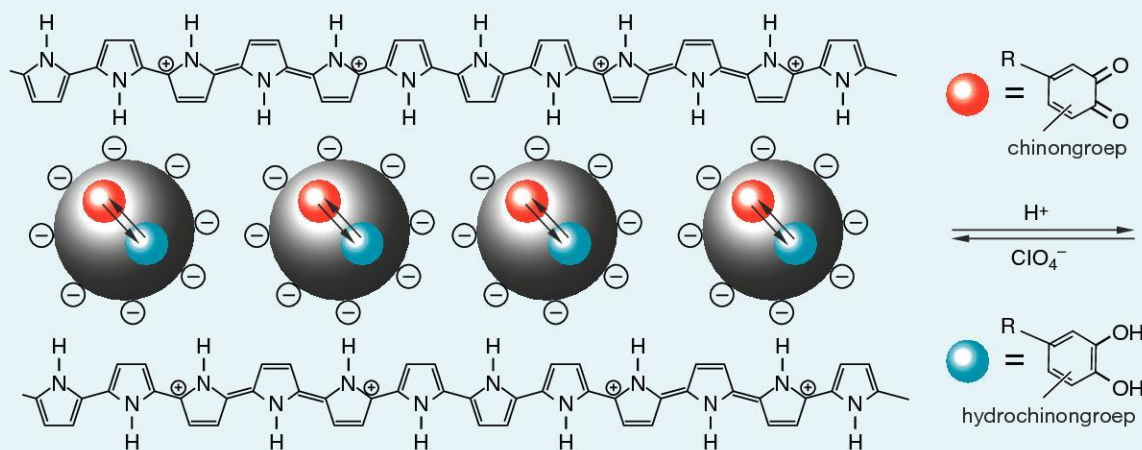
De lignine geleidt de stroom zelf slecht, maar door de toevoeging van het polymeer polypyrrol geleidt de combinatie de stroom wel. De geleidbaarheid van polypyrrol is te verklaren door de afwisseling van enkele en dubbele bindingen, waarbij op regelmatige plaatsen een elektron ontbreekt. Door dit geconjugeerde systeem (dat is behandeld in hoofdstuk 14, paragraaf 14.2) wordt de lading door de keten doorgegeven, waarbij steeds een dubbele binding omklapt.

Bij het opslaan van elektrische stroom gaan de elektronen naar de elektrode waarop een combinatie van lignine en polypyrrol zit. Via de polypyrrolketen komen de elektronen bij de lignine. De chinongroep in de lignine is een oxidator die door het opnemen van elektronen reageert tot een hydrochinongroep. In figuur 18.12 zie je de ligninebolletjes met daarin de chinon- en hydrochinongroepen.

De combinatie polypyrrol/lignine kan zo dienst doen als halfcel. Voor de andere halfcel kan een willekeurige reductor worden gekozen. Bij stroomlevering verloopt de chinon/hydrochinonreactie in omgekeerde richting en komt de opgeslagen elektriciteit weer vrij.

De perchloorzuuroplossing, $\text{H}^+(\text{aq}) + \text{ClO}_4^-(\text{aq})$, zorgt er onder andere voor dat het polymeer en de ligninebolletjes goed gemengd blijven.

Bron: Science



18.12 Schematische tekening van de batterij

● Opdracht C16

Samenvatting

- Batterijen zijn voorbeelden van een elektrochemische cel.
- Het opladen van oplaadbare batterijen heet elektrolyse. De reacties die plaatsvinden bij de stroomlevering verlopen bij elektrolyse in omgekeerde richting. Bij een oplaadbare batterij blijven de stoffen die bij de stroomlevering worden gevormd bij de elektrode.
- Een brandstofcel is een elektrochemische cel waar in de ene halfcel continu zuurstof wordt gevoerd en in de andere halfcel een brandstof.

Opdrachten

A 8 

- a** Geef de totaalvergelijking van de reactie die plaatsvindt als een autoaccu wordt opgeladen.
- b** Laat zien dat je door het optellen van de halfreacties in een methanolbrandstofcel op de vergelijking van de verbranding van methanol uitkomt.

B 9

In een loodaccu wordt geen zoutbrug gebruikt.

- a** Waarom is dat niet nodig.

Bij een loodaccu is één elektrode bedekt met lood(IV)oxide.

- b** Leg uit in welke richting de sulfaationen bewegen als de accu stroom levert.

Of een accu opgeladen of juist ontladen is kun je bepalen met een zuurweger. Dat is een apparaat dat de dichtheid van het zuur bepaalt. Hoe groter de dichtheid van het zuur, des te groter is de zuurconcentratie.

- c** Leg uit of je bij een volle accu een grote of juist kleine dichtheid meet.

Je kunt een accu maken door twee loden platen in een bak met zwavelzuur te zetten en deze op te laden. Aan de positieve elektrode vindt dan een reactie plaats waarbij lood(IV)oxide ontstaat. Aan de negatieve pool ontstaat waterstofgas.

- d** Geef de reactievergelijkingen die aan beide elektroden tijdens het maken van de accu plaatsvinden.
- e** Leg uit waarom je bij accu's die worden opgeladen altijd voorzichtig moet zijn met open vuur.

B 10 

Het membraan in de brandstofcel van figuur 18.11 laat H^+ -ionen door.

- a** Leg uit waarom de cel niet werkt als het membraan geen H^+ -ionen doorlaat.
- b** Leg uit of de elektronen bij stroomlevering ook door het membraan gaan.
- c** Neem onderstaande twee zinnen over en kies steeds de juiste bewering uit de cursieve delen. De H^+ -ionen gaan *van de positieve elektrode naar de negatieve elektrode* of *van de negatieve elektrode naar de positieve elektrode*. De elektronen gaan *van de positieve elektrode naar de negatieve elektrode* of *van de negatieve elektrode naar de positieve elektrode*.

B 11

Veel mobiele telefoons bevatten lithium-ionaccu's. Bij stroomlevering reageert aan de positieve elektrode kobalt(IV)oxide met lithiumionen, daarbij ontstaat $LiCoO_2$. Aan de negatieve elektrode ontleedt lithiumcarbide (LiC) in koolstof en lithiumionen. De lithiumionen kunnen van de ene naar de andere elektrode en terug. De lithium-ionaccu is oplaadbaar.

- a** Verklaar op microniveau waardoor deze batterij oplaadbaar is. Gebruik bovenstaande tekst.
- b** Geef de vergelijkingen van de halfreacties die optreden bij het opladen van deze accu.
- c** Hoe heet het chemische proces dat plaatsvindt bij het opladen van een accu?

B 12 ★

Een bepaald type apparaat om de concentratie van koolstofmono-oxide te bepalen maakt gebruik van een elektrochemische cel. Als de lucht koolstofmono-oxide bevat, vindt in deze cel een halfreactie plaats waarbij uit koolstofmono-oxide koolstofdioxide ontstaat.

- a** Geef de vergelijking van deze halfreactie. Hierin komen onder andere H_2O en H^+ voor.
- b** Leg uit of deze reactie bij de positieve of de negatieve elektrode plaatsvindt.

Bij de andere elektrode reageert zuurstof in zuur milieu.

- c** Geef met behulp van de halfreacties de vergelijking van de totaalreactie.

De standaardelektrodepotentiaal van de halfreactie van koolstofmono-oxide is $-0,11$ V.

- d** Bereken de bronspanning van deze cel.
- e** Leg uit of de elektrochemische cel die ontstaat een brandstofcel is.

B 13

In de tekst staat het voorbeeld van de nikkelmetaalhydride-batterij.

- a** Leid af wat de lading van de nikkelionen in $NiO(OH)$ is.
- b** Maak een schematische schets van de batterij en benoem de onderdelen.
- c** Leg uit wat de positieve elektrode is.
- d** Leg met je tekening van b uit hoe de ionen van de elektrolyt stromen.

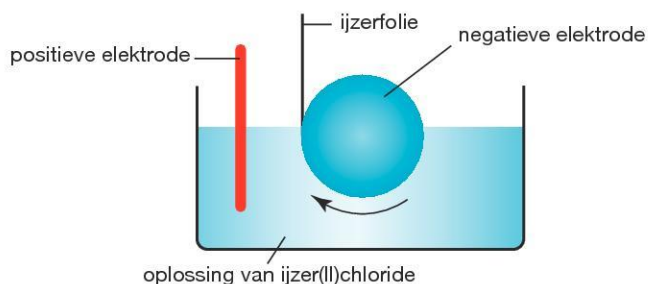
C 14 Terugwinnen van ijzer

Bij het terugwinnen van ijzer uit verpakkingsmaterialen wordt ijzer eerst omgezet in een oplossing van ijzer(II)chloride.

- a** Geef de formule van de stof die, wanneer opgelost, ijzer kan omzetten in een ijzer(II)chloride-oplossing.

Uit de ijzer(II)chloride-oplossing wordt door elektrolyse ijzerfolie gemaakt. Daarvoor wordt de oplossing in een speciale elektrolyseruimte geleid, zie figuur 18.13. In deze ruimte bevindt zich een draaiende trommel die als negatieve elektrode dienstdoet. Tijdens de elektrolyse slaat op deze trommel ijzer neer.

- b** Geef de vergelijking van de halfreactie die aan de negatieve elektrode optreedt.



18.13

Bij de uitvoering van deze techniek is de stroomsterkte $3,0 \cdot 10^5 \text{ A}$ (A betekent ampère; $1 \text{ A} = 1 \text{ C s}^{-1}$). Een mol elektronen komt overeen met $9,65 \cdot 10^4 \text{ C}$.

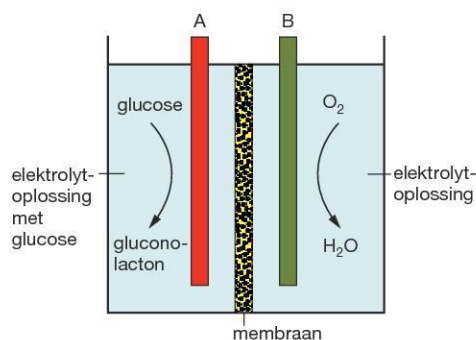
De trommel draait met een zodanige snelheid dat de dikte van het ijzerfolie dat uit de oplossing komt $0,050 \text{ mm}$ is.

- c** Bereken het aantal m^2 ijzerfolie dat per seconde ontstaat ($T = 293 \text{ K}$).

C 15

In 2007 hebben onderzoekers van Sony een prototype van een elektrochemische cel ontwikkeld die zijn energie haalt uit een reactie van glucose met zuurstof, zie figuur 18.14. De batterij bevat twee koolstofelektroden (A en B) die elk zijn bedekt met een laagje van een verschillend enzym. Aan elektrode A wordt glucose omgezet in gluconolacton ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_6$). De elektrolyt bevat onder andere H^+ -ionen.

- a** Geef de reactievergelijkingen voor beide halfreacties.
b Leg uit in welke richting de H^+ -ionen door het membraan bewegen.



18.14

C 16

Lees de tekst in het kader 'Elektriciteit in hout opslaan' en beantwoord de volgende vragen.

In het tekstkader wordt gesproken over het opslaan van elektriciteit.

- a** Waarom is hier alleen sprake van een halfcel?
b Geef de vergelijking van de halfreactie voor de omzetting van de chinogroep in hydrochinon bij het opladen. Gebruik molecuulformules en ga er voor de reactie van uit dat $R = \text{H}$.
c Leg uit of bij stroomlevering de ligninehalfcel de positieve of de negatieve elektrode is.

De perchloorzuuroplossing heeft, behalve de genoemde functie, nog een andere functie.

- d** Welke functie is dat?
e Teken in een stukje van het polypyrrol met pijlen hoe de elektronen zich bij stroomlevering over de keten verplaatsen.

Experimenten

18.2 Loodaccu bouwen

Je maakt een oplaadbare accu en meet het vermogen dat de accu kan leveren.

18.3 Citroencel

Wat heb je nodig om met een citroen een accu te bouwen?

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- op microniveau uitleggen welk proces in batterijen plaatsvindt;
- op microniveau uitleggen wat het verschil is tussen oplaadbare en niet-oplaadbare batterijen;
- uitleggen wat er wordt bedoeld met elektrolyse bij het opladen van batterijen;
- uitleggen wat een brandstofcel is.

Elektrisch vliegtuig

Transport is door de verbranding van fossiele brandstoffen een belangrijke bron van CO₂-uitstoot. Net als in het wegtransport zou een elektrische vliegtuig een oplossing kunnen bieden voor dit milieuprobleem. De vraag is wel hoe je de enorme hoeveelheid energie voor zo'n vliegtuig moet opslaan. De huidige accu's zijn voor een vliegtuig veel te zwaar.



Je leert

- wat het nut van een grote energiedichtheid bij accu's is;
- wat de kwaliteit van energie is;
- welke factoren bij de keuze van een energiebron een rol spelen.

18.3 Accu's en duurzaamheid



18.16 Elektrische vrachtauto op accu's, die niet te zwaar mogen zijn

Energiedichtheid en energiekwaliteit

Voor elektrische vliegtuigen wordt onderzoek gedaan naar accu's die zo licht mogelijk zijn en toch voldoende energie leveren om het vliegtuig de lucht in te krijgen. De hoeveelheid elektrische energie die per kilogram accu kan worden geleverd, moet zo groot mogelijk zijn. De energie per kilogram of per liter van een energiedrager noem je de **energiedichtheid**, zie tabel 18.15. Voor vaste stoffen wordt de energiedichtheid meestal gegeven per kg, voor vloeistoffen per L en voor gassen per m³.

Voor vervoersmiddelen is een lage energiedichtheid ongunstig, het betekent dat je veel accu's moet meenemen en dus veel extra massa (figuur 18.16). Gebruik je een vloeibare of gasvormige brandstof, dan moet je bij een lage energiedichtheid een groot volume meenemen. Voor een groot volume is niet altijd plaats en een grotere massa zorgt ervoor dat extra energie nodig is om die massa te verplaatsen.

energiedrager/bron	energiedichtheid	eenheid	energiedrager/bron	energiedichtheid	eenheid
steenkool	30	MJ kg ⁻¹	waterstof (g)	0,010	MJ L ⁻¹
Li-ion accu	0,36		waterstof (l)	8,5	
NiMH-accu	0,20		methanol	18	
diesel	36	MJ L ⁻¹	ethanol	24	MJ m ⁻³
benzine	32		aardgas	32	

18.15 Energiedichtheid van een aantal energiedragers en -bronnen



18.17 Deze batterijen in Australië worden opgeladen door windenergie en kunnen dan aan 30 000 mensen stroom leveren.

Fossiele brandstoffen zijn energiebronnen met een grote energiedichtheid, maar ze vormen door de CO_2 -uitstoot een probleem voor het klimaat. Daarnaast is de voorraad fossiele brandstoffen eindig. Alternatieve energiebronnen, zoals wind- en zonne-energie leveren elektriciteit die kan worden opgeslagen in accu's, de energiedragers. Zoals je in tabel 18.15 kunt zien hebben accu's echter vergeleken met fossiele brandstoffen een lage energiedichtheid. De overgang van fossiele brandstoffen naar andere vormen van energie in het vervoer levert nog veel problemen.

Buiten het vervoer speelt de energiedichtheid een veel kleinere rol. Daar is de prijs van de energieopslag veel belangrijker. Grote hoeveelheden accu's worden bijvoorbeeld ingezet voor het geval de duurzame energie het af laat weten op een bewolkte windstille dag (figuur 18.17).

Kwaliteit van energie

Energie komt in veel vormen voor, zoals elektriciteit, brandstoffen, windenergie en zonne-energie. Niet elke vorm van energie is even nuttig om bijvoorbeeld een auto op voert te laten bewegen. Het blijkt dat elektrische energie beter te benutten is dan warmte. Je kunt ook zeggen: elektriciteit heeft een hogere kwaliteit van energie dan warmte. De **kwaliteit van energie** is het nuttig gebruikte deel van de energie. Bij energieomzettingen vermindert de kwaliteit van de energie. In een verbrandingsmotor wordt bijvoorbeeld de chemische energie van de brandstof behalve in bewegingsenergie ook in warmte omgezet. De warmte is niet nuttig, want je wilt dat je auto beweegt. Om te zorgen dat de kwaliteit van de energie groter wordt, is een deel van die warmte in auto's toch nuttig gebruikt. De ruimte waar de bestuurder zich bevindt, wordt ermee verwarmd. Bij een elektromotor komt nauwelijks warmte vrij. Om toch de bestuurder en zijn eventuele passagiers warm te houden, moet een deel van de elektrische energie worden gebruikt om warmte te produceren. Ook verlopen de chemische reacties bij lage temperatuur met een lager rendement. Bij koud weer is de energiedrager, batterij of waterstof, dus sneller op (figuur 18.18).



18.18 De actieradius van een elektrische auto is in de winter aanzienlijk kleiner dan in de zomer.



18.19 Palmolieplantages gaan ten koste van regenwoud.

Keuze voor een energiebron in het vervoer

De meeste auto's rijden nog op benzine of diesel, twee brandstoffen waarvan bij verbranding veel CO₂ vrijkomt. Bovendien raken deze brandstoffen uitgeput. Daarom worden alternatieven ontwikkeld.

- **Biobrandstof** wordt geproduceerd uit gewassen zoals suikerriet, palmolie en koolzaad. De CO₂ die de biobrandstof uitstoot, wordt weer opgenomen door nieuwe gewassen, waardoor de concentratie in de lucht niet verandert. Op dit moment bevat de benzine E10 al 10% biobrandstof. Het nadeel van biobrandstof is dat de gewassen concurreren met landbouwgewassen voor voedsel. Bovendien wordt regenwoud gekapt voor de aanleg van palmolieplantages (figuur 18.19). Biobrandstoffen uit restafval van de landbouw heeft dit nadeel niet, alleen is daar onvoldoende van beschikbaar.
- **CNG** (compressed natural gas) is aardgas in samengeperste vorm. Aardgas (methaan) heeft het voordeel dat het naar verhouding minder CO₂ uitstoot en schoner is dan benzine of diesel. Bovendien is het mogelijk om een persinstallatie aan te schaffen zodat je thuis goedkoop kunt tanken. Het nadeel is dat het een fossiele brandstof is. Een andere bron van methaan is groen gas dat is geproduceerd uit gft en mest, dit is daarmee een duurzame brandstof.
- **Elektriciteit** is de energiebron van elektrische auto's en wordt centraal geproduceerd in elektriciteitscentrales. Of elektrische auto's milieuvriendelijk zijn, hangt af van de manier waarop de centrales elektriciteit produceren. Daarover meer in de volgende paragraaf. De elektrische energie kan in auto's zijn opgeslagen in accu's of in de vorm van waterstof. Op de accu's is een elektromotor aangesloten die de auto aandrijft.

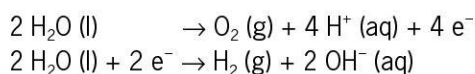
Waterstof als energiedrager

Waterstof wordt tegenwoordig steeds meer gebruikt in verbrandingsmotoren en bij elektromotoren. In verbrandingsmotoren wordt de waterstof verbrand. Bij elektromotoren wordt de chemische energie van waterstof via een brandstofcel omgezet in elektrische energie voor de aandrijving van de elektromotor. Een groot milieuvoordeel is dat bij de omzetting van waterstof in een motor alleen water ontstaat en geen koolstofdioxide.

Waterstof komt niet voor in de bodem, zoals aardgas dat wel doet. Waterstof is dus geen energiebron, maar een **energiedrager**. Je kunt waterstof verkrijgen uit aardgas via reformen en uit steenkool via kolenvergassing.

Bij beide manieren gebruik je fossiele brandstoffen en er ontstaat ook koolstofdioxide.

De zo verkregen waterstof is dus niet duurzaam. Er wordt gezocht naar meer duurzame productie van waterstof, zie figuur 18.20. Eén van die manieren is het gebruik van het overschot aan duurzame energie als het erg zonnig is of hard waait. De elektriciteit kun je dan gebruiken voor het maken van waterstof uit water. Daarbij treden onderstaande twee halfreacties op:



Als de zo verkregen waterstof in een brandstofcel wordt gebruikt, is de kwaliteit hoger dan in een verbrandingsmotor. De brandstofcel levert de stroom voor de elektromotoren die de auto aandrijven.

De kosten van de elektroden in de brandstofcel zijn op dit moment zo hoog dat waterstofauto's nog veel minder worden geproduceerd dan elektrische auto's op accu's.



18.20 Waterstofproductie in een bioreactor door algen

● Experiment 18.4

Voorbeeld

Waterstof wordt als autobrandstof pas een serieus alternatief voor benzine, als waterstofauto's met een volle tank dezelfde afstand kunnen afleggen als een gangbare benzineauto met een tank gevuld met 50 L benzine. Uit metingen is gebleken dat een benzineauto voor het afleggen van eenzelfde afstand tweemaal zo veel chemische energie nodig heeft als een waterstofauto.

- a** Wat kun je zeggen over de energiekwaliteit van waterstof ten opzichte van benzine?
- b** Bereken hoeveel kilogram waterstof een auto moet tanken om dezelfde afstand af te leggen als een benzineauto met een tank gevuld met 50 L benzine ($T = 298 \text{ K}$, $p = p_0$). Bij beide verbrandingen komt het water als gas vrij. Bij de verbranding van 1,0 L benzine komt $3,3 \cdot 10^7 \text{ J}$ vrij.

- a** Bij dezelfde hoeveelheid energie is de nuttige energie van waterstof tweemaal zo groot als die van benzine. De energiekwaliteit van waterstof is dus veel groter dan die van benzine.

- b** De energie van 50 L benzine is $50 \times 3,3 \cdot 10^7 = 1,65 \cdot 10^9 \text{ J}$.

De waterstofauto heeft hiervan maar de helft nodig: $8,25 \cdot 10^8 \text{ J}$.

De energie die vrijkomt bij de verbranding van waterstof vind je met de vormingswarmte van gasvormig water: $2,42 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$. Het aantal mol waterstof is:

$$\frac{8,25 \cdot 10^8}{2,42 \cdot 10^5} = 3,41 \cdot 10^3 \text{ mol}$$

De massa van de waterstof is dan $3,41 \cdot 10^3 \times 2,016 = 6,87 \cdot 10^3 \text{ g} = 6,9 \text{ kg}$.

Naar: CE vwo 2017-I

Welke alternatieve energiedrager of -bron in het vervoer belangrijk zal worden, is op dit moment moeilijk te zeggen. Waterstofauto's zijn nog erg duur en er zijn weinig plaatsen waar je waterstof kunt tanken (figuur 18.21). De prijs van accu's daalt snel, maar het opladen duurt nog lang. Bovendien is het **recyclen** van de grondstoffen waaruit de accu bestaat nog lang niet optimaal. De productie van biobrandstoffen heeft veel bezwaren door het beslag op landbouwgrond.



18.21 Een stadsbus heeft weinig last van het geringe aantal tankstations voor waterstof.

Waterstof, brandstof voor de toekomst

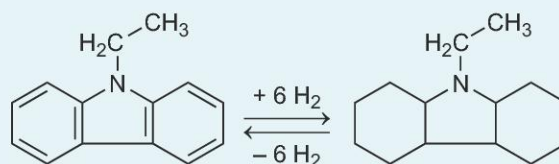
Al geruime tijd geleden reden er conceptauto's op waterstof rond. In figuur 18.22 zie je hoe een waterstofauto waterstof tankt. De waterstof komt in een hogedruktank tot een druk van 350 bar. De hoge druk en de brandbaarheid van de waterstof, maar ook de kostbare elektroden in de brandstofcel hebben tot nu toe een doorbraak naar het grote publiek tegengehouden.

Het voordeel van waterstofauto's is de actieradius die vergelijkbaar is met benzineauto's. Met een volle tank kom je ongeveer 500 km ver. Het onderzoek naar steeds betere accu's heeft ervoor gezorgd dat je deze afstand binnenkort ook met een elektrische auto op een accu kunt halen.

Er wordt gezocht naar manieren om waterstof bij normale druk op te slaan bij. Hiermee kan het explosiegevaar sterk worden gereduceerd en nemen ook de kosten af. Eén van de kanshebbers is N-ethylcarbazool.

De stof reageert met waterstof, waarbij de koolstofatomen van de twee benzeenringen elk één waterstofatoom opnemen. Hierbij ontstaat vast perhydro-N-ethylcarbazool.

Een auto tankt perhydro-N-ethylcarbazool en tijdens het rijden wordt telkens een deel van de vaste stof verhit tot 200 °C, waarbij via een endotherme reactie de waterstof vrijkomt. Als de waterstof op is, moet bij het tankstation eerst de N-ethylcarbazool uit de tank worden gezogen voor het tanken van de perhydrovorm. Er wordt nog gezocht naar een vloeibare variant met dezelfde eigenschappen voor het opnemen van de waterstof zonder dit ingewikkelde tankproces.



18.22 Waterstofauto tankt bij een mobiel station waterstof onder hoge druk.

● Opdracht C24

Samenvatting

- De energiedichtheid is de hoeveelheid energie per kg of L van een energiedrager of -bron.
- De kwaliteit van de energie is het nuttige deel van de energie. Hoe hoger het rendement van de energieomzetting, des te groter is de kwaliteit.
- Bij de keuze van een energiedrager of -bron spelen veel factoren een rol, zoals energiedichtheid, de kwaliteit van de energie en de duurzaamheid van de energiedrager of -bron.

Opdrachten

A 17 

Waarom is een lage energiedichtheid voor de accu's in een elektrisch vliegtuig ongewenst?

A 18

Wat is het verband tussen de kwaliteit van de energie en het rendement van een energieomzetting?

B 19

Waterstof kun je zowel gebruiken in een verbrandingsmotor als in een brandstofcel.

- Geef de reactievergelijking voor de verbranding van waterstof.
- Geef de vergelijking van de halfreactie die plaatsvindt aan de negatieve elektrode in een waterstofbrandstofcel.
- Geef ook de vergelijking van de halfreactie aan de positieve elektrode en leid uit beide vergelijkingen de totale reactievergelijking af.
- Teken een brandstofcel met waterstof als brandstof.
- Leg uit in welk van beide situaties, verbrandingsmotor of brandstofcel, de kwaliteit van de energie het grootst is.
- Onder welke voorwaarde is het gebruik van waterstof in een voertuig een duurzame keuze?

B 20

Waterstof kun je maken uit organisch afval van de voedingsmiddelenindustrie. De kern van de biochemische waterstofproductie bestaat uit twee opeenvolgende fermentaties (vergistingen).

In de eerste reactor zetten thermofiele (warmteminnende) bacteriën in een fermentatie, waar geen licht bij nodig is, de biomassa bij 70 °C met water om in waterstof, koolstofdioxide en organische zuren, zie figuur 18.23.

In de daaropvolgende fermentatie in de tweede reactor zetten bacteriën de organische zuren en water met behulp van lichtenergie om tot waterstof en koolstofdioxide. Op deze manier kan de efficiëntie van de waterstofproductie oplopen tot 75%. Het koolstofdioxide dat ontstaat bij de fermentaties kan weer worden gebruikt voor nieuwe biomassaproductie.

In de eerste reactor wordt de uit biomassa afkomstige glucose met water omgezet in onder andere azijnzuur.

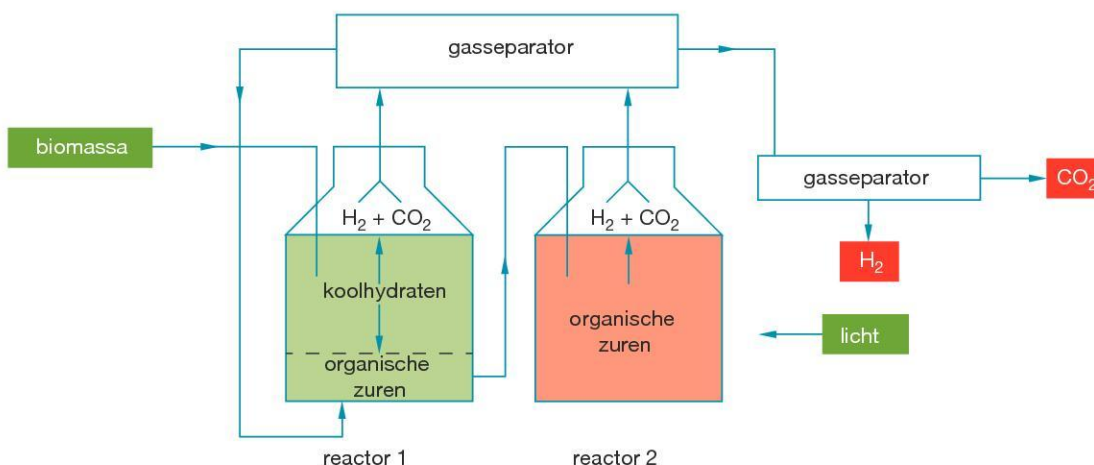
- Geef de reactievergelijking van dit proces.

De azijnzuuroplossing wordt in de tweede reactor gevoerd en daar via fotofermentatie omgezet.

- Geef de reactievergelijking van dit proces.

Het ontstane gasmengsel wordt als laatste in gasseparator 2 gescheiden.

- Op welke manier kunnen de twee ontstane gassen worden gescheiden? Gebruik Binas tabel 12 en 42A.
- Op welke manier wordt de CO₂ weer gebruikt voor nieuwe biomassa?



18.23 Waterstof uit biomassa

B 21

- a** Geef de vergelijking van de totaalreactie die optreedt bij de elektrolyse van water.

Zuiver water geleidt geen stroom.

- b** Wat voor soort stoffen moet je aan het water toevoegen om het wel stroom te laten geleiden?
- c** Leg uit dat je ook een oplossing van een sterk zuur kunt gebruiken voor de elektrolyse van water.

C 22 ★

E10 is benzine die is gemengd met 10 volume-% bio-ethanol. Een nadeel van ethanol in vergelijking met benzine is de lagere energiedichtheid.

- a** Wat betekent het begrip energiedichtheid?
- b** Wat is het voordeel van het bijmengen van bio-ethanol?

De energiedichtheid van ethanol kun je berekenen met behulp van de dichtheid van ethanol en de verbrandingswarmte van ethanol. Beide getallen vind je in Binas.

- c** Bereken de energiedichtheid van ethanol in MJ L^{-1} bij $T = 298 \text{ K}$ en $p = p_0$. Ga er bij de berekening van uit dat de dichtheid van ethanol bij 298 K gelijk is aan die bij 293 K .

C 23

In het eerste waterstoftankstation van Nederland wordt waterstofgas bij een druk van 700 bar in de tank van de auto overgepompt. De druk wordt zo hoog gehouden omdat de energiedichtheid van de waterstof op deze manier veel hoger is dan wanneer waterstof bij gewone druk zou worden gebruikt.

De energiedichtheid van benzine bij volledige verbranding bedraagt 46 MJ kg^{-1} , wat overeenkomt met $3,3 \cdot 10^4 \text{ MJ m}^{-3}$. Het ontstane water komt hierbij vrij als gas.

De energiedichtheid van waterstof bij 700 bar is hoger dan die van benzine wanneer deze wordt uitgedrukt in MJ kg^{-1} , maar lager als deze wordt uitgedrukt in MJ m^{-3} .

- a** Bereken de energiedichtheid van waterstof bij 700 bar . Geef je antwoord in zowel MJ kg^{-1} als in MJ m^{-3} . Het ontstane water komt vrij als gas. Het molair volume bedraagt dan $5,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$. Neem aan dat je onder deze omstandigheden de waarden van de reactiewarmtes uit Binas mag gebruiken.

Als de waterstof door elektrolyse van water wordt bereid, gaat 35% van de toegevoerde elektrische energie verloren. Het energierendement van een waterstofbrandstofcel bedraagt gemiddeld 45%. In beide gevallen is het verlies aan energie vooral te wijten aan de ontwikkeling van warmte. Overige rendementsverliezen worden hierbij verwaarloosd. Het totale energierendement van de vorming van waterstof uit water, waarna het in een brandstofcel wordt gebruikt, is hierdoor laag.

- b** Bereken het totale energie-rendement.

Naar: CE vwo 2016-II

C 24

Lees de tekst in het kader 'Waterstof, brandstof voor de toekomst' en beantwoord de volgende vragen.

- a** Bereken met welk percentage de massa van het N-ethylcarbazon toeneemt als het H-atomen heeft opgenomen.
- b** Leg uit dat bij opslag en vervoer van perhydro-N-ethylcarbazon het risico op een explosie van waterstof erg klein is.

Voor de ontleding van het perhydro-N-ethylcarbazon is een katalysator vereist.

- c** Teken een energiediagram voor de ontleding van perhydro-N-ethylcarbazon en laat daarbij de functie van de katalysator zien.

Naar: CE vwo 2017-I

Experiment

18.4 Vermogen van een brandstofcel bepalen

Je bepaalt het vermogen van een waterstofbrandstofcel.

- Volledige instructie Chemie Overal online

Je kunt nu

- rekenen aan de energiedichtheid van energiedragers of -bronnen;
- beredeneren welke factoren een rol spelen bij de keuze van een energiedrager of -bron;
- uitleggen wat kwaliteit van energie is.

Elektriciteitscentrale

Tijdens de energietransitie moet een steeds groter deel van alle elektriciteit worden opgewekt met duurzame energiebronnen.

De rol van de traditionele energiecentrales verandert daardoor. Als er geen wind of zon is, moeten ze snel kunnen worden ingeschakeld om te garanderen dat het elektriciteitsnet voldoende energie kan leveren.



Je leert

- hoe elektriciteitscentrales werken;
- welke stappen nodig zijn om de CO₂-uitstoot te beperken.

18.4 Energietransitie

De werking van een elektriciteitscentrale

In een elektriciteitscentrale wordt met behulp van warmte stoom geproduceerd. De stoom drijft een turbine aan waarvan de as is verbonden met een generator. Een generator is een reusachtige **dynamo**, die de bewegingsenergie van de turbine door middel van magneten en spoelen omzet in elektriciteit. In een kerncentrale wordt de warmte opgewekt door een kernreactie, in een kolencentrale en aardgascentrale worden fossiele brandstoffen verbrand.

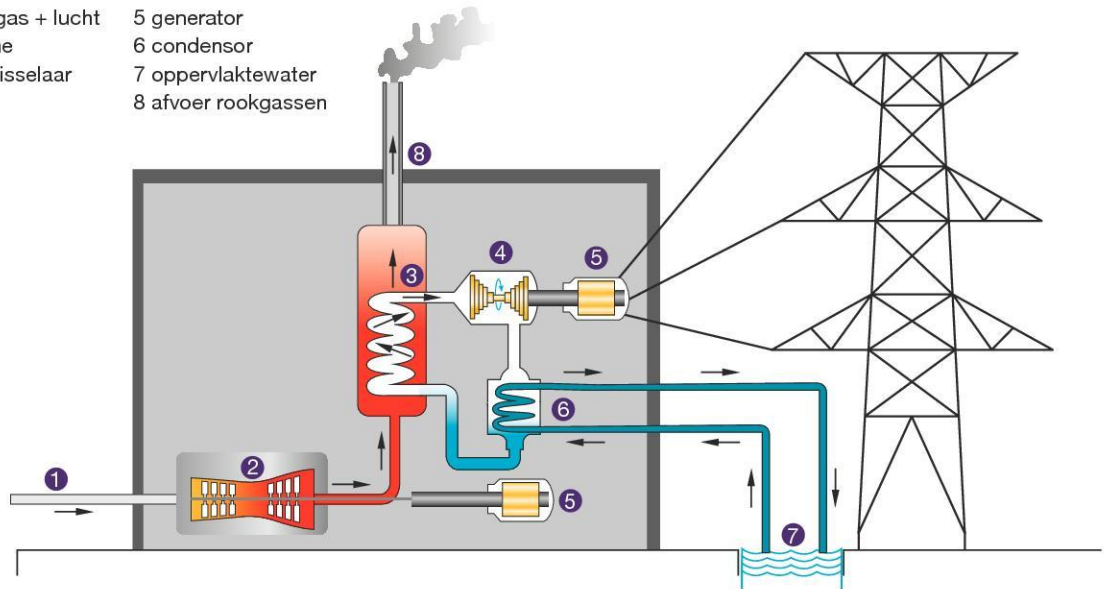


18.24 STEG-centrale

De meeste nieuwe elektriciteitscentrales zijn zogenaamde STEG-centrales, bijvoorbeeld de Magnumcentrale in de Eemshaven in de provincie Groningen (figuur 18.24). Het hart van zo'n centrale wordt gevormd door een STEG-eenheid, dit is een combinatie van een **stoom-** en een **gasturbine**, zie figuur 18.25. In de gasturbine wordt aardgas met lucht verbrand. De hete samengeperste verbrandingsgassen drijven de turbine direct aan, waardoor een generator in beweging komt die elektriciteit produceert. De verbrandingsgassen die de turbine verlaten, hebben nog een hoge temperatuur, waarmee in een warmtewisselaar water wordt verhit tot stoom. Hiermee kan een stoomturbine worden aangedreven, die weer verbonden is met een generator. Samen kunnen beide turbines een rendement van meer dan 60% halen.

Bij een traditionele kolencentrale wordt fijngemalen kool verbrand, waarmee water wordt verhit tot stoom en een stoomturbine wordt aangedreven. Het rendement van een kolencentrale ligt lager, rond de 46%, omdat veel warmte verloren gaat. Daarnaast geeft een kolencentrale meer vervuiling, omdat naast koolstofdioxide ook zwaveldioxide en vliegash (fijnstof) vrijkomt.

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| 1 aanvoer gas + lucht | 5 generator |
| 2 gasturbine | 6 condensor |
| 3 warmtewisselaar | 7 oppervlaktewater |
| 4 turbine | 8 afvoer rookgassen |



18.25 Een schematische weergave van een STEG-eenheid

Beperking van de uitstoot van CO₂

Bij de verbranding van fossiele brandstoffen komt onder andere CO₂ vrij. Door de sterke toename van de welvaart over de hele wereld is de concentratie in de atmosfeer sterk gestegen. Dit heeft geleid tot een versterking van het broeikaseffect en een stijging van de temperatuur over de gehele wereld. Dit leidt onder andere tot een stijging van de zeespiegel en daarom is wereldwijd afgesproken de uitstoot van CO₂ te beperken. Deze afspraak heeft grote gevolgen voor elektriciteitscentrales. Hieronder volgen drie mogelijke oplossingen om de CO₂-uitstoot te beperken en de elektriciteitsproductie te verduurzamen.

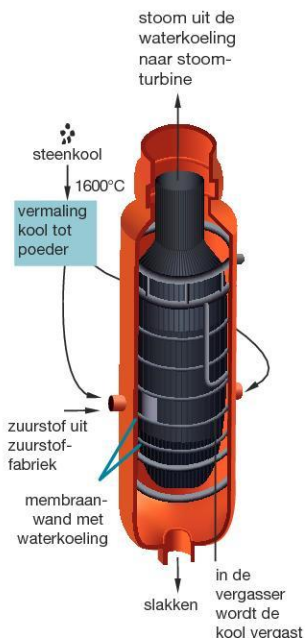
Keuze van brandstof

De hoeveelheid CO₂ die een centrale uitstoot, verschilt per brandstof. Bij verbranding van koolstof ontstaat alleen CO₂. Bij verbranding van koolwaterstoffen ontstaat daarnaast ook H₂O, dat geen milieuproblemen kent. Hoe kleiner de **C/H-verhouding** is, des te minder CO₂ bij de verbranding ontstaat. Methaan (CH₄) bijvoorbeeld heeft een C/H-verhouding van $1/4 = 0,25$ en benzine (C₈H₁₈) heeft een C/H-verhouding van $8/18 = 0,44$. Omdat de verbrandingswarmte van benzine en methaan per kilogram brandstof weinig verschilt, produceert methaan als brandstof ruim anderhalf maal minder CO₂ dan benzine.

Een andere methode om de uitstoot van CO₂ te beperken is de keuze voor **biobrandstoffen**. Zo zorgt de bijstook van hout in een kolencentrale voor een lagere uitstoot van CO₂. De CO₂ die vrijkomt bij de verbranding van hout is onderdeel van de korte koolstofkringloop. De CO₂ is pas kort geleden door bomen uit de atmosfeer gehaald en draagt daardoor niet bij aan de versterking van het broeikaseffect. Dit geldt ook voor het gebruik van uit restafval verkregen biogas.

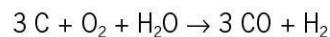
Verhoging van het rendement

Hoe hoger het rendement van de energieomzetting, des te meer energie je per kilogram CO₂ krijgt. Een STEG-centrale is een voorbeeld van een centrale met een hoog rendement. Hierbij kan, op een indirecte manier, ook kolen (koolstof) worden gebruikt als energiebron. De kolen worden dan in een aantal stappen omgezet in **synthesegas**, een mengsel van CO en H₂. Dit proces heet **kolenvergassing** (figuur 18.26).



18.26 Kolenvergassing.
Het synthesesgas gaat na
behandeling naar de gasturbine
in een STEG-eenheid.

De totale reactievergelijking van kolenvergassing is:



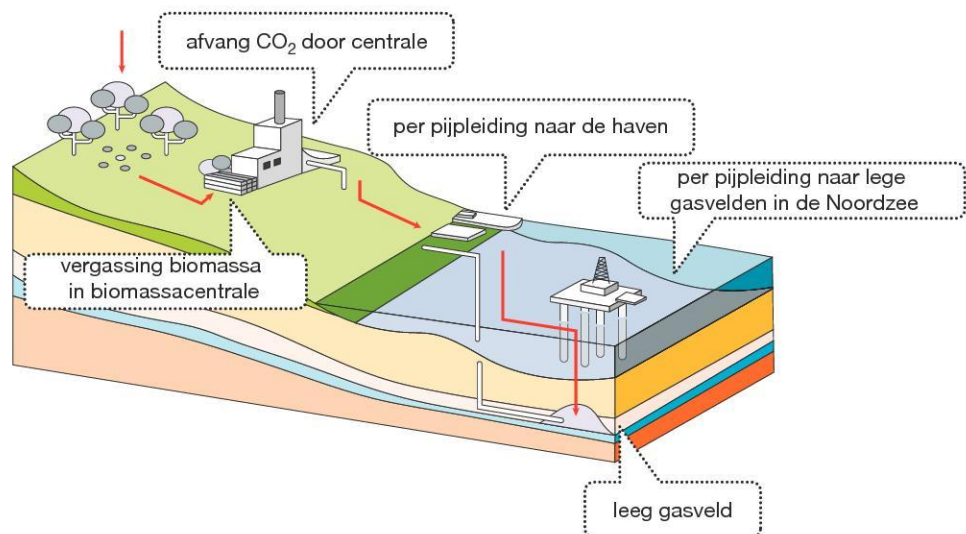
Het synthesesgas wordt als brandstof in een STEG-centrale gebruikt. Een extra voordeel is dat het gas veel schoner is dan de oorspronkelijke koolstof.

Het rendement kan ook worden verhoogd door restwarmte van een centrale te gebruiken om huizen te verwarmen. Deze combinatie van warmte- en elektriciteitsproductie heet **warmtekrachtkoppeling, wkk**. Zo kan meer dan 80% van de chemische energie van brandstoffen nuttig worden gebruikt.

Opslag van koolstofdioxide

Er bestaan plannen om koolstofdioxide af te vangen en op te slaan in de bodem. Lege olie- en gasvelden komen daarvoor in aanmerking. In de nabijheid van de Eemshaven zijn verschillende gasvelden die hiervoor geschikt lijken, maar vanuit de samenleving is daar veel weerstand tegen. Omwonenden zijn bang dat het opgeslagen koolstofdioxide kan ontsnappen, bijvoorbeeld bij een aardbeving, en zich als een verstikkende deken over de omgeving zal verspreiden. Ook een aantal kleine gasvelden in de Noordzee komt in aanmerking voor de opslag van koolstofdioxide. Het transport en de opslag van koolstofdioxide onder de zeebodem is echter ingewikkelder en veel duurder. **CO₂-opslag** wordt waarschijnlijk toch onmisbaar om de CO₂-uitstoot voldoende te beperken (figuur 18.27).

Voor de bouw van een elektriciteitscentrale worden al deze effecten op het milieu beschreven in een **milieueffectrapportage** (MER). Hierin komen ook zaken aan de orde als veiligheid voor de omgeving en alternatieve oplossingen. Aan de hand van deze rapportage verleent de overheid al dan niet toestemming voor de bouw en ingebruikname van een centrale.



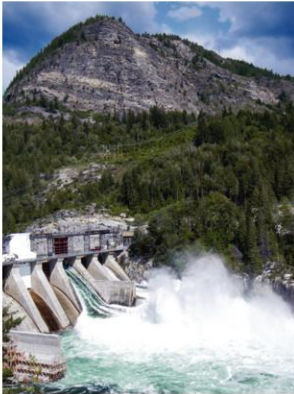
18.27 Met CO₂-opslag kan zelfs een negatieve CO₂-uitstoot worden bereikt.

Energietransitie

De overgang van fossiele energiebronnen naar duurzame energiebronnen wordt de **energietransitie** genoemd en dit is een voorbeeld van duurzame ontwikkeling. Duurzame ontwikkeling komt tegemoet aan de behoeften van huidige generaties zonder de mogelijkheden voor toekomstige generaties weg te nemen. Dit betekent dat duurzame energiebronnen aan deze drie voorwaarden moeten voldoen. De energiebron moet onuitputtelijk zijn, niet schadelijk voor mens en milieu en economisch haalbaar.

De energiebron moet onuitputtelijk zijn

In Nederland wordt het grootste deel van de elektriciteit geproduceerd door aardgascentrales. Dit levert nauwelijks vervuiling op en zorgt voor een lagere uitstoot van koolstofdioxide dan de verbranding van olie of steenkool. Maar je kunt een moderne aardgascentrale niet duurzaam noemen, zelfs niet als je het uitgestoten koolstofdioxide zou opslaan. Aardgas is in de loop van miljoenen jaren ontstaan en wordt nu in een hoog tempo verbruikt. Als we in het huidige tempo doorgaan met het gebruik van aardgas is de voorraad binnen enkele decennia uitgeput. Aardgas is dus geen duurzame energiebron.



a



b

18.28 Landen met veel bergen gebruiken waterkracht voor het opwekken van elektriciteit (a). In Nederland kan dat niet, maar hier is de mogelijkheid om energie (b) te verkrijgen uit het mengen van zout en zoet water.

Niet schadelijk voor mens en milieu

Steenkool is er voorlopig nog genoeg, maar de traditionele kolencentrales veroorzaken veel meer vervuiling dan aardgascentrales. Deze uitstoot kan gedeeltelijk worden verwijderd, maar voor de uitstoot van koolstofdioxide is nog geen oplossing.

Economisch haalbaar

Windenergie is op dit moment concurrerend met de energie uit fossiele brandstof. Het probleem is wel dat windstille periodes door andere energiebronnen moeten worden opgevangen. Uiteindelijk zal de goedkoopste oplossing voor de energietransitie de voorkeur krijgen. Door de snelle ontwikkelingen is moeilijk te voorspellen welke dat is.

Uit het bovenstaande blijkt wel dat we in Nederland nog een lange weg hebben te gaan.

Vier bronnen van groene stroom

Een mogelijkheid om te voldoen aan de genoemde voorwaarden is het gebruik van groene stroom. Groene stroom wordt in Nederland opgewekt uit verschillende energiebronnen, zoals windenergie, biomassa en zonne-energie. In de toekomst komt daar misschien nog energie uit zoet en zout water bij. In de opdrachten van deze paragraaf zoek je uit wat de voor- en nadelen van deze energiebronnen zijn en toets je de energiebronnen aan de voorwaarden voor duurzame energiebronnen.

Windenergie

Het vlakke Nederlandse landschap en de wind die vaak waait zijn prima voorwaarden voor het gebruik van windenergie. Dit werk je uit in opdracht B34.

Biomassa

Uit organisch materiaal zoals hout, groente-, fruit- en tuinafval, rioolslib en mest kun je energie winnen. Biomassa werk je uit in opdracht B35.

Zonne-energie

De zon is een bijzonder krachtige energiebron. Je gaat aan de slag met zonne-energie in opdracht B36.

Energie uit water

Uit het mengen van zoet rivierwater en zout zeewater kun je energie winnen. In de afsluitdijk is onlangs met deze vorm van energiewinning een proefproject gestart (figuur 18.28b). Dit werk je uit in opdracht B37 'blue energy'.

Tot slot bepaal je in opdracht B38 op basis van argumenten welke energiebron het meest geschikt is voor het opwekken van groene stroom in Nederland.

Elektriciteitscentrale wordt superbatterij

Om aan internationale afspraken over CO_2 -beperking te voldoen moeten elektriciteitscentrales sluiten, lang voordat ze het einde van hun levensduur hebben bereikt. Dat geldt vooral voor de kolencentrales, die door de hoge C/H-verhouding van hun energiebron veel CO_2 uitstoten. Centrales kunnen een rol blijven spelen als in de toekomst de grootste hoeveelheid elektriciteit duurzaam wordt opgewekt. Als het erg zonnig is en/of hard waait zal er een overmaat elektriciteit beschikbaar zijn. Met deze elektriciteit kan water worden omgezet in waterstof en zuurstof.

Zo onderzoeken Nuon, Gasunie en het Noorse Statoil de mogelijkheid om een van de drie units van de Nuon Magnum-gascentrale in de Eemshaven om te bouwen,

zodat deze waterstof als brandstof kan gebruiken in plaats van aardgas (figuur 18.29).

Dit zou vanaf 2023 mogelijk moeten zijn. Het opwekken van de elektriciteit in deze STEG-eenheid levert dan geen CO_2 : er komt bij verbranding van waterstof waterdamp vrij. De waterstof zal voorlopig door Statoil worden geleverd, die aardgas gebruikt om waterstof te produceren. De CO_2 die daarbij vrijkomt, wordt ondergronds voor de Noorse kust opgeslagen. Daarmee wordt CO_2 -uitstoot voorkomen. TU Delft en Nuon doen ook onderzoek naar een methode om eerst de gevormde waterstof om te zetten in ammoniak. De ammoniak kan dan worden gebruikt in een STEG-centrale. Bij de verbranding komt alleen stikstof en water vrij.



18.29 De Magnumcentrale in de Eemshaven met drie STEG-eenheden

● Opdracht C39

Samenvatting

- In een elektriciteitscentrale wordt met warmte stoom geproduceerd. De stoom drijft via een stoomturbine een generator aan die bewegingsenergie omzet in elektrische energie. De warmte kan worden verkregen door kernenergie of door de verbranding van brandstoffen.
- In een STEG-centrale drijven de hete verbrandingsgassen eerst een gasturbine aan, waarna met de resterende warmte stoom wordt gemaakt. Hierdoor is het rendement in een STEG-centrale groter dan in een kolencentrale. In een STEG-centrale kan ook synthesesgas worden verbrand, dat door kolenvergassing uit koolstof wordt geproduceerd.
- De uitstoot van CO_2 kan worden beperkt door de C/H-verhouding van de brandstof laag te kiezen, door het rendement te verhogen, door biobrandstoffen te gebruiken en door CO_2 -opslag.

Opdrachten

A 25

- Welke onderdelen zijn gelijk bij een kerncentrale en een brandstofcentrale?
- Beschrijf wat het verschil is tussen een moderne STEG-centrale en een traditionele kolencentrale.
- Wat is het voordeel van een STEG-centrale?

A 26

Wat is het verband tussen de C/H-verhouding van een brandstof en de geproduceerde CO_2 per kJ energie?

A 27

Volgens internationale afspraken moet de uitstoot van CO_2 worden beperkt.

Waarom hoef je de CO_2 die vrijkomt bij de verbranding van biobrandstoffen niet mee te tellen en de CO_2 die vrijkomt bij de verbranding van fossiele brandstoffen wel?

B 28

Met warmtekrachtkoppeling kan het rendement van een STEG-centrale verder worden verhoogd. Leg uit hoe dit werkt.

B 29

Je vergelijkt de verbranding van koolstof, methaan en propaan.

- Geef de vergelijking van de drie verbrandingen.
- Bereken het massapercentage koolstof voor de koolwaterstoffen.
- Bereken voor elke brandstof de hoeveelheid energie die wordt geproduceerd als er 1 kg CO_2 ontstaat.
- Wat is je conclusie?

B 30

In de tekst staat de totaalvergelijking van de kolenvergassing, die in drie stappen verloopt. De eerste stap is de verbranding van koolstof. In de tweede stap reageert koolstof met koolstofdioxide tot koolstofmono-oxide.

- Geef de reactievergelijkingen voor de eerste twee stappen.
- Geef de reactievergelijking voor de derde stap bij de productie van synthesegas via kolenvergassing.

B 31

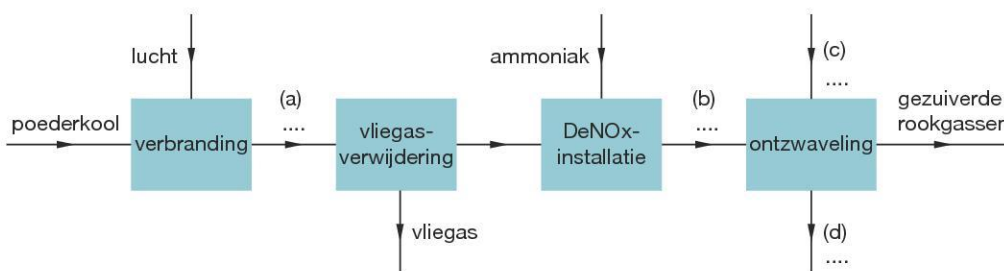
Bij de verbranding van steenkool komen schadelijke stoffen vrij zoals vlieg-as (fijnstof, waarin onder andere zware metalen), stikstofoxiden en zwaveldioxide, die uit de rookgassen moeten worden verwijderd. De stikstofoxiden worden in de DeNOx-installaties omgezet in stikstof en water, de zwaveldioxide reageert met kalkwater tot gips.

In figuur 18.30 is de verbranding van steenkool in een kolencentrale en de zuivering van de rookgassen in een blokschema weergegeven. De namen van verschillende stoffen ontbreken.

- Neem het blokschema over en geef bij (a) aan welke stoffen van blok 1 naar blok 2 gaan.
- Waarvoor is het nodig om vlieg-as te verwijderen?
- Geef in je blokschema bij (b) aan welke stoffen de stroom na blok 3 bevat.
- Geef bij het vierde blok bij (c) en (d) aan welke stoffen bij de ontzwaveling zijn betrokken.

In de gezuiverde rookgassen bevindt zich ook een hoeveelheid argon.

- Verklaar de aanwezigheid van deze stof.



18.30 Blokschema van een kolencentrale

C 32

Bij de verbranding van steenkool of aardgas kan in een nevenreactie het giftige stikstofmono-oxide ontstaan. De vorming is een evenwichtsreactie.

- Geef de evenwichtsvoorwaarde van deze reactie.
- Zoek in Binas tabel 51 de evenwichtsconstante van dit evenwicht op bij 500 K en bij 1000 K.
- Geef aan bij welke temperatuur een evenwichtsmengsel de hoogste concentratie stikstofmono-oxide bevat.

Om de vorming van stikstofmono-oxide tegen te gaan kan bij de verbranding zuivere zuurstof in plaats van lucht worden gebruikt. Maar ook het toevoegen van extra stikstof kan leiden tot een lagere uitstoot van stikstofmono-oxide.

- Geef een verklaring voor beide effecten.

C 33 Kolenvergasser

Bekijk het stroomschema van een kolenvergasser in Binas tabel 38B3 en beantwoord de volgende vragen.

- Wat zal worden bedoeld met de voorbereiding?

In de kolenvergasser moeten brandstof, zuurstof en waterdamp in de juiste verhouding worden gemengd om een optimale samenstelling van synthesesgas te krijgen.

- Noem een ongewenste stof die kan ontstaan indien de verhouding in de vergasser niet optimaal is.
- Uit wat voor soort stoffen zal 'slak' die uit de vergasser komt, bestaan?

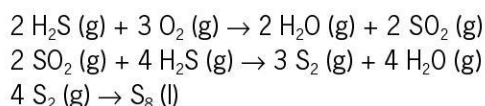
Een belangrijk gegeven bij het vergassen is de C/H-verhouding van de brandstof.

- Bereken de C/H-verhouding van cellulose ($C_6H_{10}O_5$)_n.

Een brandstof met een C/H-verhouding van 0,85 wordt met een ondermaat zuurstof verbrand.

- Bereken in welke molverhouding koolstofmono-oxide en waterstof in het gevormde gas voorkomen.

Gedurende het kolenvergassingsproces ontstaat waterstofsulfide. Dit gas wordt in een ontzwavelingsinstallatie gescheiden van de andere rookgassen en omgezet tot vloeibaar zwavel. De reacties die hierbij verlopen zijn:



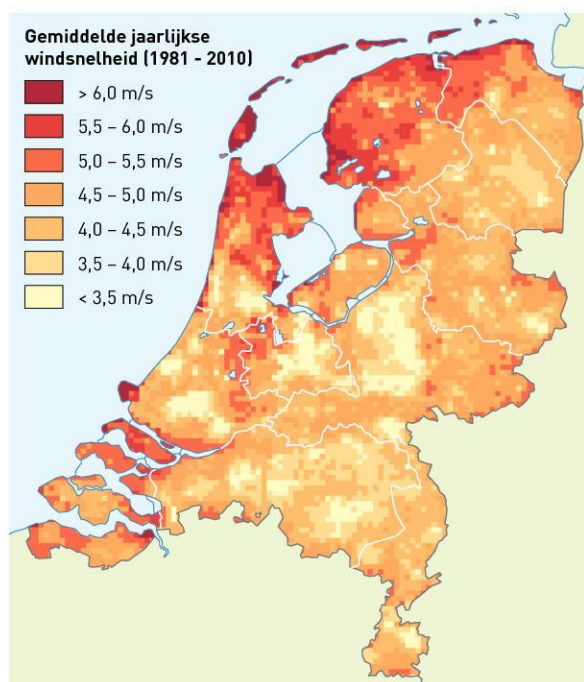
Waterstofsulfide is een brandbaar gas.

- Waarom is het toch ongewenst dat deze stof in een STEG-eenheid wordt verbrand?
- Geef de vergelijking van de totaalreactie van de ontzwaveling.

B 34 Energiebron 1: windenergie

Nederland is vlak en het waait er vaak, zie figuur 18.31. Al eeuwenlang wordt er daarom windenergie gebruikt om polders droog te pompen, hout te zagen of graan te malen. Tegenwoordig wordt er vooral elektriciteit mee opgewekt. De moderne windmolens zijn vaak meer dan honderd meter hoog en leveren meer dan zes miljoen kWh per jaar als ze op een gunstige locatie staan.

- Zoek op hoeveel kWh een Nederlands gezin gemiddeld per jaar verbruikt en leg uit waarom investeren in windenergie voor particulieren niet aantrekkelijk is.
- Zoek op hoeveel elektriciteit Nederland per jaar verbruikt en bereken hoeveel grote moderne windmolens nodig zijn om deze elektriciteit op te wekken.
- Leg uit of je alle bestaande energiecentrales dan kunt sluiten.



18.31 Windsnelheid

Windmolens zijn niet 100% groen en de plaatsing ervan gaat niet altijd zonder slag of stoot. De overheid heeft daarom een aantal plaatsen aangewezen voor grootschalige windparken.

- Welke bezwaren zullen omwonenden hebben?
- Welke negatieve gevolgen zijn er verder voor de omgeving?
- Leg uit waardoor windmolens meestal niet helemaal CO₂-neutraal zijn.
- Welke plaatsen in Nederland lijken geschikt voor windparken?
- Zoek op internet informatie over windenergie op. Zet de voordelen en nadelen van windenergie op een rijtje en geef aan welke kansen windenergie voor Nederland als duurzame energiebron heeft.

B 35 Energiebron 2: biomassa

In 2016 was biomassa de meest gebruikte en goedkoopste bron van groene stroom (63%) in Nederland. Hoe duurzaam biomassa precies is, hangt van veel factoren af, bijvoorbeeld de soort biomassa die wordt gebruikt. Voor het produceren van elektriciteit kun je biomassa bijstoken in een traditionele kolencentrale. Als biomassa wordt bijvoorbeeld wilgenhout gebruikt. Dit groeit snel, ongeveer elf ton per jaar per hectare.

- a Bereken hoeveel hectare wilgenbos een gemiddeld gezin nodig heeft om voldoende stroom te produceren voor eigen gebruik. Ga uit van een rendement van de energiecentrale van 42% en gebruik een gegeven uit Binas tabel 28B.
- b Bereken hoeveel procent van Nederland moet worden gebruikt om voldoende wilgenhout te produceren om aan de jaarlijkse elektriciteitsbehoefte te kunnen voldoen.

Bij het verbranden van biomassa in een kolencentrale komt onder meer koolstofdioxide vrij.

- c Leg uit in hoeverre deze koolstofdioxide bijdraagt aan het broeikaseffect.
- d Noem twee schadelijke stoffen die je uit de rookgassen van een elektriciteitscentrale moet verwijderen als er biomassa wordt verbrand.
- e Welk schoner alternatief bestaat er om elektriciteit uit wilgenhout te halen?
- f Zoek op internet informatie over biomassa als duurzame energiebron. Welke alternatieven zijn er voor wilgenhout? Zet de voordelen en nadelen op een rijtje en geef aan welke kansen biomassa voor Nederland als duurzame energiebron heeft.

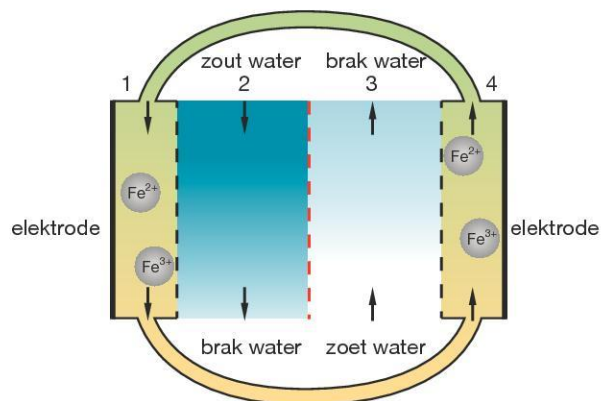
B 36 Energiebron 3: zonne-energie

De zon levert in een uur tijd evenveel energie als de hele aarde in een jaar gebruikt. Ook in Nederland levert de zon meer dan voldoende energie. Toch wordt van zonne-energie relatief weinig gebruikgemaakt. Er bestaan al zonnepanelen die meer dan 40% van de zonne-energie kunnen omzetten in elektriciteit, maar deze zijn nog niet op de markt. Betaalbare zonnepanelen hebben een rendement van ongeveer 20% (2018) en leveren jaarlijks ongeveer 150 kWh aan stroom per m^2 . In ongeveer zeven jaar tijd verdien je de kosten van een zonnepaneel op je dak terug.

- a Bereken hoeveel m^2 aan zonnepanelen een gemiddeld Nederlands gezin moet plaatsen om voldoende stroom voor eigen gebruik te produceren.
- b Leg uit of dat voor iedereen haalbaar is.
- c Bereken op hoeveel procent van het landoppervlak in Nederland zonnepanelen moeten worden geplaatst om aan de jaarlijkse elektriciteitsbehoefte te voldoen.
- d Leg uit of je alle bestaande energiecentrales dan kunt sluiten.
- e Zoek op internet informatie over zonne-energie. Op welke plaatsen kun je zonder schade aan de leefomgeving zonnepanelen plaatsen? Zet de voordelen en nadelen van zonne-energie op een rijtje en geef aan welke kansen zonne-energie voor Nederland als duurzame energiebron heeft.

B 37 Energiebron 4: blue energy

In landen met veel bergen, zoals Noorwegen en Zwitserland, wordt veel waterkracht gebruikt voor het opwekken van elektriciteit. In Nederland is hiervoor genoeg water, maar te weinig hoogteverschil. Toch lijkt het mogelijk om op grote schaal energie uit water te halen door zoet water en zout water te mengen. Dit wordt ook wel blue energy genoemd. In figuur 18.32 is een installatie waarmee deze energie uit water gehaald kan worden schematisch weergegeven.



18.32 Schematische tekening van de opstelling van een 'blue energy'-installatie

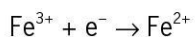
De installatie bestaat uit vier gedeelten. In ruimte 2 en 3 stromen zout en zoet water langs elkaar, slechts gescheiden door een membraan dat alleen positief geladen ionen doorlaat. Een deel van de natriumionen uit het zeewater gaat door dit membraan van het zoute water (ruimte 2) naar het zoete water (ruimte 3).

Er ontstaat zo een spanningsverschil omdat in ruimte 3 een overschot aan positieve ionen aanwezig is en in een ruimte 2 een overschot aan negatieve ionen. Ruimte 1 bevat een oplossing van ijzer(II)chloride en is verbonden met ruimte 2 via een membraan dat alleen negatieve geladen ionen doorlaat. Als gevolg van het spanningsverschil tussen zoet en zout water gaan chloride-ionen van ruimte 2 naar ruimte 1. Om de toename van negatieve lading in ruimte 1 op te heffen worden ijzer(II)ionen bij elektrode I omgezet in ijzer(III)ionen:



De gevormde oplossing met ijzer(III)chloride wordt naar ruimte 4 gepompt. Deze is verbonden met ruimte 3 via een membraan dat eveneens alleen negatieve geladen ionen doorlaat. Als gevolg van het spanningsverschil tussen het zoete en zoute water gaan chloride-ionen uit ruimte 4 naar ruimte 3.

Om de afname van negatieve lading in ruimte 4 op te heffen worden ijzer(III)ionen bij elektrode II omgezet in ijzer(II)ionen:



De oplossing met ijzer(II)chloride stroomt weer terug naar ruimte 1 en kan hier opnieuw worden gebruikt. Uit ruimte 2 en 3 stroomt nu brak water de zee in.

- Neem figuur 18.32 over en geef hierin aan hoe natrium-ionen en chloride-ionen door de installatie bewegen.
- Leid af welke elektrode positief is geladen en welke elektrode negatief is geladen.

Het spanningsverschil dat ontstaat tussen de elektroden is klein, maar de membranen zijn erg dun en je kunt er een groot aantal in serie schakelen. Een installatie met een membraanoppervlakte van 1 m^2 levert ongeveer 40 kWh per jaar. Hiervoor is ongeveer 500 L zoet en 500 L zout water per uur nodig. In een installatie ter grootte van een zeecontainer kan ongeveer $50\,000 \text{ m}^2$ aan membranen worden verwerkt.

- Bereken hoeveel m^2 aan membranen nodig is om heel Nederland van blue energy te voorzien.

- Bereken hoeveel installaties ter grootte van een zeecontainer hiervoor nodig zijn.
- Bereken ook hoeveel m^3 zoet water en zout water dan per uur door al deze installaties moet stromen.
- Leg uit welke locaties in Nederland mogelijk geschikt zijn voor het opwekken van blue energy.
- Welke negatieve gevolgen kan blue energy hebben voor de omgeving van zo'n installatie?
- Zoek op internet informatie over blue energy op. Zet de voordelen en nadelen van blue energy op een rijtje en geef aan welke kansen blue energy voor Nederland als duurzame energiebron heeft.

B 38 Je hebt voor het beantwoorden van deze vraag de berekeningen en resultaten van de vier energiebronnen uit vraag B34 t/m B37 nodig. Wissel deze gegevens eventueel uit met andere leerlingen uit je klas.

- Vergelijk de verschillende energiebronnen uit de vorige opgaven op grond van de criteria voor duurzame energie.
- Beredeneer welke energiebron of welke combinatie van energiebronnen het meest geschikt is voor Nederland om groene stroom op te wekken.
- Welk duurzaam, goedkoop en gemakkelijk alternatief is in deze paragraaf niet ter sprake gekomen?

C 39

Lees de tekst in het kader 'Elektriciteitscentrale wordt superbatterij' en beantwoord de volgende vragen. Waterstof kan ook in brandstofcellen elektriciteit leveren.

- Noem twee redenen waarom toch wordt gekozen voor het aanpassen van een STEG-eenheid.
- Noem twee uitgangspunten van de groene chemie (Binas tabel 97F) die met dit plan worden bereikt. Leg je keuze uit.
- Hoe heet de productie van waterstof uit water hier?
- Geef de halfreactie van de productie van waterstof en geef aan bij welke elektrode deze reactie plaatsvindt.
- Geef de vergelijking voor de productie van ammoniak volgens het plan van de TU Delft.
- Geef de vergelijking voor de verbranding van de ammoniak in de STEG-centrale.

Je kunt nu

- aangeven hoe elektriciteitscentrales werken;
- de verschillende methodes toelichten waarmee de CO_2 -uitstoot van elektriciteitscentrales kan worden beperkt;
- beargumenteerd redeneren over de energietransitie.

Afsluiting

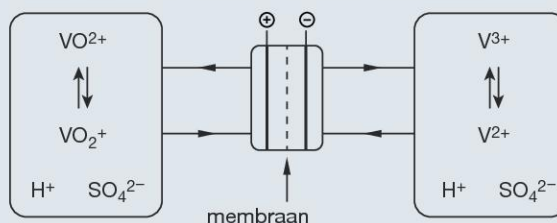
Oefenopdrachten

1 Fotonenboer



18.33 VRFB-accu's

Een Nederlandse melkveehouder voorziet sinds 2010 met zonnecellen in de eigen energie-behoefte. Voor de opslag van overdag te veel geproduceerde energie is op de boerderij een zogeheten Vanadium Redox Flow Battery (VRFB) geplaatst (figuur 18.33). In deze VRFB worden oplossingen met verschillende vanadiumionen vanuit twee opslagtanks door een aantal geschakelde elektrochemische cellen gepompt. Dit proces is in figuur 18.34 vereenvoudigd weergegeven met één elektrochemische cel. In deze opgave wordt de term vanadiumionen gebruikt voor (combinaties van) de deeltjes VO_2^+ , VO^{2+} , V^{3+} en V^{2+} . In beide oplossingen is verder alleen opgelost zwavelzuur aanwezig.



18.34

Wanneer de VRFB voor het eerst in gebruik wordt genomen, is van de genoemde vanadiumionen in de linker opslagtank alleen VO_2^+ aanwezig en in de rechter opslagtank alleen V^{3+} . In deze situatie levert de VRFB geen stroom. Doordat in de VRFB selectieve membranen worden toegepast, worden tijdens het opladen en de stroomlevering vrijwel uitsluitend H^+ -ionen doorgelaten.

- Geef de vergelijking van beide halfreacties die tijdens het opladen optreden. Geef je antwoord als volgt weer:
linker halfcel: ...
rechter halfcel: ...
- Leg uit in welke richting de H^+ -ionen door het membraan tijdens het opladen passeren.

De VRFB van de fotonenboer is een CellCube type FB 10-100. Het typenummer geeft informatie over de twee belangrijkste kenmerken van de VRFB:

- Het vermogen (de hoeveelheid energie die per seconde kan worden geleverd) bedraagt 10 kJ s^{-1} .
- De opslagcapaciteit (de maximale hoeveelheid elektrische energie die kan worden geleverd) bedraagt 100 kWh.

Het totale rendement van de omzetting van chemische energie in elektrische energie van deze VRFB bedraagt 67%. Bij stroomlevering geeft 1 mol elektronen $1,35 \cdot 10^5 \text{ J}$ energie aan het lichtnet af.

- Bereken hoeveel m^3 oplossing voor één opslagtank nodig is om de VRFB voor het eerste gebruik te vullen. Gebruik onder andere de volgende gegevens:
 - Vóór het eerste gebruik bedraagt de concentratie van de vanadiumionen in de gebruikte oplossingen 1,7 M.
 - 1 kWh is $3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$.

Uit onderzoek is gebleken dat onder bepaalde omstandigheden een neerslag van de vaste stof $V_2O_5 \cdot 3H_2O$ in de linker opslagtank ontstaat.

Deze stof wordt gevormd uit VO_2^+ -ionen en één andere stof. Bij deze reactie ontstaat één ander soort deeltje.

d Geef de reactievergelijking van de vorming van $V_2O_5 \cdot 3H_2O$ uit VO_2^+ .

Een andere boer wil een VRFB aanschaffen met een hogere opslagcapaciteit en een hogere maximale stroomsterkte dan de genoemde CellCube. In tabel 18.35 staan vijf aanpassingen die de fabrikant kan doen om tegemoet te komen aan de eisen van deze boer.

aanpassing VRFB	veroorzaakt een toename van de	
	opslagcapaciteit (J)	stroomsterkte ($C s^{-1}$)
de concentratie vanadiumionen verhogen	x	x
meerdere elektrochemische cellen op dezelfde tanks aansluiten		
de tanks en de inhoud vergroten		
membranen gebruiken die de ionenstroom beter doorlaten		
poreuze elektroden gebruiken voor een groter contactoppervlak		

18.35

Uit de tabel valt onder andere op te maken dat een hogere concentratie vanadiumionen zorgt voor een toename van de opslagcapaciteit en de maximale stroomsterkte van de VRFB.

e Verklaar aan de hand van het botsende-deeltjesmodel dat een hogere concentratie vanadiumionen zorgt voor een toename van de maximale stroomsterkte van de VRFB.

f Neem tabel 18.35 over en geef met een kruisje aan welke aanpassingen een toename van de opslagcapaciteit en/of een toename van de maximale stroomsterkte veroorzaken. Neem steeds aan dat de overige factoren geen beperking vormen en dat de tanks steeds volledig worden gebruikt.

Bron: CE vwo 2018-I

2

Batterijen opladen met NaSi

In 2012 werd op een vakantiebeurs een draagbare batterijoplader gepresenteerd om bijvoorbeeld een mobieltje op te laden. In de oplader bevindt zich een eenmalig te gebruiken capsule met natriumsilicide. Het benodigde natriumsilicide wordt bereid door siliciumpoeder en vloeibaar natrium bij $400^\circ C$ met elkaar te laten reageren.

De verhoudingsformule van natriumsilicide is NaSi. Natriumsilicide is opgebouwd uit Na^+ - en Si_4^{4-} -ionen. Een Si_4^{4-} -ion heeft de vorm van een tetraëder. Op elk hoekpunt van de tetraëder is een Si-deeltje aanwezig.

a Geef de lewisstructuur van een ion Si_4^{4-} . Geef formele ladingen aan.

In de oplader wordt het natriumsilicide in contact gebracht met water, waarbij waterstof ontstaat (reactie 1).



18.36 Batterij opladen met water.

In de technische toelichting bij de oplader staat dat een capsule 4,5 g natriumsilicidepoeder bevat. Per capsule ontstaat 4,0 L waterstofgas ($T = 298 \text{ K}$, $p = p_0$).

b Bereken het rendement van de waterstofproductie in de oplader ($T = 298 \text{ K}$, $p = p_0$).

De gevormde waterstof stroomt naar het andere deel van de oplader waar zich een waterstofbrandstofcel bevindt. In de waterstofbrandstofcel wordt de waterstof omgezet tot water. Bijzonder aan deze oplader is dat hij voor gebruik moet worden gevuld met water. Een persbericht over deze oplader kreeg daarom als titel 'Mobieltje opladen met water'. Deze titel lijkt te suggereren dat de oplader zijn energie uit water haalt.

c Geef de vergelijking van de reactie die verloopt in de waterstofbrandstofcel en leg uit dat de energie die de oplader levert niet wordt geleverd door het toegevoegde water.

De oplader wordt in persberichten aangeprezen als duurzaam. Om dat te onderbouwen, noemt de fabrikant de volgende punten:

- natriumsilicide wordt bereid uit grondstoffen die zeer ruimschoots aanwezig zijn op aarde: natriumchloride en siliciumdioxide (zand);
- de reactie waarbij natriumsilicide wordt gevormd uit natrium en silicium kost geen energie en levert geen enkel bijproduct op;
- tijdens stroomlevering komt alleen waterdamp in de atmosfeer;
- de capsule kan na gebruik bij het gewone afval omdat de uitgewerkte capsule geen schadelijke stoffen bevat.

Twee leerlingen twifelen over de duurzaamheid van deze oplader. Ze merken dat de fabrikant positieve punten noemt, zoals de goede atomeconomie van de vorming van natriumsilicide. Om een goede afweging te kunnen maken of deze oplader duurzaam is in productie en gebruik, vullen ze de bovenstaande opsomming aan. Ze noteren enkele gegevens over productie en gebruik van de oplader, waaruit blijkt dat niet wordt voldaan aan enkele uitgangspunten van de groene chemie.

d Noteer bij elk van de volgende uitgangspunten van de groene chemie een gegeven waaruit blijkt dat niet wordt voldaan aan deze uitgangspunten. Gebruik gegevens uit de voorgaande tekst over de productie en het gebruik van de oplader. Gebruik onder andere Binas tabel 97F. Noteer je antwoord als volgt:

- uitgangspunt 2: ...
- uitgangspunt 6: ...
- uitgangspunt 12: ...

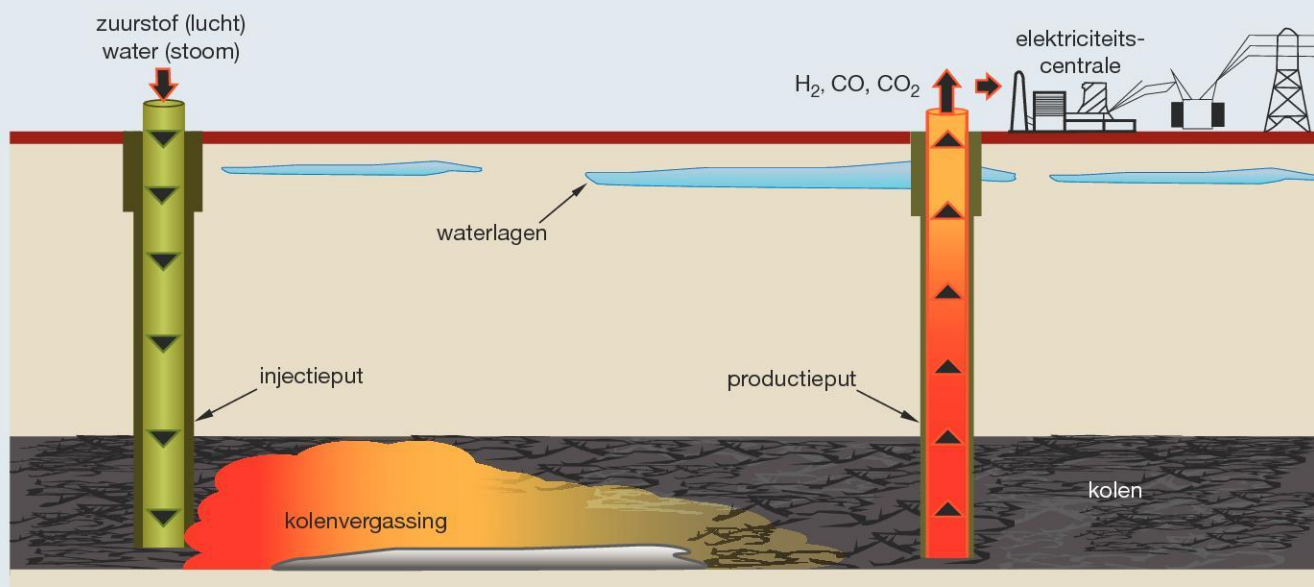
Bron: CE vwo 2017-II

3 Ondergrondse kolenvergassing

De meeste steenkool zit diep onder de grond. De winning hiervan is zwaar en ongezond werk en ook niet zonder gevaar. In kolenmijnen gebeuren regelmatig ongelukken. Een mogelijke oplossing hiervoor is ondergrondse kolenvergassing. Hierbij wordt een mengsel van zuurstof en stoom via een pijp in een kolenlaag geïnjecteerd. Bij een temperatuur van meer dan $1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ worden de kolen vergast tot een mengsel van koolstofdioxide, koolstofmono-oxide, waterstof en een aantal andere gassen. Dit mengsel komt via een andere pijp naar boven en kan worden gebruikt voor elektriciteitsproductie, zie figuur 18.37.

Bijkomend voordeel is dat je zo ook diepere en moeilijk bereikbare kolenlagen kunt exploiteren. De techniek wordt al op verschillende plaatsen in de wereld gebruikt, maar is niet onomstreden.

a Leid af in welke verhouding stoom en zuurstof hebben gereageerd als in het geproduceerde gas koolstofdioxide, koolstofmono-oxide en waterstof in gelijke molverhouding aanwezig zijn. Neem aan dat steenkool volledig uit koolstof bestaat.



18.37 Schematische weergave van ondergrondse kolenvergassing

- b** Bereken de stookwaarde van dit gasmengsel in joule per kilogram. De stookwaarde is de geleverde verbrandingswarmte in J kg^{-1} of J m^{-3} en heeft altijd een plusteken.
- c** Beredeneer wat er gebeurt met de stookwaarde van het geproduceerde gasmengsel als je verhoudingsgewijs minder zuurstof injecteert.

Ondergrondse kolenvergassing kent een aantal nadelen. Het rendement bijvoorbeeld van een elektriciteitscentrale die wordt gestookt met het gas van een ondergrondse kolenvergasser is lager dan bij een bovengrondse kolenvergasser, waarin precies dezelfde reacties verlopen.

d Geef een verklaring voor dit verschil. Gebruik bij je uitleg het begrip kwaliteit van energie.

Bij de ondergrondse kolenvergassing komt naast de genoemde gasen een aantal schadelijke gasen vrij.

- e** Noem twee van deze gasen en geef aan op welke wijze ze zijn ontstaan.
- f** Welke milieuschade ontstaat er als deze gasen niet worden verwijderd?

Milieuorganisaties zijn niet enthousiast over ondergrondse kolenvergassing. Op een aantal plaatsen is grondwater vervuild geraakt met kankerverwekkende stoffen zoals benzeen die als gevolg van de vergassing naar boven kwamen.

- g** Bedenk nog twee bezwaren die je kunt hebben tegen ondergrondse kolenvergassing.

4 NO verwijderen

Een tuinder heeft een kleine energiecentrale voor zijn kassen voorzien van warmtekrachtkoppeling. De uitstoot van de centrale bestaat voornamelijk uit koolstofdioxide en water. Daarnaast wordt bij deze temperatuur stikstofmono-oxide gevormd. De vorming van stikstofmono-oxide is een evenwichtsreactie:



Wanneer het gasmengsel waarin bovenvermeld evenwicht heerst langzaam wordt afgekoeld, neemt de hoeveelheid NO af.

- a** Leg aan de hand van een gegeven uit Binas tabel 57A uit dat de hoeveelheid NO afneemt wanneer je dit gasmengsel afkoelt. Vermeld in je uitleg de getalwaarde van dit gegeven. Ga ervan uit dat dit gegeven ook geldt onder de omstandigheden die in de energiecentrale heersen.



18.38 Smogvorming leidt tot gezondheidsklachten.

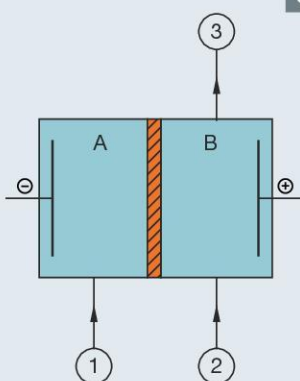
Het NO draagt onder meer bij aan smogvorming (figuur 18.38) en het ontstaan van zure regen. Daarom is aan de uitstoot van NO een maximumgrens gesteld. De NO-uitstoot kun je verminderen door een oplossing van ureum (CH_4ON_2) in het gasmengsel te spuiten dat de verbrandingsruimte verlaat. Een katalysator zorgt ervoor dat reacties optreden tussen ureum, stikstofmono-oxide en nog een stof die in het gasmengsel aanwezig is. Deze reacties kun je weergegeven in een reactievergelijking. Als reactieproducten komen in deze reactievergelijking uitsluitend CO_2 , N_2 en H_2O voor. In deze vergelijking komen ureum en NO voor in de molverhouding 1 : 2.

b Geef deze reactievergelijking.

Zonder installatie om de NO-uitstoot te verminderen zou de energiecentrale 53 g NO per uur produceren.

Om de hoeveelheid NO te verlagen wordt daarom per uur 600 mL ureumoplossing (80 g ureum per L) ingespoten.

c Bereken met hoeveel procent de NO-uitstoot afneemt. Ga ervan uit dat alle ureum volgens de beschreven reactie reageert.



18.39 Waterstofbrandstofcel

5 Waterstof

Waterstof kun je gebruiken om in een brandstofcel elektrische energie te produceren. In figuur 18.39 is een waterstofbrandstofcel schematisch weergegeven. De elektroderuimtes A en B bevatten een zure elektrolyt en zijn gescheiden door een membraan dat uitsluitend H^+ -ionen doorlaat.

a Geef de namen van de stoffen die met 1, 2 en 3 zijn aangegeven. Licht je antwoord toe met de vergelijkingen van de reacties in de halfcellen.

b Beredeneer in welke richting de H^+ -ionen bewegen wanneer de brandstofcel stroom levert, van elektroderuimte A naar elektroderuimte B of omgekeerd?

In de industrie wordt veel waterstof bereid met behulp van propaan die afkomstig is uit aardolie. Hierbij treden twee reacties op.

Reactie 1: de reactie van propaan met water onder vorming van koolstofmono-oxide en waterstof.

Reactie 2: de reactie van het gevormde koolstofmono-oxide met water tot koolstofdioxide en eveneens waterstof.

c Leid af in welke molverhouding koolstofdioxide en waterstof ontstaan bij deze bereiding van waterstof uit propaan. Noteer deze verhouding als $\text{CO}_2 : \text{H}_2$. Ga ervan uit dat zowel reactie 1 als reactie 2 volledig verloopt.

De bereiding van waterstof uit een koolwaterstof als propaan heeft bepaalde bezwaren.

Daarom worden methodes onderzocht om waterstof uit grondstoffen van plantaardige oorsprong te bereiden. Onderzochte grondstoffen zijn onder andere glucose en glycol. Ook bij deze methode om waterstof te bereiden, spelen twee reacties een rol.

Reactie 3: de reactie van glucose of glycol tot koolstofmono-oxide en waterstof.

Reactie 4: de reactie van het gevormde koolstofmono-oxide met water tot koolstofdioxide en eveneens waterstof (dit is dezelfde reactie als reactie 2).

Zowel bij deze bereiding als bij de bereiding met behulp van propaan ontstaat dus behalve waterstof ook koolstofdioxide. Koolstofdioxide is één van de gassen die bijdragen aan de versterking van het broeikaseffect. Bij de bereiding van waterstof met behulp van glucose ontstaat, bij volledige omzetting, per mol waterstof zelfs meer mol koolstofdioxide dan bij de bereiding van waterstof uit propaan. Voor de bereiding van waterstof verdient toch glucose de voorkeur boven propaan.

- d** Leg uit dat de bereiding van waterstof met behulp van glucose minder bijdraagt aan de versterking van het broeikaseffect dan de bereiding van waterstof met behulp van propaan die afkomstig is uit aardolie.

In het onderzoek om waterstof te bereiden uit glucose is gewerkt met oplossingen die gemiddeld 3,0 massaprocent glucose bevatten. Het is economisch niet handig om met zulke verdunde oplossingen te werken.

- e** Bereken hoeveel liter glucose-oplossing met 3,0 massaprocent glucose minstens nodig is voor de bereiding van $1,0 \text{ m}^3$ waterstof (298 K , $p = p_0$).

Bij de bereiding van waterstof uit glucose ontstaat per mol glucose maximaal 12 mol waterstof; de dichtheid van de glucose-oplossing is $1,0 \cdot 10^3 \text{ g L}^{-1}$.

Naar: CE vwo 2015-II

Keuzeopdrachten

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

1 Wet van Nernst

In deze opdracht leer je meer over de manier waarop temperatuur en concentratie van invloed zijn op de elektrodepotentiaal.

2 Micro-wkk

Onderzoek de mogelijkheden van microwarmtekrachtkoppeling in je eigen huis. Welke installaties zijn verkrijgbaar en hoe werken ze?

3 Groen gas

Onderzoek naar de productie van groen gas waarbij je ingaat op de producten die ontstaan en de milieueffecten. Je bekijkt of het proces CO_2 -neutraal is.

Overzicht begrippen

Batterijen en accu's	Batterijen en accu's zijn elektrochemische cellen die worden gebruikt voor de opslag van energie.
Brandstofcel	Een brandstofcel is een elektrochemische cel met als oxidator zuurstof en als reductor een brandstof, bijvoorbeeld waterstof.
Elektrochemische cel	In een elektrochemisch cel vindt een redoxreactie in gescheiden reactievaten plaats. De reductorreactie verloopt in de ene halfcel aan de negatieve elektrode , de oxidatorreactie in de andere halfcel aan de positieve elektrode . Beide halfcellen worden verbonden door een stroomdraad en een zoutbrug met elektrolyt . In plaats van een zoutbrug is ook een membraan mogelijk. De elektronenstroom die ontstaat, kun je gebruiken als energiebron. De bronspanning van een elektrochemische cel is het verschil tussen de standaardelektrodepotentiaal van de oxidator en die van de reductor.
Elektriciteitscentrale	In een aardgascentrale en kolencentrale worden fossiele brandstoffen verbrand. Met de warmte van deze hete gassen wordt stoom geproduceerd, die via een stoomturbine een generator aandrijft. Een generator is een grote dynamo die elektriciteit produceert. In een STEG-centrale drijven de hete verbrandingsgassen eerst een gasturbine aan voordat de stoom wordt gemaakt. Hierdoor is het rendement extra groot. Bij de bouw van nieuwe centrales moet een milieueffectrapportage worden gemaakt waarbij de duurzaamheid een belangrijke rol speelt.
Energiedichtheid en kwaliteit van energie	De energiedichtheid is de hoeveelheid energie per kg of L van een energiedrager of energiebron. De kwaliteit van de energie is het nuttige deel van de energie. Hoe hoger het rendement van de energieomzetting, des te groter is de kwaliteit. Het rendement kan worden vergroot door de restwarmte nuttig te gebruiken voor verwarming. Dit heet warmtekrachtkoppeling, wkk .
Energietransitie	Om klimaatverandering te beperken moet de uitstoot van CO ₂ omlaag. Om deze reden en omdat fossiele brandstoffen opraken moeten we overstappen op duurzame energie . Dit is de energietransitie. De uitstoot van CO ₂ kan worden beperkt door de C/H-verhouding van de brandstof laag te kiezen, door het rendement te verhogen, door biobrandstoffen te gebruiken en door CO₂-opslag .
Kolenvergasser	In een kolenvergasser reageert koolstof met zuurstof en water tot een mengsel van CO en H ₂ , synthesegas .
Oplaadbare batterij	Bij een oplaadbare batterij vinden bij het opladen aan de elektroden de omgekeerde reacties plaats als bij de stroomlevering. Dit heet elektrolyse .

19 Examentraining

Inhoud

19.1 Centraal examen

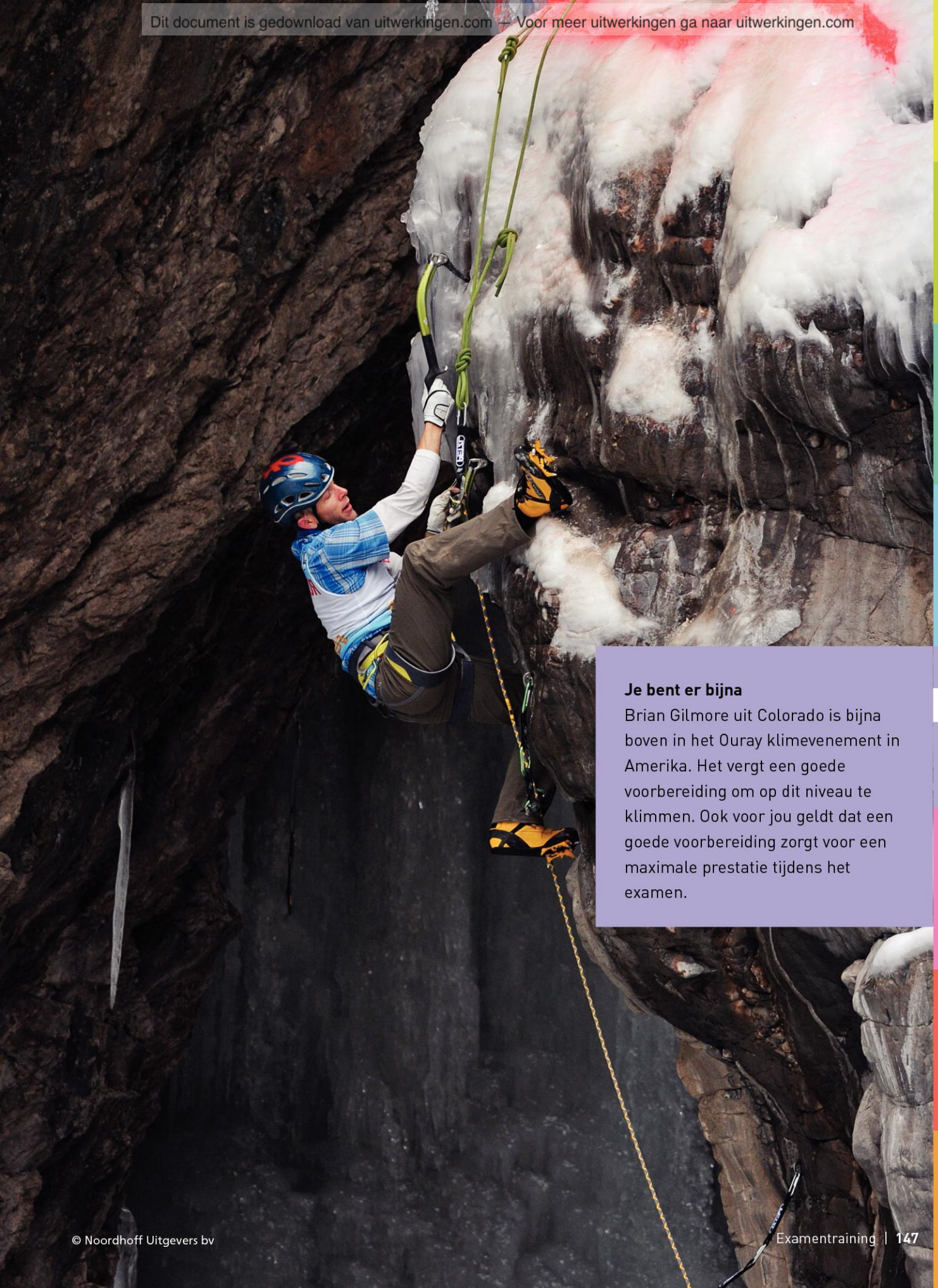
19.2 Reactievergelijkingen

19.3 Chemisch rekenen

19.4 Structuurformules

19.5 Blokschema, evenwicht

Afsluiting



Je bent er bijna

Brian Gilmore uit Colorado is bijna boven in het Ouray klimevenement in Amerika. Het vergt een goede voorbereiding om op dit niveau te klimmen. Ook voor jou geldt dat een goede voorbereiding zorgt voor een maximale prestatie tijdens het examen.

19

Voorbereiding

De zaal is er al klaar voor. Jij ook? Voor je de kans krijgt te laten zien wat je in vier jaar scheikunde hebt geleerd, volgt in dit hoofdstuk nog een laatste handreiking voor een goede voorbereiding.



Je leert

- welke stof onderdeel is van het centraal examen;
- een planning maken voor het examen;
- waar je op moet letten voor en tijdens het examen.

19.1 Centraal examen

TE LAAT

SORRY

DE BRUG STOND OPEN

MIJN BAND WAS LEK

EN ER ZAT EEN

HELIKOPTER

BIJ PAPA

IN DE AUTO

Loesje

19.1 Als je tot 30 minuten te laat bent, gaat dat van je eigen tijd af. Ben je meer dan 30 minuten te laat, dan mag je niet meer meedoen.

Vier jaar scheikunde en het centraal examen

In de derde klas startte je met het vak scheikunde en heb je de beginselen van de scheikunde geleerd. Daarna heb je drie boeken doorgewerkt: deel 4 vwo, 5 vwo en 6 vwo. In deze boeken is de basiskennis uit de derde klas verbreed en verdiept en er zijn nieuwe onderwerpen behandeld. Alles wat je hebt geleerd, heb je toegepast in opdrachten, oefenopdrachten en in keuzeopdrachten. De oefenopdrachten in de afsluiting van elk hoofdstuk waren soms (aangepaste) examenvragen uit voorgaande examens. Je hebt heel wat experimenten uitgevoerd en je bent ook via de methodesite op allerlei manieren geholpen om je de leerstof goed eigen te maken. Als je vier jaar lang met goed gevolg je scheikundetoetsen hebt gemaakt, hoef je je beslist geen zorgen te maken voor het centraal examen (CE). Maar natuurlijk is het wel nodig je op de juiste manier op het CE voor te bereiden. Hoe je dat zou kunnen doen, staat in deze paragraaf.

De meeste leerstof uit de derde klas wordt voor het CE als bekend verondersteld. Omdat je waarschijnlijk geen derdeklasboek meer hebt, hebben we de belangrijkste onderwerpen uit de derde klas herhaald in hoofdstuk 1 van deel 4 vwo. Die onderwerpen moet je in ieder geval voor het CE kennen.

De meeste leerstof in de boeken van 4, 5 en 6 vwo wordt op het CE getoetst. Een uitzondering vormen de paragrafen of teksten waar een + bij staat. De contexten en de daarbij behorende opgaven zijn bedoeld als verdieping, verbreding of illustratie van de leerstof en hoeven niet speciaal voor het CE te worden herhaald.

In de volgende vier paragrafen staan enkele vaardigheden, die vaak in het CE aan bod komen, nog eens extra genoemd. Bij elke vaardigheid staat uitleg, een voorbeeldopgave en een examenopgave. Bij elke opgave staat het maximaal te behalen aantal punten. In het uitwerkingenboekje kun je zien hoe deze punten over het antwoord zijn verdeeld.

Let op: de vaardigheden die in dit hoofdstuk worden geoefend, zijn niet de hele examenstof. Het zijn alleen delen van de examenstof die vaak terugkomen in examens en die je hier nog eens extra kunt oefenen. Alles wat je moet kunnen en kennen staat in de syllabus Centraal Examen. Die vind je op internet. Deze syllabus is geschreven voor docenten. Als je niet weet wat een bepaald onderwerp inhoudt, vraag het dan aan je docent.



19.2 Ondanks gebruik van de juiste code ging bij deze school de kluis niet open. Gelukkig kon het examen 35 minuten te laat alsnog beginnen.

Plannen van de voorbereiding

Een goede voorbereiding begint met een goede planning. In totaal moet je alle leerstof uit de boeken van 4, 5 en 6 vwo beheersen. Zet je planning op papier en probeer je er zo goed mogelijk aan te houden.

De theorie leren

- Neem van elke paragraaf de samenvatting nog eens goed door. Als je daarin iets niet begrijpt, lees dan de leertekst in de paraaf.
- Maak per paragraaf een aantal opdrachten, bij voorkeur C-opdrachten.
- Controleer aan het eind van elke paragraaf aan de hand van het blokje 'Je kunt nu' of je niets hebt overgeslagen.
- Bij een hoofdstuk dat je lastig vindt, kun je ook de oefenopdrachten in de afsluiting opnieuw maken om te controleren of je de theorie uit verschillende paragrafen kunt combineren.

Als je alles een keer hebt doorgenomen, kun je controleren of je de samenhang tussen de verschillende onderwerpen ook kent. Achter in dit boek vind je kenniskaarten. Hierin zijn belangrijke delen uit het scheikundeprogramma schematisch weergegeven. Je ziet hierin de verbanden tussen verschillende onderwerpen.

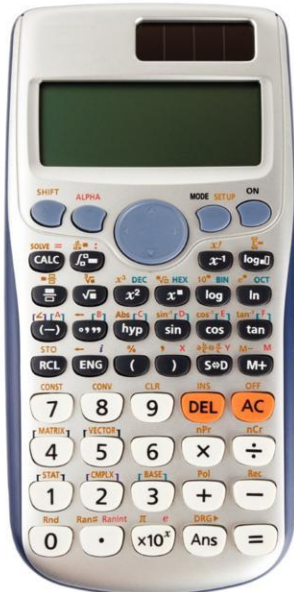
Opgaven oefenen

Bepaalde typen opgaven komen vaak in de meeste eindexamens terug. Oefen hier heel gericht op door paragraaf 19.2 tot en met 19.5 door te werken. Hier staan de vaardigheden toegelicht die je op ieder examen nodig hebt. Elke paragraaf sluit af met opgaven die onderdelen zijn uit eindexamenopgaven. Na paragraaf 19.5 vind je een examenopgave en een aangepaste uitwerking, zodat je ziet hoe je voor individuele onderdelen punten krijgt.

Na deze voorbereiding ga je oefenen met eindexamens van voorgaande jaren. Het handigste is om met het meest recente examen te beginnen. Je kunt ze vinden op internet, bijvoorbeeld op de site www.examenblad.nl. Maak steeds een heel examen en let daarbij goed op de tijd die je ter beschikking hebt. Let bij het nakijken van het door jou gemaakte examen ook op de regels die gelden voor de correctie van een eindexamen. Er zijn 'algemene regels' en 'vakspecifieke regels'. Je kunt ze vinden in de correctievoorschriften bij de examens, eveneens op de site www.examenblad.nl.



19.3 Ook tijdens het examen kun je extra vocht en energie gebruiken.



19.4 Gebruik bij scheikunde een geschikte rekenmachine zoals deze. Dus geen grafische!

Belangrijke aanwijzingen

Vóór het examen

- Studeer niet meer op de avond voor je examen: ga vroeg naar bed.
- Neem een goed ontbijt.
- Zorg dat je alle toegestane hulpmiddelen bij je hebt, zoals een onbeschreven Binas.
- Doe nieuwe batterijen in je rekenmachine of neem reservebatterijen mee. Je mag geen grafische rekenmachine gebruiken, zie figuur 19.4.
- Zorg dat je een horloge bij je hebt, maar geen smartwatch, in het examenlokaal is mis-schien geen klok aanwezig.

Tijdens het examen

- Je hebt voor het examen 180 minuten.
- Kijk hoeveel vragen het examen telt en reken globaal uit hoeveel minuten je per vraag hebt. Houd je daaraan.
- Geef alleen antwoord op de vraag die wordt gesteld.
- Geef bij berekeningen iedere stap duidelijk aan: alleen het antwoord geven levert geen punten op.
- Rond bij berekeningen het eindantwoord af op het juiste aantal significante cijfers. Bij meerdere rekenstappen moet je doorrekenen met niet-afgeronde getallen.
- Geef altijd de juiste eenheden aan.
- Geef niet meer voorbeelden dan wordt gevraagd: extra voorbeelden worden niet beoor-deeld.
- Vergeet niet de uitleg te vermelden als die wordt gevraagd.
- Schrijf altijd met pen.
- Gebruik geen correctievloeistof, dat is verboden.
- Controleer als je klaar bent of je alle vragen hebt gezien en beantwoord.



19.5 Het auteursteam van Chemie Overal wenst je veel succes toe.

Samenvatting

- Bij een goede examenvoorbereiding verbeter je je zwakke punten.
- Met kennis van de correctieregels kun je onnodige fouten voorkomen.
- Een planning voor en tijdens het examen is van groot belang.

Opdrachten

A 1

Waar kun je examens en het bijbehorende correctiemodel vinden?

A 2

Hoe kun je nagaan of je de samenhang tussen de verschillende onderwerpen in de scheikunde voldoende kent?

A 3

Bij een examen wordt gevraagd: 'Noem twee oorzaken waardoor ...'

Waarom is het onverstandig dan drie oorzaken te noemen?

A 4

a Wat moet je meenemen als je naar het examen gaat?

In een bepaald jaar kun je voor het hele examen in totaal 67 punten halen.

b Hoeveel minuten kun je gemiddeld besteden aan een vraag waar je 4 punten voor kunt halen?

B 5

Bij de voorbereiding van je examen kun je natuurlijk alle hoofdstukken van klas 4, 5 en 6 vwo nog een keertje doornemen.

a Wat is daarvan het voordeel?

b Noem ook een nadeel.

B 6

Maak voor jezelf een planning waarbij je aangeeft:

- Hoeveel dagen wil je aan scheikunde besteden tot aan je examen?
- Hoeveel tijd wil je per dag aan scheikunde besteden?
- Welke examens ga je in die tijd maken?
- Hoeveel tijd wil je besteden aan de rest van dit hoofdstuk?

B 7

a Bedenk drie onderwerpen die je lastig vond.

b In welke hoofdstukken vind je deze onderwerpen?

B 8

a Hoeveel tijd heb je ter beschikking voor het maken van een heel examen?

Er zijn voor een bepaald examen 76 punten te verdienen.

b Als een opgave bestaat uit zes vragen die maximaal respectievelijk 3, 2, 2, 2, 1 en 3 punten opleveren, hoeveel tijd moet je dan maximaal aan die vraag besteden?

B 9

In het pilotexamen van 2015 staat een opgave over thermoplastisch zetmeel. Een deel van deze opgave staat hieronder. Lees de tekst en beantwoord de vragen.

Thermoplastisch zetmeel, in deze opgave verder TPS genoemd, is een kunststof die onder andere als verpakkingsmateriaal voor groenten wordt gebruikt. TPS wordt bereid uit aardappelzetmeel, water en een weekmaker. In een extruder wordt het zetmeel grondig gemengd met water en de weekmaker. De gemiddelde molaire massa van zetmeel neemt hierbij door hydrolyse af van $3,7 \cdot 10^7 \text{ g mol}^{-1}$ tot $1,9 \cdot 10^6 \text{ g mol}^{-1}$ in TPS. Het gevormde TPS kan worden gesmolten en verwerkt.

Bereken het gemiddelde aantal monomeereenheden in een molecuul zetmeel met een gemiddelde molaire massa van $3,7 \cdot 10^7 \text{ g mol}^{-1}$. Ga er bij de beantwoording van deze vraag van uit dat zetmeel alleen uit amylose bestaat. (2p) Justin geeft een berekening met als antwoord $2,283 \cdot 10^5$. Het getal is juist, toch krijgt Justin niet alle punten voor zijn antwoord.

a Hoe komt het dat Justin niet alle punten krijgt?

b Welk antwoord zou jij geven?

Je kunt nu

- het centraal examen goed voorbereiden;
- de algemene en vakspecifieke regels toepassen;
- een planning vóór en tijdens het examen maken.

Drinkwater

Betrouwbaar drinkwater is lang niet altijd voorhanden. In derdewereldlanden wordt vaak hypochloriet gebruikt om drinkwater te desinfecteren. In opgave B10 zie je hoe dat in zijn werk gaat.

**Je oefent**

- de algemene regels voor het opstellen van een reactievergelijking;
- de reactievergelijking opstellen voor verschillende soorten reacties.

19.2 Reactievergelijkingen

Reactievergelijkingen opstellen

In deze paragraaf komt de vaardigheid 'reactievergelijkingen opstellen' aan bod. Er wordt daarbij verwezen naar eerder behandelde stappenplannen. Je vindt hier in de voorbeelden een aantal opgaven met uitwerkingen.



19.6 Ook voor deze thermietreactie kun je een reactievergelijking opstellen.

Bij een chemische reactie veranderen de beginstoffen in reactieproducten. Je kunt een reactie met een reactievergelijking beschrijven. Daarin staan vóór de pijl de formules van de beginstoffen en na de pijl de formules van de reactieproducten. Het is dus van belang dat je de formules van stoffen, oplossingen en ionen kent of weet waar je ze kunt opzoeken in Binas, namelijk de tabellen 40, 66 en 67.

Er gelden een paar vuistregels bij het opstellen van een reactievergelijking.

- Er mogen geen formules vóór de pijl staan die ook na de pijl staan.
- Van elke atoomsoort moeten evenveel atomen vóór als na de pijl staan. Een reactievergelijking is dus altijd 'kloppend gemaakt'.
- Begin bij het kloppend maken met atoomsoorten die in weinig verschillende formules staan.
- De totale lading moet vóór en na de pijl gelijk zijn. Die lading hoeft niet nul te zijn.

Soorten reacties

We onderscheiden de volgende soorten reacties:

Verbrandingsreacties

Bij verbrandingsreacties staat voor de pijl altijd zuurstof, en na de pijl een of meer oxiden.

stap	actie
1	Noteer de formules van alle deeltjes die aanwezig zijn.
2	Bepaal welk zuur deeltje reageert met welk basisch deeltje.
3	Stel de reactievergelijking van de reagerende deeltjes op.

19.7 Stappenplan voor zuur-basereacties

stap	actie
1	Inventariseer welke deeltjes er zijn.
2	Wat is de sterkste oxidator en wat is de sterkste reductor?
3	Verloopt de reactie?
4	Stel de halfreacties en de totaalreactie op.
5	Controle

19.8 Stappenplan redoxreactie

Ontledingsreacties

Bij ontledingsreacties staat voor de pijl altijd één beginstof, achter de pijl meerdere reactieproducten.

Zuur-basereacties

Bij een zuur-basereactie worden protonen (H^+ -ionen) overgedragen. Voor het opstellen van een reactievergelijking kun je gebruikmaken van een stappenplan. Zie paragraaf 9.4 en tabel 19.7.

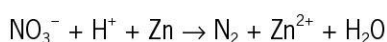
Redoxreacties

Bij een redoxreactie worden elektronen overgedragen. Voor het opstellen van een redox-reactie kun je gebruikmaken van het stappenplan. Zie paragraaf 11.2 en tabel 19.8. Soms kun je de reactievergelijking uit de opgave afleiden, zoals in voorbeeld 1.

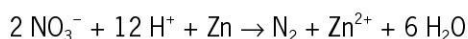
Voorbeeld 1

Nitraationen kunnen in zuur milieu op verschillende manieren reageren. Bij een reactie van salpeterzuur met zink ontstaan zinkionen, stikstof en water. Geef de vergelijking van deze reactie.

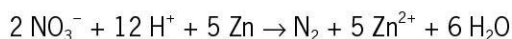
Zet als eerste de juiste formules vóór en na de pijl. Je vindt de formules van veel stoffen en ionen, zoals het nitraation in Binas tabel 66B. Zuur milieu betekent dat er H^+ vóór de pijl staat. De formules van de deeltjes in deze vergelijking worden dan:



Kloppend maken geeft de vergelijking:



De totale lading voor de pijl is $10+$ en na de pijl $2+$. De lading moet echter vóór en na de pijl hetzelfde zijn. Dat kun je oplossen met Zn en Zn^{2+} :



Vergelijkingen van halfreacties opstellen

Voor halfreacties gelden dezelfde vuistregels als voor gewone reactievergelijkingen. Het enige verschil is dat er in de vergelijking van een halfreactie altijd elektronen (e^-) staan en in vergelijkingen van totaalreacties nooit. Als een redoxkoppel niet in Binas tabel 48 staat, moet je zelf de halfreactie opstellen. Voor het zelf opstellen van een halfreactie kun je het stappenplan halfreactie gebruiken dat is besproken in paragraaf 11.3.

Hierbij mag in zuur milieu voor de pijl H^+ en eventueel H_2O als hulpdeeltje staan, na de pijl mag geen OH^- ontstaan. In basisch milieu mag voor de pijl OH^- en eventueel H_2O als hulpdeeltje staan, na de pijl mag geen H^+ ontstaan. In neutraal milieu mag voor de pijl H_2O als hulpdeeltje staan, na de pijl mag H^+ of OH^- ontstaan.

Let er daarbij op dat, nadat je alle formules in de vergelijking hebt staan, je eerst de vergelijking kloppend maakt en dan pas de elektronen aan de juiste kant van de pijl zet. Met de elektronen zorg je ervoor dat de lading vóór en na de pijl gelijk wordt. Die lading hoeft niet nul te zijn. Zie tabel 11.25 in hoofdstuk 11 voor het stappenplan en voorbeeld 2.



19.9 De Tesla van Elon Musk draait rond de aarde.



a



b

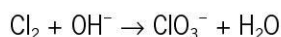
19.10 Over het vervoer van Cl_2 per trein is het laatste woord nog niet gezegd.

Voorbeeld 2

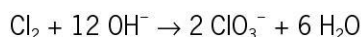
Bij een temperatuur boven 40°C geeft chloorgas in basisch milieu een redoxreactie waarbij chloraat (ClO_3^-) en chloride worden gevormd. Geef de halfreactie voor de vorming van chloraat uit chloor.

Stap 1: De gegeven deeltjes zijn Cl_2 voor de pijl en ClO_3^- na de pijl.

Stap 2: Stel de halfreactie van deze deeltjes op. Basisch milieu, dus voor de pijl OH^- en na de pijl H_2O .



Stap 3: Maak de deeltjes in de halfreactie kloppend.



Stap 4: Maak de lading in de halfreactie kloppend door het juiste aantal elektronen (e^-) toe te voegen. De lading voor de pijl is $12-$ en na de pijl $2-$. Door 10 elektronen achter de pijl te zetten is de lading aan beide kanten gelijk.



Soorten reacties in de koolstofchemie

De belangrijkste soorten reacties die in de koolstofchemie voorkomen zijn:

Additiereacties

Bij een additiereactie ontstaat uit twee of meer moleculen één nieuw molecuul. Vaak is voor een additiereactie een dubbele of drievoudige binding nodig.

Substitutiereacties

Bij een substitutiereactie wordt een atoom of atoomgroep in een koolstofverbinding vervangen door een ander atoom of atoomgroep. In hoofdstuk 12 worden additiereacties en substitutiereacties besproken, inclusief de reactiemechanismen.

Condensatiereacties

Een condensatiereactie is een reactie waarbij uit twee moleculen een groter molecuul wordt gevormd en een klein molecuul wordt afgesplitst, bijvoorbeeld water of ammoniak.

Hydrolysereacties

Een hydrolysereactie is een reactie waarbij een molecuul door een reactie met water in twee kleinere moleculen splitst. Bij hydrolyse moet voor de pijl dus altijd water staan. In hoofdstuk 13 worden de condensatiereacties en hydrolysereacties besproken. Kijk ook eens naar kenniskaart 8. Je ziet hier een overzicht van de verschillende soorten reacties.

Samenvatting

- Reactievergelijkingen stel je op met een stappenplan en ze zijn altijd kloppend.
- De volgende soorten reacties kun je herkennen: verbrandingsreacties, ontledingsreacties, zuur-basereacties, redoxreacties, additiereacties, substitutiereacties, condensatiereacties en hydrolysereacties.

Opdrachten

B 10

In derdewereldlanden is desinfectie van drinkwater enorm belangrijk. Voor de desinfectie wordt hypochloriet gebruikt. Hypochloriet kun je produceren door chloorgas door water te leiden, er vormt zich onderchlorigzuur. Dit onderchlorigzuur reageert met water en zorgt ervoor dat er hypochlorieten voor de desinfectie in water aanwezig zijn. Als chloor aan water wordt toegevoegd, verloopt de volgende reactie:



Deze reactie is een redoxreactie, Cl_2 reageert hier als oxidator en reductor.

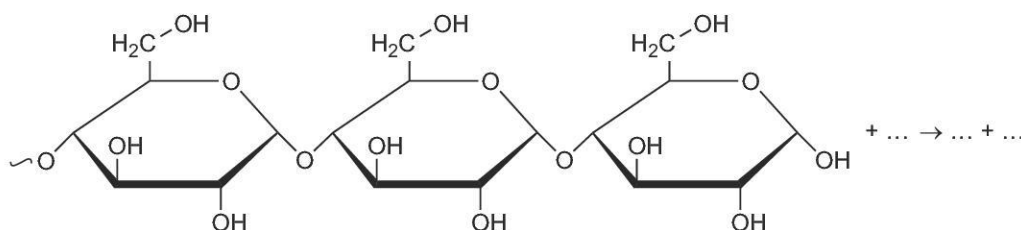
Geef de beide halfreacties die bij deze redoxreactie horen. (4p)

B 11 Stroom uit hout

In brandstofcellen die glucose of zetmeel als energiebron gebruiken worden enzymen gebruikt. Zo kan amylose in zetmeel met behulp van enzymen door hydrolyse worden omgezet tot glucose. Andere enzymen zetten vervolgens de glucose om. Hieronder is de onvolledige reactievergelijking weergegeven van de gedeeltelijke hydrolyse van amylose.

a Neem de vergelijking in figuur 19.11 over en maak haar af, waarbij van het weergegeven fragment twee moleculen glucose worden afgesplitst. Geef koolstofverbindingen met structuurformules weer. (3p)

Wetenschappers hebben een brandstofcel voor biomassa ontwikkeld waarin geen enzymen worden gebruikt.



19.11

Je kunt nu

- zuur-basereacties, verbrandingsreacties, ontledingsreacties en redoxreacties herkennen en de reactievergelijkingen opstellen;
- organische reacties: additie-, substitutie-, condensatie- en hydrolysereacties herkennen en de reactievergelijkingen opstellen.

Met deze brandstofcel kan energie worden opgewekt uit biomassa waarvoor geen geschikte enzymen bestaan. In het onderzoek naar een geschikte brandstofcel is gebruikgemaakt van ammonium-12-molybdofosfaat. De verhoudingsformule van deze stof is $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 (\text{MoO}_3)_{12}$. Ammonium-12-molybdofosfaat wordt gemaakt door ammoniumorthomolybdaat $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ te verhitten in aanwezigheid van fosforzuur en salpeterzuur. Als bijproducten ontstaan waterdamp en ammoniumnitraat.

b Geef de reactievergelijking voor het maken van ammonium-12-molybdofosfaat. Gebruik Binas tabel 66B. (3p)

Naar: CE vwo 2018-II

B 12

Ammoniet is een verzamelnaam voor schelpvormige fossielen die soms een goudachtige glans hebben. De goudachtige glans wordt veroorzaakt door de stof pyriet. Met pyriet, ook wel markasiet genoemd, wordt een stof bedoeld met de formule FeS_2 . In deze stof komen zogenoemde disulfide-ionen voor: S_2^{2-} . Deze ionen zijn ontstaan uit het gas waterstofsulfide (H_2S), waarna ze met aanwezige ijzer(II)ionen een neerslag vormden.

De omzetting van moleculen waterstofsulfide tot disulfide-ionen is een redoxreactie.

Geef de vergelijking van de halfreactie voor de omzetting van H_2S tot S_2^{2-} . In de vergelijking van deze halfreactie komt behalve H_2S en S_2^{2-} ook H^+ voor. (3p)

Naar: CE vwo 2013-I

Muskusherten

Muskusherten zijn herten zonder een gewei, maar wel met twee slagstanden. Hun naam komt van de stof muskus, waarvan de geur onderdeel uitmaakt van veel parfums. Om hun muskus-klier te kunnen gebruiken, wordt op deze dieren gejaagd. Hoe een synthetische vervanger voor de stof muskus kan worden gemaakt, zie je in opgave B15.

**Je oefent**

- rekenen aan chemische reacties;
- rekenen aan zuren en basen en het berekenen van de reactiewarmte;
- rekenen met rendement, atomeconomie en E-factor.

19.3 Chemisch rekenen



19.12 In een chemische fabriek speelt chemisch rekenen een belangrijke rol. Rendement en E-factor staan centraal.

Het stappenplan van chemisch rekenen

In ieder eindexamen komen rekenvragen voor. In de paragrafen 2.4, 3.5 en 4.4 is het begrip mol, rekenen aan gassen en rekenen met molariteit besproken. Het oplossen van rekenvragen verloopt meestal via een aantal vaste stappen. In paragraaf 5.3 is het stappenplan voor het rekenen aan reacties besproken.

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.

Je hebt een rekenschema gekregen voor het omrekenen van mol naar gram, deeltjes, molariteit en gasvolume. Je vindt dit schema achter in het boek in kenniskaart 3 terug. Het rekenen met ppm, ppb, massa-% en volume-% wordt in paragraaf 15.1 besproken.

Voor het oplossen van een opgave zijn meestal meerdere rekenstappen nodig. Kijk eerst naar wat er in de opgave wordt gevraagd: welke stof en welke eenheid. Doe steeds één rekenstap, geef de berekening die je doet en schrijf achter het antwoord meteen de juiste eenheid en om welke stof het gaat. Doe daarna een volgende rekenstap die je dichterbij het eindantwoord brengt. Let erop dat je het eindantwoord altijd in het juiste aantal significante cijfers geeft. Je vindt de regels in paragraaf 2.3 en 3.5 en 8.4. Bedenk dat je voor elke stap een punt krijgt. Zie voorbeeld 1.



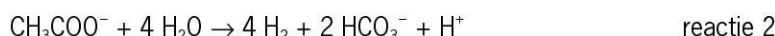
19.13 *Lactobacillus bulgaricus* vormt melkzuur uit koolhydraten.

Voorbeeld 1 Duurzame productie van waterstof uit afvalwater

Er wordt al enige tijd onderzoek gedaan naar de duurzame productie van waterstofgas uit afvalwater. Zo zijn er experimenten uitgevoerd met de zogenoemde 'donkere fermentatie' van afvalwater. Bij deze experimenten zijn bacteriën gebruikt die in het donker koolhydraten kunnen omzetten. Donkere fermentatie van een glucose-oplossing kan in twee stappen verlopen. In de praktijk is het rendement van deze omzetting laag. In een experiment is de donkere fermentatie uitgevoerd met speciaal geselecteerde bacteriën. Daarbij werd 5,0 L glucose-oplossing met een concentratie van 250 g per L gebruikt. Het rendement van de waterstofproductie bleek daarbij 15 procent te zijn.

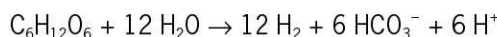


Als de juiste mix van bacteriën aanwezig is, wordt het ethanoaat (CH_3COO^-) als volgt omgezet:



Bereken hoeveel dm^3 waterstofgas in dit experiment is geproduceerd. Ga ervan uit dat glucose de enige stof is die door de bacteriën wordt omgezet tot H_2 en dat het experiment is uitgevoerd bij een temperatuur van 298 K en $p = p_0$.

Stap 1: De totale reactievergelijking krijg je door de vergelijkingen van reactie 1 en 2 op te tellen:



Stap 2: Bereken hoeveel mol glucose in 5,0 L glucose-oplossing zit.

Het aantal gram glucose is $5,0 \times 250 \text{ g} = 1250 \text{ g}$ in 5,0 L.

De molaire massa van glucose is: $180,2 \text{ g mol}^{-1}$.

In 5,0 L glucose-oplossing zit dan $\frac{1250 \text{ g}}{180,2 \text{ g mol}^{-1}} = 6,94 \text{ mol}$ glucose.

Stap 3: Uit de reactievergelijking bij stap 1 blijkt dat uit 1 mol glucose 12 mol waterstof ontstaat.

Stap 4: Er ontstaat maximaal $6,94 \times 12 = 83,24 \text{ mol H}_2$.

Stap 5: Bij een rendement van 15% ontstaat dan: $\frac{15}{100} \times 83,24 \text{ mol} = 12,48 \text{ mol H}_2$.

Vermenigvuldig het aantal mol met V_m (Binas-tabel 7):

$$12,48 \text{ mol} \times 2,45 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2 = 0,306 \text{ m}^3$$

$$\text{Er ontstaat: } 0,306 \times 10^3 \text{ dm}^3 = 3,1 \cdot 10^2 \text{ dm}^3 \text{ H}_2.$$

Je antwoord heeft twee significante cijfers omdat het minst nauwkeurige getal, 5,0 L, ook twee significante cijfers heeft.

Naar: CE vwo 2012-I

Rekenen aan (zwakke) zuren en basen

Alle pH-berekeningen ben je tegengekomen in de paragrafen 8.4 en 9.3.

Voor zuren en basen geldt:

$$\text{Verband tussen pH en } [\text{H}_3\text{O}^+]: \quad \text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] \rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

$$\text{Verband tussen pOH en } [\text{OH}^-]: \quad \text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] \rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}}$$

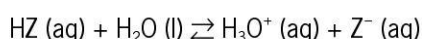
$$\text{Bij } T = 298 \text{ K geldt in zuiver water:} \quad \text{pH} + \text{pOH} = 14,00$$

Bij berekeningen aan zwakke zuren en basen maak je gebruik van het feit dat er een evenwicht optreedt als je een zwak zuur of een zwakke base in water oplost.

Voor je gaat rekenen stel je eerst de vergelijking van het evenwicht op en vervolgens geef je de evenwichtsvoorwaarde. De evenwichtsconstante K_z (bij een zwak zuur) en K_b (bij een zwakke base) vind je in Binas tabel 49. De $[\text{H}_3\text{O}^+]$ kun je berekenen uit de pH, de $[\text{OH}^-]$ bij een base bereken je door uit de pH eerst de pOH af te leiden.

Zwak zuur of zwakke base in water

Als je alleen een zwak zuur (HZ) oplost in water, dan kun je de evenwichtsvoorwaarde van de reactie vereenvoudigen.



$$K_z = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{Z}^-]}{[\text{HZ}]}, \text{ hierin is } [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{Z}^-]. \text{ Zie voorbeeld 2.}$$

Voor een base geldt hetzelfde, alleen dan staat in de evenwichtsvoorwaarde K_b en $[\text{OH}^-]$ en is $[\text{B}]$ de concentratie van de base vóór de reactie met water.

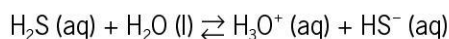
Bovenstaande vereenvoudigde formule geldt alleen voor zwakke zuren of zwakke basen in water, *niet* voor mengsels van zuren en basen.



19.14 Er zijn speciale veiligheidsmaatregelen nodig om in een riool te kunnen werken. Door het lopen op het slib komt onder andere diwaterstofmonosulfide vrij, een giftig gas, met de geur van rotte eieren.

Voorbeeld 2

Bereken de molariteit van een diwaterstofmonosulfide-oplossing met een pH van 3,85.



Bereken de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ uit de pH.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-3,85} = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{HS}^-] = x$$

	$[\text{H}_3\text{O}^+]$	$[\text{HS}^-]$	$[\text{H}_2\text{S}]$
t_o	0	0	x
omgezet	$+1,4 \cdot 10^{-4}$	$+1,4 \cdot 10^{-4}$	$-1,4 \cdot 10^{-4}$
t_{ev}	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$x - 1,4 \cdot 10^{-4}$

De evenwichtsvoorwaarde wordt dan:

$$K_z = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HS}^-]}{[\text{H}_2\text{S}]} \rightarrow 8,9 \cdot 10^{-8} = \frac{(1,4 \cdot 10^{-4})^2}{x - 1,4 \cdot 10^{-4}}$$

$$8,9 \cdot 10^{-8} \times (x - 1,4 \cdot 10^{-4}) = (1,4 \cdot 10^{-4})^2$$

$$x = 0,22 \text{ mol L}^{-1}$$

De molariteit van de waterstofsulfide-oplossing is $0,22 \text{ mol L}^{-1}$.

Mengsels van een zuur en zijn geconjugeerde base

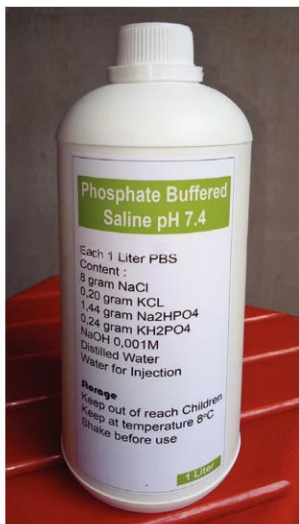
Als in een opgave een zwak zuur en zijn geconjugeerde zwakke base worden gemengd, dan kun je nog wel de evenwichtsvoorwaarde gebruiken om berekeningen aan het mengsel te doen. Als de pH is gegeven kun je met de evenwichtsvoorwaarde de verhouding berekenen waarin het zwakke zuur en de zwakke base in de oplossing voorkomen.

Je kunt het beste de evenwichtsvoorwaarde opstellen met de vergelijking van de reactie van het zwakke zuur uit het mengsel met water. Daarin staat dus altijd het zuur en water voor de pijl en H_3O^+ en de geconjugeerde base na de pijl.

De theorie hierover vind je in paragraaf 17.2. Zie ook voorbeeld 3.



a



b

19.15 Voor het brouwen van bier is een buffer nodig met een pH van 4,00 (a), maar bij onderzoek naar processen in cellen wordt de fosfaatbuffer met een pH van 7,4 veel gebruikt (b).

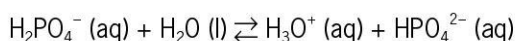
Voorbeeld 3

Onderzoekers maakten een oplossing van kaliumfosfaat in water. Ze brachten de oplossing door toevoeging van nog één andere soort stof op $\text{pH} = 7,00$. De fosfaationen worden hierbij geheel omgezet tot twee andere ionen.

Leg uit welke soort stof de onderzoekers hebben toegevoegd om de pH van de oplossing op 7,00 te brengen en bereken in welke verhouding de ionen die uit de fosfaationen zijn ontstaan, in deze oplossing voorkomen bij $\text{pH} = 7,00$ (298 K).

Een oplossing van kaliumfosfaat is basisch, omdat het fosfaation (PO_4^{3-}) een zwakke base is. Je moet dus een zuur toevoegen om de pH op 7,00 te brengen. Er ontstaat dan $\text{HPO}_4^{2-}(\text{aq})$ en $\text{H}_2\text{PO}_4^-(\text{aq})$.

Deze deeltjes vormen in water het volgende evenwicht (zie Binas tabel 66B):



$$\text{Nu geldt: } K_z = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}$$

Zoek K_z op in Binas tabel 49: $6,2 \cdot 10^{-8}$

De pH is 7,00, dan is $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-7,00} = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$.

Schrijf de evenwichtsvoorwaarde zodanig dat je de gevraagde verhouding aan één kant van het isgelijktteken krijgt en vul de gevonden waarden in.

$$\frac{[K_z]}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} \rightarrow \frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = \frac{6,2 \cdot 10^{-8}}{1,0 \cdot 10^{-7}} = \frac{1}{1,6} = 0,62$$

Omdat de waarde van de breuk < 1 is, moet er wel meer $[\text{H}_2\text{PO}_4^-(\text{aq})]$ zijn.

Naar: CE vwo 2014-II

Reactiewarmte berekenen

Door de reactiewarmte te berekenen kun je zien of een reactie exotherm is ($\Delta E < 0$) of endotherm ($\Delta E > 0$). De theorie hierover vind je in paragraaf 15.2.

De volgende definitie voor reactiewarmte geldt:

$$\text{reactiewarmte} = \Delta E = E_{\text{reactieproducten}} - E_{\text{beginstoffen}}$$

Let bij het berekenen van de reactiewarmte op onderstaande punten:

- Als de temperatuur en druk zijn gegeven en overeenkomen met de getallen in Binas tabel 57A en 57B, dan kun je de vormingswarmten uit die tabellen gebruiken om de reactiewarmte te berekenen.
- De reactiewarmte kan ook een andere vorm van energie zijn, bijvoorbeeld elektrische energie.
- De activeringsenergie wordt *niet* gebruikt bij de berekening van de reactiewarmte.
- Let goed op of het in de reactie gaat om water in vloeibare vorm of in de gasfase. Beide staan in Binas tabel 57A.
- Elementen (niet-ontleedbare stoffen) hebben per definitie een vormingswarmte van 0 J.
- Let op in wat voor een eenheid de vormingswarmte of de reactiewarmte wordt gevraagd. Als er 'per mol van een bepaalde stof' wordt gevraagd, dan moet je het antwoord nog delen door het aantal mol van de betreffende stof in de reactievergelijking (de coëfficiënt in de reactievergelijking). Zie voorbeeld 4.



19.16 Ethaan is de grondstof voor de productie van polyetheen. In derdewereldlanden is het gebruik van plastic zakken en tasjes van polyetheen uitgegroeid tot een milieuramp.

Voorbeeld 4

Bereken de verbrandingswarmte van ethaan in joule per mol ethaan (figuur 19.16). Het ontstane water is gasvormig.

De reactievergelijking is: $2 \text{ C}_2\text{H}_6 + 7 \text{ O}_2 \rightarrow 4 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$

Zoek de vormingswarmte op en vermenigvuldig die met de coëfficiënten in de reactievergelijking.

2 C ₂ H ₆	$2 \times -0,84 \cdot 10^5 = -1,68 \cdot 10^5 \text{ J}$
7 O ₂	$7 \times 0 = 0 \text{ J}$
4 CO ₂	$4 \times -3,935 \cdot 10^5 = -15,74 \cdot 10^5 \text{ J}$
6 H ₂ O	$6 \times -2,42 \cdot 10^5 = -14,52 \cdot 10^6 \text{ J}$

Vormingswarmte beginstoffen: $-1,68 \cdot 10^5 + 0 = -1,68 \cdot 10^5 \text{ J}$

Vormingswarmte reactieproducten: $-15,74 \cdot 10^5 + -14,52 \cdot 10^5 = -30,26 \cdot 10^5 \text{ J}$

Reactiewarmte = $E_{\text{reactieproducten}} - E_{\text{beginstoffen}} = -30,26 \cdot 10^5 - (-1,68 \cdot 10^5) = -28,58 \cdot 10^5 \text{ J}$

Dit is per 2 mol ethaan. De verbrandingswarmte is dus: $1,43 \cdot 10^6 \text{ J mol}^{-1}$.

Rendement, atomeconomie en E-factor

Je maakte kennis met rendement en de atomeconomie in paragraaf 7.3 en later in 15.1. De opbrengst van een chemisch proces is nooit 100%. In de praktijk blijkt dat er minder product ontstaat dan je mag verwachten uit de hoeveelheid beginstoffen. Het percentage van de theoretische opbrengst dat werkelijk wordt verkregen heet het rendement.

Een efficiënt proces heeft zo min mogelijk bijproducten. De atomeconomie geeft aan hoe efficiënt een proces is. Als je het effect van het rendement en de atomeconomie combineert, krijg je de E-factor. De E-factor geeft aan hoeveel afval je overhoudt ten opzichte van de hoeveelheid product.

Bij een rendement en atomeconomie van 100% heb je geen afval en is de E-factor dus 0. Hoe meer afval er is, des te groter is de E-factor. De formules voor de berekening van rendement, atomeconomie en E-factor vind je in Binas tabel 37 H. Zie voorbeeld 5.

Let er goed op dat je alle stoffen die worden gebruikt in hun geheel meerekent. Als bijvoorbeeld alleen een negatief ion van een zout in een oplossing reageert, moet je toch de massa van het hele zout in je berekeningen gebruiken. In voorbeeld 5 verandert er niets aan het Na^+ , maar het wordt wel in de berekening meegenomen.

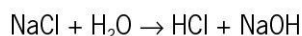


19.17 Zoutzuur kun je gebruiken om beton te reinigen.

Voorbeeld 5

Zoutzuur heeft veel verschillende toepassingen (figuur 19.17). Naast toepassingen in het laboratorium en de industrie en als schoonmaakmiddel in het huishouden, wordt het gebruikt voor het looien van leer, zuiveren van staal en als zuurteregelaar (E507) in de voedingsindustrie. Er zijn verschillende manieren om waterstofchloride, de grondstof voor zoutzuur, te maken.

Hieronder zie je van een van die processen de vergelijking van de totaalreactie.



Het rendement van dit proces is 63%.

Bereken de atomeconomie en de E-factor van dit proces.

Vul de formule voor de atomeconomie in voor het proces:

$$\text{atomeconomie} = \frac{m_{\text{HCl}}}{m_{\text{beginstoffen}}} \times 100\%$$

$$\text{atomeconomie} = \frac{36,461 \text{ u}}{58,433 \text{ u} + 18,015 \text{ u}} \times 100\% = 47,688\%$$

Vul ook de formule voor de E-factor in.

De massa van HCl moet daarbij worden gecorrigeerd voor het rendement, want bij de E-factor wordt de *praktische opbrengst* gebruikt.

$$E = \frac{\text{massa}_{\text{beginstoffen}} - \text{massa}_{\text{gewenst product}}}{\text{massa}_{\text{gewenst product}}} =$$

$$\frac{(58,433 \text{ u} + 18,015 \text{ u}) - (0,63 \times 36,461 \text{ u})}{(0,63 \times 36,461 \text{ u})} = 2,3$$

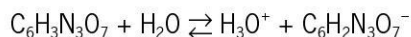
Samenvatting

- Bij rekenen aan reacties kun je gebruikmaken van een stappenplan.
- De pH van een oplossing van een zwak zuur of een zwakke base kun je berekenen door gebruik te maken van K_z en K_b .
- De pH van een oplossing van een zwak zuur en zijn geconjugeerde base is afhankelijk van de verhouding waarin zuur en geconjugeerde base in het mengsel aanwezig zijn.
- Met vormingswarmten kun je de reactiewarmte berekenen.
- Het rendement, de atomeconomie en de E-factor bepalen hoe efficiënt een chemisch productieproces is.

Opdrachten

B 13 Picrinezuur

Picrinezuur is in droge toestand explosief. Daarom wordt het onder water bewaard. In dit water is wat picrinezuur opgelost. Het opgeloste picrinezuur is gedeeltelijk geïoniseerd volgens:



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 zuur.

- Bereken de molariteit in mol per liter van een verzadigde oplossing van picrinezuur. (3p)
- Bereken de pH van deze verzadigde oplossing. (2p)

Naar: CE havo 2012-II

B 14 KNO_xOUT-verf

Stikstofoxiden (NO_x) worden voornamelijk uitgestoten door motorvoertuigen en zijn een belangrijke veroorzaker van luchtvervuiling en zure regen. Vooral het roodbruine NO₂ is giftig en een belangrijke veroorzaker van smog. In Makati, een grote stad in de Filipijnen, is een project van start gegaan om de NO_x-uitstoot te verminderen. Het gemeten gemiddelde volumepercentage NO₂ op de plek van het project (metrostation Guadalupe) was in 2009 meer dan $9,6 \cdot 10^{-6}\%$.

- Laat met een berekening zien of het gemeten gemiddelde volumepercentage NO₂ hoger of lager was dan de grenswaarde van NO₂ (TGG 8 uur) ($T = 298 \text{ K}$, $p = p_0$). (3p)

In Makati verfde men het drukke metrostation Guadalupe met een speciaal soort verf: de zogeheten KNO_xOUT-verf. Deze verf zorgde ervoor dat de NO_x-concentratie drastisch daalde. Dit succes is te danken aan de katalysator TiO₂ die in de verf is verwerkt. TiO₂ zet water- en zuurstofmoleculen onder invloed van uv-straling om in deeltjes die met NO_x reageren tot salpeterzuur. Hierbij wordt uit elk deeltje NO_x één deeltje salpeterzuur gevormd. Het gevormde salpeterzuur wordt vervolgens door het in de verf aanwezige calciumcarbonaat (CaCO₃) volledig geneutraliseerd. De stoffen die bij deze reactie ontstaan, spoelen tijdens een regenbui weg. Als het gevormde salpeterzuur volledig wordt geneutraliseerd door calciumcarbonaat ontstaan CO₂ en opgelost

calciumnitraat. In het experiment in Makati werd in totaal 4100 m² muur geverfd.

Gemiddeld zette de verf per m² muur 0,26 g aan NO_x per dag om tot salpeterzuur. Er is gepland om de muur elke vijf jaar opnieuw te verven.

- Leg met behulp van een berekening van de benodigde massa aan calciumcarbonaat per m² muur uit of de verf gedurende vijf jaar het ontstane salpeterzuur kan neutraliseren. (4p)

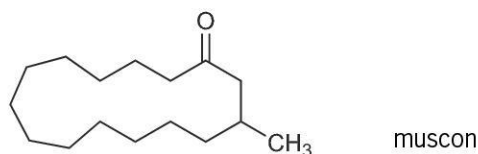
Maak onder andere gebruik van de volgende gegevens:

- per m² muur is 0,40 L verf nodig;
- de dichtheid van de verf bedraagt 1,52 kg L⁻¹;
- de gemiddelde molaire massa van NO_x is 30,8 g mol⁻¹.

Naar: CE vwo 2017-II

B 15 Nitromusks

Muskus is een belangrijke geur die onderdeel uitmaakt van vrijwel alle parfums. Door het geringe aanbod van natuurlijke muskus was de stof altijd uiterst kostbaar. De belangrijkste geurstof in muskus is muscon, een stof met de molecuulformule C₁₆H₃₀O. De structuurformule van muscon is hieronder schematisch weergegeven.

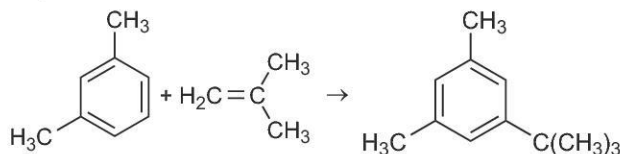


De productie van synthetische muscon is nooit van de grond gekomen. Het rendement van de voorgestelde bereidingswijzen was steeds erg laag, mede vanwege het grote aantal tussenstappen. Ook kwamen goedkopere vervangers voor muscon beschikbaar: de nitromusks.

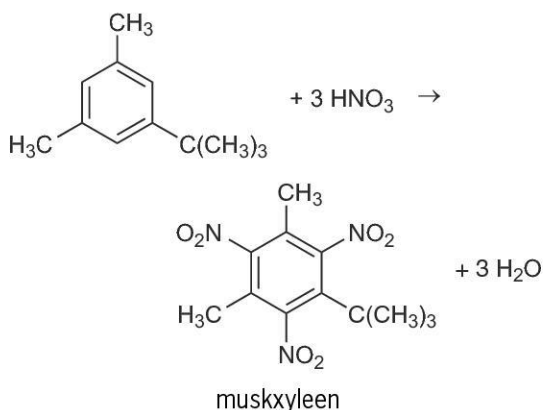
De nitromusks zijn eenvoudig te bereiden uit goedkope grondstoffen.

Zo kan muskxyleen (MX) worden bereid in slechts twee stappen die hieronder zijn weergegeven.

stap 1:



stap 2:



In stap 1 laat men 1,3-dimethylbenzeen reageren met methylpropeen. Deze omzetting heeft een rendement van 75%. Vervolgens laat men de ontstane stof na zuivering reageren met geconcentreerd salpeterzuur tot MX en water. Deze tweede stap heeft een rendement van 88%.

Bereken voor de bereiding van MX uit 1,3-dimethylbenzeen de E-factor. De molaire massa van MX is $297,3 \text{ g mol}^{-1}$. Neem aan dat bij de zuivering geen stof verloren gaat. (4p)
Naar: CE vwo 2016-I

B 16 Grensvlakpolymerisatie

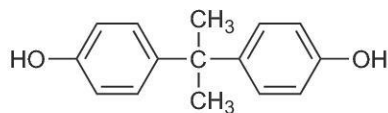
De kunststof lexaan wordt toegepast als bijvoorbeeld materiaal voor het venster in skibrillen. Lexaan is een zogeheten polycarbonaat en wordt gemaakt uit twee monomeren. Eén van de monomeren is het gas fosgeen (COCl_2). Fosgeen is een zeer giftig zenuwgas en wordt daarom niet in grote hoeveelheden opgeslagen voor gebruik, maar ter plekke uit chloor en koolstofmono-oxide gemaakt.

Tijdens dit proces laat men in een eerste reactor, R1, een overmaat koolstofmono-oxide reageren met chloor. Het chloor reageert hierbij volledig.

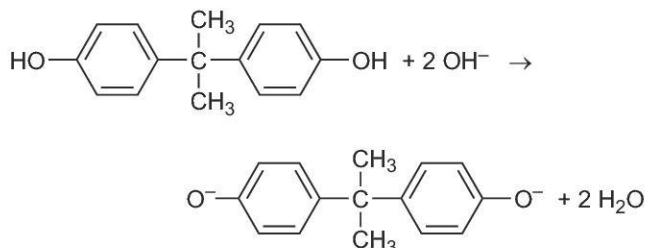
- a** Laat met een berekening zien of R1 moet worden verwarmd of gekoeld. De vormingswarmte van fosgeen bedraagt $-2,23 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$. (2p)

Het gevormde fosgeen wordt vervolgens gescheiden van de overmaat koolstofmono-oxide in een scheidingsruimte. Fosgeen wordt onder in een tweede reactor, R2, geleid. R2 bevat twee vloeistoffen die niet met elkaar mengen. De bovenste laag is natronloog. De onderste laag bevat

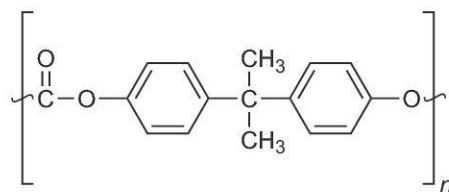
dichloormethaan (CH_2Cl_2). Behalve fosgeen wordt als grondstof voor lexaan bisfenol-A gebruikt, waarvan de structuurformule hieronder is weergegeven.



Bisfenol-A wordt boven in R2 gebracht. Bisfenol-A reageert met het aanwezige natronloog tot bisfenolaationen, zoals hieronder is weergegeven.



De bisfenolaationen reageren vervolgens aan het grensvlak van beide vloeistoffen met fosgeen tot lexaan. Hieronder is een gedeelte van een polymeerketen van lexaan weergegeven.



De atomefficiëntie, ook wel atomeconomie genoemd, van de vorming van lexaan uit de grondstoffen, kun je berekenen op basis van de reacties die in de tweede reactor, R2 verlopen. Hierbij is onder andere de molecuulformule van de repeterende eenheid van lexaan nodig.

- b** Geef de beide reacties die verlopen in R2 in één vergelijking weer. Gebruik molecuulformules voor de organische stoffen. (3p)

- c** Bereken de atomeconomie (atoomefficiëntie) van de vorming van lexaan in R2. De molaire massa van bisfenol-A bedraagt $228,3 \text{ g mol}^{-1}$. (2p)

Naar: CE vwo 2014-I

Je kunt nu

- rekenen aan reacties en de reactiewarmte van reacties berekenen;
- rekenen aan sterke en/of zwakke zuren en basen;
- rekenen aan rendement, atomeconomie en de E-factor.

Fossiel

Deze kakkerlak werd in 2015 in Myanmar gevonden. Het dier leefde ongeveer 100 miljoen jaar geleden.

Waarschijnlijk is het ooit tijdens een bosbrand gevangen geraakt in de gesmolten hars van naaldbomen. Tegenwoordig wordt kunsthars, een polymeer, ook gebruikt om insecten in te bewaren.

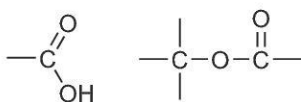
**Je oefent**

- structuurformules tekenen van additie- en condensatiepolymeren;
- hoe je een structuurformule van (een stukje van) een eiwitmolecuul kunt tekenen;
- hoe je lewisstructuren opstelt en VSEPR toepast.

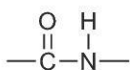
19.4 Structuurformules

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

19.18 Covalentie



zuurgroep/
carboxylgroep ester



amide/peptidegroep
19.19 Enkele functionele
groepen

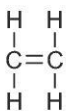
Polymeren tekenen

Het tekenen van structuurformules komt in veel opgaven voor. Je maakt gebruik van de covalentie van atoomsoorten, zie tabel 19.18. Let op de structuur van de zuurgroep, de amidebinding en de esterbinding (figuur 19.19). Teken deze groepen altijd voluit, notaties als —COOH zijn niet toegestaan.

Soms moet je eenvoudige koolstofverbindingen tekenen, maar soms ook ingewikkelde structuren van polymeren. Polymeren bestaan uit grote moleculen die zijn opgebouwd uit monomeren. Bij een gegeven structuur van de polymeer moet je de monomeer kunnen afleiden of andersom. Als je de structuurformule van een polymeer moet tekenen, bepaal dan eerst of je hebt te maken met een additiepolymeer of een condensatiepolymeer.

Additiepolymeer

Een additiepolymeer ontstaat vanuit een monomeer met een dubbele binding tussen C-atomen. Teken die dubbele binding centraal (zoals je etheen tekent) en teken alle andere atomen of groepen die eraan zitten naar boven of naar beneden. Laat de linker- en de rechterzijkant van het molecuul dus vrij.



Teken dit nogmaals, maar laat de dubbele binding weg. Je hebt nu een bouwsteen van het polymeer. Teken het polymeer door meerdere bouwstenen links en rechts met elkaar te verbinden.



19.20 Detail van een fresco in een middeleeuwse kerk

Teken dan op de eerste en de laatste bouwsteen een ~, – of zigzag om aan te geven dat het molecuul nog veel meer van zulke bouwstenen bevat. De theorie hierover vind je in paragraaf 13.1. Zie voorbeeld 1.

Voorbeeld 1

In de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw heeft men geprobeerd om fresco's te beschermen door een doorzichtige beschermende polymeerlaag op het fresco aan te brengen (figuur 19.20). Een van de polymeren die werd gebruikt, is het copolymeer acryloid B72.

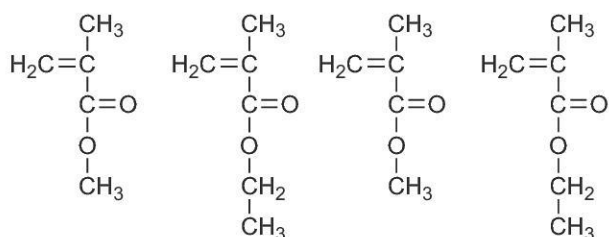
Dit polymeer is ontstaan uit de volgende twee monomeren:

- de ester van ethanol en 2-methylpropeenzuur;
- de ester van methanol en 2-methylpropeenzuur.

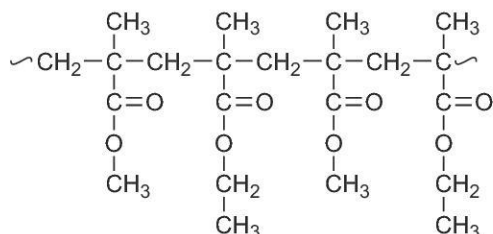
De vorming van dit copolymeer vindt plaats via additiepolymerisatie.

Teken de structuurformule van een deel uit het midden van de keten van het copolymeer acryloid B72. Verwerk in deze structuurformule van beide monomeren twee eenheden.

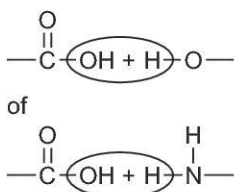
Teken beide monomeren alsof het etheen is, dus met de dubbele bindingen naast elkaar en met de rest van de groepen naar boven of naar beneden:



Teken nu beide monomeren twee keer achter elkaar zonder dubbele binding, verbind ze en zet ~ op de uiteindes.



Naar: CE vwo 2013-II



19.21 Condensatiereactie onder afsplitsing van een molecuul water

Condensatiepolymeer

Bij de vorming van een condensatiepolymeer reageren karakteristieke groepen met elkaar, zoals een zuur met een alcohol of een zuur met een amine.

Teken de uitgangsstoffen voor een condensatiepolymeer zo dat de groepen die met elkaar een binding aangaan, zoals de zuurgroepen en de alcoholgroepen of de zuurgroepen en de aminogroepen, in elkaars verlengde liggen, zie figuur 19.21.

Haal dan van de zuurgroepen de OH-groep af en de H-atomen van de alcoholgroepen of één van de H-atomen van de aminogroepen. Teken de overgebleven atomen (C en O respectievelijk N) aan elkaar. Verander verder niets aan de structuurformules. Teken op de uiteindes aan beide kanten altijd een ~.

Peptidebinding

Denk er bij het opstellen van vergelijkingen van dit soort condensatiereacties aan dat er bij de vorming van elke ester- of amidebinding ook een watermolecuul vrijkomt. De theorie hierover vind je in paragraaf 13.2. Zie voorbeeld 2.

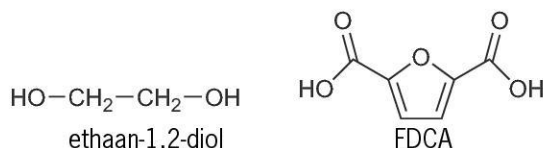


19.22 Eerste 100% biobased T-shirts van gerecyclede PEF-flessen

Voorbeeld 2

Ieder jaar worden grote hoeveelheden PET-frisdrankflessen geproduceerd. Het Nederlandse bedrijf Avantium heeft een proces ontwikkeld om de kunststof PEF als alternatief voor PET te produceren (figuur 19.22).

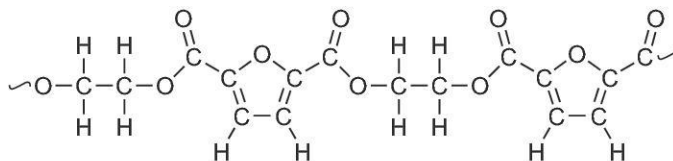
Bij de productie van PEF wordt biomassa als grondstof gebruikt, terwijl PET wordt geproduceerd uit aardolie. Zowel PET als PEF is een polyester. PEF is een copolymeer van ethaan-1,2-diol en FDCA (zie onderstaande formules).



Geef een gedeelte van een molecuul PEF in structuurformule weer. Dit gedeelte moet komen uit het midden van het molecuul en moet bestaan uit twee eenheden van beide monomeren.

Teken om en om twee moleculen ethaan-1,2-diol en 2 moleculen FDCA.

Verbind de vier monomeermoleculen door telkens afsplitsen van een H van de OH-groep van ethaan-1,2-diol en de OH-groep van de zuurgroep van FDCA, onder vorming van een molecuul water. Plaats ~ aan de uiteinden.

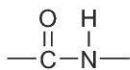


Naar: CE vwo 2018-I

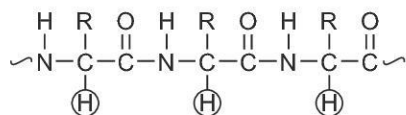
Delen van eiwitten of peptiden tekenen

Bij het tekenen van een gedeelte van een eiwitstructuur zijn er drie zaken die extra aandacht verdienen. Vaak kun je met elk van die drie zaken bij een opgave een punt verdienen.

- Let op de uiteindes. Als het om het begin van een eiwit of een peptide gaat, dan moet je links in de structuur een vrije aminogroep tekenen, NH_2- . Als het om het eind van het eiwit of een peptide gaat, dan moet je aan de rechterkant van de structuur een zuurgroep tekenen, $-\text{COOH}$. Moet je een gedeelte uit het midden van een eiwit of een peptide tekenen, dan moet je aan het begin van de structuurformule de NH (met ~) tekenen en aan het einde de O=C (met ~). Zie het voorbeeld op de volgende pagina.
- De peptidebinding moet kloppen. Deze bevindt zich tussen de aminozuren en moet je tekenen zoals hiernaast is weergegeven.
- Vergeet niet de waterstofatomen naast de C=O-groepen te tekenen (op plek 2), zie de structuur op de volgende pagina.



peptidebinding



Let er op dat je de zijgroepen van de aminozuren goed overtekent uit Binas tabel 67H1. Het aminozuur proline bindt op dezelfde manier als de andere aminozuren. Het is wel een uitzondering omdat het in de aminogroep maar één H-atoom heeft. De peptidebinding met proline bevat geen H-atoom meer.

De theorie hierover vind je in paragraaf 16.3. Zie voorbeeld 3.



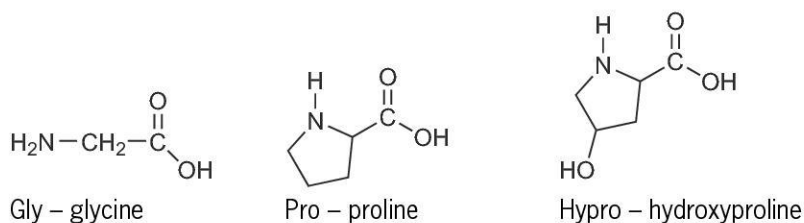
19.23 Om de huid te stimuleren meer collageen aan te maken, kun je een creme met collageen gebruiken. Of het echt helpt is nog niet wetenschappelijk bewezen.

Voorbeeld 3

In de menselijke huid komt collageen voor (figuur 19.23). De meest fundamentele bouwstenen van het collageen bestaan uit herhalingen van een aantal aminozuren: glycine-X-Y. Hierbij is X meestal proline en Y is meestal hydroxyproline (Hypro). Een hydroxyproline-eenheid is ontstaan doordat, na de vorming van het eiwit, de zijgroep van een proline-eenheid is voorzien van een hydroxygroep, en wel op het vierde koolstofatoom.

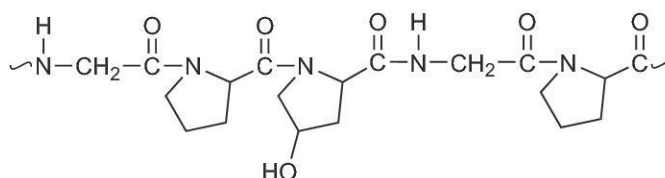
Teken het volgende kenmerkende stukje van een polypeptideketen van collageen:

~ Gly – Pro – Hypro – Gly – Pro ~



Het is gebruikelijk te beginnen met een aminogroep.

Je ziet dat in collageen overal peptidebindingen zijn gevormd.



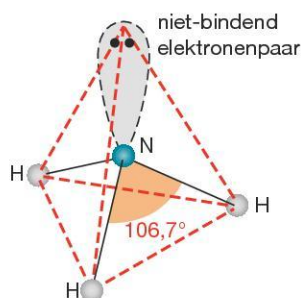
Lewisstructuren en VSEPR

Om zelf een lewisstructuur op te stellen (met of zonder formele lading) volg je een stappenplan dat is behandeld in paragraaf 12.1, evenals uitzonderingen op de octetregel, lewisstructuren van radicalen en van ionen.

- Stap 1: Teken de structuurformule, zo veel mogelijk rekening houdend met de covalentie van de atoomsoorten.
- Stap 2: Zoek in Binas tabel 99 op hoeveel valentie-elektronen elk atoom heeft en hoeveel er voor een octet nodig zijn.
- Stap 3: Bepaal hoeveel valentie-elektronen in de bindende elektronenparen zijn gebruikt en hoeveel valentie-elektronen er over zijn.
- Stap 4: Bereken het aantal vrije elektronenparen en geef de lewisstructuur van het molecuul.

omringingsgetal	2
molecuulbouw	lineair
bindingshoeken	180°
omringingsgetal	3
molecuulbouw	plat vlak
bindingshoeken	120°
omringingsgetal	4
molecuulbouw	tetraëder
bindingshoeken	109°

19.24 Omringingsgetal en bouw



19.25 De ruimtelijke bouw van een ammoniakmolecuul met omringingsgetal vier

De VSEPR-theorie is besproken in paragraaf 12.2. Denk eraan dat bij het bepalen van de ruimtelijke structuur van een deeltje de niet-bindende elektronenparen ook meetellen voor het bepalen van het omringingsgetal. De ruimtelijke structuur wordt bepaald door het omringingsgetal, zie tabel 19.24. De molecuulbouw is lineair bij een omringingsgetal van twee, ligt in een plat vlak bij omringingsgetal drie en heeft de vorm van een tetraëder bij omringingsgetal vier. Zie voorbeeld 4.

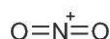
De ruimtelijke structuur van ammoniak lijkt op een tetraëder, figuur 19.25. Het niet-bindende elektronenpaar zorgt ervoor dat er sprake is van een omringingsgetal van 4.

Voorbeeld 4

In geconcentreerd salpeterzuur zijn, behalve NO_3^- en H_3O^+ , ook nitroniumionen (NO_2^+) aanwezig. In een nitroniumion zijn de O-atomen niet aan elkaar gebonden. De positieve lading in dit ion bevindt zich uitsluitend op het N-atoom.

Bepaal aan de hand van de lewisstructuur de ruimtelijke structuur van het NO_2^+ -ion.

Stap 1: Teken de structuurformule, zo veel mogelijk rekening houdend met de covalentie van de atomen. N heeft covalentie 3, maar doordat er een positieve lading is, kunnen vier van de vijf elektronen een binding vormen: de covalentie wordt 4.

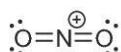


Stap 2: Het aantal valentie-elektronen staat hieronder.

atoom	valentie-elektronen	nodig voor octet	aantal bindingen
O	6	2	2
N	$5 - 1 = 4$	4	4
lading	1+		

Stap 3: O heeft twee valentie-elektronen in de bindingen gebruikt, dus er zijn er nog vier over (twee paren). N heeft voor het octet vier elektronen gebruikt.

Stap 4: De formele lading van N is 1+. De lewisstructuur is:



VSEPR: het omringingsgetal van het stikstofatoom is 2, want er zijn maar twee atomen aan dit atoom gebonden en geen niet-bindende elektronenparen. De structuur is dus lineair.

Samenvatting

- Bij het tekenen van structuurformules moet je rekening houden met de covalentie.
- Bij additiepolymerisatie verdwijnt de dubbele binding van het monomeer, bij condensatiepolymerisatie wordt een klein molecuul (H_2O) afgesplitst op de koppelplaats.
- Voor het opstellen van een lewisstructuur maak je gebruik van een stappenplan.
- Bij het bepalen van de ruimtelijke structuur van een molecuul tellen ook de niet-bindende elektronenparen mee voor het omringingsgetal.

Opdrachten

B 17 Chemicaliën uit biomassa

Chemicaliën die in de chemische industrie in grote hoeveelheden worden gebruikt (bulkchemicaliën) worden nu vaak van aardolie gemaakt. Om het gebruik van aardolie terug te dringen, wordt veel onderzoek gedaan om deze bulkchemicaliën te produceren op basis van biomassa.

Glutaminezuur is in veel plantenafval het meest voorkomende aminozuur. In een onderzoek is gekeken of glutaminezuur met behulp van een zogenoemde reactieve extractie uit plantenafval kan worden gewonnen.

Daartoe werden water en een overmaat butaan-1-ol toegevoegd aan een hoeveelheid gehydrolyseerd plantenafval. Butaan-1-ol lost slecht op in water en vormt een laag boven op het water.

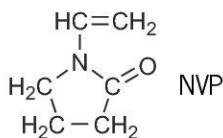
Het glutaminezuur vormt een di-ester met butaan-1-ol. De gevormde di-ester lost vervolgens op in de laag butaan-1-ol.

- a** Geef de structuurformule van de di-ester van glutaminezuur en butaan-1-ol. Gebruik Binas-tabel 67H1. (2p)

Behalve glutaminezuur reageren ook de andere aminozuren met butaan-1-ol tot esters. Na het afscheiden van de gevormde (di-)esters van aminozuren uit butaan-1-ol worden de esters gehydrolyseerd. Uit het onderzoek bleek dat het mogelijk is om op deze wijze uit plantenafval een mengsel van aminozuren te winnen met een hoog gehalte aan glutaminezuur.

Een Nederlandse onderzoeker heeft hierop in zijn proefschrift een vervolgonderzoek gepubliceerd. Hij heeft onderzocht of uit het onzuivere glutaminezuur twee belangrijke bulkchemicaliën kunnen worden geproduceerd.

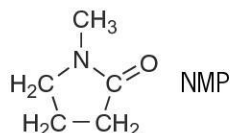
Deze chemicaliën zijn N-vinylpyrrolidon (NVP) en N-methylpyrrolidon (NMP). NVP is het monomeer voor het veelgebruikte polymeer polyvinylpyrrolidon dat via additiepolymerisatie uit NVP wordt gevormd.



- b** Geef een gedeelte uit het midden van een molecuul polyvinylpyrrolidon in structuurformule weer. Dit gedeelte moet zijn ontstaan uit twee eenheden NVP. (2p)

NMP is een oplosmiddel dat wordt gebruikt om koolwaterstoffen op te lossen. Het is ook goed oplosbaar in water.

De oplosbaarheid van NMP in water is te verklaren met behulp van de lewisstructuur van een grensstructuur van NMP. In deze lewisstructuur komen formele ladingen voor.



- c** Geef de lewisstructuur van het hierboven weergegeven NMP en van de andere grensstructuur van NMP. Geef formele ladingen aan in de structuren. De lewisstructuren moeten voldoen aan de octetregel. (3p)

Naar: CE vwo 2017-I

B 18

Een veel gebruikt materiaal voor het maken van membranen is Nafion. In dit materiaal komen sulfonzuurgroepen voor die ervoor zorgen dat het materiaal een zuur karakter heeft. Het zure karakter van de sulfonzuurgroep wordt onder andere veroorzaakt doordat van de geconjugeerde $R-OSO_3^-$ groep meerdere grensstructuren mogelijk zijn.

Geef de lewisstructuur van de groep $R-OSO_3^-$ en leg uit dat van deze groep meerdere grensstructuren bestaan. Geef in de tekening formele lading(en) aan.

Neem aan dat de covalentie van zwavel 6 is. De overige atomen in de weergegeven lewisstructuur moeten voldoen aan de oktetregel. Laat hierbij de groep R buiten beschouwing. (4p)

Naar: CE vwo 2016-II

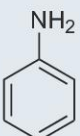
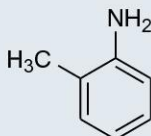
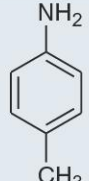
B 19

Mauveïne

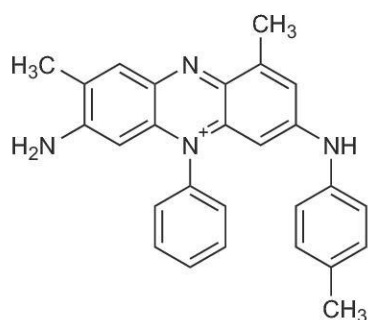
In 1856 probeerde William Perkin kinine, een medicijn tegen malaria, te synthetiseren. Hij verkreeg geen kinine, maar een mengsel met een paarse kleur. In de reactie was een paarse kleurstof gevormd, die later geschikt bleek om textiel te verven. Perkin noemde deze stof mauveïne en deze toevallige ontdekking werd een mijlpaal in de geschiedenis van de textielverf.

In 1994 onderzocht men de samenstelling van de paarse kleurstof uit verschillende historische textielmonsters. De kleurstof bleek een mengsel te zijn van verwante verbindingen, waaronder mauveïne A, B, B2 en C.

Perkins gebruikte voor de synthese drie organische beginstoffen en een oxidator. Hieronder zijn de structuurformules van de organische beginstoffen weergegeven.

aniline	o-toluidine	p-toluidine
		

Hieronder is de structuurformule van mauveïne B weergegeven. In de structuur van mauveïne B is de oorspronkelijke structuur van de drie organische beginstoffen te herkennen.



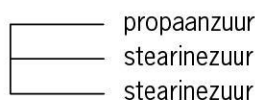
mauveïne B

Neem de bovenstaande structuurformule over en omcirkel de delen van het molecuul mauveïne B die afkomstig zijn van een van de organische beginstoffen. Noteer bij elk omcirkeld deel de naam van de betreffende beginstof. (2p)
Naar: CE vwo 2018-II

B 20 Salatrim, een vetvervanger

De voedingsmiddelenindustrie is al geruime tijd op zoek naar zogenoemde vetvervangers. Dit zijn stoffen die in de mond aanvoelen als plantaardige of dierlijke vetten, maar bij vertering in het lichaam minder energie leveren. Salatrim is zo'n vetvervanger en wordt verwerkt in koekjes en chocolade. Salatrim bestaat uit een mengsel van triglyceriden. In de moleculen van deze triglyceriden is glycerol op minstens één positie verestert met een verzadigd vetzuur met een lange koolstofketen en op minstens één positie met een (vet)zuur met een korte koolstofketen.

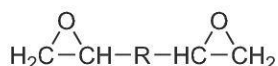
Hieronder is zo'n triglyceride schematisch weergegeven:



Geef de structuurformule van dit triglyceride. Maak hierbij gebruik van Binas tabel 67B. De koolwaterstofrest van stearinezuur mag je weergeven met $C_{17}H_{35}$. (2p)

B 21

Het weefsel carbon wordt gemaakt uit koolstofvezels, versterkt door een epoxyhars. Een epoxyhars wordt gevormd uit onder andere di-epoxiden waarvan je de structuur als volgt kunt weergeven:



Een epoxidegroep is op te vatten als een cyclische ether. Van alle ethers blijken de stoffen met een epoxidegroep veel reactiever te zijn dan lineaire ethers. De reden hiervoor is dat de bindingshoeken in de ring van een epoxidegroep afwijken van wat de VSEPR-theorie voorspelt. Hierdoor is de activeringsenergie voor het verbreken van de C-O-binding in een epoxidegroep veel lager dan bij een lineaire ether.

a Leg uit dat de bindingshoeken in de ring van een epoxidegroep afwijken van wat de VSEPR-theorie voorspelt. (2p)

Na het vormen van de epoxyhars uit de di-epoxide ontstaat er op de plek van de epoxidegroep een OH-groep. Om een voorwerp van carbon te produceren worden de bestanddelen van de epoxyhars, samen met een koolstofvezel in een mal geperst. Voor de sterkte van het carbon is het van belang dat de koolstofvezels goed aan de epoxyhars hechten. Op microniveau bestaan de vezels uit meerdere koolstoflaagjes van elk één atoom dik, vergelijkbaar met grafiet (Binas tabel 67E). Dankzij de platte vorm liggen de lagen dicht op elkaar.

b Leg uit welk omringingsgetal en ruimtelijke bouw de koolstofatomen moeten hebben om de laagjes een dikte van één atoom aan te laten nemen. (2p)

Naar: CE vwo 2016-II

Je kunt nu

- uit de structuurformule van een polymeer de formule van het monomeer afleiden;
- de structuurformule van een deel van een polymeermolecuul bij een of meer gegeven monomeren tekenen;
- lewisstructuren tekenen en de ruimtelijke structuur van een stof afleiden.

Procesbeheersing

In de industrie is het voor een goede procesbeheersing nodig dat alle processen kort en bondig in blokschema's worden weergegeven. Door het voortdurend meten en regelen van temperatuur, druk en samenstelling van de reagerende mengsels wordt het hele proces in goede banen geleid.

**Je oefent**

- de onderdelen van een blokschema;
- het verschuiven van een evenwicht.

19.5 Blokschema, evenwicht

Blokschema's opstellen

Bij opgaven over industriële chemie worden vaak blokschema's gebruikt om chemische processen weer te geven.

Een blokschema bestaat uit blokken, die reactoren of scheidingsinstallaties voorstellen en pijlen die stofstromen weergeven. Bij elke pijl hoort minimaal één stof te staan.

In opgaven moet je een blokschema vaak afmaken of zelf opstellen. Lees daarbij de tekst zorgvuldig en bouw het schema stapje voor stapje op. Iedere keer als er een stukje informatie staat, verwerk je dat in het schema. Let daarbij op onderstaande zaken.

- Elk atoom dat een blok ingaat, moet ook het blok weer verlaten. Anders zou er ophoping plaatsvinden.
- Een blokschema geeft een doorlopend proces aan. Stoffen die eenmalig en niet steeds opnieuw toegevoerd moeten worden, zoals een katalysator, worden niet als pijl in het schema opgenomen.
- Bedenk dat bij evenwichtsreacties de beginstoffen van de reactie niet volledig worden omgezet.
- Recirculeer zo veel mogelijk. Ga na of de recirculatiestroom voldoende is om het proces op gang te houden, anders moet er van buiten extra stof worden toegevoegd. Dit geef je aan door de teruggaande recirculatiepijl halverwege de inkomende pijl te laten aansluiten. Als de recirculatiepijl op het begin van een ingaande pijl aansluit, dan wordt er dus geen extra stof van buitenaf ingevoerd.

De theorie hierover vind je in paragraaf 15.4. Er wordt ook van je verwacht dat je de scheidingsmethoden kent. Deze vind je in paragraaf 1.3. Zie voorbeeld 1.



19.26 Chemische technologie kan niet zonder blokschema's.



a

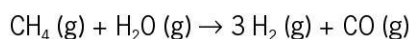
Band Halvarine
 n product met 39% plantaardige oliën.
 ntaardige oliën 39% (zonnebloem 14%,
 zaad 4,5%, volledig geharde palm),
 9%, emulgatoren (mono- en diglyceriden
 e), conserveermiddel (kaliumsorbaat),
 natuurlijk aroma's, vitamines A,

b

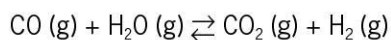
19.27 Waterstof wordt in de industrie gebruikt voor het harden van oliën en vetten, die daarbij van onverzadigd verzadigd worden. Verzadigde vetten en de bij de harding ontstane transvetten zijn slecht voor de gezondheid.

Voorbeeld 1

Waterstof wordt in fabrieken gemaakt door methaan in aanwezigheid van een katalysator te laten reageren met waterdamp (reactor 1):



Het gevormde waterstof wordt nog niet gescheiden van het koolstofmono-oxide. Koolstofmono-oxide wordt in reactor 2 met behulp van een andere katalysator omgezet in koolstofdioxide:

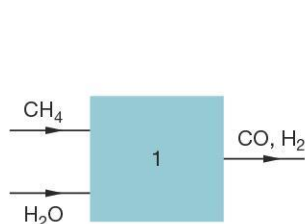


Doordat de reactie in reactor 2 een evenwichtsreactie is, gaan alle stoffen door naar een scheidingsruimte. Daar wordt alleen waterstof uit het proces gehaald.

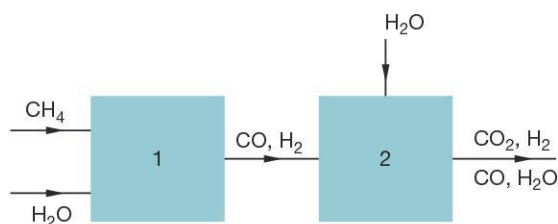
De overige stoffen gaan door naar een tweede scheidingsruimte. Daar worden de bruikbare stoffen gescheiden van de niet-bruikbare stoffen. De bruikbare stoffen worden gerecicleerd.

Teken het blokschema van deze vorming van waterstof. Geef de reactoren, scheidingsruimten, stofstromen en recirculatie duidelijk weer.

Voor de eerste reactie zijn twee stoffen nodig. Teken dus een blok met twee inkomende pijlen. Er staat dat er daarna niet wordt gescheiden, dus beide reactieproducten staan bij dezelfde uitgaande pijl, zie figuur 19.28.



19.28

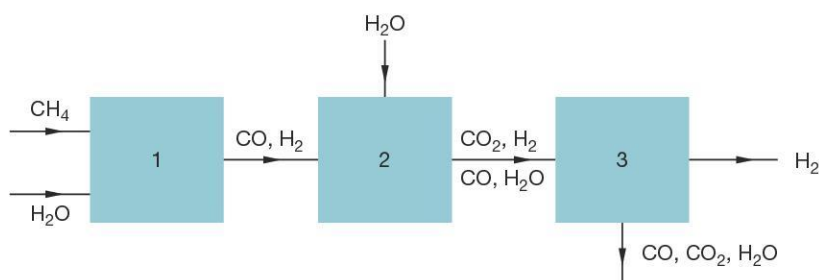


19.29

Daaraan wordt een tweede reactor gekoppeld. Water wordt naar binnen geleid.

Daarin vindt vervolgens een evenwichtsreactie plaats en alle stoffen voor en na de evenwichtspijlen zitten dus in de uitgaande stroom, zie figuur 19.29.

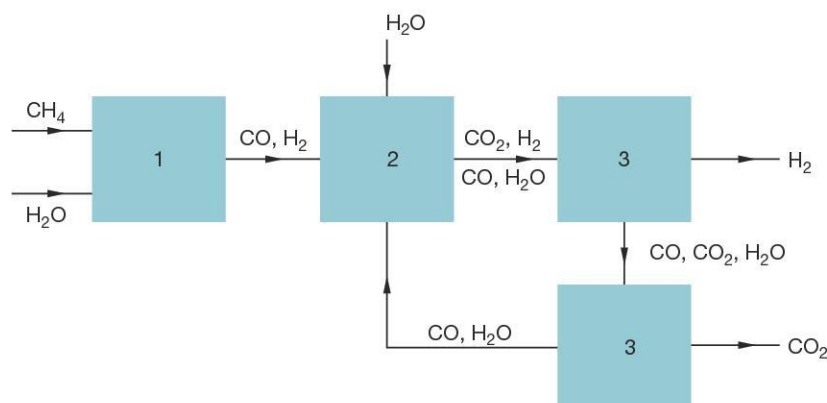
Dan wordt er gescheiden. Dat is dus een derde blok dat eraan wordt gekoppeld. Er wordt waterstof afgescheiden, die krijgt dus een aparte pijl. Alle andere stoffen gaan door, zie figuur 19.30.



19.30

Het laatste deel van deze opgave staat op de pagina hiernaast.

Er staat dat er nog een scheiding plaatsvindt. Dat is dus een vierde blok. De stoffen CO en H_2O kunnen worden gebruikt in de tweede reactor. De nuttige stoffen worden dus vanuit dat vierde blok gerecirculeerd, zie figuur 19.31 hieronder.



19.31

Evenwichtsverschuiving

Veel reacties in zowel de industrie als in biologische systemen verlopen niet volledig, maar zijn evenwichtsreacties. Om een zo groot mogelijke opbrengst te krijgen is het van belang om te weten hoe je de ligging van een evenwicht kunt beïnvloeden.

Zorg dat je onderstaande regels kent.

- Als de concentratie van een stof aan één kant van een evenwicht wordt vergroot, verschuift het evenwicht naar de andere kant.
- Als de druk hoger wordt, dan verschuift een evenwicht naar de kant met de minste deeltjes in de gasfase. Als het volume kleiner wordt, verschuift een evenwicht ook naar de kant met de minste deeltjes, op dezelfde manier als bij drukverhoging.
- Bij temperatuurverhoging verschuift een evenwicht naar de endotherme kant.

In alle gevallen geldt ook het omgekeerde.

- Als de druk lager wordt of als het volume groter wordt, verschuift een evenwicht naar de kant met de meeste deeltjes.
- Bij temperatuurverlaging verschuift een evenwicht naar de exotherme kant.

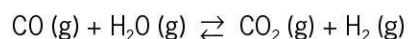
De theorie hierover vind je in paragraaf 7.4 en 7.5. Zie ook voorbeeld 2 en 3.



19.32 Voorbeeld van een statisch evenwicht

Voorbeeld 2

Bij de productie van waterstof zoals beschreven in voorbeeld 1 laat men koolstofmono-oxide en water reageren volgens onderstaande evenwichtsreactie.



De reactie naar rechts is exotherm.

Leg uit of temperatuurverhoging en drukverhoging een gunstige invloed hebben op de ligging van het evenwicht bij de reactie.

Omdat het over waterstofproductie gaat, wil 'gunstig' in dit geval zeggen: zo veel mogelijk waterstof, dus het evenwicht moet zo veel mogelijk naar rechts liggen.

Temperatuurverhoging heeft echter *geen* gunstige invloed, omdat het evenwicht dan naar de endotherme kant verschuift, dus naar links en er ontstaat dus minder waterstof.

Drukverhoging heeft *geen* invloed op het evenwicht, omdat bij drukverhoging het evenwicht verschuift naar de kant met de minste deeltjes. Aan beide kanten van het evenwicht staan evenveel deeltjes in de gasfase.

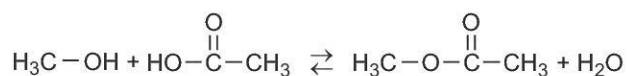
Het evenwicht verschuift dus niet.



19.33 Methylethanoaat wordt gebruikt in lakken.

Voorbeeld 3

Methylethanoaat is in gebruik als oplosmiddel en als basis voor lakken. De productie van methylethanoaat ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$) gebeurt door estervorming uit methanol en ethaanzuur. Als katalysator wordt zwavelzuur toegepast. Deze estervorming is een evenwichtsreactie.



In de jaren '80 van de vorige eeuw heeft men 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.

Leg uit wat de invloed is op de ligging van het evenwicht wanneer methylethanoaat uit het reactiemengsel verdampt.

Doordat methylethanoaat uit het evenwicht verdwijnt, wordt het evenwicht aflopend naar rechts / verschuift de ligging van het evenwicht naar rechts.

Naar: CE vwo 2014-II

Samenvatting

- Een productieproces wordt weergegeven met een blokschema.
- Een blok stelt een reactor of een scheiding voor.
- Bij de pijlen staan de stoffen die het blok ingaan en eruit komen.
- Door recirculatie kunnen bijproducten opnieuw worden gebruikt.
- De ligging van een evenwicht kan door een aantal factoren worden beïnvloed.

Opdrachten

B 22 Van afvalgas naar brandstof

Het bedrijf Lanzatech heeft een proces ontwikkeld waarbij de afvalgassen uit de staal- en petrochemische industrie worden gemengd met waterstof en andere gassen. Het verkregen mengsel wordt vervolgens door micro-organismen omgezet tot ethanol (C_2H_6O) en andere alcoholen.

Het ethanol en de overige alcoholen worden door destillatie gescheiden van het mengsel in de bioreactor. Behalve ethanol worden door de micro-organismen ook butaan-1-ol, butaan-2-ol, 2-methylpropaan-1-ol en 2-methylpropaan-2-ol in de Lanzatech-bioreactor gevormd.

Deze C_4 -alcoholen kunnen in een aansluitend proces worden gebruikt om door additiereacties koolwaterstoffen te produceren met 12 en 16 koolstofatomen in de moleculen. Deze koolwaterstoffen kunnen worden toegevoegd aan kerosine. Dit proces is in het blokschema in figuur 19.34 weergegeven. Met C_4 tot en met C_{16} is het aantal koolstofatomen in de koolwaterstoffen aangegeven.

In reactor 1 (R1) worden de C_4 -alcoholen onvolledig omgezet tot de C_4 -alkenen methylpropeen, but-1-een en but-2-een. Hierbij ontstaat ook water.

- a Geef de reactievergelijking voor de omzetting van 2-methylpropaan-1-ol tot methylpropeen. Gebruik structuurformules voor de koolstofverbindingen. (2p)

Het mengsel afkomstig uit R1 wordt in scheidingsruimte 1 (S1) afgekoeld. Hierdoor worden de C_4 -alkenen afgescheiden van het water en van de C_4 -alcoholen die niet hebben gereageerd.

- b Leg uit binnen welk temperatuurgebied deze scheiding kan plaatsvinden ($p = p_0$). Gebruik Binas tabel 42B. Het kookpunt van methylpropeen is 267 K. (2p)

In R2 vinden additiereacties tussen de C_4 -alkenen plaats, waarbij alkenen met 8, 12 of 16 C-atomen worden gevormd. In S2 wordt het verkregen mengsel van alkenen in twee fracties gescheiden. De fractie met de C_4 - en de C_8 -alkenen wordt teruggevoerd naar R2. De fractie met de C_{12} - en de C_{16} -alkenen wordt doorgevoerd naar R3.

De scheiding in S2 kan eenvoudig plaatsvinden omdat bij de gebruikte omstandigheden in de scheidingsruimte steeds één fractie in de vloeibare fase is en de andere fractie in de gasfase.

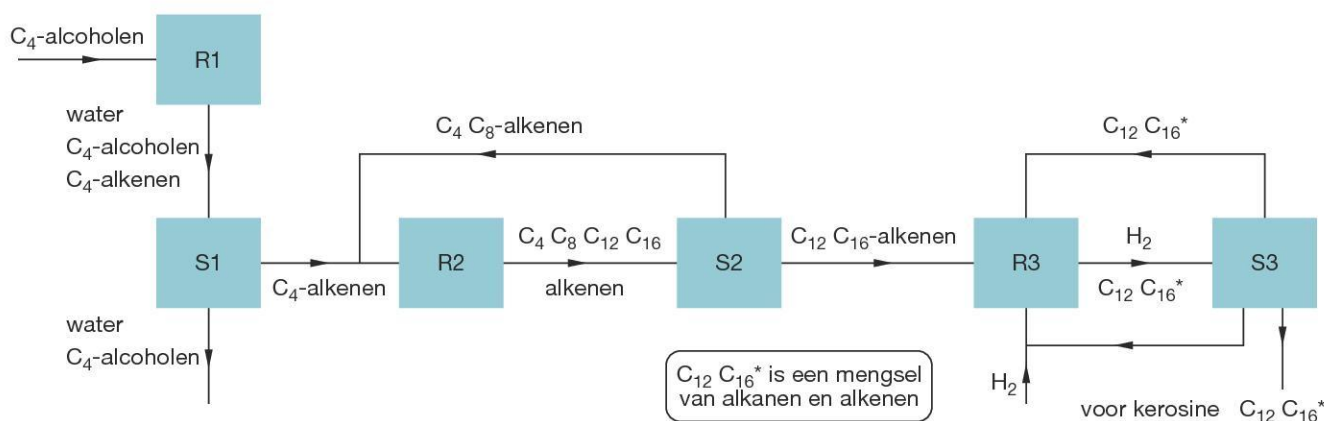
- c Leg uit welke fractie in S2 vloeibaar is en welke fractie gasvormig is. (2p)

In R3 vindt een evenwichtsreactie plaats, waarbij de gevormde alkenen (onvolledig) reageren met een overmaat waterstof tot alkanen. In S3 wordt de overmaat waterstof gescheiden van de rest van het mengsel en teruggevoerd naar R3.

Een deel van het mengsel afkomstig uit R3 wordt opgeslagen als een product dat kan worden gebruikt als toevoeging aan kerosine. Het overgebleven deel wordt weer naar R3 teruggevoerd. Deze recirculatie zorgt voor een hoger rendement in R3.

- d Geef aan waarom door de recirculatie het rendement in R3 hoger wordt. (1p)

Naar: CE vwo 2018-II



19.34

Je kunt nu

- een blokschema invullen, aanvullen en interpreteren;
- uitleggen hoe een evenwicht kan worden verschoven.

Afsluiting

Oefenopgave voor het examen

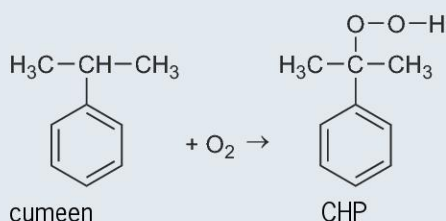
CE vwo 2018 1^e tijdvak

Fenolproductie

Fenol (benzenol) is een belangrijke grondstof voor veel synthetische producten, waaronder geneesmiddelen en kunststoffen. Fenol wordt geproduceerd volgens het zogeheten cumeenproces. Een vereenvoudigd blokschema van dit proces staat in figuur 19.35 op de volgende pagina. Uit het blokschema kan de totaalvergelijking voor de vorming van fenol volgens het cumeenproces worden afgeleid.

- 2p **1** Geef de totaalvergelijking voor de vorming van fenol volgens het cumeenproces. Gebruik structuurformules voor de koolstofverbindingen.

In reactor 1 (R1) reageert propheen volledig met benzeen. Daarbij ontstaat cumeen. In R2 reageert een deel van het gevormde cumeen met zuurstof tot cumeenhydroperoxide (CHP), zoals weergegeven in onderstaande reactievergelijking.



In scheidingsruimte 1 (S1) wordt een groot deel van het overgebleven cumeen afgescheiden. Het mengsel dat overblijft, bevat 82,5 massa-% CHP en 17,5 massa-% cumeen. In R3 wordt CHP grotendeels omgezet tot fenol en propanon. Fenol en propanon ontstaan in de molverhouding 1 : 1. Hierbij wordt zwavelzuur als katalysator gebruikt. Omdat de reactie in R3 zeer exotherm is, is het belangrijk om de temperatuur in deze reactor nauwkeurig te regelen. Als de temperatuur te hoog oploopt, leidt dat namelijk tot veiligheidsrisico's. Tevens ontstaan dan ongewenste nevenproducten.

- 1p **2** Geef een mogelijke verklaring waarom de vorming van nevenproducten in R3 alleen optreedt bij een hoge temperatuur.

Reactor 3 is een buisreactor. Door het grote oppervlak van de buis kan R3 goed worden gekoeld. Voordat het mengsel afkomstig uit S1 in R3 wordt gepompt, wordt nog extra propanon toegevoegd.

- 2p **3** Geef twee redenen waarom het toevoegen van propanon aan de instroom in R3 bijdraagt aan een veilig proces in R3.

Aan de instroom in R3 wordt extra propanon toegevoegd, zodat in de uitstroom van R3 de molverhouding fenol : propanon gelijk is aan 1,00 : 1,50. De molaire massa van propanon is 58,1 g mol⁻¹ en die van CHP is 152 g mol⁻¹.

- 3p **4** Bereken hoeveel ton propanon er aan 1,0 ton van de instroom in R3 moet worden toegevoegd om de juiste molverhouding fenol : propanon in de uitstroom van R3 te handhaven. Een ton is 10³ kg.
Neem hier aan dat CHP volledig wordt omgezet tot fenol en propanon.

Het CHP-gehalte in de uitstroom van R3 wordt voortdurend gecontroleerd. Een gehalte hoger dan 2 massa-% leidt namelijk tot explosiegevaar in de scheidingsruimten die erna komen. Deze controle gebeurt door een klein gedeelte van de uitstroom van R3 naar een microreactor te leiden. In de microreactor reageert het aanwezige CHP volgens dezelfde reactie als in R3, waardoor de temperatuur van de vloeistofstroom stijgt. Uit de temperatuurstijging van de vloeistofstroom kan het gehalte CHP in de uitstroom van R3 worden berekend. Op een gegeven moment wordt een temperatuurstijging van 7,3 °C gemeten. De soortelijke warmte van een stof kan worden gedefinieerd als het aantal joule dat nodig is om 1 g stof 1 K in temperatuur te laten stijgen.

- 3p **5** Ga door berekening na of er in dit geval sprake is van explosiegevaar.
De reactiewarmte van de reactie is $-252 \text{ kJ per mol CHP}$.
De soortelijke warmte van de vloeistof is $2,4 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

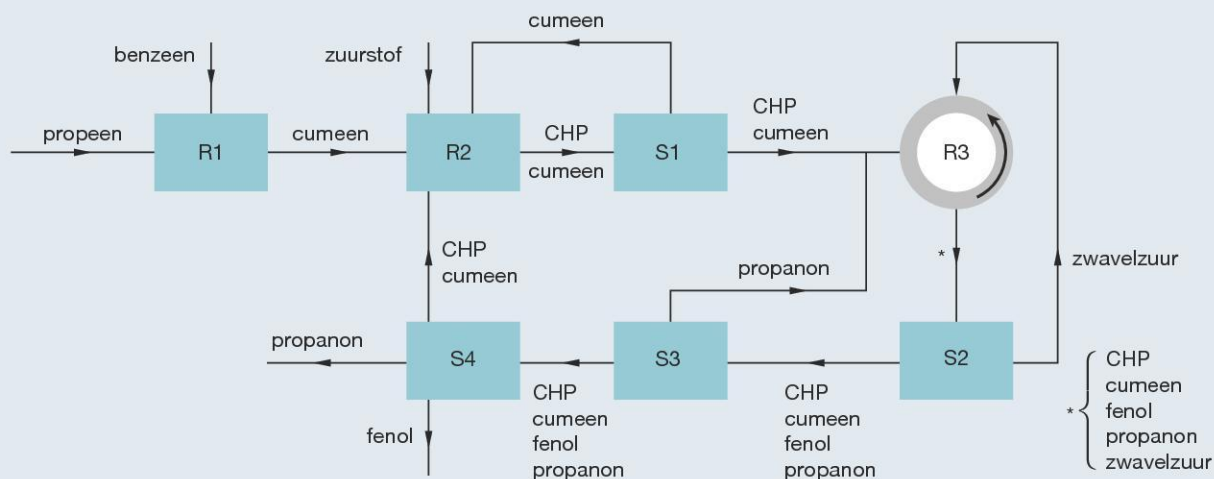
In scheidingsruimten S2, S3 en S4 wordt het mengsel afkomstig uit R3 gescheiden door destillatie. De kookpunten ($p = p_0$) van de stoffen bedragen: propanon (56 °C); cumeen (152 °C); CHP (153 °C); fenol (182 °C); zwavelzuur (330 °C).

- 2p **6** Leg mede met behulp van het blokschema uit tussen welke grenzen de temperatuur in S2 moet liggen.

Op de wereldmarkt stijgt de vraag naar fenol sneller dan de vraag naar propanon. Om te voorkomen dat propanon afval wordt, heeft het Japanse bedrijf Mitsui een methode ontwikkeld om de ontstane propanon om te zetten tot propeen.

In een extra reactor (R4) verloopt de additie van waterstof aan de C=O-groep van het propanon. In een volgende reactor (R5) ontstaan door een eliminatiereactie water en propaan uit de in R4 gevormde stof. Na een scheidingsstap (S5) wordt het gevormde propaan weer gebruikt in het cumeen-proces.

- 4p **7** Vul het blokschema hieronder aan met de methode die Mitsui heeft ontwikkeld. Geef ontbrekende blokken en pijlen weer en vermeld stofnamen bij de pijlen. Neem aan dat er hierbij geen andere stoffen nodig zijn, dat er geen nevenproducten ontstaan en dat de reacties aflopend zijn.

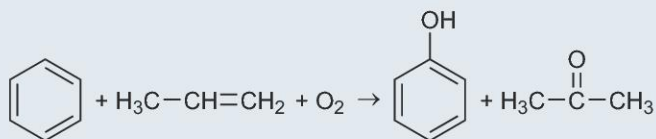


19.35

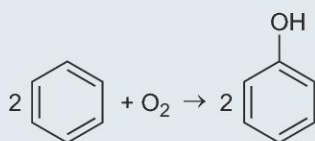
Uitwerking van de oefenopgave

Naast het nummer van de opgave staat hoeveel punten je kunt halen. Elke vraag is uitgewerkt in stappen. Elke stap, aangegeven met een bolletje, levert 1 punt op. Voor fouten trek je punten af volgens de regels van paragraaf 19.1.

2p **1**



- voor de pijl alleen de structuurformules van benzeen en propen en de formule van zuurstof
 - na de pijl alleen de structuurformules van fenol en propanon en de atoombalans juist
- Voor het volgende antwoord krijg je 1 punt.



- Staat in een overigens goed antwoord H_2SO_4 voor en na de pijl, dan krijg je 1 punt.
- Als je gebruik hebt gemaakt van juiste schematische structuurformules, O_2 is weergegeven met een structuurformule of H_2SO_4 boven de pijl is genoteerd, kost dat geen punten.

1p **2**

Een juiste reden geeft 1 punt. Voorbeelden van een juiste verklaring zijn:

- De reacties die leiden tot nevenproducten kunnen een hoge activeringsenergie hebben.
- De nevenproducten kunnen in een evenwicht worden gevormd dat bij lage temperatuur aan de exotherme kant ligt / dat bij hoge temperatuur naar de endotherme kant verschuift.
- De reacties die leiden tot nevenproducten zijn misschien wel endotherm.
- Bij hoge temperatuur kunnen de reactieproducten ontleden / met elkaar reageren.
- Bij hoge temperatuur verlopen reacties sneller, die anders te langzaam zijn om een product van enig belang te kunnen produceren.

2p **3**

Elke juiste reden geeft 1 punt. Voorbeelden van juiste redenen zijn (twee van de volgende):

- Het toegevoegde propanon zorgt voor koeling (of neemt warmte op).
 - Door het toevoegen van propanon wordt het reactiemengsel verdund (waardoor het mengsel minder opwarmt).
 - Door het toevoegen van propanon daalt de reactiesnelheid (waardoor per tijdseenheid minder warmte ontstaat).
 - De reactie in R3 zou een evenwicht kunnen zijn. Door propanon toe te voegen verschuift het evenwicht naar links. Dit is de endotherme reactie, waardoor warmte wordt opgenomen.
- Je mag ook zeggen: 'Door het toevoegen van propanon wordt het massapercentage van het explosiegevaarlijke CHP verlaagd.'

3p **4**

- Bereken het aantal mol CHP per ton mengsel bij de instroom in R3:

$$1,0 \text{ ton} = 1,0 \cdot 10^6 \text{ g}; \text{ hiervan is } 82,5\% \text{ CHP, dus: } \frac{82,5}{100} \times 1,0 \cdot 10^6 \text{ g} = 8,25 \cdot 10^5 \text{ g CHP}$$

$$\text{Dit komt overeen met } \frac{8,25 \cdot 10^5 \text{ g}}{152 \text{ g mol}^{-1}} = 5,43 \cdot 10^3 \text{ mol CHP.}$$

- Per mol CHP moet 0,5 mol propanon worden toegevoegd, omdat per mol fenol in R3 1 mol propanon wordt gevormd.
- Toevoegen: $5,43 \cdot 10^3 \times 0,50 = 2,71 \cdot 10^3$ mol propanon.
Dat is: $2,71 \cdot 10^3 \text{ mol} \times 58,1 \text{ g mol}^{-1} = 1,58 \cdot 10^5 \text{ g} = 0,16 \text{ ton propanon}$.

3p **5**

- De vrijgekomen energie is $1 \text{ g} \times 2,4 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 7,3 \text{ K} = 17,52 \text{ J}$.

- Het aantal mol CHP is dan: $\frac{17,52 \text{ J}}{252 \cdot 10^3 \text{ J mol}^{-1}} = 6,95 \cdot 10^{-5} \text{ mol CHP}$.

- Dit komt overeen met $6,95 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \times 152 \text{ g mol}^{-1} = 1,06 \cdot 10^{-2} \text{ g CHP}$.

Het massapercentage CHP is dan: $\frac{1,06 \cdot 10^{-2} \text{ g}}{1 \text{ g}} \times 100\% = 1,1\%$. Dit is lager dan 2%, dus geen explosiegevaar.

of:

- Het aantal mol CHP dat maximaal aanwezig mag zijn per 100 g reactiemengsel is:

$$\frac{2 \text{ g}}{152 \text{ g mol}^{-1}} = 1,32 \cdot 10^{-2} \text{ mol CHP. (Er mag maximaal 2 massa-% CHP bij R3 uitstromen.)}$$

- De energie die vrijkomt is dan: $1,32 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \times 252 \cdot 10^3 \text{ J mol}^{-1} = 3,32 \cdot 10^3 \text{ J}$

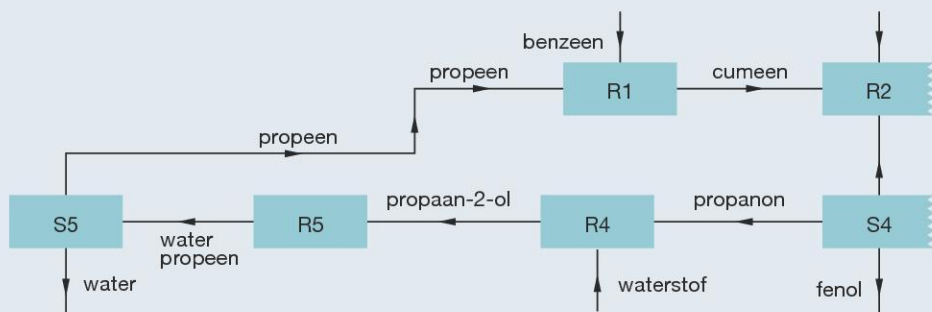
- De maximaal toegestane temperatuurstijging is: $\frac{3,32 \cdot 10^3 \text{ J}}{100 \text{ g} \times 2,4 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}} = 14 \text{ (}^\circ\text{C)}$

Deze temperatuurstijging is hoger dan gemeten, dus er is geen explosiegevaar.

2p **6**

- Uit het blokschema blijkt dat zwavelzuur wordt gescheiden van cumeen, fenol en propanon. De temperatuur moet dus hoger zijn dan $182 \text{ }^\circ\text{C}$, want dat is hoger dan de kookpunten van cumeen, fenol en propanon.
- De temperatuur moet lager zijn dan $330 \text{ }^\circ\text{C}$, het kookpunt van zwavelzuur.

- Als je alleen de juiste waarden geeft, zonder uitleg krijg je 1 punt.
- Een goede redenering met als grenzen $183 \text{ }^\circ\text{C}$ en $329 \text{ }^\circ\text{C}$, mag je goed rekenen.

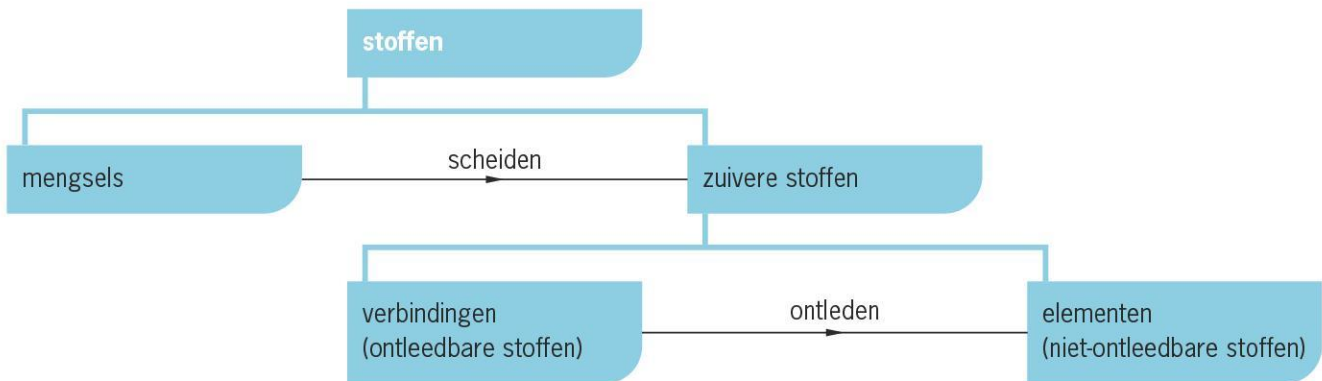
4p **7**

19.36

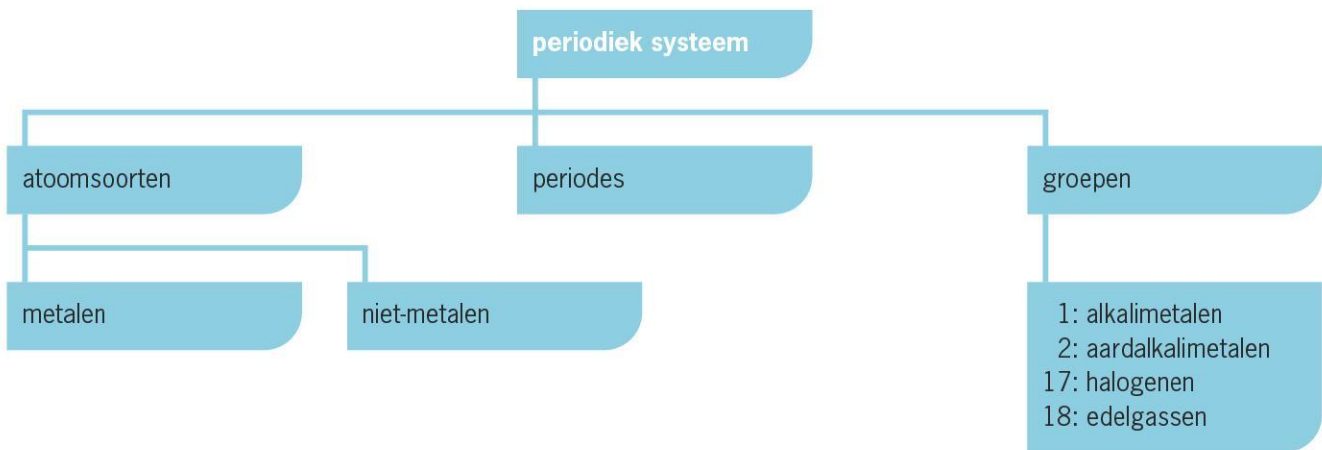
- Het moet blijken dat propaan-2-ol ontstaat bij de additie van waterstof aan propanon.
- Een reactor R4 tekenen, aangesloten op de uitstroom van propanon uit S4 en instroom van waterstof van buiten in R4 en uitstroom van het reactieproduct uit R4 naar R5.
- Een reactor R5 weergegeven met uitstroom van water en propaan naar een scheidingsruimte S5 en uitstroom uit S5 van water naar buiten en een stroom van propaan uit S5 naar R1.
- Je moet laten zien dat je geen propaan van buiten aanvoert en dat geen propaan wordt afgevoerd naar buiten. De recirculatiepijl sluit aan op het begin van de pijl propaan.

Kenniskaarten

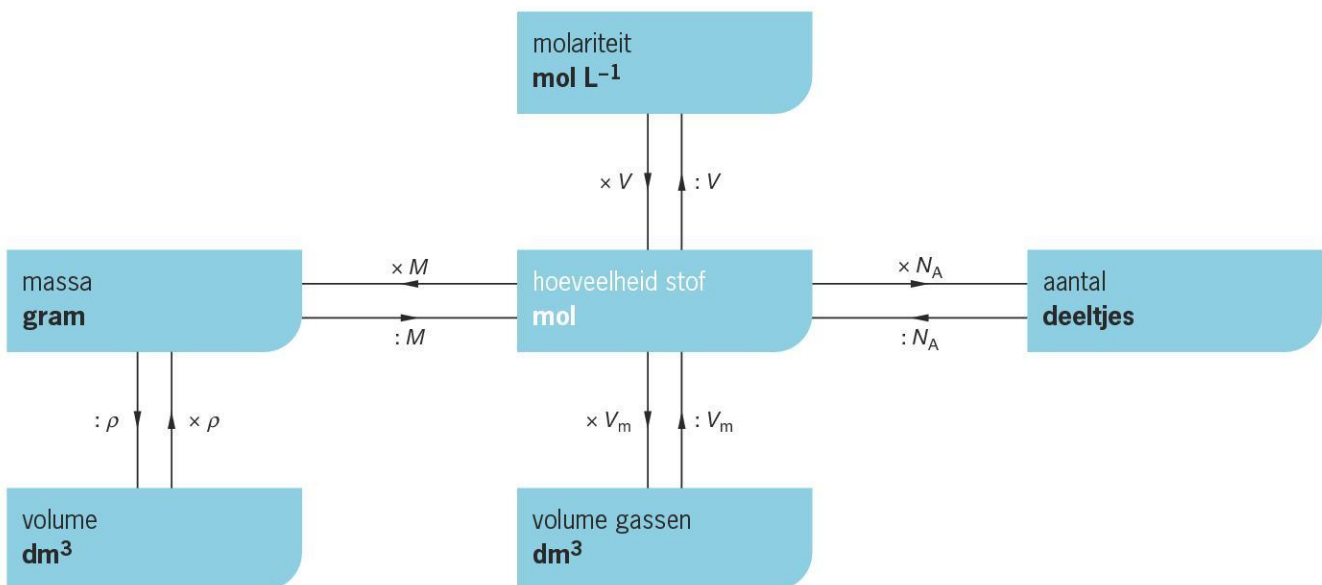
Kenniskaart 1 Stoffen



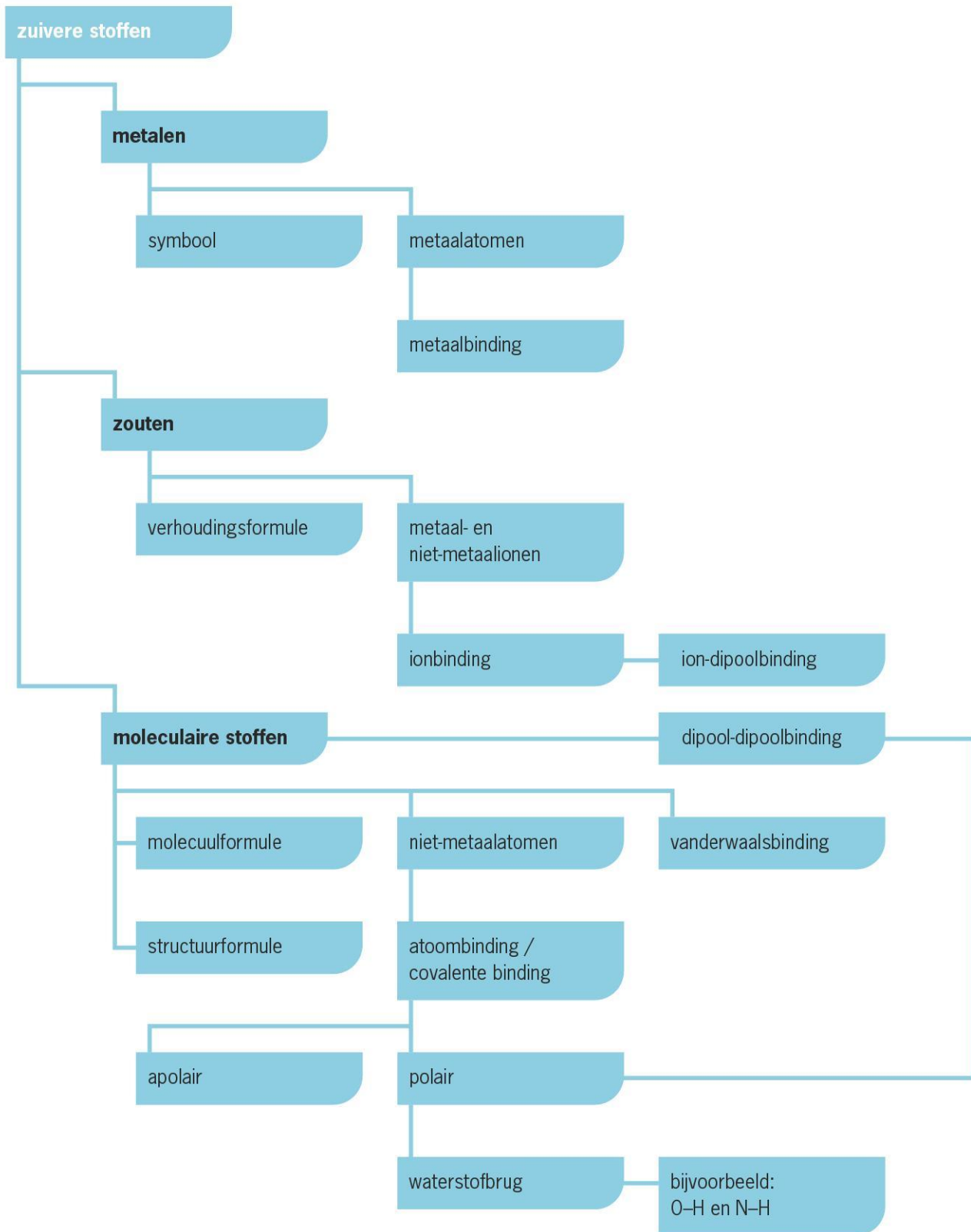
Kenniskaart 2 Periodiek systeem



Kenniskaart 3 Chemisch rekenen



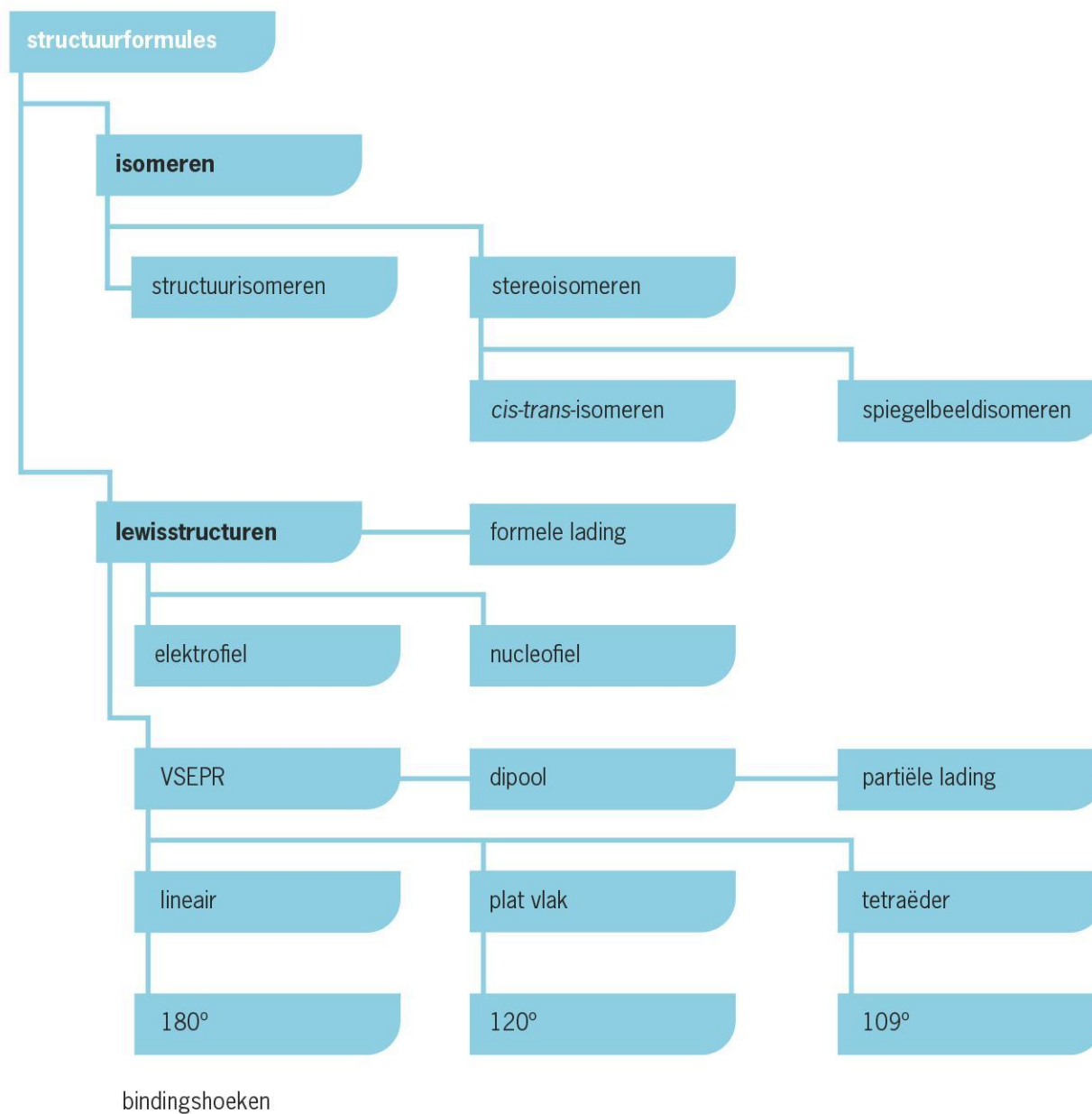
Kenniskaart 4 Zuivere stoffen



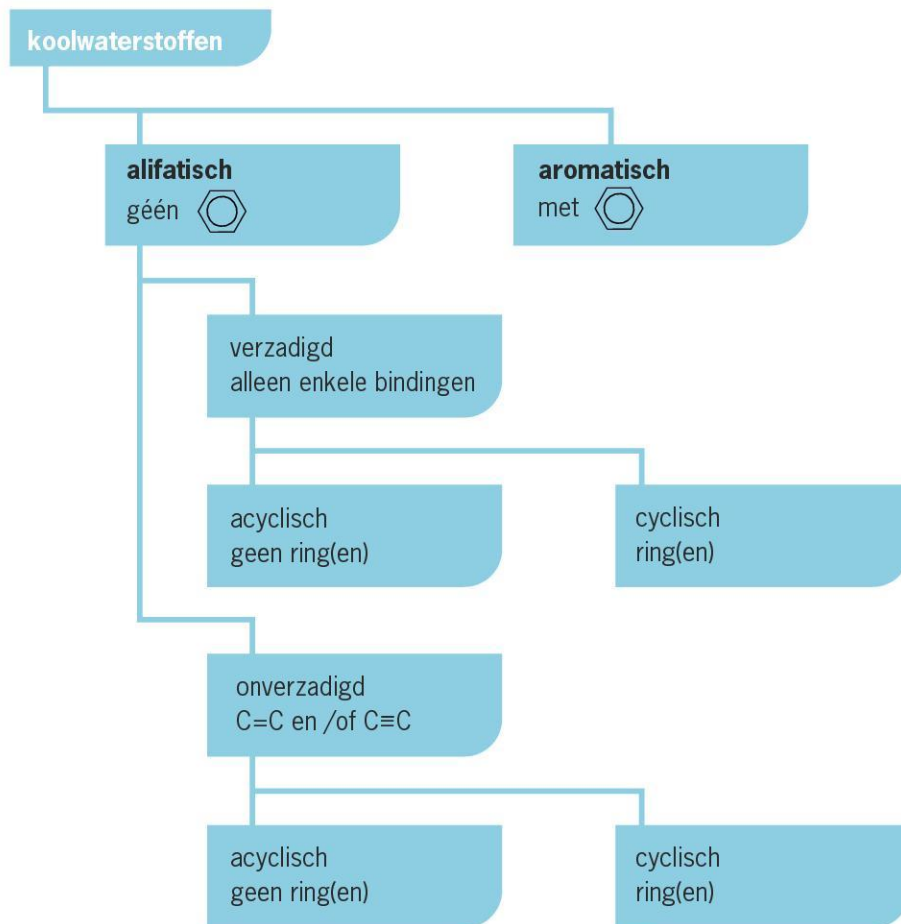
Kenniskaart 5 Atomen



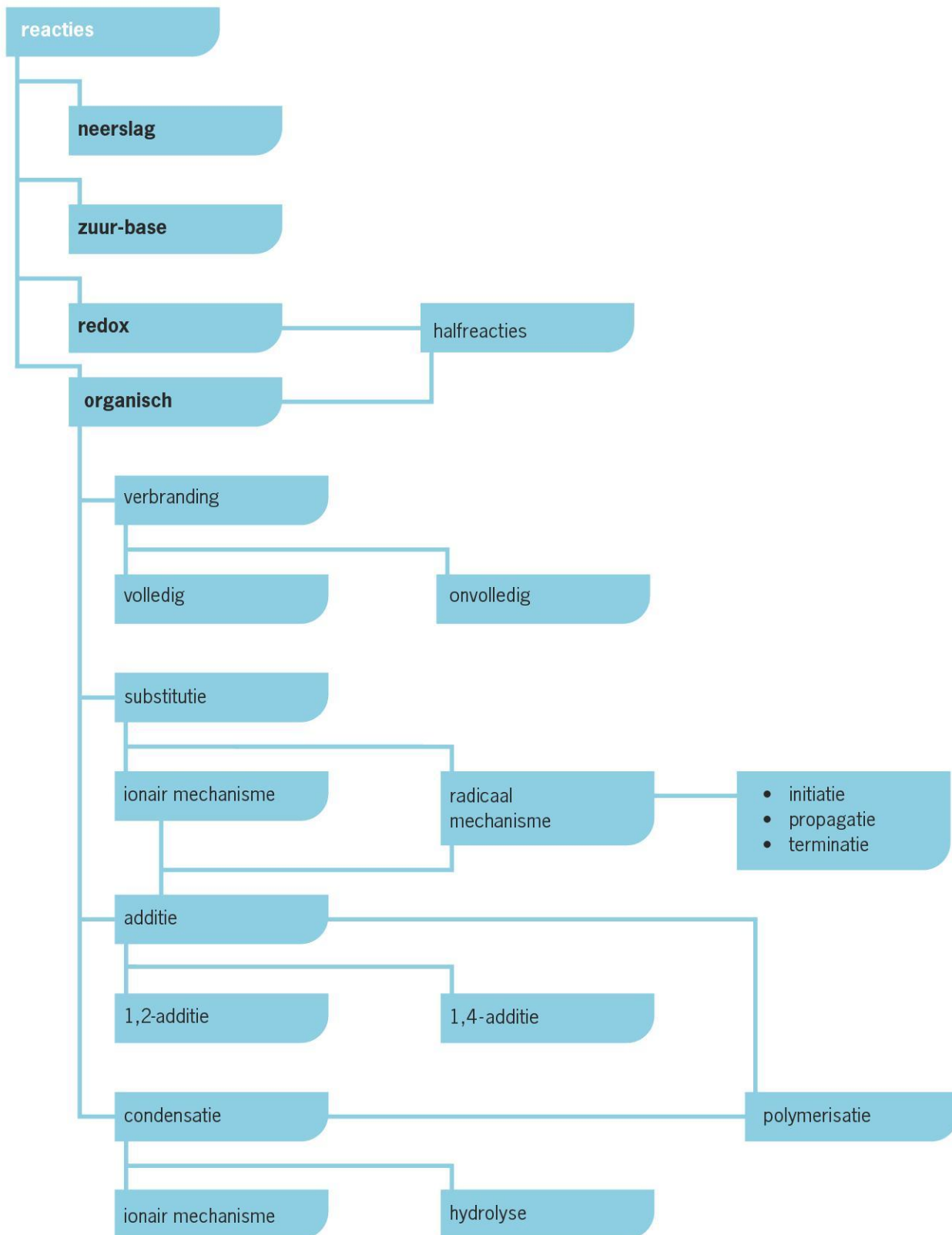
Kenniskaart 6 Structuurformules



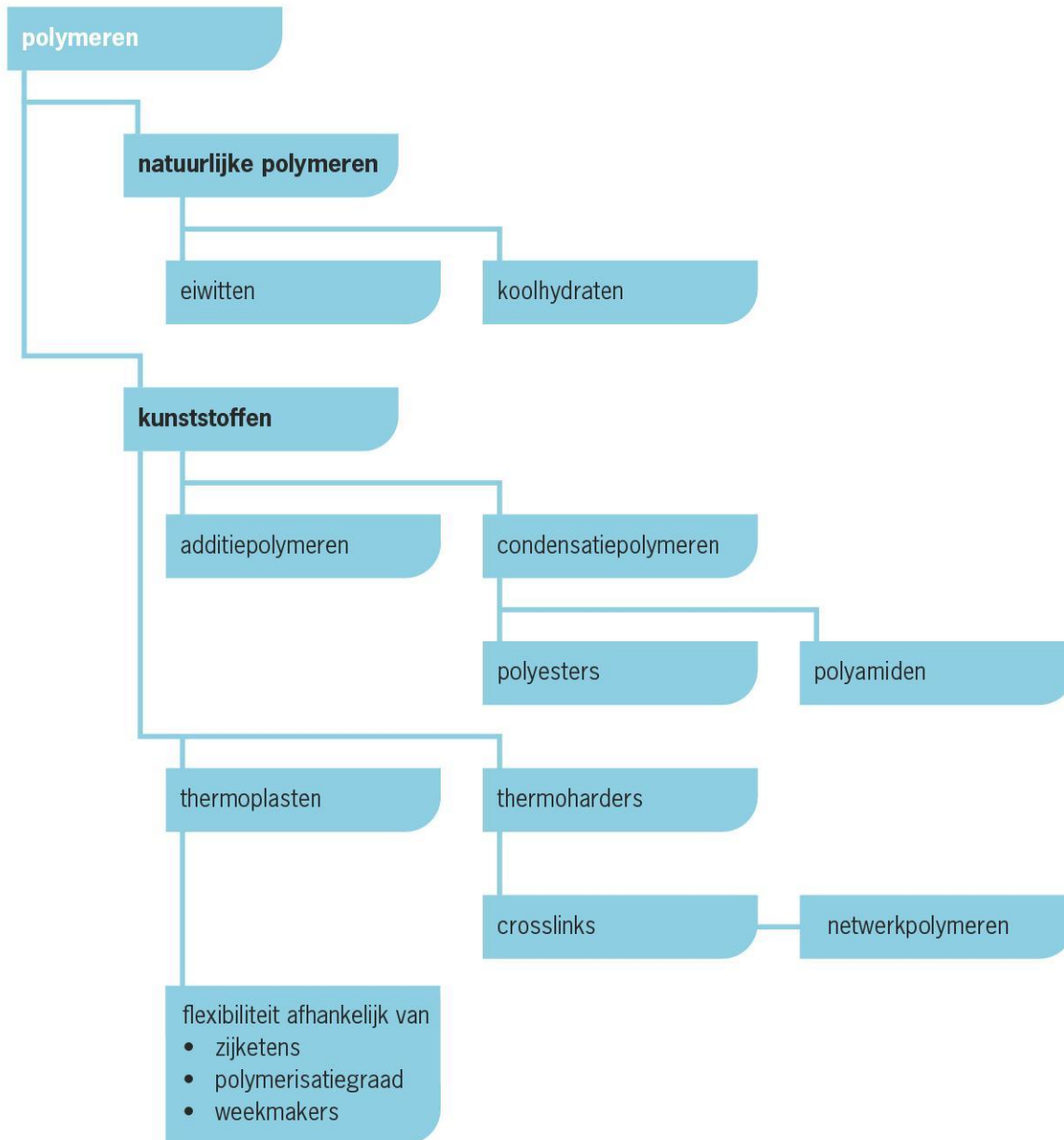
Kenniskaart 7 Indeling koolwaterstoffen



Kenniskaart 8 Reacties

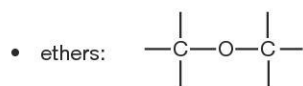


Kenniskaart 9 Polymeren

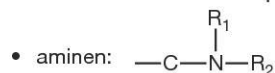
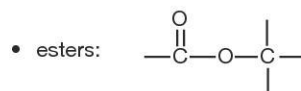
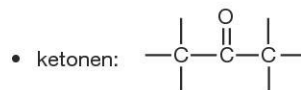


Kenniskaart 10 Karakteristieke groepen

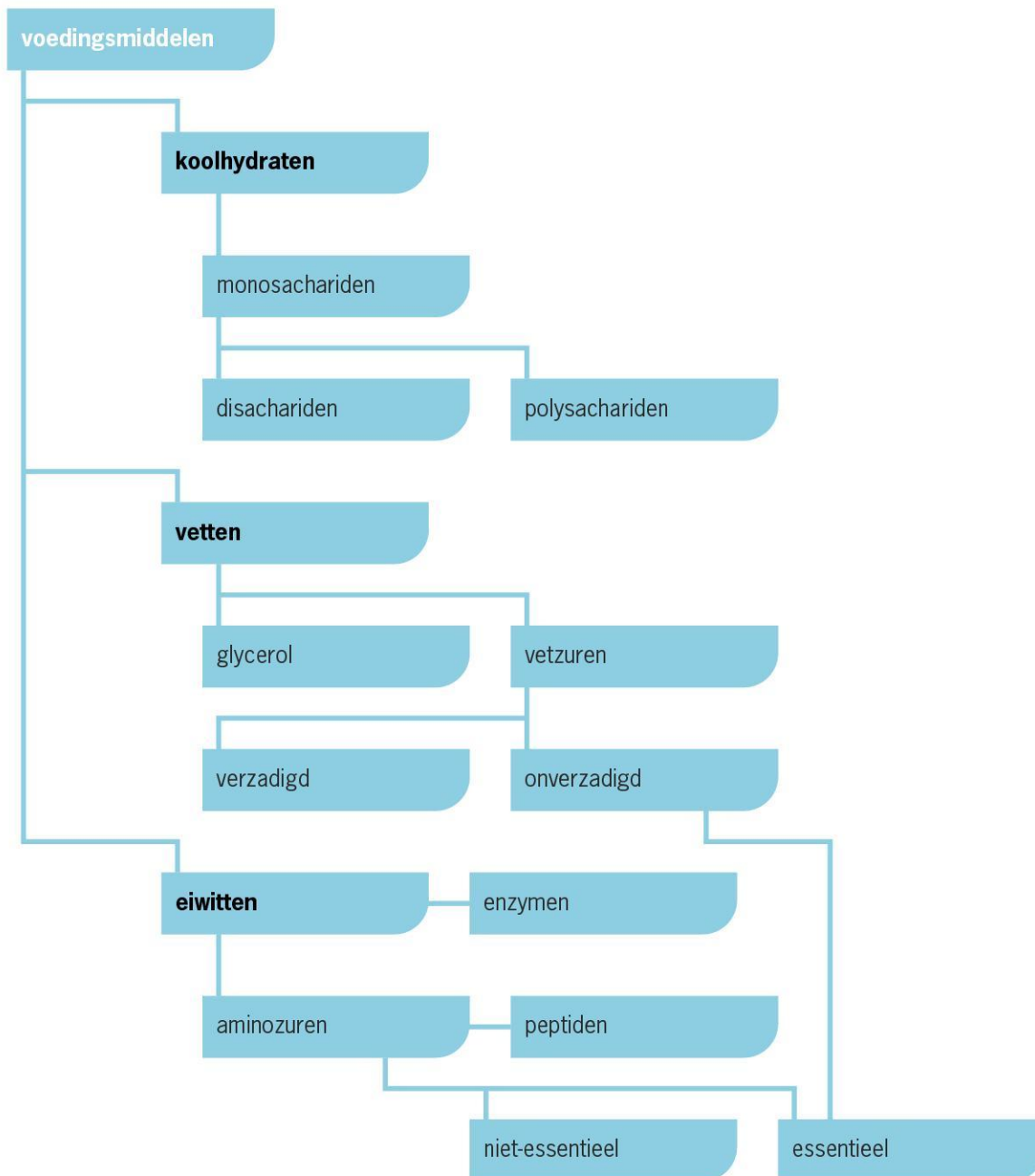
- halogenen: $-\text{F}$, $-\text{Cl}$, $-\text{Br}$ en $-\text{I}$



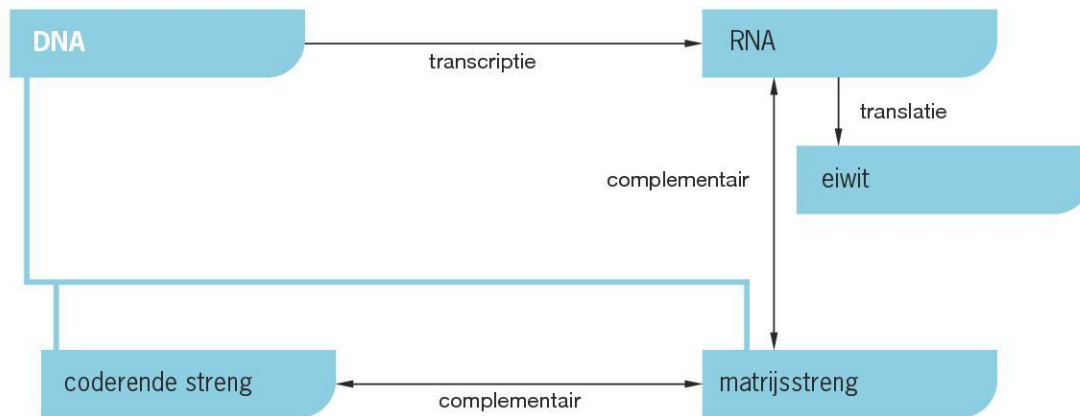
- alcoholen: $-\text{OH}$



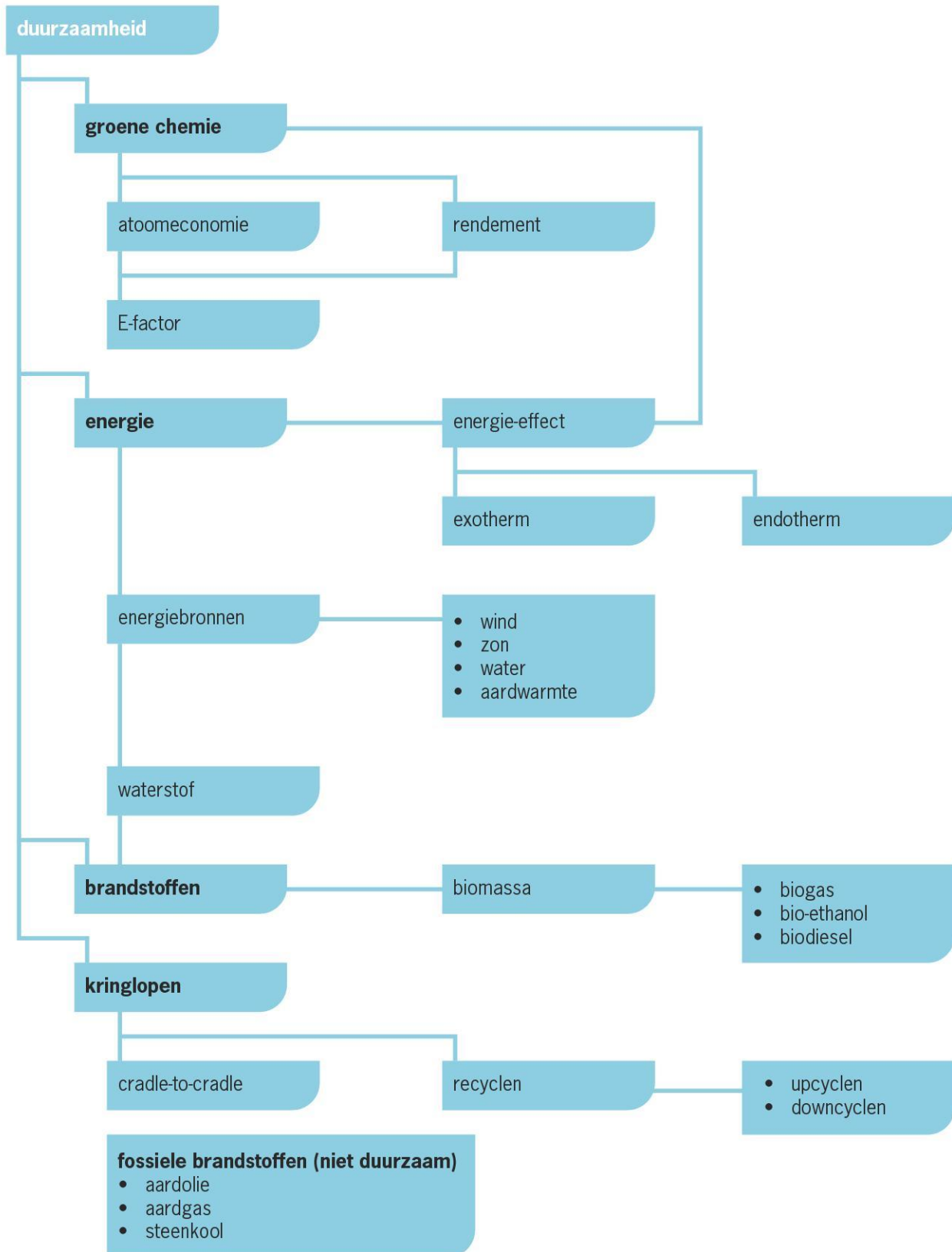
Kenniskaart 11 Voedingsmiddelen



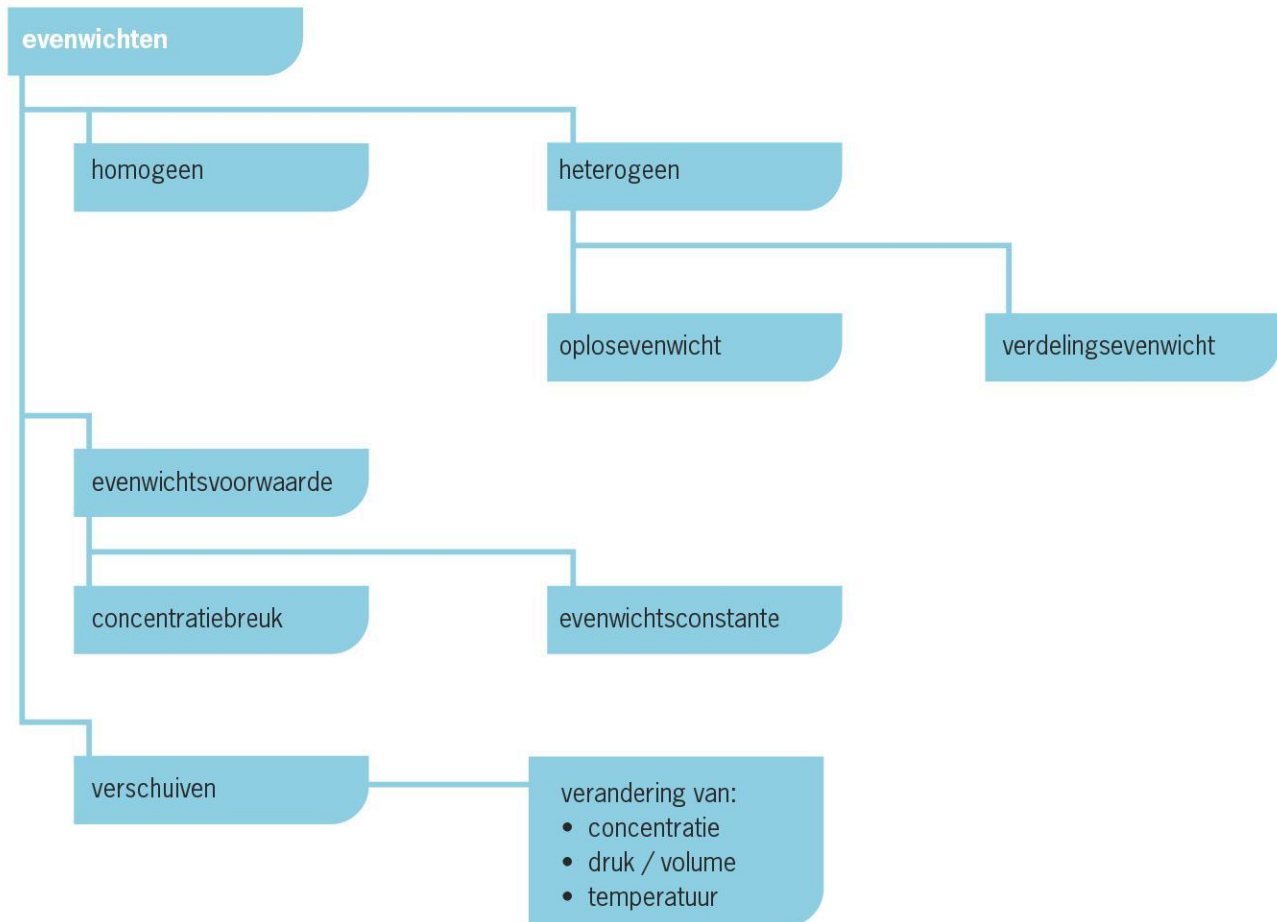
Kenniskaart 12 DNA



Kenniskaart 13 Duurzaamheid



Kenniskaart 14 Evenwichten



Register

Symbolen

α -helix 61
 β -sheet 61

A

actieve centrum 93
 actieve plaats 93
 amfolyt 81
 aminozuren 59
 aminozuurvolgorde 68
 anticodon 68
 atoomeconomie 8
 ATP 99

B

batchproces 29
 biobrandstoffen 131
 biokatalysatoren 59
 blokschema 28
 brandstofcellen 119
 bronspanning 113
 buffer 85
 bulkchemie 27

C

cel 98
 cellen 112
 celmembraan 98
 chromosomen 65
 C/H-verhouding 131
 CO₂-opslag 132
 coderende streng 67
 codon 68
 co-enzym 92
 continuproces 29

D

denatureren 62, 92
 Deoxyribo Nucleic Acid 66
 disaccharide 49
 DNA 65
 dubbele helix van DNA 66
 dubbelionen 82
 duurzaamheid 8
 dynamo 130

E

E-factor 9
 elektrochemische cel 112
 elektrolyse 118
 elektrolyt 113
 energiebalans 15
 energiedichtheid 123
 energiedrager 125
 energie-effect 15
 energietransitie 132
 enzymen 59, 92
 enzym-substraatcomplex 93
 essentiële aminozuren 59
 essentiële vetzuren 55

F

fijnchemie 27
 fosfolipide 99

G

genetische code 68
 grenswaarde 11
 groene chemie 8

H

halfcellen 112
 H-bruggen 61
 hemoglobine 87
 hydrolysereactie 60

I

insteltijd 23

K

katalysator 24
 kolenvergassing 131
 koolhydraat 48
 kwaliteit van energie 124

L

lipiden 54

M

matrijsstreng 67
 membraan 113

milieueffectrapportage 132
 monosachariden 49

N

negatieve elektrode 112
 nucleotide 66
 nucleotideketens 66

O

oliën 54
 onverzadigde vetzuren 55
 opladen 118

P

peptidebinding 60
 peptiden 60
 pH-optimum 94
 pK_z 86
 polysaccharide 50
 positieve elektrode 112
 ppb 11
 ppm 11
 primaire structuur 61

Q

quaternaire structuur 62

R

reactiesnelheid 21
 reactiewarmte 15
 receptoren 99
 recirculeren 28
 recyclen 126
 rendement 9
 RNA (Ribo Nucleic Acid) 67

S

sachariden 48
 secundaire structuur 61
 standaardelektrodepotentiaal 113
 stereospecifiek 93
 substraat 92
 suikers 48
 synthesegas 131

T

temperatuuroptimum 94
tertiaire structuur 61
TGG 11
transcriptie 67
translatie 68
triglyceriden 54

U

ureum 59

V

vervuilingsfactor Q 10
vetten 54
vetzuren 54
vormingswarmte 16

W

warmtekrachtkoppeling 132
wet van behoud van energie 15
wkk 132

Z

zoutbrug 113
zwavelbruggen 62

Verantwoording

Fotoresearch: Fotoredactie, Arnhem

AFP/ANP, Den Haag: p. 6-7, 19, 110-111
 iStock, Dublin: p. 8b, 9o, 11b, 12, 21o, 29b, 39, 41, 42, 43, 46-47, 55o, 59, 60b, 65b, 68b, 72, 73mb, 73mm, 76, 92b, 118, 148b, 150m, 156o, 157, 160, 165
 Wouter Hagens, Dordrecht: p. 8o
 Russian Copper Company, Ekatarinburg: p. 9b
 Evan Amos, New York: p. 10
 Picture-Alliance/Lineair, Arnhem: p. 11m, 29o, 48o, 54, 153
 Ron Giling/Lineair, Arnhem: p. 11o, 56, 80o, 161, 167, 172b, 172o
 Van Nicholas Boreas, Heerenveen: p. 14
 Panda Green Energy, Hongkong: p. 15b
 Shutterstock, New York: p. 15o, 17o, 34b, 48b, 50, 60o, 62r, 68o, 73mo, 78-79, 80b, 83, 85o, 86b, 86o, 87o, 88, 89, 94, 107, 108, 125b, 133, 152o, 159b, 171b, 171o, 173
 Koen Suyk /ANP, Rijswijk: p. 17b
 Kees van de Veen/HH, Den Haag: p. 17m
 Robin Utrecht /HH, Den Haag: p. 18
 Helmut Meyer/Getty Images, Dublin: p. 21b
 SPL/ANP, Rijswijk: p. 22b, 22o, 27o, 51, 65o
 Siebe Swart/HH, Den Haag: p. 27b
 Michiel Wijnbergh/HH, Den Haag: p. 28b
 Alamy/Imageselect, Wassenaar: p. 28o, 49b, 55b, 87b, 98b, 139, 143, 156b, 158
 Bram van Risp, Rotterdam: p. 30
 Emil Langvad/ianberry.art, Londen: p. 33b
 David Rozing/HH, Den Haag: p. 33o
 Covestro, Leverkusen: p. 34o
 Mark Shenley/Lineair: p. 35b
 Mischa Keijser/Getty Images, Dublin: p. 35o
 Look/Getty Images, Dublin: p. 40
 Martin Siepmann/Lineair, Arnhem: p. 49o
 Charles Mazel/Visuals Unlimited/Lineair, Arnhem: p. 69
 David Goodsell/ RCSB PDB, Washington: p. 73b
 Science Source, New York: p. 81b, 81m, 81o, 93b, 93o
 Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore: p. 82
 Yuichiro Miura, Tokyo: p. 85b
 Centre for Molecular and Biomolecular Informatics, Nijmegen: p. 92o
 Depositphotos, New York: p. 98o
 PHd4me/Photobucket: p. 100
 Walter G. Allgöwer/Lineair, Arnhem: p. 105
 Corbis/Getty Images, Dublin: p. 112b
 Tempio Voltiano, Como: p. 112o
 Leçons de Physique/Éditions Vuibert et Nony (1904): p. 114
 Tijmen van Straten/Plant-e, Wageningen: p. 115
 Adam Delaney, Santa Fe: p. 119
 Bloomberg/Getty Images, Dublin: p. 123b
 Jordi Huisman/HH, Den Haag: p. 123o
 Tesla, Palo Alto: p. 124b, 124o
 Llewellyn/Fully Charged Show, Londen: p. 125o
 Belga/HH, Den Haag: p. 126
 BMW, Munchen: p. 127
 Marco van Middelkoop/HH, Den Haag: p. 130b, 130o
 Corné Sparidaens/HH, Den Haag: p. 134
 Myfc, Stockholm: p. 140
 Helen H. Richardson/Denver Post/Getty Images, Dublin: p. 146-147
 Loesje, Arnhem: p. 148o
 RTV-Oost, Hengelo: p. 149
 Jerry Lampen/ANP, Den Haag: p. 150b
 Ed Oudenaarden/ANP, Den Haag: p. 150o
 Shehzad Noorani/Lineair, Arnhem: p. 152b
 Peter Hilz/HH, Den Haag: p. 154b
 Robin Utrecht/ANP, Den Haag: p. 154o
 Alfalab Chemika, Jakarta: p. 159o
 Peter Vršanský/Geological Institute, Bratislava: p. 164
 Avantium, Geleen: p. 166
 Color Touch, San Sperate: p. 174



Bij dit boek hoort een digitale leeromgeving.
Als je de opdrachten online maakt, zie je direct wat er al goed gaat. Je krijgt daarbij handige tips, zodat je het de volgende keer beter doet.

Op basis van je resultaten krijg je bovendien opdrachten op jouw niveau. Dus wat moeilijker als het goed gaat of met meer hulp als je dat nodig hebt.

Met de oefentoetsen kun je je voorbereiden op het proefwerk.
Als je meer uitleg nodig hebt, zijn er ook nog handige uitlegvideo's.

