

# examentraining scheikunde

**VWO**



Examen VWO  
**2019**

tijdvak 1  
donderdag 9 mei  
13.30 - 16.30 uur



**scheikunde**

[www.scheikundehavovwo.nl](http://www.scheikundehavovwo.nl)

## Inhoud

|   |     |
|---|-----|
| Samenvatting examenstof scheikunde vwo.....             | 3   |
| Stoffen, moleculen, atomen, ionen en bindingen .....    | 3   |
| Moleculaire stoffen .....                               | 5   |
| Zouten.....   | 7   |
| Evenwichten .....                                       | 9   |
| Lewisstructuur .....                                    | 12  |
| Koolstofchemie .....                                    | 13  |
| Reactiemechanisme .....                                 | 17  |
| Chemisch rekenen .....                                  | 26  |
| Redox .....   | 31  |
| Zuren en basen .....                                    | 35  |
| Groene chemie.....                                      | 40  |
| Oefenopgaven stoffen en materialen.....                 | 42  |
| Oefenopgaven vwo koolstofchemie .....                   | 53  |
| Examenopgaven rekenen vwo scheikunde.....               | 69  |
| Examenopgaven vwo scheikunde redox .....                | 85  |
| Oefenopgaven zuren en basen.....                        | 94  |
| Oefenopgaven Lewisstructuren en reactiemechanisme ..... | 99  |
| Oefenopgaven analysetechnieken en reactiesnelheid.....  | 104 |
| Oefenopgaven vwo industrie.....                         | 115 |
| Begrippenlijst .....                                    | 132 |
| Binastabellen .....                                     | 144 |

## Samenvatting examenstof scheikunde vwo

In deze samenvatting staat alles heel kort omschreven. Als je de QR codes scant, of



op de linkjes klikt, kom je bij een uitlegfilmpje van het betreffende onderwerp. Met alleen lezen en filmpjes kijken kom je er niet. Oefen alles goed en kijk je antwoorden steeds kritisch na. Zie [scheikundehavovwo.nl](http://scheikundehavovwo.nl) voor oefenopgaven, antwoorden en meer uitleg. [Klik hier voor een videosamenvatting.](#)



Veel oefenen loont altijd bij scheikunde, al moet je soms even geduld hebben voor je resultaat ziet.

Nu even flink doorzetten en dan ga je straks vrolijk een hele lange zomervakantie in!

[Hier](#) staan 10 tips voor een goede voorbereiding op je (school)examen.

### Atomen

We beginnen met atomen. Op het periodiek systeem staan zo'n 118 atoomsoorten. Atomen zijn opgebouwd uit drie soorten deeltjes: [protonen, neutronen en elektronen](#).

| deeltje  | plaats in atoom | lading | massa           |
|----------|-----------------|--------|-----------------|
| Proton   | kern            | 1 +    | 1 u             |
| Neutron  | kern            | 0      | 1 u             |
| Elektron | elektronenwolk  | 1 -    | verwaarloosbaar |

Elk atoomsoort heeft zijn eigen aantal protonen, dit aantal protonen noem je het atoomnummer. Het atoomnummer kun je vinden in tabel 40A en 99. In het periodiek zijn de elementen oplopend op atoomnummer gesorteerd. Elementen met vergelijkbare eigenschappen staan in het periodiek systeem onder elkaar. Drie groepen uit het periodiek systeem moet je kennen, groep 1 (behalve waterstof) zijn de alkalimetalen, groep 17 de halogenen en groep 18 de edelgassen.

In een atoom is het aantal elektronen gelijk aan het aantal protonen.

De massa van een atoom wordt bepaald door het aantal protonen en het aantal neutronen, de som hiervan noem je het massagetal van een atoom. De gemiddelde atoommassa van alle atomen vind je in tabel 99. Dit zijn vaak geen ronde getallen omdat er van de meeste atomen varianten met een verschillend aantal neutronen voorkomen. Zulke varianten noem je **isotopen**. Van chloor komen (zie tabel 25) in de natuur twee isotopen voor: Cl-35 (17 protonen en 18 neutronen) en Cl-37 (17 protonen en 20 neutronen). Het verschil zit dus in het aantal neutronen. Isotopen hebben (behalve de atoommassa) precies dezelfde eigenschappen. De gemiddelde atoommassa van chloor vind je in tabel 99, dit kun je narekenen m.b.v. tabel 25:  $0,755 \times 34,96885 + 0,245 \times 36,96590 = 35,45$ .

Elektronen zijn verdeeld over schillen, de eerste schil is de K-schil, daarin zitten maximaal 2 elektronen. De tweede schil is de L-schil, daarin zitten maximaal 8 elektronen. De derde schil is de M-schil, daarin zitten maximaal 18 elektronen. Het aantal elektronen in de buitenste schil is het aantal valentie-elektronen. Linksonder een element in tabel 99 vind je het aantal valantie-elektronen. Bij zuurstof staat daar 2,6; O heeft 6 valentie-elektronen.



### [Stoffen, moleculen, atomen, ionen en bindingen](#)

In derde klas leerde je dat een zuivere stof bestaat uit één stof en één soort moleculen. Mengsels bestaan uit meer dan één stof en dus meerdere soorten moleculen. In de vierde klas bleek dat zouten niet uit moleculen bestaan maar uit ionen. Metalen bestaan uit metaalatomen. Zuivere stoffen hebben een smeltpunt en kookpunt, dit betekent dat de temperatuur niet verandert tijdens het koken of smelten. Mengsels hebben een kooktraject en smelttraject, dit betekent dat de temperatuur wel verandert tijdens het koken en smelten.




Er zijn dus drie groepen stoffen:

1. moleculaire stoffen: bestaan uit niet-metaalatomen en zijn opgebouwd uit moleculen. Moleculen bestaan uit atomen.
2. metalen: bestaan uit metaalatomen
3. zouten: bestaan aan metaalatomen en niet-metaalatomen en zijn opgebouwd uit ionen.

Metalen en zouten bestaan dus niet uit moleculen.

In de volgende tabel staan de belangrijkste verschillen tussen de drie groepen:

|   | <b>Moleculaire stoffen</b>   | <b>Metalen</b>  | <b>Zouten</b>                                     |
|---|--|---|---|
| <b>bestaan uit:</b>   | alleen niet-metaalatomen   | alleen metaalatomen   | metaalatomen en niet-metaalatomen                 |
| <b>opgebouwd uit:</b>   | moleculen of losse atomen  | positieve metaalionen bij elkaar gehouden door vrije elektronen | ionen   |
| <b>bindingen</b><br> | -atoombinding, tussen atomen binnen een molecuul (sterk)<br>vanderwaalsbinding, tussen moleculen, vrij zwak, sterker bij grotere moleculen<br><br>waterstofbruggen, tussen moleculen met –OH of –NH groep (vrij sterk) | metaalbinding (sterk)   | ionbinding (sterk)                                |
| <b>stroomgeleiding</b>  | niet   | in vaste of vloeibare fase                                      | in vloeibare fase of opgelost in water            |
| <b>stroomgeleiding door:</b>  | niet van toepassing  | vrije elektronen  | vrije ionen                                       |
| <b>soort formule</b>  | molecuulformule en structuurformule  | symbool van het metaal  | verhoudingsformule bv $K_2S$ .                    |
| <b>smeltpunt/kookpunt</b>   | relatief laag  | hoog  | hoog  |
| <b>oplosbaarheid</b>  | wisselend (zie bij waterstofbruggen)   | onoplosbaar   | sommige zouten zijn oplosbaar in water, tabel 45A |
| <b>rooster (vaste stof)</b>   | molecuulrooster of atoomrooster  | metaalrooster   | ionrooster  |

Bij welke groep een stof hoort kun je dus experimenteel bepalen door te kijken in welke fase een stof stroom geleidt.

[Hier kun je een bindingenquiz doen.](#)



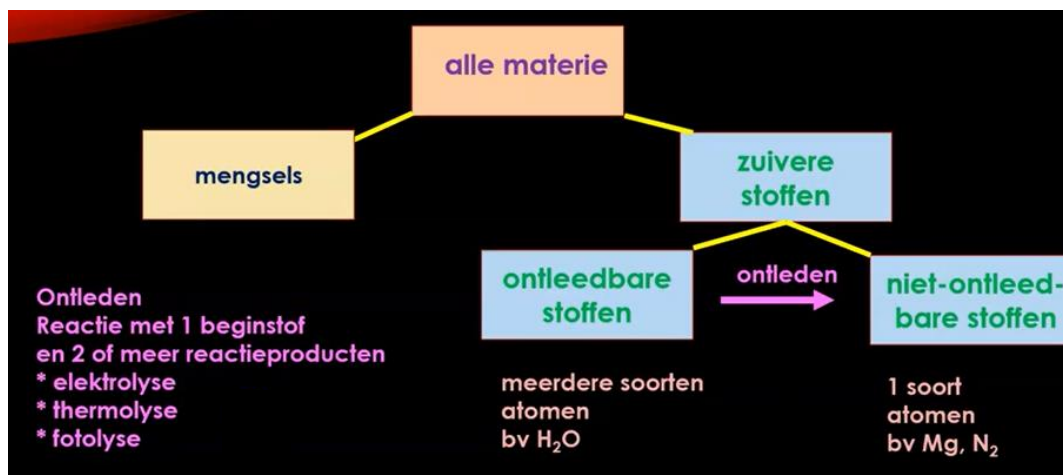


## Moleculaire stoffen

Moleculaire stoffen bestaan uit alleen niet-metaal atomen en zijn opgebouwd uit moleculen.

Er zijn twee soorten moleculaire stoffen: ontleedbare stoffen en niet-ontleedbare stoffen.

Ontleedbare stoffen bestaan uit twee of meer atoomsoorten, terwijl niet-ontleedbare stoffen uit slechts één soort atomen bestaan.



### Ontleedbare stoffen

Voor de naamgeving van de ontleedbare stoffen worden Griekse telwoorden gebruikt, zie binas 66C.

Als het tweede element O is eindigt de naam op oxide, SO<sub>2</sub> is bijvoorbeeld zwaveldioxide.

Als het tweede element S is eindigt de naam op sulfide, H<sub>2</sub>S is bijvoorbeeld diwaterstofsulfide.

### Niet-ontleedbare stoffen

De meeste niet-ontleedbare stoffen hebben als formule de afkorting van het element, bijvoorbeeld He (g), Al (s) en K (s). Er zijn 7 uitzonderingen, dit zijn elementen die **als niet-ontleedbare stof** met z'n tweetjes zijn: Br<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, F<sub>2</sub>, I<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, een ezelsbruggetje hiervoor is **Britt Organiseert Feest In Het Nieuwe Clubhuis**. Kijk bij twijfel in binas 40A.

Als je een stof wilt ontleden is daarvoor energie nodig, ontledingsreacties zijn endotherme reacties.

Er zijn drie soorten ontledingsreacties, genoemd naar de vorm van energie die ervoor nodig is:

- elektrolyse (elektrische energie is nodig) bijvoorbeeld de elektrolyse van water:  
 $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$
- thermolyse (energie in de vorm van warmte is nodig).
- fotolyse (energie in de vorm van licht is nodig), bijvoorbeeld de ontleding van zilverchloride op fotopapier:  $2 \text{AgCl} \rightarrow 2 \text{Ag} + \text{Cl}_2$

Van moleculaire stoffen kun je een structuurformule tekenen. Hierbij is het belangrijk dat elk atoomsoort altijd een vast aantal bindingen aangaat, dit is de covalentie van dat atoomsoort.

Covalentie 1 : H, F, Cl, Br, I

Covalentie 2: O, S, Se

Covalentie 3: N, P

Covalentie 4: C, Si

De streepjes in de structuurformules stellen atoombindingen voor, dit is een gemeenschappelijk elektronenpaar wat de kernen aan elkaar bindt. De atoombinding is sterk, het verbreken van atoombindingen kost (veel) energie. Hieruit volgt dat ontledingsreacties endotherme reacties zijn. Atoombindingen worden alleen verbroken bij chemische reacties, niet bij een fase-overgang of het oplossen van een stof.

Tussen moleculen zijn er molecuulbindingen die meestal vanderwaalsbindingen worden genoemd. Hiermee kun je bijvoorbeeld op [microniveau](#) het kookpunt van een stof voorspellen. Hoe groter de moleculen, hoe sterker de vanderwaalsbindingen zijn. Het verbreken van bindingen tussen de moleculen gebeurt als je van de vloeibare fase naar de gasfase gaat. Stoffen met grotere moleculen hebben een hoger kookpunt omdat het veel energie kost om de vanderwaalsbindingen tussen de moleculen te verbreken. Bij het verdampen van een moleculaire stof worden dus vanderwaalsbindingen verbroken. Ook waterstofbruggen hebben invloed op het kookpunt, zie verder op.

### Polaire atoombinding



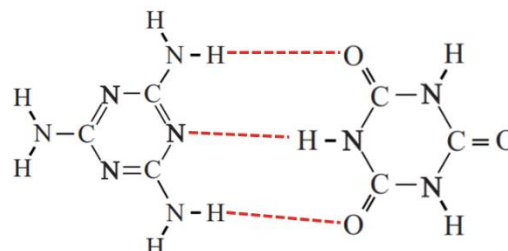
In tabel 40A van binas kun je van elk atoomsoort de **elektronegativiteit** vinden. Hoe groter de elektronegativiteit, hoe sterker een atoomsoort elektronen aantrekt. Als het verschil in elektronegativiteit tussen twee atomen aan beide kanten van een atoombinding groter is dan 0,4, dan is deze atoombinding een polaire atoombinding. Het atoom met de grootste elektronegativiteit krijgt dan een kleine negatieve lading en het andere atoom een kleine positieve lading.

### Waterstofbruggen

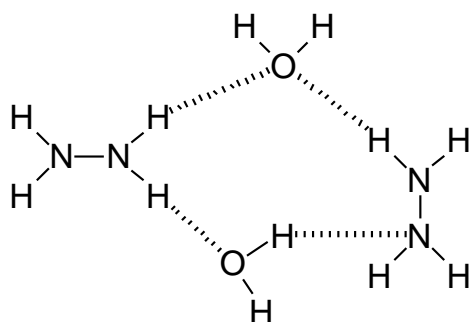
Watermoleculen kunnen onderling waterstofbruggen vormen. De O-H binding is een polaire binding, de O-atomen die een beetje negatief geladen zijn worden aangetrokken door H-atomen van andere moleculen. De H-atomen zijn een beetje positief geladen. Zo'n molecuul waarbij het ene deel een beetje positief geladen is het andere deel een beetje negatief geladen noem je een dipoolmolecuul. In een dipoolmolecuul komen altijd polaire atoombindingen voor. Stoffen die bestaan uit dipoolmoleculen noem je polaire stoffen.



Zo'n waterstofbrug geven we met een gestippelde lijn aan. Moleculen met een -O-H groep en/of een -N-H groep kunnen onderling waterstofbruggen vormen. Stoffen die uit dit soort moleculen bestaan lossen goed in elkaar op. De H is steeds een beetje positief geladen. Let op: H-atomen die aan een C-atoom vast zitten doen nooit mee met waterstofbruggen. Een waterstofbrug is dus altijd tussen een O of N en een H die aan een andere O of N vast zit. Een O of N die aan een C gebonden is, kan ook waterstofbruggen vormen met een H die aan een O of N vast zit.



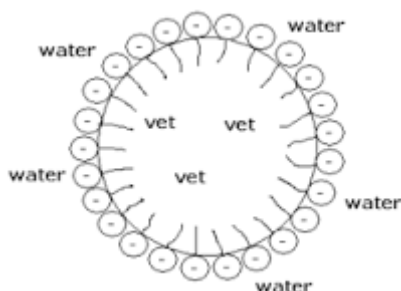
Voorbeeld: de raketbrandstof hydrazine,  $N_2H_4$  is goed oplosbaar in water omdat de moleculen waterstofbruggen met elkaar kunnen vormen.



De waterstofbrug is een vrij sterke binding. Water is een klein molecuul maar heeft toch een vrij hoog kookpunt, dit komt omdat bij het koken van een stof de bindingen tussen de moleculen verbroken moeten worden en het veel energie kost de sterke waterstofbruggen tussen de watermoleculen te verbreken. Moleculaire stoffen waarvan de moleculen geen waterstofbruggen kunnen vormen lossen slecht op in water maar lossen goed op in elkaar (soort zoekt soort).

Hexaan lost dus slecht op in water maar lost wel goed op in pentaan.

Een zeep bestaat uit moleculen met een kop die goed oplost in water (hydrofiel) en een staart die slecht oplost in water (hydrofoob). De staart kan vetdeeltjes binden, hierbij worden micellen gevormd:



Op deze manier kun je met water met zeep vetvlekken verwijderen. Waterstofbruggen zorgen voor oppervlaktespanning, hierdoor kan een punaise bijvoorbeeld op water drijven. Stoffen die de waterstofbruggen aan de oppervlakte verbreken en dus de oppervlaktespanning verlagen noemen we detergentia. Zeep is een detergent.

## Zouten

Zouten zijn opgebouwd uit ionen. Bijna alle zouten bestaan uit metaalatomen en niet-metaalatomen. De ammoniumzouten, bijvoorbeeld ammoniumchloride, zijn een uitzondering hierop. Deze zouten bestaan alleen uit niet-metaalatomen. Net als alle andere zouten zijn ze natuurlijk wel opgebouwd uit ionen.

Ionen zijn geladen atomen of groepjes atomen. Ze hebben een lading omdat het aantal protonen niet gelijk is aan het aantal elektronen. Positieve ionen hebben één of meer elektronen te weinig. Negatieve ionen hebben één of meer elektronen te veel.



Ionen kun je vinden in tabel 40 A en 66B. Hydroxide ( $\text{OH}^-$ ) en sulfide ( $\text{S}^{2-}$ ) kun je niet in binas vinden. Let op: sommige metaalionen kunnen verschillende ladingen hebben, zo heb je  $\text{Fe}^{2+}$  en  $\text{Fe}^{3+}$ . Of het in een zout om  $\text{Fe}^{2+}$  of  $\text{Fe}^{3+}$  gaat kun je in de naam zien aan het Romeinse cijfer II of III. In de naam van een zout komt altijd eerst de naam van het positieve ion, dan eventueel een Romeins cijfer en dan de naam van het negatieve ion. IJzer(III)oxide is dus de naam van  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  is ijzer(II)hydroxide. Chloor is  $\text{Cl}_2$  en geen ion, chloride is  $\text{Cl}^-$  en wel een ion.

In tabel 45A kun je zien of een zout goed oplosbaar is, de g in deze tabel staat voor goed oplosbaar, de m voor matig oplosbaar en de s voor slecht oplosbaar. Als een zout in water oplost, valt het uit elkaar in losse ionen. In de oplossing komen dus vrije ionen voor, een oplossing van een zout kan dus stroom geleiden. Het oplossen van een zout kun je in een vergelijking weergeven:

Het oplossen van ijzer(III)nitraat:  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 (\text{s}) \rightarrow \text{Fe}^{3+} (\text{aq}) + 3 \text{NO}_3^- (\text{aq})$

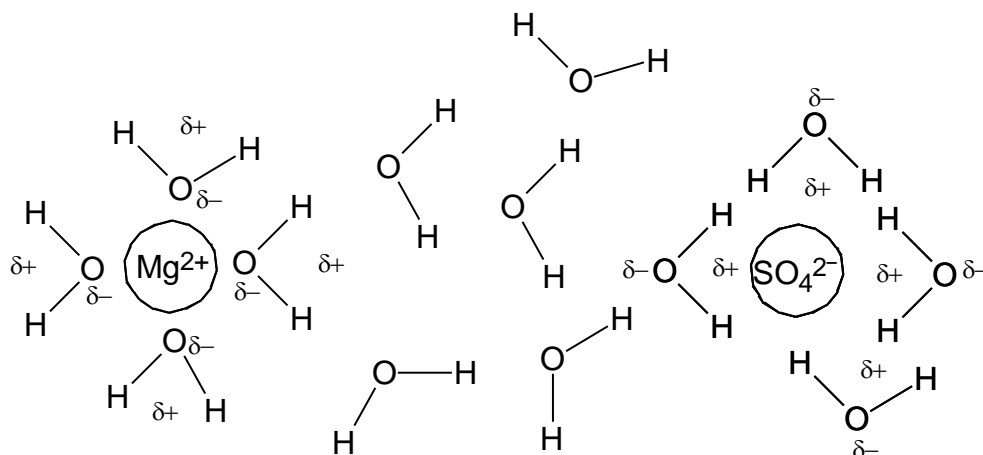


Er zijn drie oplossingen van zouten die je moet leren (zie tabel 66A):

- natronloog:  $\text{Na}^+ + \text{OH}^-$  (dus geen NaOH omdat het een oplossing is!)
- kaliloog:  $\text{K}^+ + \text{OH}^-$
- kalkwater:  $\text{Ca}^{2+} + 2 \text{OH}^-$

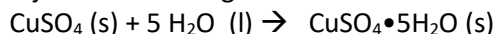
Of zouten op kunnen lossen in water kun je dus vinden in tabel 45A. De ionen worden gehydrateerd in oplossing, omgeven door watermoleculen. De bindingen tussen H en O in watermoleculen zijn polaire atoombindingen. De O-atomen trekken wat harder aan de elektronen die de binding tussen H en O vormen dan de H-atomen. De O-atomen zijn een beetje negatief geladen en de H-atomen zijn een beetje positief geladen.

Een oplossing van magnesiumsulfaat in water:

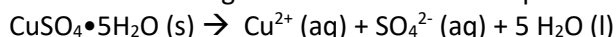


De bindingen die gevormd worden tussen een ion (bv  $\text{Mg}^{2+}$ ) en een dipoolmolecuul (bv  $\text{H}_2\text{O}$ ) zijn ion-dipoolbindingen. De magnesiumionen en sulfaationen zijn in deze oplossingen gehydrateerd.

Sommige zouten hebben ook in het kristalrooster watermoleculen tussen de ionen zitten. Zo'n zout wordt een [hydraat](#) genoemd. Een voorbeeld hiervan is blauw kopersulfaat:  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . De systematische naam van blauw kopersulfaat is koper(II)sulfaatpentahydraat. Penta is Grieks voor 5 (binas 66C), dit wordt ook gebruikt in pentaan. Hier maak je gebruik van bij het aantonen van water. Wit kopersulfaat,  $\text{CuSO}_4$ , wordt blauw als je water toevoegt:



Als je veel water toevoegt dan lost het blauwe kopersulfaat op:

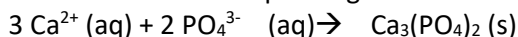


Kristalwater kun je verwijderen door te verhitten, zo kun je van blauw kopersulfaat weer wit kopersulfaat maken:  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} (\text{s}) \rightarrow \text{CuSO}_4 (\text{s}) + 5 \text{H}_2\text{O} (\text{l})$



Indampen van een zoutoplossing is eigenlijk het omgekeerde van een zout oplossen in water. De reactievergelijking van indampen is dus het omgekeerde van de reactievergelijking van het oplossen van dat zout. Het indampen van een keukenzout (natriumchloride) oplossing noteer je dus zo:  
 $\text{Na}^+ (\text{aq}) + \text{Cl}^- (\text{aq}) \rightarrow \text{NaCl} (\text{s})$

Als je twee oplossingen van zouten bij elkaar doet kan er een neerslag ontstaan. Bij het samenvoegen van calciumchloride-oplossing en natriumfosfaatoplossing krijg je bijvoorbeeld:



Kleuren van stoffen, ionen en ionen die door water zijn gehydrateerd, vind je in tabel 65B.

## Metalen

Metalen bestaan uit metaalatomen die niet aan elkaar zitten in moleculen. Metalen geleiden stroom. Dat kun je op microniveau verklaren doordat de valentie-elektronen vrij kunnen bewegen. De metaalrestionen (de metaaltomen zonder de valentie-elektronen) zijn positief geladen en worden bij

elkaar gehouden door de negatief geladen elektronen. Deze binding heet de metaalbinding en is sterk. Metalen smelten pas bij hoge temperatuur.

Groepen metaalatomen vormen kleine kristallen met een metaalrooster, dit is het mesoniveau. Deze kristallen kunnen verschuiven ten opzichte van elkaar en daardoor is een metaal vervormbaar.

Bij een legering zitten er meerdere atoomsoorten door elkaar, er zijn dan twee of meer metalen in vloeibare vorm met elkaar gemengd. Bij een legering zitten er "fouten" in het metaalrooster omdat niet alle metaalatomen even groot zijn. De lagen metaalatomen schuiven dan minder makkelijk over elkaar. Legeringen zijn hierdoor meestal harder en minder buigzaam dan zuivere metalen. Legeringen die erg hard zijn, kun je vaak moeilijk vervormen. Dat betekent dat het materiaal barst als je er bijvoorbeeld met een hamer op slaat.

### Keramische materialen

Dit zijn harde vaste stoffen met een hoog smeltpunt zoals diamant. Diamant heeft een atoomrooster van koolstofatomen. De atomen zijn via covalente bindingen aan elkaar gebonden. Je krijgt zo een netwerk en een materiaal dat erg hard is.

Er zijn ook keramische materialen met een ionrooster. De ionen kunnen daarin niet bewegen en er is geen stroomgeleiding. Als er roosterfouten in het ionrooster zitten, kunnen er gaten in het ionrooster ontstaan en kun je een vast zout krijgen dat de stroom geleidt.

### Composieten

Composieten bestaan uit verschillende materialen. Deze materialen zijn op mesoniveau met elkaar gemengd. Een composiet kan uit laagjes bestaan, of korrels of vezels die met elkaar zijn gemengd. Je kunt hierdoor hele stevige materialen maken.

## Evenwichten



[Evenwichtsreacties](#) leiden tot dynamische evenwichten. De reactie naar links gaat even snel as de reactie naar rechts, waardoor de hoeveelheden van de stoffen netto niet veranderen. De beide reacties hebben dus niet een reactiesnelheid van 0 mol/s. Er worden wel steeds nieuwe moleculen gevormd

Je kunt een evenwicht aflopend maken door een stof weg te nemen, bv een gas weg laten vliegen. Dan is één van beide reacties niet meer mogelijk en wordt het evenwicht dus een aflopende reactie.

In de concentratiebreuk komen alleen gassen en opgeloste stoffen voor, dus geen vaste stoffen en vloeistoffen. De getallen die in de reactievergelijking voor de stoffen staan komen als machten terug. Stoffen rechts van de evenwichtspijlen staan bovenaan in de breuk (de teller).

De evenwichtsvoorwaarde: concentratiebreuk = K, K is een constante die alleen van de temperatuur afhangt. Als de concentratiebreuk gelijk is aan het getal K dan is er dus evenwicht. [Hieraan kun je rekenen](#), zie ook binas tabel 51.



Voorbeeld:  $2 \text{SO}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{SO}_3 (\text{g})$

Evenwichtsvoorwaarde: 
$$K = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 [\text{O}_2]}$$

Dit is een voorbeeld van een homogeen evenwicht, de stoffen zijn allemaal in dezelfde fase, hier de gasfase.

Slecht oplosbare zouten vormen een evenwicht met de verzadigde oplossing.

voorbeeld  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \rightleftharpoons 3 \text{Ca}^{2+} + 2 \text{PO}_4^{3-}$

Evenwichtsvoorwaarde:  $K = [\text{Ca}^{2+}]^3 [\text{PO}_4^{3-}]^2$

Het vaste zout calciumfosfaat komt dus niet voor in de evenwichtsvoorwaarde.



Dit is een voorbeeld van een heterogeen evenwicht, de stoffen zijn in verschillende fasen, de vaste fase en de opgeloste fase.

Een verdelingsevenwicht is een evenwicht waarbij een stof zich verdeelt over twee oplosmiddelen die met elkaar niet goed kunnen mengen. Bijvoorbeeld jood verdeelt zich over water en wasbenzine.

### Het verstoren van een evenwicht.

Bij het verhogen van de temperatuur verandert  $K$ . De endotherme reactie is tijdelijk in het voordeel als je de temperatuur verhoogt. Met tijdelijk wordt bedoeld: totdat een nieuw evenwicht zich heeft ingesteld. Een hogere temperatuur zorgt ook voor een kortere insteltijd van een evenwicht.



Bij het verhogen van de druk (met gelijke temperatuur)/het verkleinen van het volume worden de concentraties van de stoffen groter.

Voorbeeld:  $K = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]}$

Als de concentraties groter worden, wordt de noemer meer groter dan de teller. Om de concentratiebreuk weer gelijk aan  $K$  te laten worden moet de reactie naar rechts dan tijdelijk in het voordeel zijn. Je kunt het ook zo beredeneren: bij het verhogen van de druk verschuift het evenwicht naar de kant met de minste deeltjes, dat is in dit voorbeeld de reactie waarbij  $\text{SO}_3$  wordt gevormd, dus de reactie naar rechts.

Bij verdunnen/het vergroten van het volume geldt natuurlijk het omgekeerde.

Als je een stof toevoegt aan een evenwicht, is de reactie waarbij deze stof weg reageert tijdelijk in het voordeel.

Voorbeeld:  $\text{Pb}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2 \text{OH}^-$

Als je wat loodnitraat toevoegt, is de reactie naar links tijdelijk in het voordeel waardoor de concentratie  $\text{OH}^-$  kleiner wordt.

Als je een stof toevoegt waarmee een stof in het evenwicht weg reageert, is de reactie waarbij de stof die weg reageert wordt gevormd tijdelijk in het voordeel.

We kijken naar hetzelfde evenwicht als net:  $\text{Pb}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2 \text{OH}^-$

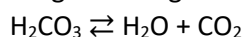
Als je zoutzuur toevoegt, reageert  $\text{OH}^-$  met zoutzuur. Daardoor is het evenwicht verstoord. De reactie naar rechts is dan tijdelijk in het voordeel, waardoor de concentratie loodionen groter wordt.

Een redenering zoals in de bovenstaande voorbeelden noemen de examenmakers een evenwichtsbeschouwing.

Het gebruik van een katalysator versnelt de reactie naar links evenveel als de reactie naar rechts. Het evenwicht stelt zich dus wel sneller in, maar de katalysator heeft geen invloed op de hoeveelheden van de stoffen als het evenwicht is bereikt.

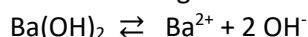
Voor een fabrikant kunnen hoge druk en temperatuur twee effecten hebben. Deze factoren versnellen de reactie, evenwichten stellen zich sneller in. Daarnaast kan het evenwicht verschuiven naar de gewenste of juist naar de ongewenste kant.

Je kunt een evenwicht aflopend maken door een stof uit een evenwichtsmengsel weg te laten vliegen of weg te laten reageren. In een afgesloten ruimte kun je het volgende evenwicht hebben:



In een open ruimte loopt dit evenwicht af naar rechts omdat het  $\text{CO}_2$  wegvliegt.

In een verzadigd barietwater (zie tabel 66A) heb je het volgende evenwicht:



Als je natriumfosfaatoplossing toevoegt loopt het evenwicht af naar rechts omdat  $\text{Ba}^{2+}$  dan in een neerslagreactie gaat reageren met  $\text{PO}_4^{3-}$ .

### Reactiesnelheid

De snelheid van een reactie wordt beïnvloed door:

- de soorten stoffen die reageren
- de temperatuur
- de concentratie van de stoffen
- de verdelingsgraad (bij vaste stoffen)
- de aanwezigheid van een katalysator (enzym)



Behalve de katalysator kun je dit verklaren met het botsende deeltjesmodel, het aantal effectieve botsingen per seconde bepaalt de reactiesnelheid.

Bij een endotherme reactie is het energie-effect een positief getal en bij een exotherme reactie een negatief getal.

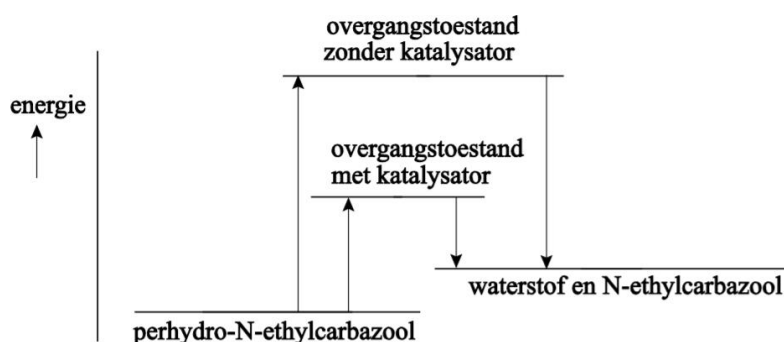
Een katalysator wordt niet verbruikt, hij reageert bijvoorbeeld in de eerste stap van een reactie en wordt in de tweede stap weer terug gevormd.

Een enzym is een biologische katalysator. Een enzym werkt specifiek, het bindt maar één (stereo-isomeer van) een substraat en katalyseert maar één reactie.

Als een reactie in twee stappen plaatsvindt, bepaalt de langzaamste stap de snelheid van de totale reactie. Als de eerste stap de langzaamste is hoopt het product van stap 1 zich niet op, dat gebeurt wel als de tweede stap de langzaamste stap is.

Een endotherme reactie onttrekt warmte aan de omgeving die daardoor afkoelt. Je hoeft niet altijd actief te verwarmen bij een endotherme reactie. Een exotherme reactie zorgt voor opwarming van de omgeving.

Van reacties kun je een [energiediagram](#) tekenen. Bij een endotherme reactie ligt het energieniveau van de reactieproducten boven dat van de beginstoffen ( $\Delta E > 0$ ). Bij een exotherme reactie ligt het niveau van de reactieproducten lager ( $\Delta E < 0$ ). Het volgende energiediagram hoort bij een endotherme reactie.



In het diagram kun je ook zien dat een katalysator de activeringsenergie verlaagt en er op die manier voor zorgt dat de reactie sneller verloopt. De katalysator heeft geen invloed op de netto hoeveelheid energie die nodig is of vrij komt bij een reactie.

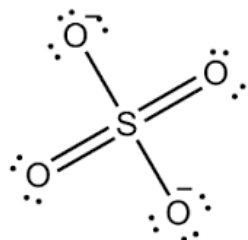


Een katalysator zorgt ervoor dat het niveau van de geactiveerde toestand lager wordt, de activeringsenergie kleiner wordt en de reactie dus sneller verloopt. Bij een endotherme reactie ligt het energieniveau van de reactieproducten boven dat van de beginstoffen.

## Lewisstructuur

In de [Lewisstructuur](#) teken je bindende elektronenparen en de andere valentie-elektronen. Gebruik de octetregel: de niet-metalen uit het periodiek systeem (behalve waterstof en helium) hebben 8 elektronen om zich heen in vier paren. Dit heet de edelgasconfiguratie. Elektronenparen kunnen bindingen zijn of niet-bindende elektronenparen.

Valentie-elektronen: dit is het aantal elektronen in de buitenste schil. De eigenschappen van een atoom worden grotendeels bepaald door het aantal valentie-elektronen. In binas 99 kun je linksonder een element aflezen hoeveel valentie-elektronen het heeft. Bij stikstof staat daar 2,5. Dat betekent 5 elektronen in de buitenste schil en dus 5 valentie-elektronen.



Formele lading: als het atoom teveel valentie-elektronen heeft krijgt het een negatieve lading. Als het atoom in een Lewis structuur te weinig valentie-elektronen om zich heen heeft, krijgt het een positieve lading. P, N en S kunnen meer dan 4 paren elektronen om zich heen hebben, dan spreek je van een uitgebreid octet.

Zwavel heeft hierboven een uitgebreid octet.



### [Met deze regels kun je de Lewisstructuur van een stof tekenen.](#)

1. Tel de valentie-elektronen van alle atomen bij elkaar op.
2. Als de lading negatief is, tel dan de lading erbij op, als de lading positief is, trek dan de lading er vanaf.
3. Deel dit aantal elektronen door 2. Nu weet je hoeveel paren je moet tekenen.
4. Zet de bindende en niet bindende paren in de structuurformule, zorg ervoor dat elk atoom voldoet aan de octetregel (behalve H of als erbij staat dat een atoom niet aan de octetregel voldoet.). De octetregel betekent dat er 4 paren om een atoom zitten, dat kunnen bindingen zijn of niet-bindende paren.
5. Zet bij elk atoom de formele lading. Als een atoom niet het juiste aantal binding vormt, heeft het een lading. Als stikstof bijvoorbeeld 4 bindingen vormt, dan heeft het 4 in plaats van 5 valentie-elektronen. Omdat het een elektron te weinig heeft, is de formele lading van N dan 1+. Bij het tellen van de elektronen om een atoom tellen bindingen voor 1 en niet-bindende paren voor 2.



### Voorbeeld

Teken de Lewisstructuur van  $\text{CO}_3^{2-}$ . Hierbij gebruiken we de bovenstaande stappen.

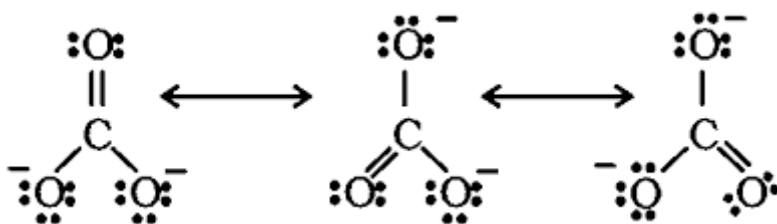
1. C heeft 4 valentie elektronen en O 6.

$\text{CO}_3$  heeft dus  $4 + 3 \times 6 = 22$  valentie-elektronen.

2. Omdat de lading  $2^-$  is, zijn er 2 elektronen meer.
3. Je hebt dus 24 elektronen in 12 paren die je moet tekenen.
4. C en O moeten 4 paren elektronen om zich heen hebben, de octetregel. Je hebt dan 1 dubbele binding nodig.



5. Een O met drie niet bindende paren en 1 binding heeft  $3 \times 2 + 1 = 7$  elektronen om zich heen. Dat is 1 meer dan de 6 valentie-elektronen die O heeft, dus hebben die O-atomen een – lading. De O met de dubbele binding heeft 2 paren en 2 bindingen, dus  $2 \times 2 + 2 \times 1 = 6$  elektronen voor zichzelf, dus geen lading. De C heeft gewoon 4 bindingen en geen lading.



Bij het carbonaation treedt mesomerie op. Er zijn dan verschillende grensstructuren. Hoe meer grensstructuren er zijn, hoe stabielere een stof is. De “werkelijke” structuur is een soort gemiddelde van de grensstructuren, je zou kunnen zeggen dat alle drie de O-atomen een lading van  $\frac{2}{3}^-$  hebben.

De partiële lading ( $\delta^+$  of  $\delta^-$ ) is de kleine ( $<1$ ) lading die atomen in een polaire atoombinding kunnen hebben, zo zijn de waterstofatomen in een watermolecuul een klein beetje positief geladen. De partiële lading zetten we meestal niet bij een Lewis structuur.

## Koolstofchemie

Groepen [koolstofverbindingen](#), zie ook binas 66D

- alkanen, onverzadigd,  $C_nH_{2n+2}$
- alkenen, bevat een  $C=C$  binding,  $C_nH_{2n}$
- alkynen, bevat  $C \equiv C$ ,  $C_nH_{2n-2}$
- cyclische verbindingen (bevatten een ring)
- aromatische verbindingen: bevatten een benzeenring
- alifatische verbindingen: bevatten geen benzeenring
- onverzadigde verbindingen bevat  $C=C$  of een driedubbele koolstof-koolstofbinding
- alcoholen, bevatten  $-OH$  (onderverdeeld in primaire, secundaire en tertiaire alcoholen)
- carbonzuren,  $-COOH$  als de zuurgroep in de hoofdketen zit telt deze C mee voor de langste keten en wordt het achtervoegsel zuur, bijvoorbeeld hexaanzuur. Als de zuurgroep niet in de hoofdketen zit krijgt de hele  $COOH$  groep het achtervoegsel carbonzuur, bijvoorbeeld bij cyclohexaancarbonzuur.
- aminen,  $C-NH_2$
- aldehyden,  $C=O$  aan het eind van de keten (aan deze C zit niet ook nog een  $O-H$  want dan is het een zuur)
- ketonen  $C=O$  waarbij de C niet aan het eind van een keten zit.
- ethers kenmerk  $-C-O-C-$  De bekendste groep zijn de alkoxyalkanen, bijvoorbeeld 2-methoxypropaan.
- [esters](#), kenmerk  $C-O-C=O$

esters maak je van een alcohol en een carbonzuur. De rest van het alcohol wordt in de naam als zijgroep gezien, als je bv ethanol als alcohol hebt wordt het ethyl. In de naam komt dan ethyl voor de naam van de rest van het zuur. De rest van het zuur heet dan -oat, bv ethylpropanoat is de ester gemaakt van ethanol en propaanzuur.



## Alkanen

Dit zijn onverzadigde koolwaterstoffen, er zijn alleen enkele bindingen. In tabel 66D kun je namen van de eerste 6 alkanen vinden en in tabel 66C de rest. De algemene formule is  $C_nH_{2n+2}$ .

### Systematische naamgeving

Voor koolstofverbindingen worden vaak systematische namen gebruikt. Heb je meerdere van dezelfde zijgroepen dan geef je dat aan met de Griekse telwoorden di, tri, tetra, penta, hexa etc (zie tabel 66C). Elke zijgroep krijgt zijn eigen nummer. Als de C-atomen niet in één onvertakte keten liggen noem je bijvoorbeeld een  $-CH_3$  groep een zijketen, deze keten krijgt dan de naam methyl. Zo heb je ook ethyl ( $-CH_2CH_3$ ), propyl, methylethyl etc). Kijk goed wat de langste keten is, deze is niet altijd horizontaal getekend.



## Cycloalkanen

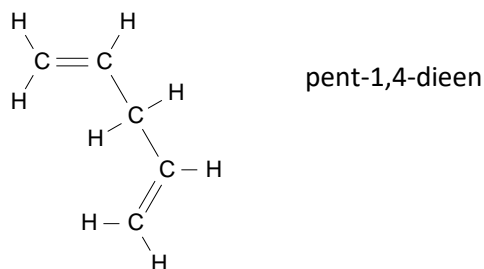
Bij de cycloalkanen vormt de koolstof keten een rondje (of vierkantje etc).

## Alkenen

Alkenen zijn onverzadigde koolwaterstoffen met één dubbele binding,  $C=C$ . De algemene formule voor de alkenen is  $C_nH_{2n}$ .

De naamgeving is hetzelfde als bij de alkanen, het eindigt nu alleen op –een ipv op –aan.

Bij grotere alkenen dan propen geef je met een nummer aan waar de dubbele binding zit, het nummer slaat dan op het C-atoom waar de dubbele binding begint. Er zijn ook alkaandiënen en alkaantriënen. Let op de plaats van di in de naam, het woordje di staat voor waar er twee van zijn de dubbele binding dus dieen).



## Alkynen

Bij alkynen is er geen dubbele koolstof-koolstof binding maar een drievoudige koolstof-koolstof,  $C\equiv C$ , binding. Hun algemene formule is  $C_nH_{2n-2}$ .

## Alkanolen

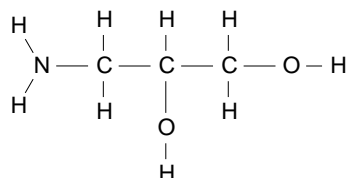
Alkanolen zijn alkanen waarbij 1 H-atoom door een OH –groep is vervangen. De O-H-groep is een karakteristieke groep en krijgt het achtervoegsel –ol.

## Alkaanaminen

De karakteristieke groep van de alkaanamine is de amine-groep:  $-NH_2$ .

### Meerdere karakteristieke groepen

Een molecuul kan natuurlijk meerdere karakteristieke groepen hebben, maar nooit meer dan één achtervoegsel. In tabel 66D vind je een lijst met karakteristieke groepen, de karakteristieke groep die het hoogst in die lijst staat mag het achtervoegsel leveren, de andere groepen moeten genoegen nemen met een voorvoegsel.

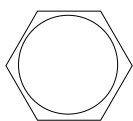


### 3-amino-propaan-1,2-diol

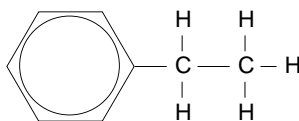
De  $\text{-NH}_2$  groep krijgt het voorvoegsel amine omdat de alcoholen boven de aminen staan in binas 66D. De voorvoegsels komen in alfabetische volgorde, hierbij tellen de Griekse telwoorden als di en tri niet mee. Het is dus 2,2-dibroom-3-chloorhexaan en niet 3-chloor-2,2-dibroomhexaan.

### Aromatische verbindingen

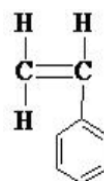
Aromatische koolwaterstoffen bevatten een benzeenring, benzeen is  $\text{C}_6\text{H}_6$ . Deze stoffen geuren meestal sterk. Het rondje in de benzeenring stelt drie dubbele bindingen voor, in de ring wisselen C-C en C=C bindingen elkaar dus af. Soms worden drie dubbele bindingen getekend en soms een rondje in de zeshoek.



benzeen



ethylbenzeen



fenyletheen

Let op de molecuulformules van aromatische verbindingen. Benzeen is  $\text{C}_6\text{H}_6$  maar als een er bv een ethylgroep aan zit zitten er nog maar 5 H-atomen aan de benzeenring en aan de zesde plaats een  $\text{C}_2\text{H}_5$  groep. Dus wordt de molecuulformule  $\text{C}_8\text{H}_{10}$ .

Een benzeenring die niet de hoofdketen is, krijgt het voorvoegsel fenyl. Bijvoorbeeld bij fenyletheen.

### Bindingshoeken



**VSEPR** (Valentie-Schil-Elektronen-Paar-Repulsie)-theorie:

Als een atoom 4 enkele bindingen/niet-bindende elektronenparen om zich heen heeft, maken deze 4 bindingen/elektronenparen hoeken van  $109^\circ$  met elkaar. Dat geldt bijvoorbeeld voor de hoeken in een  $\text{CH}_4$  molecuul. De structuur is dan een tetraëder. Ook het zuurstof-atoom in water heeft een 4-omringing (2 bindingen met

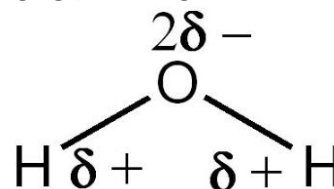
H-atomen en 2 niet-bindende elektronenparen), daarom is de hoek H-O-H in een watermolecuul (ongeveer)  $109^\circ$ .

Cyclopropaan is bijvoorbeeld niet zo stabiel/vrij reactief. De C-atomen hebben 4 enkele bindingen om zich heen. In een driehoek zijn de hoeken  $60^\circ$ . Dat is veel minder dan  $109^\circ$  en daarom is cyclopropaan niet zo stabiel.

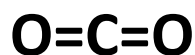
Als een atoom een dubbele binding en 2 enkele bindingen/niet-bindende elektronenparen om zich heen heeft, zijn de bindingshoeken  $120^\circ$ . Etheen is een voorbeeld van zo'n stof. Etheen is een "plat" molecuul, alle atomen liggen in hetzelfde vlak.

Als een atoom een drievoudige binding en een enkele binding/niet-bindend elektronenpaar heeft, is de bindingshoek  $180^\circ$ . Ethyn is een voorbeeld van zo'n stof. Als een atoom twee dubbele bindingen vormt, bijvoorbeeld koolstofdioxide, is de bindingshoek ook  $180^\circ$ .

Hiermee en met de elektronegativiteit kun je voorspellen of een molecuul een dipoolmolecuul is.



CO<sub>2</sub> is geen dipool en water wel. Dat komt door de symmetrie in CO<sub>2</sub>, het centrum van δ+ en δ- valt samen en daarom is het geen dipool.



### Isomeren

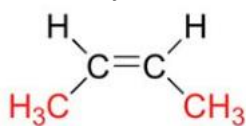
Isomeren zijn verschillende stoffen met dezelfde molecuulformule, ze hebben dus een verschillende structuurformule. Structuur-isomeren heb je in de vierde klas gehad, bv methoxyethaan en propaan-2-ol. Bij stereo-isomeren hebben alle atomen van de isomeren dezelfde buuratomen. Het verschil zit hem in de ruimtelijke structuur. Er zijn twee soorten stereo-isomeren: [cis-trans isomeren](#) en optische isomeren.

[cis-trans-isomerie](#), hiervoor zijn twee dingen nodig:

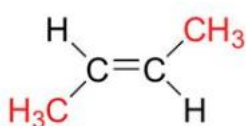
- een starre binding (C=C of een C-C in een ring)
- aan beide kanten van de starre binding zitten twee verschillende groepen.

Als dezelfde groepen aan dezelfde kant (onder of boven) van de dubbele binding zitten heb je de cis-configuratie, als dezelfde groepen tegenover elkaar zitten heb je de trans-configuratie.

Propeen heeft dus geen cis-trans isomeren omdat aan een kant van de C=C twee dezelfde groepen zitten (2 H-atomen). 1-chloorpropeen heeft wel cis-trans isomerie net als bijvoorbeeld but-2-een.



cis-but-2-een

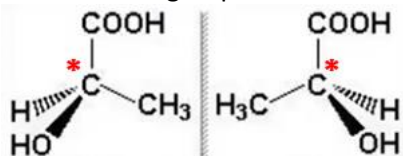


trans-but-2-een



### [optische isomerie/spiegelbeeldisomerie](#)

Voor optische isomerie is een asymmetrisch C-atoom nodig, dat wil zeggen een C-atoom met daaraan vier verschillende groepen. Een asymmetrisch C-atoom noteer je als C\*. Optische isomeren hebben dezelfde stoffeigenschappen, alleen in het draaien van gepolariseerd licht en reacties met biologische moleculen zoals enzymen verschillen optische isomeren. Ook andere atomen dan C met vier verschillende groepen erom heen zijn asymmetrisch als er vier verschillende groepen omheen zitten.

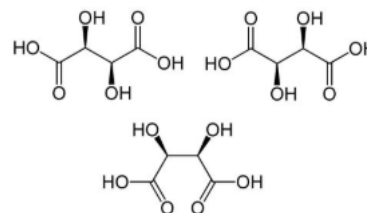


In deze notatie worden de groepen die naar voren uit het vlak steken (-OH in dit voorbeeld) met een dikke lijn getekend. De groepen die naar achteren steken (-H in het voorbeeld) worden met een stippellijn getekend. De andere twee groepen liggen in het vlak.



Als je wilt weten hoeveel stereo-isomeren een stof heeft tel je het aantal asymmetrische C-atomen en het aantal mogelijkheden voor cis-trans isomeren. Het aantal stereo-isomeren is dan  $2^{\text{de som van het aantal mogelijkheden}}$ .

Op het moment dat er een spiegelvlak is, is er een stereo-isomeer minder. 2,3-dihydroxybutaandizuur heeft twee asymmetrische C-atomen, er zouden dan  $2^2=4$  stereo-isomeren zijn. Omdat er een inwendig spiegelvlak is, zijn er  $4-1=3$  stereo-isomeren.



## Kraken

Dit is een ontledingsreactie waarbij grote alkaanmoleculen worden gesplitst in kleinere moleculen, hierbij ontstaan verzadigde en onverzadigde koolwaterstoffen. Dit wordt in de industrie toegepast om benzine uit aardolie te maken.

Voorbeeld: Decaan is een alkaan met 10 C-atomen. Dit wordt gekraakt tot but-1-een en één ander molecuul. Geef de reactievergelijking.

Voor de formule van decaan vul je  $n=10$  in de formule  $C_nH_{2n+2}$  in, decaan is dus  $C_{10}H_{22}$ . But-1-een is  $C_4H_8$ .



De andere stof die ontstaat is dus hexaan (of een isomeer van hexaan).

Behalve door kraken kun je benzine uit ruwe aardolie verkrijgen door gefractioneerde destillatie. Dit is een scheidingsmethode. Het mengsel ruwe aardolie wordt gescheiden in fracties. Fracties zijn hier mengsels van stoffen met kookpunten die dicht bij elkaar liggen.

Nafta is een van de fracties van aardolie. De stoffen in nafta kun je via reformen omzetten in grondstoffen voor de chemische industrie.

## Reactiemechanisme

In een [reactiemechanisme](#) geven we de verschillende stappen aan waarin een reactie plaatsvindt. De langzaamste stap bepaalt de reactiesnelheid en noemen we de snelheidsbepalende stap. Met kromme pijlen wordt vaak aangegeven hoe elektronen zich verplaatsen. De eenheid van reactiesnelheid in een oplossing of gasmengsel is  $\text{mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$ .



De reactiesnelheid kun je ook beschrijven met een [reactiesnelheidsvergelijking](#).

$$s = k[\text{beginstoffen}]$$

$s$  is de reactiesnelheid en  $k$  is de reactiesnelheidsconstante. In de reactiesnelheidsvergelijking komen de concentraties van beginstoffen die betrokken zijn bij de snelheidsbepalende stap voor.

Als je bijvoorbeeld  $s = k[P][Q]$  hebt, komt voor de pijl in de snelheidsbepalende stap een molecuul P en een molecuul Q voor.

Als je  $s = k[P][Q]^2$  hebt, komen voor de pijl in de snelheidsbepalende stap een molecuul P en twee moleculen Q voor.

Uit onderzoek naar reactiesnelheid kun je op deze manier informatie krijgen over het mechanisme van een reactie. In deze filmpjes staan voorbeelden van reactiemechanismen:



[S<sub>N</sub>1 en S<sub>N</sub>2](#)

[vorming \(poly\)ester](#)

[additie](#)

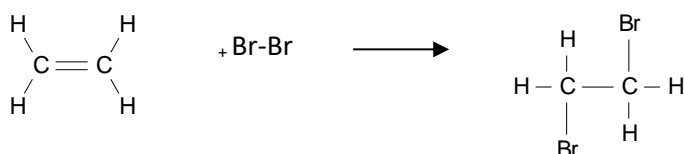
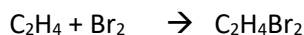
[substitutie](#)

[overzicht en eliminatie](#)

## Additiereactie

Dit wordt is afgeleid van het Engelse addition dat optelling betekent.

Bij deze reactie reageert een alkeen met bijvoorbeeld chloor, broom, jood, waterstofchloride, waterstofbromide, waterstofjodide, waterstof of water. De dubbele C=C binding klappt open. De molecuulformule van het reactieproduct is de som van de molecuulformules van de beginstoffen. Als je bijvoorbeeld etheen met broom laat reageren heb je een additiereactie:



Bij deze reactie verdwijnt broom wat een gele kleur heeft. Als je broomwater toevoegt aan een onverzadigde koolwaterstof zal de gele kleur van het broomwater verdwijnen, het ontkleurt. Op deze manier kun je de aanwezigheid van onverzadigde koolwaterstoffen aantonen.

Als je waterstof addeert aan etheen ontstaat ethaan. Als je water addeert aan etheen ontstaat ethanol.

Bij de additie van waterstofbromide (HBr) aan but-1-een ontstaat een mengsel van 1-broombutaan en 2-broombutaan.

Een kenmerk van een additiereactie is dat een C=C groep verdwijnt.

Er zijn twee manieren waarop we ons voorstellen dat een additiereactie kan verlopen:

## Radicaalmechanisme

Een radicaal is een deeltje met een ongepaard elektron, dat geven we aan met een  $\bullet$ . Radicalen zijn erg reactief. Het mechanisme gaat in drie stappen:

Initiatie:  $\text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{Cl}\bullet$

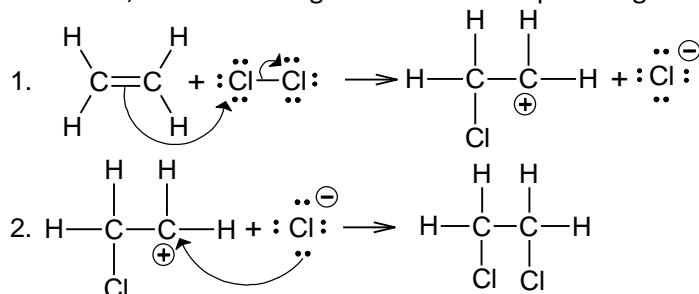
Propagatie:  $\text{Cl}\bullet + \text{CH}_2=\text{CH}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2\bullet$

Terminatie:  $\text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2\bullet + \text{Cl}\bullet \rightarrow \text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2\text{Cl}$



## Ionair mechanisme

In een ionair mechanisme komen geladen deeltjes voor. Een positief geladen deeltje is elektrofiel, omdat het aangetrokken wordt door negatief geladen elektronen. Een negatief geladen deeltje is nucleofiel, het wordt aangetrokken door de positief geladen kern van een atoom.



Als je wilt onderzoeken welke van deze twee mechanismen de juiste is, kun je kijken of er 1,4-dichlorobutaan wordt gevormd. Dit kan ontstaan uit twee deeltjes  $\text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2\bullet$  en dat kan alleen via het radicaalmechanisme.

## Substitutiereactie

Substitute is Engels voor vervangen. Bij een substitutie reactie wordt een H-atoom van een molecuul vervangen door een ander atoom (of groep atomen). Bij een substitutiereactie reageert bijvoorbeeld een alkaan met chloor of broom. Bij zo'n reactie ontstaat ook waterstofchloride of waterstofbromide.

Voor substitutiereacties is licht nodig (het zijn endotherme reacties).

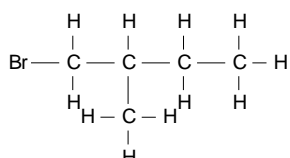
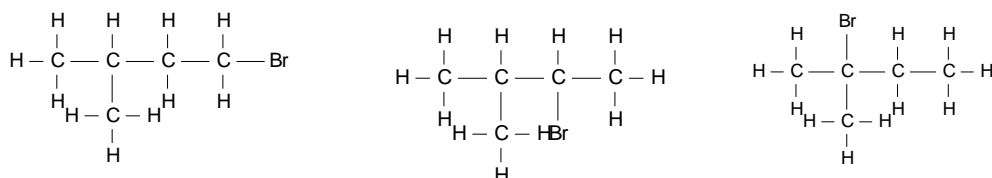
Bij de substitutiereactie tussen broom en propaan kan 1-broompropaan ontstaan.



Let op: er kan ook 2-broompropaan ontstaan.

Voorbeeld: Sjakie mengt methylbutaan en broomwater, hij kiest de condities dat er alleen reactieproducten ontstaan met één broomatoom. Welke reactieproducten zullen er ontstaan zijn?

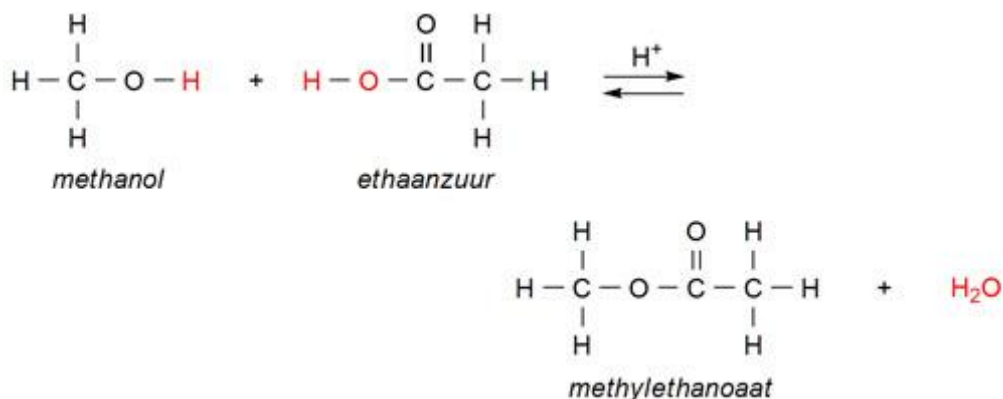
Uiteraard ontstaat waterstofbromide, daarnaast een mengsel van vier stoffen:



Zulke vragen worden natuurlijk nog leuker als er twee of meer broomatoemen hebben uitgewisseld.



Bij een **verestering** reageren een alcohol en een carbonzuur tot water en een ester. Hiervoor wordt een sterk zuur gebruikt als katalysator. Het  $\text{H}^+$  (de katalysator) staat dan ook niet in de reactievergelijking (maar wordt soms wel boven de reactiepijl gezet). Soms wordt de formule van de katalysator boven de reactiepijl gezet. Verstering is een evenwichtsreactie, de omgekeerde reactie heet hydrolyse.



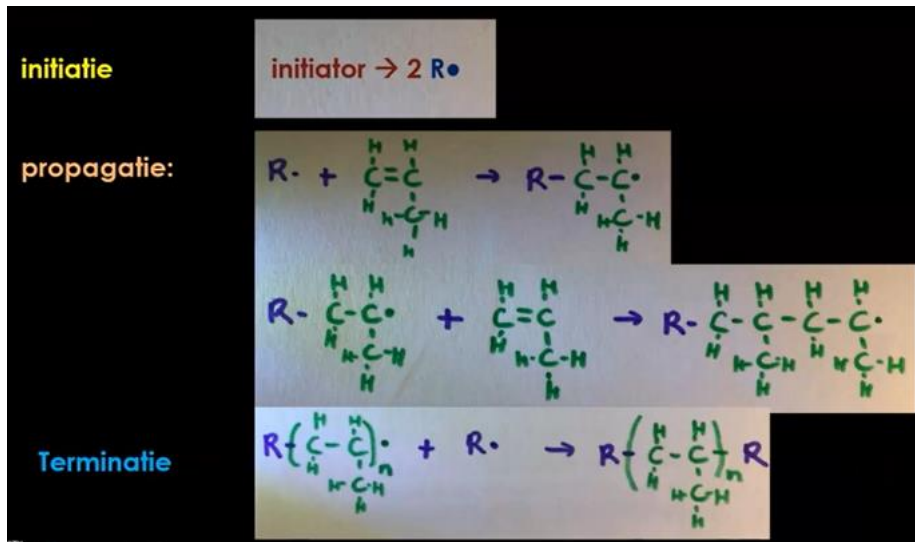


## Polymeren

### Additie-polymeren

- 1,2 additie C=C in de monomeer en alleen C-C in de hoofdketen van de polymeer
- 1,4 additie, C=C-C=C in de monomeer een C-C=C-C in de polymeer

Er zijn drie stappen bij additiepolymerisatie: initiatie, propagatie en terminatie. Bij de initiatie ontstaan radicalen. Bij de propagatie reageert een radicaal met een molecuul tot een nieuw radicaal, deze stap herhaalt zich vaak. Bij de terminatie reageren twee radicalen met elkaar.




Hoe meer van de initiator je toevoegt, hoe meer ketens er tegelijkertijd gevormd worden en hoe korter de ketens gemiddeld worden. Hoe langer de ketens, hoe groter de polymerisatiegraad. De ketens binden elkaar dan sterker dankzij sterkere vanderwaalsbindingen, waardoor het polymeer minder flexibel is dan een polymeer met een lagere polymerisatiegraad.

### Condensatiepolymeren

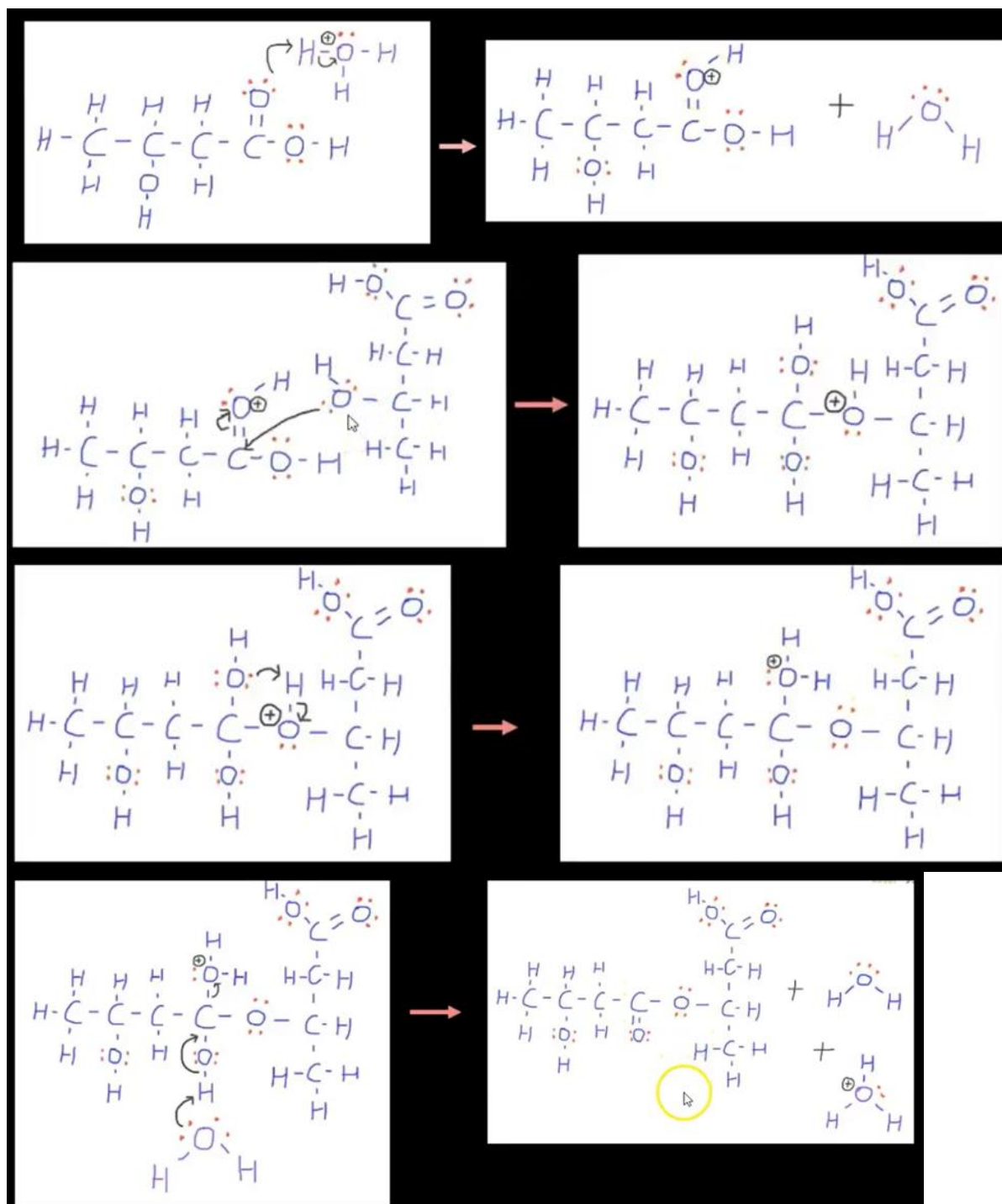
Er wordt bij de polymerisatie naast de polymeer ook een andere stof gevormd, vaak is dit water. Voorbeelden zijn de polyesters en de polyamiden.



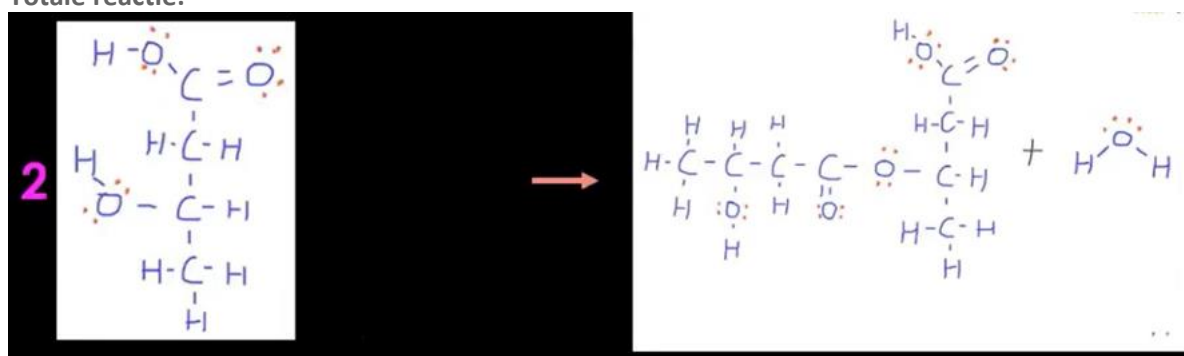
Het 3-hydroxybutaanzuur kan een polyester ontstaan. Het mechanisme staat op de volgende bladzijde. Een sterk zuur wordt als katalysator gebruikt.  $\text{H}_3\text{O}^+$  is nodig in de eerste stap en wordt in de laatste stap weer teruggevormd. De pijlen geven hierbij aan hoe de elektronen zich verplaatsen.

Als je kijkt in stap 2 dan is de O met  erbij nucleofiel. De O is een beetje negatief geladen en wordt aangetrokken door positieve lading. De C van de C=O binding is een beetje positief geladen en elektrofiel. Een vrij elektronen paar van de nucleofiel O gaat een binding vormen met deze C. Een stap in het vormen van een polyester kan volgens het volgende [mechanisme](#) gaan:

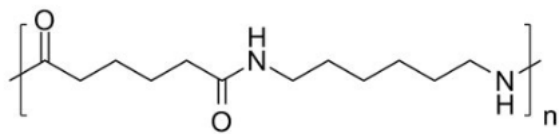




Totale reactie:



Bij een polyamide reageert een  $\text{-NH}_2$  groep met een zuurgroep tot een amide-groep, deze groep heet ook peptide-binding omdat deze binding ook in eiwitten voorkomt. Dit is een polyamide dat is gemaakt van hexaandizuur en hexaan-1,6-diamine:



Dit is een voorbeeld van een copolymeer, een polymeer dat gemaakt is van verschillende monomeren

Thermoplasten worden zacht als je ze verhit, ze bestaan uit losse ketens, er zijn geen dwarsverbindingen tussen de ketens.

Thermoharders worden niet zacht als je ze verhit, dit zijn netwerkpolymeren omdat er dwarsverbindingen gevormd zijn tussen de ketens. Deze dwarsverbindingen heten ook wel crosslinks. Crosslinks kunnen bijvoorbeeld ontstaan bij monomeren met drie of meer reactieve groepen.

Polymeren zijn gevoelig voor Uv-straling, vooral polymeren met dubbele bindingen. De Uv-straling zorgt voor het verbreken van bindingen en de vorming van radicalen. Zo worden de polymeerketens korter en het polymeer minder stevig. Polymeren worden stabiel als je een Uv-stabilisator toevoegt. Thermoharders zijn veel minder gevoelig voor Uv-straling dan thermoplasten.

Weekmakers zijn kleine stoffen die worden toegevoegd aan polymeren. De weekmakermoleculen gaan tussen de polymeerketens zitten. De ketens binden zo minder sterk aan elkaar waardoor het polymeer flexibeler wordt. Weekmaker worden bij thermoplasten toegepast, niet bij thermoharders.

Polymeren met om en om C-C en C=C bindingen, zoals polyethyn, kunnen stroom geleiden. Een systeem met om en om enkele en dubbele bindingen heet een geconjugeerd, de elektronen kunnen dan overspringen, vandaar de stroomgeleiding. Als je een oxidator als jood toevoegt, staat het polymeer elektronen af, het polymeer dat overblijft geleidt de stroom beter. Polymeren met dubbele bindingen erin zijn gevoelig voor Uv-straling.



[Biochemie](#)

[Vetten en oliën\(Tabel 67G1+2\)](#)

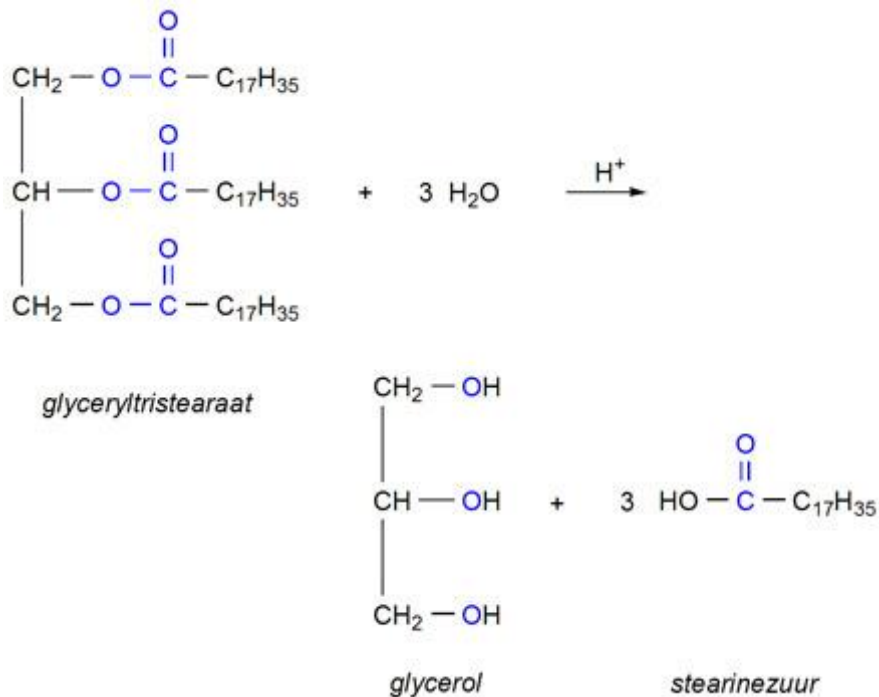
Vetten zijn vast bij kamertemperatuur en bevatten alleen verzadigde koolstof-koolstofbindingen. Oliën zijn vloeibaar bij kamertemperatuur en bevatten onverzadigde koolstof-koolstofbindingen. In natuurlijke vetzuren hebben de C=C bindingen de cis-configuratie.

Reacties van vetten/oliën:

-vorming vetten: glycerol met 3 vetzuren wordt een vet of olie en drie moleculen water.

-hydrolyse: het omgekeerde van het vormen van een vet of olie (dit is een evenwichtsreactie er moeten dus evenwichtspijlen staan):





-vetharding: olie+ waterstof wordt vet (additiereactie)

Sommige vetzuren (binas 67G2) kun je niet zelf maken en moet je dus via je voedsel binnen krijgen, dit zijn de essentiële vetzuren.

Uit vetten/oliën kun je via een [omestering biodiesel](#) maken. Hierbij reageert een vet of olie met methanol tot glycerol en methylesters van vetzuren. Biodiesel bestaat uit methylesters van vetzuren.



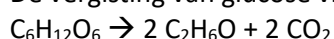
Fosfolipiden zijn ook esters van glycerol en vetzuren, twee OH-groepen van glycerol zijn veresterd met een vetzuur en de derde OH-groep is veresterd met een fosfaatgroep. Het celmembraan bestaat uit een dubbele laag fosfolipiden (binas 67G3). De twee vetzuurstaarten zijn hydrofoob en zitten aan de binnenkant, de fosfaatgroep is hydrofiel. In het membraan zitten eiwitten die het transport door het membraan regelen. Bij actief transport is hiervoor ATP (binas 67L) nodig. Bij de omzetting van ATP in ADP (en fosforzuur) komt namelijk energie vrij.

### Koolhydraten ( $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_m$ )

Va glucose bestaat een lineaire vorm (zie tabel 66A) en een ringvorm (zie tabel 67F1). Van glucose bestaan veel stereo-isomeren dankzij de asymmetrische C-atomen. De stand van de –OH –groepen (onder of boven het vlak van de ring) is van belang voor de reacties tussen verschillende suikerringen. Eén zo'n suiker heet een monosacharide, zo heb je ook disachariden (tabel 67F2) en polysachariden (tabel 67F3). Via hydrolyse kun je polysachariden omzetten in monosachariden. Glycogeen is een sterk vertakte polymeer van glucose. Glucose wordt in de vorm van glycogeen opgeslagen in je lichaam.



De vergisting van glucose vindt plaats in zuurstofarm milieu:



Door het vergisten van biomassa kun je op deze manier bio-ethanol maken, zo kun je ook biogas maken. Dit is methaangas dat door vergisting ontstaat uit plantenresten.

Omdat suikers alcoholgroepen en aldehydegroepen hebben kunnen ze reageren als reductor.

Glucose ontstaat uit de fotosynthese:  $6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$ . Fotosynthese zorgt dus ook voor het binden van  $\text{CO}_2$  en het ontstaan van zuurstof.

## DNA en RNA (binas 71 C)

DNA is dubbelstrengs en bestaat uit vier nucleotiden, A,C,G en T. Het suiker in DNA is deoxyribose. Een A zit altijd tegenover een T en een G altijd tegenover een C dankzij waterstofbruggen. DNA heeft een coderende streng (met genetische informatie) en een matrijsstreng (die wordt gebruikt bij het vormen van mRNA, dat heet transcriptie). RNA is enkelstrengs. Het suiker in RNA is ribose, in RNA komt U voor in plaats van T.

In de ribosomen wordt met de informatie op het mRNA een eiwit gemaakt, dit proces heet translatie. Op het mRNA coderen steeds drie basen voor een aminozuur, zo'n groepje van drie basen heet een codon. Het tRNA brengt een aminozuur naar het ribosoom.

De T komt alleen voor bij DNA en wordt vervangen door U bij RNA.

Een verandering op DNA-niveau heet een mutatie, stoffen die dit veroorzaken zijn mutageen. Als het DNA verandert veranderen alle eiwitten. mRNA wordt afgebroken en opnieuw gevormd, een mutatie op mRNA-niveau heeft minder gevolgen.

Voorbeeld:

Coderend DNA ATGTTCCAG

Matrijs DNA TACAAGGC

mRNA AUGUCCAG

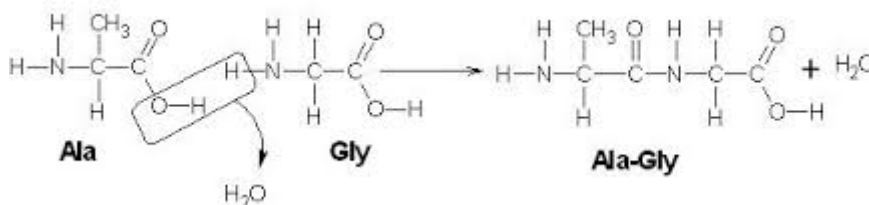
AUG codeert voor methionine, UUC voor fenylalanine en CAG voor glutamine.

Zie tabel 71G voor de genetische code.



## Eiwitten

Eiwitten zijn opgebouwd uit aminozuren en bevatten naast de elementen C, H en O, ook N en soms S. Let op de kringeltjes aan het begin en aan het eind als je een stuk uit het midden van een eiwit tekent. Meestal teken je een paar aminozuren die onderdeel zijn van een groot eiwit. De aminozuren zitten aan elkaar met een peptidebinding:  $\text{NH-C=O}$ . Zie tabel 67H.



Primaire structuur: aminozuurvolgorde

Secundaire structuur (binas 67H2): stukjes eiwitketen die dankzij waterstofbruggen tussen N-H en C=O van verschillende peptidebindingen zijn gevouwen tot  $\alpha$ -helix of  $\beta$ -sheet.

Tertiaire structuur: de driedimensionale structuur van het eiwit, hier spelen ook bindingen tussen de zijketens van aminozuren een rol: waterstofbruggen, zwavelbruggen (tussen cysteïnes), hydrofobe interacties en ionbindingen.

Kwartenaire structuur: soms bestaat een eiwit uit bijvoorbeeld vier eiwitketens, dus eigenlijk uit vier eiwitten. De binding tussen deze vier eiwitketens is de kwartenaire structuur.

In tabel 67H1 kun je zien welke aminozuren essentieel zijn, dit zijn aminozuren die mensen niet zelf kunnen maken maar via hun voeding binnen moeten krijgen. In die tabel staat ook welke aminozuren, zuur, basisch etc zijn.

Alle aminozuren behalve glycine hebben een asymmetrisch C-atoom, van elk aminozuur komt maar één van beide optische isomeren voor in de natuur.

Enzymen (bio-katalysatoren) zijn eiwitten. Enzymen werken specifiek. Ze kunnen maar één reactie katalyseren en maar één (stereo-isomeer van) een stof binden in hun actieve site en omzetten. De binding van het substraat en dus de katalytische werking van een enzym hangt af van z'n ruimtelijke

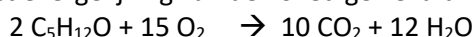
bouw. Enzymen hebben een pH-optimum en een temperatuuroptimum. Een enzym heeft vaak een co-enzym nodig.



Als je een eiwit verhit of de pH flink verandert gaat de structuur van het eiwit kapot. Het eiwit denatureert en kan z'n functie dan niet meer uitoefenen. Eiwitten zijn grote moleculen, toch heb je het bij eiwitmoleculen over [microniveau](#). Het microniveau is het niveau van moleculen. Als de eiwitmoleculen bv spiervezels vormen heb je het over [mesoniveau](#). Het mesoniveau is het niveau van groepen moleculen. Het macroniveau is het stof niveau; bijvoorbeeld als je zegt: het eiwit wordt wit als je een ei bakt.

### Verbranding

Bij een verbrandingsreactie reageert een brandstof met zuurstof. De reactieproducten zijn de oxiden van de elementen waaruit de brandstof is opgebouwd. Bij de verbranding van een koolwaterstof ontstaat het oxide van koolstof, koolstofdioxide (bij een volledige verbranding, bij onvolledige verbranding ontstaat het giftige koolstofmonoxide en roet, C), en het oxide van waterstof, water. De reactievergelijking van de volledige verbranding van pentaan-2-ol is:



Verbrandingen zijn exotherme reacties, bij deze reacties komt energie vrij.

Fossiele brandstoffen zijn in de loop van honderden miljoenen jaren ontstaan uit de resten van planten en dieren. De bekendste drie zijn steenkool (voornamelijk C) en de koolwaterstoffen aardolie en aardgas. Bij de verbranding van fossiele brandstoffen ontstaat CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> is als CH<sub>4</sub> een van de veroorzakers van het broeikas effect, de opwarming van de aarde. Een brandstof met een grote C/H verhouding levert relatief meer CO<sub>2</sub> bij de verbranding en versterkt het broeikas effect dus meer. C<sub>7</sub>H<sub>16</sub> levert naar verhouding bijvoorbeeld meer CO<sub>2</sub> op dan CH<sub>4</sub>.



net  
op

Om het broeikas effect tegen te gaan kun je alternatieve brandstoffen gebruiken. Een voorbeeld hiervan is bio-ethanol dat gemaakt wordt uit suikerriet. Bioethanol wordt gemaakt door de vergisting van suiker (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> → 2 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O + 2 CO<sub>2</sub>.) Bij de verbranding van bio-ethanol komt ook CO<sub>2</sub> vrij. Dit CO<sub>2</sub> is kort daarvoor door het suikerriet via fotosynthese opgenomen uit de lucht. Netto komt er (in theorie) dus geen CO<sub>2</sub> vrij bij het verbouwen van suikerriet en, na een aantal bewerkingen, het verbranden van bio-ethanol. Datzelfde geldt voor biodiesel, dat wordt via een omestering gemaakt uit een olie en methanol. [Biodiesel](#) bestaat uit methylesters van vetzuren.



In een kolenvergasser wordt steenkool eerst omgezet in synthesesgas: een mengsel van CO en H<sub>2</sub>. Dit is efficiënter dan een traditionele kolencentrale, zie binas 38B3.

Bij verbranding van fossiele brandstoffen kan ook smogvorming ontstaan door fijnstof, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, C en CO. SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> (NO en NO<sub>2</sub>) zorgen voor zure depositie. SO<sub>2</sub> ontstaat door zwavel dat in brandstoffen als diesel voorkomt. SO<sub>2</sub> kan omgezet worden in zwavelzuur. NO<sub>x</sub> ontstaat doordat bij de hoge temperatuur in een motor stikstof en zuurstof uit de lucht met elkaar kan reageren, NO<sub>x</sub> kan omgezet worden in salpeterzuur.

## Chemisch rekenen

Een belangrijke grootheid in de scheikunde is de chemische hoeveelheid, dit is een aantal deeltjes. De eenheid die hoort bij chemische hoeveelheid is de mol, net als de gram de eenheid is die bij de grootheid massa hoort. 1 mol is  $6,02 \times 10^{23}$  deeltjes. 1 mol zuurstofmoleculen bestaat dus uit evenveel moleculen als 1 mol dynamietmoleculen. Voor het rekenen aan reacties is het belangrijk dat je volume, massa en chemische hoeveelheid goed in elkaar om kunt rekenen.



De massa van een atoom wordt bepaald door het aantal protonen en het aantal neutronen, aangezien de massa van elektronen verwaarloosbaar klein is. In tabel 99 vind je de gemiddelde massa van de atomen, uitgedrukt in u. Die u is de atomaire massa-eenheid, dit is de massa van 1 proton of neutron. Een molecuul  $\text{CO}_2$  heeft een massa van  $12,01 + 16,00 + 16,00 = 44,01$  u. 1 u is heel klein, daarom is het makkelijker om te rekenen met 1 mol van een stof dat met 1 molecuul van die stof. De massa van 1 mol  $\text{CO}_2$  moleculen is 44,01 g, deze massa noemen we de molaire massa. De molaire massa's van veel gebruikte stoffen vind je in tabel 98. Als een stof niet in tabel 98 staat, moet je zelf de molaire massa uitrekenen mbv tabel 99, schrijf dan de berekening van de molaire massa ook op.

### ppm

Als concentraties heel laag zijn wordt vaak gerekend met massa-ppm (of volume-ppm). Dat is net zo iets als procent, alleen bij procent is het per honderd en bij ppm per miljoen. Ppm staat voor parts per million. Dit bereken je zo:  $(\text{deel/geheel}) \times 10^6$ .



### Omrekenen van gram naar mol en andersom

Aantal mol = aantal gram/molaire massa

### Omrekenen van het volume van een gas naar aantal mol



Een mol van een gas heeft bij een bepaalde temperatuur en druk hetzelfde volume, dit hangt niet af van de stof.

Bij  $T=273$  en  $p=p_0$  (standaarddruk) geldt  $V_m=22,4 \text{ dm}^3/\text{mol}$  (zie tabel 7), 1 mol gas neemt dus bij die omstandigheden een volume in van 22,4 liter.  $1 \text{ dm}^3=1$  liter. Deze condities noemen we de standaardomstandigheden.

Bij  $T=298 \text{ K}$  en  $p=p_0$  geldt:  $V_m=24,5 \text{ dm}^3/\text{mol}$ .

### Omrekenen van volume van een vloeistof of vaste stof naar massa en andersom

Ook hier kun je het makkelijkst rekenen met een verhoudingstabel. Nu gebruik je niet de molaire massa maar de [dichtheid](#) van een stof. De dichtheid is de massa van een stof per  $\text{cm}^3$  of  $\text{dm}^3$ . Je vindt dichtheden in tabel 8 t/m 12. Let erop dat je in de goede tabel kijkt. Bij het rekenen met dichtheid maak je makkelijk fouten met de eenheden. Let hier dus op. Als je even naar je antwoord kijkt valt het vaak wel op als je een factor 1000 verkeerd zit.



### Molariteit

De molariteit van een stof is de concentratie van die stof uitgedrukt in mol/liter, mol/liter wordt ook wel molair genoemd, afgekort M.

In een formule: molariteit is aantal mol stof/aantal liter. Het aantal liter is het volume van de oplossing.





Voorbeeld 1: 3,0 gram kaliumbromide wordt opgelost in 400 mL water. Bereken de molariteit van de oplossing die ontstaat.

Eerst moeten we het aantal mol KBr berekenen. Volgens tabel 98 is de molaire massa van KBr 119,0 gram/mol.

|          |       |        |
|----------|-------|--------|
| gram KBr | 119,0 | 3,0    |
| mol KBr  | 1     | 0,0252 |

Er is dus 0,0252 mol KBr in 400 mL=0,400 liter water. De molariteit is dus  $0,0252/0,400=0,063$  M.



KBr valt in water uiteen in  $K^+$  ionen en  $Br^-$  ionen. Als je 1 deeltje KBr in water op zou lossen krijg je 1  $K^+$  ion en 1  $Br^-$  ion. Als je 1 mol KBr in water oplost krijg je 1 mol  $K^+$  ionen en 1 mol  $Br^-$  ionen. In de oplossing van het voorbeeld is de concentratie van  $K^+$ , dit noteer je als  $[K^+]$  dus 0,063 M. En ook  $[Br^-] = 0,063$  M.

Voorbeeld 2: Sjakie lost 0,3 mol aluminiumchloride op in 600 mL water. Bereken de molariteit van de chloride-ionen.

De molariteit van aluminiumchloride is  $0,3 \text{ mol}/0,600 \text{ liter} = 0,5$  M. Elke mol aluminiumchloride levert 3 mol chloride-ionen (het is  $AlCl_3$ ), dus  $[Cl^-]=1,5$  M, met de juiste significantie 2 M.

Mol/liter is hetzelfde als mmol/mL, soms is het makkelijker om te rekenen met mmol.

### Grenswaarde

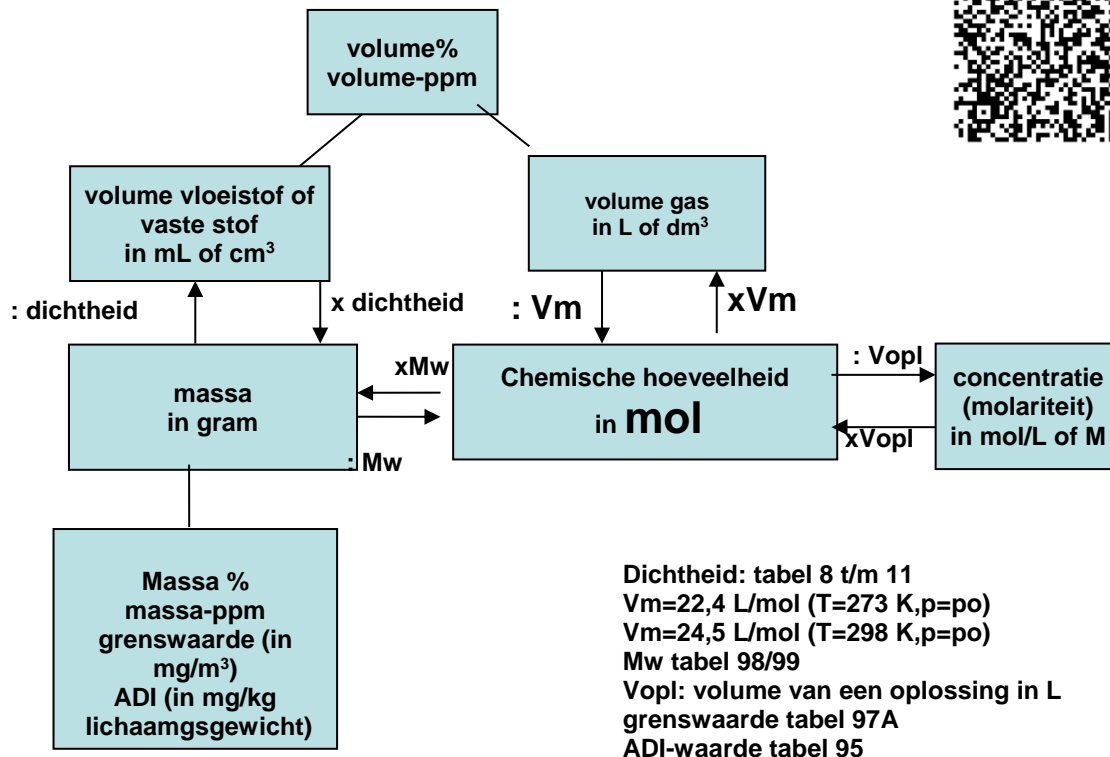
Dit is de maximaal aanvaardbare concentratie van een stof, deze staat in tabel 97A. De eenheid is mg per  $m^3$ . Als er van een stof een hogere concentratie is dan de grenswaarde, kan deze stof gevaar opleveren. Er bestaan grenswaarden voor 15 minuten en 8 uur, zie binas 97A. Hoe lager de grenswaarde is, hoe giftiger een stof is.

### ADI waarde

Voor sommige stoffen die in voedsel zitten kun je in tabel 95B de ADI waarde vinden. ADI staat voor Aanvaardbare Dagelijkse Inname. De eenheid is mg/kg, mg van de stof die je op eet en kg van degene die het opeet. Een kleine hoeveelheid kan voor een klein kind gevaarlijk zijn, maar voor een volwassene onder de ADI waarde zitten.

### Samenvatting omrekenstappen

Je kunt ook verhoudingstabellen gebruiken.



De dichtheid van vaste stoffen en vloeistoffen staat in binas in  $10^3 \text{ kg/m}^3$  dit is hetzelfde als  $\text{g/mL}$  of  $\text{g/cm}^3$ .

De dichtheid van gassen in binas ( in  $\text{kg/m}^3 = \text{g/L}$ ) geldt alleen bij  $0^\circ\text{C}$ . Bij gassen kun je betere rekenen met  $V_m$ .

$\text{dichtheid} = \text{massa} / \text{volume}$

$\text{aantal mol} = \text{aantal gram} / \text{molaire massa}$

$\text{aantal L} = \text{aantal mol} \times \text{molair volume}$  (1L=1 dm<sup>3</sup> en 1 mL=1 cm<sup>3</sup>)

$\text{molariteit} = \text{aantal mol} / \text{aantal L}$  eenheid mol/L=mmol/mL=M (M is de afkorting van molair)

Dichtheid gebruik je bij zuivere vloeistoffen, molariteit bij oplossingen.

ADI: aanvaardbare dagelijks inname van stoffen in eten in mg/kg lichaamsgewicht, tabel 95.

volume procent:  $\text{aantal mL stof} / \text{totaal aantal mL} \times 100 \%$

massa procent:  $\text{aantal gram stof} / \text{totaal aantal gram} \times 100 \%$

ppm: parts per million, wordt meestal gebruikt bij kleine gehalten (in plaats van %)

massa-ppm:  $\text{aantal gram stof} / \text{totaal aantal gram} \times 10^6$

volume-ppm:  $\text{aantal mL stof} / \text{totaal aantal mL} \times 10^6$

ppb parts per billion, dus massa-ppb is  $\text{aantal gram stof} / \text{totaal aantal gram} \times 10^9$  dit kun je ook uitdrukken in  $\mu\text{g/kg}$ .



## Rekenen aan reacties

Dit is het belangrijkste onderwerp, hiervoor kun je alle bovengenoemde omrekeningen nodig hebben. Hiervoor gebruik je het 7 stappen plan:

Stap 1: schrijf de reactievergelijking op

Stap 2: welke stof is gegeven en welke stof wordt gevraagd

Stap 3 schrijf de molverhouding op tussen de gegeven en de gevraagde stof, dit is de verhouding van de coëfficiënten in de reactievergelijking. Deze molverhouding heet de stoichiometrische verhouding.

Stap 4: reken de gegeven stof om in aantal mol

Stap 5: gebruik de molverhouding van stap 3 om het aantal mol van de gevraagde stof te berekenen.

Stap 6: reken het aantal mol van de gevraagde stof om in de gevraagde eenheid,

Stap 7: controleer je antwoord, klopt de grootte-orde, ben je de eenheid niet vergeten, klopt het aantal significante cijfers?



Hoeveel dm<sup>3</sup> lucht is nodig voor de volledige verbranding van 2,456 gram propeen?

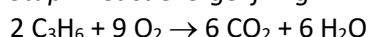
Lucht bevat 21 volume % zuurstof. T=298 K, p=p<sub>o</sub>.

### Aanpak

Dit is een voorbeeld van rekenen aan reacties, we gaan dus het 7 stappenschema gebruiken. Eerst berekenen we hoeveel dm<sup>3</sup> zuurstof nodig is, dat rekenen we later om naar dm<sup>3</sup> lucht. De molecuulformule van propeen is C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>.

### Uitwerking

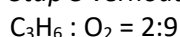
*Stap 1 reactievergelijking*



*Stap 2 wat is gegeven en wat is gevraagd?*

Propeen is gegeven en zuurstof wordt gevraagd. Als we de hoeveelheid zuurstof hebben berekend moeten we dit nog omrekenen naar de hoeveelheid lucht.

*Stap 3 verhouding in mol tussen gegeven en gevraagde stof*



*Stap 4 bereken het aantal mol van de gegeven stof.*

De molaire massa van C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> is 3x12,01+6 x 1,008= 42,08 gram/mol.

2,456 gram propeen komt overeen met 2,456:42,08=0,05837 mol propeen.

*Stap 5 bereken het aantal mol van de gevraagde stof.*

(9:2)x0,05838=0,2627 mol O<sub>2</sub>.

*Stap 6 gevraagde stof in gevraagde eenheid.*

Het molair volume van een gas bij T=298 K en p=p<sub>o</sub> is 24,5 dm<sup>3</sup>/mol.

0,2627 mol komt overeen met 0,2626 molx24,5 dm<sup>3</sup>/mol = 6,43 dm<sup>3</sup> O<sub>2</sub>.

Omdat lucht uit 21 % zuurstof bestaat (volumepercent) is er 6,43 x100/21 =31 dm<sup>3</sup> lucht nodig.

*Stap 7 controle*

Het antwoord was van tevoren moeilijk te schatten.

Omdat het percentage zuurstof in lucht in twee significante cijfers is gegeven, mag je het eindantwoord slechts in twee significante cijfers geven. We zijn de eenheid niet vergeten.

Oefen hier goed mee, zie de volgende filmpjes:



[Rekenen aan reacties](#) [voorbeelden](#) [meer voorbeelden](#) [voorbeelden met molariteit](#)

## Reagentia

Een reagens is een stof waarmee je een andere stof aan kunt tonen. Je ziet aan het reagens dat de andere stof aanwezig is doordat het reagens bijvoorbeeld van kleur verandert. De volgende reagentia moet je kennen:

| Stof                       | Reagens               | Waarneming              |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------|
| water                      | wit kopersulfaat      | wordt blauw             |
| koolstofdioxide            | kalkwater             | wordt troebel           |
| zwaveldioxide              | joodwater             | wordt kleurloos         |
| waterstof                  | vlam                  | “karakteristiek blafje” |
| zuurstof                   | gloeende houtspaander | Gaat fel gloeien        |
| onverzadigde koolwaterstof | broomwater            | wordt kleurloos         |
| jood                       | zetmeel               | wordt blauw             |

## Scheidingsmethoden

Met een scheidingsmethode kun je een mengsel scheiden in zuivere stoffen. Scheiden van stoffen is uiteraard iets anders dan een chemische reactie. De volgende scheidingsmethoden moet je kennen:

| methode        | toepasbaar bij             | berust op verschil in....   |
|----------------|----------------------------|---|
| filtreren      | suspensies                 | deeltjesgrootte   |
| centrifugeren  | suspensies en emulsies     | dichtheid   |
| extraheren     | mengsels van vaste stoffen | oplosbaarheid in het extractiemiddel (bv water)   |
| destilleren    | oplossingen                | kookpunt  |
| indampen       | oplossingen                | kookpunt  |
| adsorberen     | oplossingen                | aanhechtingsvermogen aan adsorptiemiddel (bv norit)   |
| chromatografie | mengsels van kleurstoffen  | aanhechtingsvermogen aan papier (bij gaschromatografie het materiaal in de kolom) en oplosbaarheid in de loopvloeistof. |

Begrippen die horen bij de scheidingsmethoden:

**Chromatogram:** het resultaat van chromatografie, waarop je de vlekken ziet.

**Destillaat:** de stof die bij destilleren het laagste kookpunt heeft en is gecondenseerd in de koeler.

**Emulsie:** fijn verdeelde vloeistof in een andere vloeistof (is troebel).

**Filtraat:** dit is wat door het filter heen gaat bij filtreren

**Oplossing:** gas, vaste stof of vloeistof opgelost in een oplosmiddel (is helder)

**Residu:** dit is wat in het filter achter blijft bij filtreren of extraheren en wat in de destillatiekolf achterblijft bij destilleren.

**Suspensie:** fijn verdeelde vaste stof in een vloeistof (is troebel).



## Reactiewarmte en vormingswarmte



De *vormingswarmte* van een verbinding is de hoeveelheid warmte die vrijkomt bij, of nodig is voor het vormen van één mol van de verbinding uit de elementen.

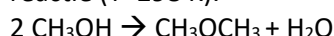
De *vormingswarmte van een element* (bijvoorbeeld zuurstof) is nul.

De *reactiewarmte* van een reactie bereken je met behulp van de reactievergelijking en de vormingswarmten van alle stoffen uit de reactievergelijking.

Gebruik tabel 57 van binas bij opgaven over vormingswarmten.

De verbrandingswarmte is hoeveel J er vrij komt bij de volledige verbranding van een ,ol van een stof. Zie binas tabel 56.

Voorbeeld: Bereken de reactiewarmte van de reactie waarbij methoxymethaan wordt gevormd uit methanol. Bereken de reactiewarmte in J/mol methoxymethaan. Er ontstaat ook water bij deze reactie (T=298 K).



| stof                                   | vormingswarmte<br>(J per mol) | aantal mol in<br>vergelijking | warmte per aantal mol<br>in reactievergelijking (J)  | aangepaste warmte per<br>aantal mol in<br>reactievergelijking (J)<br>+ of - teken bij beginstoffen<br>omdraaien |
|--|-------------------------------|-------------------------------|--|---|
| CH <sub>3</sub> OH                     | -2,39·10 <sup>5</sup>         | 2                             | 2 × -2,39·10 <sup>5</sup> =<br>-4,78·10 <sup>5</sup> | +4,78·10 <sup>5</sup>   |
| CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>       | -1,84·10 <sup>5</sup>         | 1                             | -1,84·10 <sup>5</sup>                                | -1,84·10 <sup>5</sup>   |
| H <sub>2</sub> O<br>(l)                | -2,86·10 <sup>5</sup>         | 1                             | -2,86·10 <sup>5</sup>                                | -2,86·10 <sup>5</sup>   |
| Reactiewarmte +0,080·10 <sup>5</sup> J |                               |                               |  |   |

De reactiewarmte is dus +0,080·10<sup>5</sup> J/mol methoxymethaan. Omdat de reactiewarmte een positief getal is, is deze reactie endotherm. Water staat als vloeistof en als waterdamp in tabel 57. In dit voorbeeld staat T=298 K, dan is water een vloeistof. Als er in een opgave staat dat er waterdamp is, H<sub>2</sub>O (g), dan gebruik je natuurlijk de vormingswarmte van waterdamp.

Met de formule  $Q=mc\Delta T$  kun je berekenen hoeveel energie nodig is om een bepaalde hoeveelheid stof een aantal graden warmer te maken. Hierbij is m de massa in kg en c de soortelijke warmte (in Jkg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>, zie binas 8-12).

Energie kun je uitdrukken in J en in kWh. 1 kWh=3,6x10<sup>6</sup>J.

## Redox

Een redoxreactie is een reactie waarbij een **reductor**(=een deeltje dat elektronen afstaat) elektronen overdraagt aan een **oxidator** (=deeltje dat elektronen opneemt).

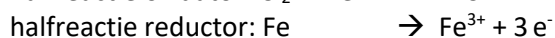
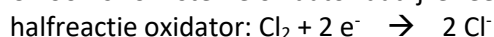
Bij het opstellen van een vergelijking van een redoxreactie maak je vaak gebruik van twee halfreacties, de halfreactie van de oxidator en de halfreactie van de reductor. In tabel 48 staan veel bekende oxidatoren en reductoren. De sterkste oxidator staat bovenaan en de sterkste reductor staat onderaan in de tabel. Bij een sterke oxidator (bijvoorbeeld F<sub>2</sub>) hoort een zwakke reductor (bijvoorbeeld F<sup>-</sup>). Een redoxreactie kan alleen plaats vinden als links van de pijl een sterkere oxidator en reductor staan dan rechts van de pijl, de oxidator moet in tabel 48 dus links boven de reductor staan.



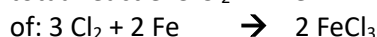
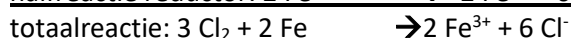
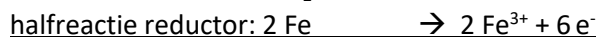
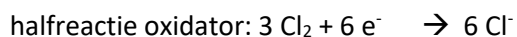
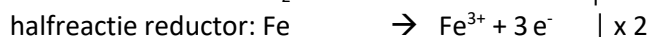
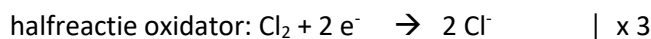
Metalen zijn reductoren, hoe onedeler een metaal is, hoe sterker dit metaal reageert als reductor.  
Voorbeeld: geef de vergelijking van de reactie tussen chloorgas en ijzer.



Chloor is zo'n sterke oxidator dat ijzer eerst  $\text{Fe}^{2+}$  wordt en vervolgens  $\text{Fe}^{3+}$ .



Je moet ervoor zorgen dat in de totaalreactie (de som van beide halfreacties) geen elektronen voorkomen. De reductor staat evenveel elektronen af als de oxidator opneemt.



[Een redoxreactie kun je herkennen](#) aan deeltjes die voor de pijl een andere lading hebben dan na de pijl. Let er op dat metalen (zoals ijzer) geen lading hebben. In een zout (metaal+niet-metaal) hebben metaalionen een positieve lading. Moleculaire stoffen (bv chloor,  $\text{Cl}_2$ , en broom,  $\text{Br}_2$ ) hebben geen lading, ionen van niet-metalen hebben bijna altijd een negatieve lading (bv chloride,  $\text{Cl}^-$  en bromide  $\text{Br}^-$ ).



Verbrandingen zijn redoxreacties, zuurstof is de oxidator en de brandstof de reductor.

### [Alcoholen als reductor](#)

Een primair alcohol (de C waar  $-\text{O}-\text{H}$  aan zit heeft maximaal 1 C-atoom als buur) kan reageren als reductor en dus met een oxidator worden omgezet in een aldehyde.



Een secundair alcohol (de C waar  $-\text{O}-\text{H}$  aan zit heeft 2 C-atomen als buuren) kan reageren als reductor en dus met een oxidator worden omgezet in een keton.

Een tertiair alcohol (de C waar  $-\text{O}-\text{H}$  aan zit heeft 3 C-atomen als buuren) kan niet reageren als reductor. (Dan zou er een C-atoom met vijf bindingen gevormd worden en dat kan niet.)

Een aldehyde kan nog een keer als reductor reageren en wordt dan omgezet in een carbonzuur.

### [Zelf opstellen van een halfreactie](#)

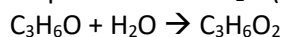
Dit zijn halfreacties die niet in binas staan, op toetsen en examens krijg je er dan meestal meer dan 1 punt voor.

Voorbeeld propenal wordt in oplossing omgezet in propaanzuur.

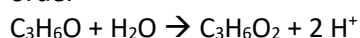
Stap 1 Noteer de formules van propenal en propaanzuur aan de juiste kant van de pijl:



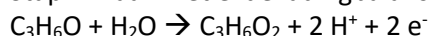
Stap 2 maak met  $\text{H}_2\text{O}$  (of als het er is  $\text{OH}^-$ ) de zuurstofbalans in orde.



Stap 3 maak met  $\text{H}^+$  (of in basisch milieu met  $\text{OH}^-$  of  $\text{H}_2\text{O}$ ) de waterstofbalans in orde.



Stap 4 maak met  $\text{e}^-$  de ladingbalans in orde



**Net als bij elke reactievergelijking moet de totale lading links van de pijl gelijk zijn aan de totale lading rechts van de pijl.**

In het examenprogramma staat dat je uit je hoofd moet weten dat geconcentreerd salpeterzuur als oxidator reageert waarbij  $\text{NO}_2$  ontstaat (zie tabel 48 voor de halfreactie). Als verdund salpeterzuur als oxidator reageert ontstaat  $\text{NO}$ .

Redoxreacties lenen zich uitstekend voor [sometjes over titraties](#).



Voorbeeld:

Durk gaat whisky maken. Door een foutje ontstaat er propaan-2-ol in plaats van ethanol. Durk gaat de concentratie propaan-2-ol in zelf gebrouwen whisky bepalen met behulp van een titratie met aangezuurd kaliumpermanganaat.

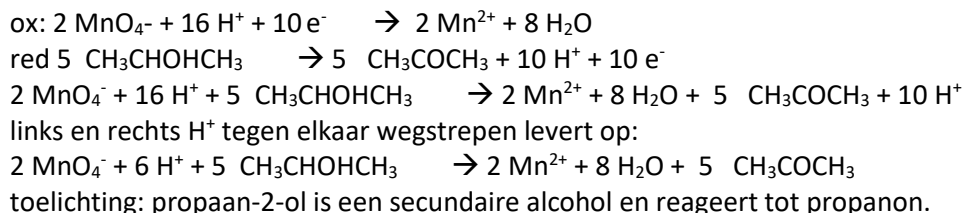
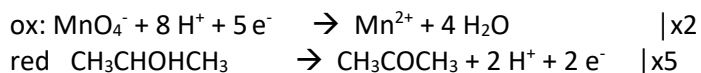


Hij pipetteert 10,00 mL van zijn whisky, doet dit in een maatkolf van 250,0 mL en vult met water aan tot 250,0 mL. Van deze verdunde whisky pipetteert hij 10,00 mL in een erlenmeyer. Hij voegt 5 mL geconcentreerd zwavelzuur. In de buret doet hij 0,1014 M kaliumpermanganaat. Hiervan blijkt 5,31 mL nodig te zijn.

Je kunt vragen verwachten over de titratie, de reactie en de klapper is natuurlijk: bereken het aantal gram propaan-2-ol per 1,00 liter van Durks whisky.

De kleuromslag is van kleurloos naar paars (de kleur van  $\text{MnO}_4^-$ ). Zodra er geen propaan-2-ol meer in de erlenmeyer is om het  $\text{MnO}_4^-$  om te zetten kleurt  $\text{MnO}_4^-$  de oplossing paars.

De zwavelzuur is een overmaat en de 5 mL hoeft je dus niet zo nauwkeurig af te passen.



Durk heeft 5,31 mL 0,1014 mmol/mL kaliumpermanganaat toegevoegd. Dit komt overeen met  $5,31 \times 0,1014 = 0,538$  mmol  $\text{MnO}_4^-$ . Dit heeft gereageerd met  $(5/2) \times 0,538 = 1,346$  mmol propaan-2-ol. Dit zat in 10,00 mL verdunde whisky.

De whisky is 25 x verdund. In 10,00 mL onverdunde whisky zit dus  $25 \times 1,346$  mmol = 33,65 mmol propaan-2-ol.

In 1,00 liter whisky zit dus  $100 \times 33,65$  mmol = 3365 mmol = 3,37 mol propaan-2-ol.

De molaire massa van propaan-2-ol is 60,09 g/mol. In 1,00 liter "whisky" zit dus  $3,37 \times 60,09 = 202$  gram propaan-2-ol.

### Elektrochemische cel



Bij een elektrochemische cel vindt een redoxreactie op afstand plaats. De reductor en de oxidator kunnen niet rechtstreeks met elkaar reageren. De elektronen verplaatsen zich via een draad. Een zoutbrug of membraan is nodig voor een gesloten stroomkring. Door het membraan of de zoutbrug bewegen ionen. De compartimenten van een



elektrochemische cel moeten ook de stroom geleiden. Hiervoor is vaak een elektrolyt nodig, een opgelost zout of zuur.

De elektrode waarbij de oxidator reageert is de positieve elektrode (want de oxidator neemt elektronen op van deze elektrode). De reductor reageert bij de negatieve elektrode. Door de stroomdraad gaan elektronen van de negatieve pool (de reductor) naar de positieve pool (de oxidator). Dit levert energie op. Een batterij is een voorbeeld van een elektrochemische cel. Je hebt alleen een elektrochemische cel als in tabel 48 de oxidator linksboven de reductor staat.

Sommige elektroden zoals koolstof en platina zijn een onaantastbare elektroden, deze doet niet mee aan de reactie. Aantastbare elektroden zoals Cu kunnen wel mee doen aan de reactie.

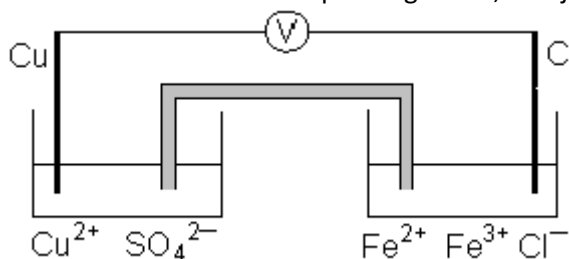
Als de concentraties van de betrokken stoffen 1,0 M zijn, gelden de standaardelektrodenpotentialen die in tabel 48 staan. Het aantal volt dat de elektrochemische cel levert, is dan het verschil tussen de elektrodepotentialen die horen bij de halfreacties. Dit aantal volt, de bronspanning, is afhankelijk van de temperatuur. [Hier staan meer voorbeelden](#) van elektrochemische cellen.



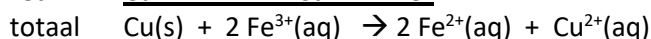
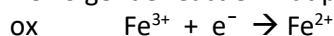
#### Voorbeeld

Sjake maakt een elektrochemische cel, opgebouwd uit de volgende halfcellen:

- een koperdraad in een oplossing met 1,0 M koper(II)sulfaat;
- een koolstofstaaf in een oplossing met 1,0 M ijzer(II)chloride en 1,0 M ijzer(III)chloride.



De volgende reactie vindt plaats:



De  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  halfcel neemt elektronen op, is oxidator en dus is de koolstofstaaf de positieve elektrode. De  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  halfcel staat elektronen af en dus is de koperdraad de negatieve elektrode. Koper(II)sulfaat en ijzer(II) en ijzer(III)chloride fungeren ook als elektrolyt.

Als de concentraties van de betrokken stoffen 1,0 mol per liter zijn (en  $T=298 \text{ K}$ ), zijn de potentialen van de halfcellen zijn de standaard elektrodepotentialen. De voltmeter geeft dan aan:  $V = |V_{\text{pos}} - V_{\text{neg}}| = 0,77 \text{ V} - (0,34 \text{ V}) = \mathbf{0,43 \text{ V}}$

Deze 0,43 V noemen we de bronspanning van deze elektrochemische cel.

Als in de zoutbrug kaliumnitraat zit. Gaan de  $\text{K}^+$  ionen naar de  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  halfcel en de  $\text{NO}_3^-$  ionen naar de  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  halfcel. Hierdoor blijft de totale lading in beide bekersglazen altijd nul.

Edele metalen hebben een grote standaardelektrodepotentiaal. Edele metalen zijn dus slechte reductoren en worden daardoor niet zo snel aangetast. Het aantasten van metalen heet corrosie, bij ijzer noemen we dat ook wel roesten. Op aluminium komt door corrosie een dun laagje aluminiumoxide. Dit vormt een beschermende laag omdat zuurstof niet door aluminiumoxide heen kan.

Een bekende elektrochemische cel is de loodaccu. Een accu is oplaadbaar. Dan gebruik je een andere spanningsbron die meer spanning levert dan de bronspanning. De reacties lopen dan de andere kant op. Bedenk goed hoe je de spanningsbron op de elektroden aansluit.

Een [brandstofcel](#) is een elektrochemische cel waarbij in de ene halfcel zuurstof als oxidator reageert en in de andere halfcel een brandstof als reductor reageert. Waterstof en methanol worden hierbij vaak als brandstof gebruikt.



## [Elektrolyse](#)

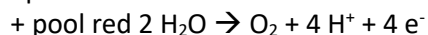
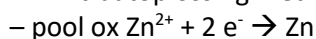
Elektrolyse is een gedwongen redoxreactie. Bij de positieve reageert de sterkste reductor (die staat  $e^-$  af aan de positieve elektrode). Bij de negatieve elektrode reageert de sterkste oxidator (die neemt het overschot aan  $e^-$  van de negatieve elektrode op). Omdat dit een gedwongen reactie is, hoeft de oxidator in tabel 48 niet boven de reductor te staan.



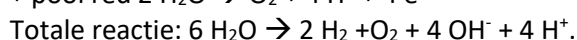
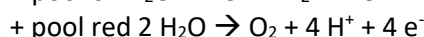
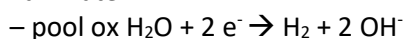
Platina en koolstof zijn niet-aantastbare elektroden en reageren dus nooit mee.

Elektrolyse is een manier om accu's weer op te laden. De reactie die dan plaats vindt is de omgekeerde reactie van de reactie die plaats vindt bij stroomlevering.

Geef de halfreacties aan de positieve en aan de negatieve elektrode Bij de elektrolyse van een zinknitraatoplossing met koolstofelektroden treden de volgende halfreacties op:



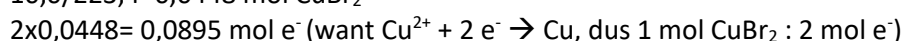
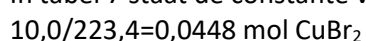
Als je een oplossing van kaliumsulfaat elektrolyseert met koolstofelektroden, krijg je de elektrolyse van water:



$4 \text{OH}^-$  reageert met  $4 \text{H}^+$  tot  $4 \text{H}_2\text{O}$ , die je weer wegstreept tegen  $4 \text{H}_2\text{O}$  voor de pijl. De reactie komt dus neer op:  $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$ .

Stel je elektrolyseert 10,0 gram opgelost koper(II)bromide, waarbij de gemiddelde stroomsterkte 300 mA is. ( $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ ). Bereken met behulp van tabel 7 na hoeveel minuten al het koper(II)bromide is omgezet.

In tabel 7 staat de constante van Faraday: 1 mol  $e^-$  heeft een lading van  $9,648 \times 10^4 \text{ C}$



$$9,648 \times 10^4 \text{ C/mol} \times 0,0895 \text{ mol} = 8,64 \times 10^3 \text{ C.}$$

$$8,64 \times 10^3 / 0,300 = 2,88 \times 10^4 \text{ s} = 480 \text{ minuten.}$$

## Zuren en basen

[Zuur](#): deeltje dat  $\text{H}^+$  af kan staan. Base: deeltje dat  $\text{H}^+$  op kan nemen.



### Zuren

Zure oplossingen bevatten  $\text{H}_3\text{O}^+$  (ook genoteerd als  $\text{H}^+$ ) ionen. Het  $\text{H}_3\text{O}^+$  ion heet het oxoniumion.

Sterke zuren: oa zoutzuur ( $\text{HCl}$ ), salpeterzuur ( $\text{HNO}_3$ ) en zwavelzuur ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) zie tabel 49.

Sterke zuren zijn in water volledig geïoniseerd. Dus als je een sterk zuur oplost in water krijg je de volgende reactievergelijkingen:



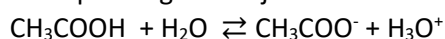
Salpeterzuur:  $\text{HNO}_3 (\text{l}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ (\text{aq}) + \text{NO}_3^- (\text{aq})$  je mag dit ook noteren als  $\text{H}^+ + \text{NO}_3^-$   
 $\text{HCl} (\text{g}) \rightarrow \text{H}^+ (\text{aq}) + \text{Cl}^- (\text{aq})$  De oplossing na de pijl noemen we zoutzuur.

Een oplossing van een zuur in water geleidt de stroom. Dit kun je op micro-niveau verklaren doordat de  $\text{H}^+$  ionen en de ionen van de geconjugeerde base vrij in de oplossing kunnen bewegen. De geconjugeerde base is het deeltje dat ontstaat als een zuur  $\text{H}^+$  heeft afgestaan.

**Zwakke zuren:** de meeste zuren, alle zuren onder  $\text{H}_3\text{O}^+$  in tabel 49.

Zwakke zuren zijn in water slechts gedeeltelijk geïoniseerd. Door een zwak zuur in water op te lossen staat een gedeelte van het zwakke zuur een  $\text{H}^+$  af aan water. Daarbij ontstaat  $\text{H}_3\text{O}^+$  wat de oplossing zuur maakt. Zwakke zuren reageren met water in een evenwichtsreactie.

Een oplossing van azijnzuur in water is zuur want:



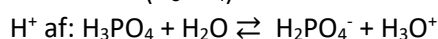
$\text{CH}_3\text{COO}^-$  is de geconjugeerde base van het zuur  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

Let op: een oplossing van een sterk zuur in water met pH 3 is even zuur als een oplossing van een zwak zuur in water met pH 3.

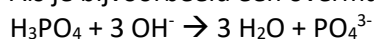
Koolzuur is een zwakzuur dat ontstaat als  $\text{CO}_2$  in water oplost.



Fosforzuur ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) is een driewaardig zwak zuur. Als je het in water oplost staat een deel van  $\text{H}_3\text{PO}_4$  1

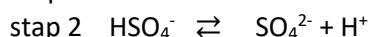
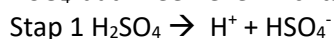


Als je bijvoorbeeld een overmaat natronloog toevoegt, staat het 3  $\text{H}^+$  af:

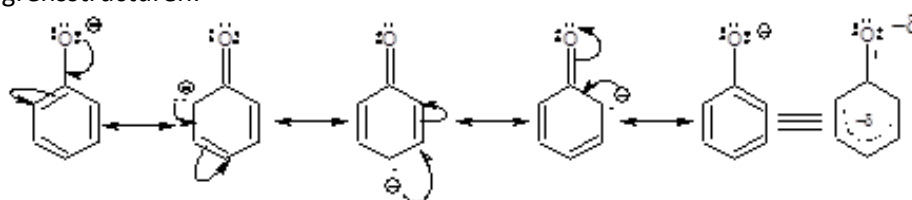


Sommige metaalionen, bijvoorbeeld  $\text{Fe}^{3+}$  kunnen als ze gehydrateerd zijn als zuur reageren, zie tabel 49.  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{FeOH}(\text{H}_2\text{O})_5^{2+}$

Zwavelzuur is een speciaal geval.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  staat als sterk zuur 1  $\text{H}^+$  af. Daarbij ontstaat het zwakke zuur  $\text{HSO}_4^-$  dat in een evenwichtsreactie nog een  $\text{H}^+$  af kan staan.



Phenol (benzenol),  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  is ook een zwak zuur (zie binas 49). Als een  $\text{H}^+$  van de  $-\text{OH}$ -groep wordt afgesplitst ontstaat de geconjugeerde base  $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$ , een negatief ion dat stabiel is door de vele grensstructuren:



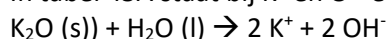
## Basen

Basische oplossing bevatten  $\text{OH}^-$  ionen.

Sterke basen: bv natronloog,  $\text{Na}^+ + \text{OH}^-$

Let op  $\text{Na}^+$  is altijd tribune-ion en komt niet in de reactievergelijking als natronloog reageert.

In tabel 45A staat bij  $\text{K}^+$  en  $\text{O}^{2-}$  een r, kaliumoxide lost dus niet op in water, maar reageert met water:



Omdat  $\text{K}_2\text{O}$  voor de pijl vast is komt kalium hier wel in de reactievergelijking.

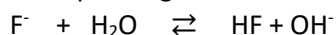
Deze reactie is een zuur-base reactie omdat  $\text{H}_2\text{O}$  een  $\text{H}^+$  afstaat aan  $\text{O}^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  reageert dus als zuur en  $\text{O}^{2-}$  als base.





Zwakke basen: als je die in water oplost, ontstaan er  $\text{OH}^-$  ionen in een evenwichtsreactie.

Een oplossing van natriumfluoride in water is basisch want:



Bekende basen zijn:  $\text{OH}^-$ ,  $\text{O}^{2-}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$  en  $\text{CO}_3^{2-}$ .

### Reacties tussen zuren en basen

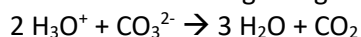
Hiervoor heb je altijd een zuur en een base nodig. Er is bij een zuur-base reactie protonen-overdracht ( $\text{H}^+$  overdracht) van het zuur naar de base.

[In tabel 49 kun je zien of een zuur-base reactie kan verlopen](#). Simpel gezegd kan een zuur-base reactie plaats vinden als het zuur in tabel 49 linksboven de base staat.

Correcter: een zuur-base reactie kan plaatsvinden als het geconjugeerde zuur en de geconjugeerde base die ontstaan zwakker zijn dan het zuur en de base waarmee begonnen is.

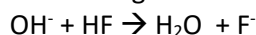
Een sterk zuur reageert met elke base. Een sterke base reageert met elk zuur.

Zoutzuur wordt toegevoegd aan een natriumcarbonaatoplossing.



(Het  $\text{H}_2\text{CO}_3$  dat ontstaat valt uit elkaar in  $\text{H}_2\text{O}$  en  $\text{CO}_2$ .)

Natronloog wordt toegevoegd aan een oplossing van waterstoffluoride.



HCN wordt toegevoegd aan een oplossing van natriummethanoaat:

Geen reactie, dan zou er een zuur ontstaan dat sterker is dan het zuur waarmee je begon. Hierboven heb je kunnen zien dat de omgekeerde reactie wel plaatsvindt.

Je gebruikt alleen evenwichtspijlen bij een reactie van een zwak zuur met water of een zwakke base met water.

Je herkent een zuur-base reactie aan  $\text{H}^+$  overdracht, een zuur staat  $\text{H}^+$  af aan een base.



### Rekenen aan zuren:

$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$   $\text{H}_3\text{O}^+$  mag je ook noteren als  $\text{H}^+$ .

Bij een sterk zuur is het makkelijk.

De pH van 0,10 M zoutzuur is  $-\log 0,10 = 1,00$ .

Bij pH-waarden is het aantal decimalen het aantal significante cijfers.



Bij een zwak zuur ga je [rekenen met de zuurconstante  \$K\_z\$](#)  (zie binas tabel 49).

Voorbeeld: [bereken de verhouding](#) tussen methaanzuur en methanoaationen bij  $\text{pH} = 4,40$ .



$$K_z = \frac{[\text{HCOO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HCOOH}]} = 1,8 \cdot 10^{-4}$$

$\text{pH} = 4,40$  dus  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-4,40} = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ M}$  dit vul je in in bovenstaande vergelijking.

$$\frac{[\text{HCOO}^-] \times 4,0 \cdot 10^{-5}}{[\text{HCOOH}]} = 1,8 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Dus: } \frac{[\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]} = 4,5.$$

Soms is de vraag hoeveel procent van  $\text{HCOOH}$  heeft een  $\text{H}^+$  afgestaan, dat is dan hier  $4,5/5,5 \times 100\% = 82\%$ . Want er is 4,5 mol  $\text{HCOO}^-$  en 1,0 mol  $\text{HCOOH}$ , dus 5,5 mol in totaal en  $\text{HCOO}^-$  is  $\text{HCOOH}$  dat een  $\text{H}^+$  heeft afgestaan.



### Rekenen aan basen

$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$  Bij 298 K geldt:  $\text{pH} + \text{pOH} = 14,00$ .

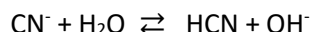
Dit komt omdat  $K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1,0 \times 10^{-14}$  bij  $T = 298 \text{ K}$ . Zie tabel 50 voor andere temperaturen. De  $\text{pK}_w$  is de som van de pH en de pOH bij een bepaalde temperatuur.

De pH van 0,10 M natronloog is 13,00. Want  $pOH = -\log 0,10 = 1,00$ .  
 De pH van 0,10 M barietwater is 13,30. Want  $pOH = -\log 0,20 = 0,70$ .  
 Barietwater is  $Ba^{2+} + 2 OH^-$ . Dus 0,10 M barietwater bevat 0,20 M  $OH^-$ .

Bij rekenen aan zwakke basen [reken je met de baseconstante](#).

Voorbeeld: bereken de pH van een 0,10 M natriumcyanide (NaCN) oplossing (T=298 K)

$CN^-$  is een zwakke base



$$K_b = \frac{[HCN][OH^-]}{[CN^-]} = 1,6 \cdot 10^{-5}$$

Stel  $[OH^-] = x$  dan geldt  $[HCN] = x$  en  $[CN^-] = 0,10 - x$ .

$$\text{Dus } x^2 / (0,10 - x) = 1,6 \cdot 10^{-5}$$

$$x^2 = 1,6 \cdot 10^{-5} (0,10 - x)$$

$$x^2 = 1,6 \cdot 10^{-6} - 1,6 \cdot 10^{-5} x$$

$$x^2 + 1,6 \cdot 10^{-5} x - 1,6 \cdot 10^{-6} = 0$$

vul de abc-formule in met:  $a=1$ ,  $b = 1,6 \cdot 10^{-5}$  en  $c = -1,6 \cdot 10^{-6}$

$$\Rightarrow x = 1,26 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Dus } [OH^-] = 1,26 \cdot 10^{-3}$$

$$pOH = -\log 1,26 \cdot 10^{-3} = 2,90$$

$$H = 14,00 - 2,90 = 11,10.$$

[Hier staan meer voorbeelden](#) van rekenen met zwakke basen.



## Indicatoren

Zie tabel 52A. Hiermee kun je bijvoorbeeld kijken of een oplossing zuur of basisch is. Deze indicatoren kun je ook gebruiken bij zuur-base titraties.

## Amfolyten

Amfolyten zijn deeltjes die zowel als zuur, als als base kunnen reageren.

Voorbeelden:  $HC_2O_4^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $HPO_4^{2-}$  en  $H_2PO_4^-$

Een oplossing van een amfolyt in water is zuur als  $K_z > K_b$ , bijvoorbeeld  $HC_2O_4^-$

Een oplossing van een amfolyt in water is basisch als  $K_b > K_z$ , bijvoorbeeld  $HPO_4^{2-}$

Voeg je een zuur toe aan een amfolyt, dan reageert het amfolyt als base. Een amfolyt reageert als zuur als je een base toevoegt.

Aminozuren zijn amfolyten omdat  $NH_2$  een basische groep is en  $COOH$  een zure groep is.

Bij lage pH heeft een aminozuur een positieve lading omdat de  $NH_2$  groep dan is omgezet in een  $NH_3^+$  groep.

Bij hoge pH heeft een aminozuur een negatieve lading omdat de  $COOH$ -groep dan is omgezet in een  $COO^-$  groep.

In eiwitten geldt dit ook voor de  $NH_2$  en  $COOH$  groepen in de zijtakken van de aminozuren.

Aminozuren komen ook voor als dubbelionen (zwitterionen), dan heeft het aminozuur een  $NH_3^+$  groep en een  $COO^-$  groep.

## Buffers

Een buffer is een mengsel dat een zwak zuur en de geconjugeerde base van dit zwakke zuur bevat, allebei in redelijke hoeveelheden. De verhouding [zwak zuur]: [geconjugeerde base] ligt tussen 1:10 en 10:1. De pH van een buffer verandert vrijwel niet bij toevoegen van een zuur of base of bij verdunnen.

Met een zwak zuur en zijn geconjugeerde base kun je een buffer maken van een pH tussen  $pK_z - 1$  en  $pK_z + 1$ . Als de concentratie van het zwakke zuur gelijk is aan de concentratie van de geconjugeerde base geldt:  $pH = pK_z$ .

Bekende buffers zijn de buffers in bloed, speeksel en in oceanen.

## Analysetechnieken

### Chromatografie

Bij papierchromatografie/ dunnelaag chromatografie heb je een stationaire fase (het papier) en een mobiele fase (de loopvloeistof). Als bv de stationaire fase polairder is dan de mobiele fase zullen polaire stoffen minder hoog op het chromatogram komen als apolaire stoffen, omdat apolaire stoffen beter oplossen in de loopvloeistof en polaire stoffen beter binden aan het papier. In dit geval heeft een polairdere stof een kleinere  $R_f$ -waarde en een grotere  $K_v$ -waarde.

$R_f$  waarde = afstand die een vlek heeft afgelegd / afstand die de loopvloeistof heeft afgelegd.

$K_v$  = "concentratie" van een stof in de stationaire fase / concentratie van de stof in de mobiele fase.

### Gaschromatografie



Zoals de naam al zegt moet je het mengsel eerst verwarmen zodat alle stoffen van het mengsel een gas zijn geworden. De mobiele fase is hier een dragergas (meestal een inert gas als stikstof, een inert gas bindt niet aan de stoffen die je wilt onderzoeken). De stationaire fase is een kolom, bijvoorbeeld een kolom die hydrofobe stoffen bindt. De retentietijd is de tijd die een stof nodig heeft om door de kolom te gaan. Butaan zal langer doen over een tochtje langs een hydrofobe kolom dan methanol. Dat komt omdat butaan een hydrofobe stof is en dus goed bindt aan een hydrofobe stof.

De oppervlakte onder een piek in het chromatogram is een maat voor de hoeveelheid van een stof in een mengsel. Gaschromatografie is dus ook een kwantitatieve methode, je kunt er ook hoeveelheden mee meten.

### Massaspectrometrie

Dit wordt gebruikt om stoffen aan te tonen, niet om hoeveelheden van stoffen aan te tonen.

Moleculen worden beschoten met elektronen, hierbij komen extra elektronen vrij en ontstaan positieve ionen. Die positieve ionen kunnen uit elkaar vallen in oa positief geladen fragmenten. Van deze fragmenten wordt de massa gedetecteerd mbv een massaspectrometer. Je meet eigenlijk: de  $m/z$  waarde, de massa gedeeld door de lading we gaan er vanuit dat de lading  $1+$  is, tenzij in de opgave wat anders staat. Met  $z=1+$  is de  $m/z$  waarde hetzelfde als de massa van het brokstuk (in u). Omdat elk deeltje apart gedetecteerd wordt, is de  $m/z$  waarde altijd een heel getal. De grootste  $m/z$  -waarde hoort altijd bij de massa van het hele molecuul.

Van de meeste elementen komt een van de isotopen verreweg het meeste voor. Uitzonderingen hierop zijn chloor (ca 75 %  $Cl-35$  en 25 %  $Cl-37$ ) en broom (ca 50 %  $Br-79$  en ca 50 %  $Br-81$ ). Een piek van een fragment uit met een chlooratoom erin bestaat dus uit 2 pieken, met een  $m/z$  verschil van 2, waarbij de piek met de kleinste  $m/z$  een drie keer zo hoge piek heeft als de piek met de grootste  $m/z$ . De hoogte van de piek, de intensiteit, zegt iets over de hoeveelheid van een stof/fragment van een stof. Tabel 39D van binas is hier handig.



## Groene chemie



De volgende dingen kun je berekenen in de [groene chemie](#), zie binas 37H:  
[Atomeconomie](#) = massa gewenste product / massa beginstoffen x 100 %.



[Rendement](#) = werkelijke opbrengst / theoretische opbrengst x 100 %

[E-factor](#) = 
$$\frac{\text{massa beginstoffen} - \text{massa werkelijke opbrengst van het product}}{\text{massa werkelijke opbrengst van het product}}$$

De E-factor is dus geen percentage, de atomeconomie en het rendement wel. Bij de E-factor heb je het rendement nodig om de werkelijke opbrengst te berekenen.

Bij de atomeconomie kijk je puur in theorie, je gebruikt de reactievergelijking en houdt geen rekening met het rendement van de reactie. Anders gezegd: je gaat uit van een rendement van 100%.

Cradle to cradle is een manier om producten te ontwerpen, het betekent letterlijk “van wieg tot wieg”. Bij het ontwerpen wordt er al rekening mee gehouden hoe de verschillende onderdelen in de toekomst hergebruikt kunnen worden.



De uitgangspunten in de groene chemie vind je in tabel 97F. Uitgangspunt 7 is bijvoorbeeld dat grondstoffen zo veel mogelijk hernieuwbaar moeten zijn.

Daarom hebben plastics die gemaakt zijn met glucose als grondstof de voorkeur boven plastics die gemaakt zijn met aardolie als grondstof. Planten kunnen via fotosynthese steeds opnieuw glucose maken.

### Industrie



In een [blokschema](#) wordt een industrieel proces schematisch weergegeven. Zie binas 38B. Via een warmtewisselaar kun je energie die vrijkomt bij een exotherm proces ergens anders in het proces gebruiken. Stoffen worden zoveel mogelijk gerecirculeerd. Let er op dat van alle beginstoffen een ingaande pijl het systeem in moet gaan en van alle reactieproducten een uitgaande pijl.

Continu proces: het product wordt voortdurend gemaakt, er is constante aanvoer van beginstoffen en afvoer van reactieproducten en afval. Dit is vooral handig als je van een stof grote hoeveelheden moet produceren (bulkchemie).

Batch proces: er wordt steeds een portie van een stof gemaakt en daarna worden alle vaten etc weer schoongemaakt.

## Werkplanvragen in VWO examens

Er bestaan verschillende soorten werkplan vragen.

1. Een onderzoek beschrijven om het effect van een factor ergens op te onderzoeken.

Voorbeeld: Leg uit hoe je kunt onderzoeken bij welke golflengte van licht de substitutiereactie tussen pentaan en chloorwater sneller gaat: 500 nm of 600 nm.

- doe twee proeven, doe in twee reageerbuizen evenveel pentaan.
- zet de ene reageerbuis voor een lichtbron met een golflengte van 500 nm.
- zet de andere reageerbuis voor een even sterke lichtbron met een golflengte van 600 nm.
- voeg aan beide reageerbuizen evenveel chloorwater toe van dezelfde molariteit.
- meet bij beide buizen hoeveel chloor over is na bv 5 minuten.

2. Vragen over het gebruik van een analysetechniek

Voorbeeld: Beschrijf een experiment waarmee je met behulp van gaschromatografie na kunt gaan hoeveel propaanzuur er wordt gevormd als je een fles wijn twee weken zonder kurk erop bewaart.

- maak drie chromatogrammen:
  - \* 1 van wijn uit een ongeopende fles,
  - \* 2 van wijn uit een fles van dezelfde wijn die twee weken zonder kurk erop is bewaard
  - \* 3 hetzelfde als 2 maar nu voeg je een bekende hoeveelheid propaanzuur toe.
- kijk bij welke retentietijd de piek ligt die van grootte (oppervlakte onder de piek) verandert

tussen proef 2 en proef 3.

- bepaal het oppervlak onder de piek bij deze retentietijd in alle drie de chromatogrammen
- bereken nu hoeveel piekoppervlak overeenkomt met een 1 mg propaanzuur en bereken nu hoeveel propaanzuur er bij is gekomen is in chromatogram 2 ten opzichte van chromatogram 1.

3. Vragen hoe je een stof uit een mengsel kunt halen.

Dingen die hierbij vaak terugkomen:

Slecht oplosbare zouten waarvan het negatieve ion een base is (bv: calciumfosfaat, calciumoxide, magnesiumhydroxide, calciumsulfaat, calciumsulfide en calciumcarbonaat) kun je in oplossing brengen door een overmaat van een sterk zuur toe te voegen.

Je moet vaak filtreren.

Primaire alcoholen, secundaire alcoholen en aldehyden kunnen reageren als reductor met een sterke oxidator.

Een mengsel van metalen kun je scheiden door een oxidator toe te voegen die sterk genoeg is om met een van beide metalen (die dan reductor zijn) te reageren.

Evenwichten kun je aflopend maken door een stof uit het evenwichtsmengsel aflopen te laten reageren met een andere stof (bv de hydrolyse van een vet is een evenwichtsreactie maar wordt een aflopende reactie als je natronloog toevoegt omdat de vetzuren dan aflopend reageren met  $\text{OH}^-$ ).

4. Vragen die op leesvaardigheid, creativiteit of het toevallig inzien berusten. Hier kun je niet echt op trainen.

## Oefenopgaven stoffen en materialen

De opgaven van de (her)examens van 2018 en 2019 staan er niet bij, zodat je die als hele examens kunt oefenen. [Filmpje](#) hierover voor vlak voor het examen hoe vragen hierover op het examen gesteld worden.



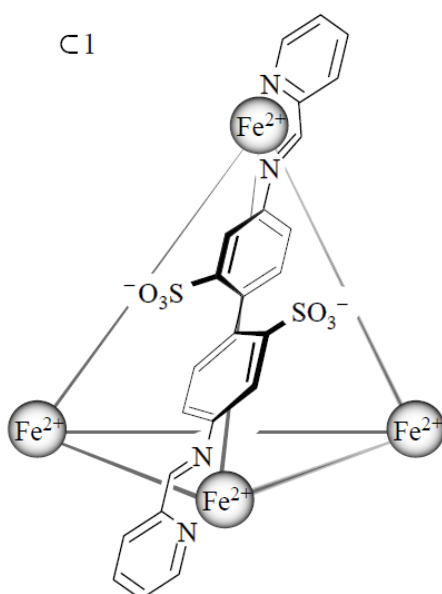
### [Videosamenvatting](#)



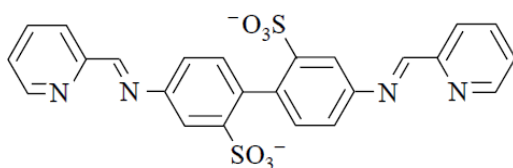
#### 2011-I(pilot)

Britse en Finse geleerden hebben een nieuwe procedure ontwikkeld voor het transport van (kwetsbare of moeilijk oplosbare) stoffen. Deze methode zou kunnen worden toegepast om geneesmiddelen zo door het lichaam te transporteren dat ze 'ongeschonden' op de plaats van bestemming aankomen. Het principe van deze methode is dat moleculen van de geneesmiddelen worden opgesloten in een oplosbare kooistructuur. Onderzocht is of het mogelijk is om cyclohexaan ( $C_6H_{12}$ ) in onderstaand complex ion, aangeduid met C 1, op te sluiten en zo in water oplosbaar te maken.

Figuur 1: Het complexe ion C 1



Dit complex ion heeft een tetraëdervormige structuur, waarin elke ribbe wordt ingenomen door een groot ion. In de tekening is slechts één ribbe-ion weergegeven. Elk ribbe-ion bindt aan weerszijden met een  $Fe^{2+}$  ion. Om de tetraëder te kunnen vormen is het noodzakelijk dat in de ribbe-ionen de stikstofatomen op één lijn liggen, zoals in onderstaande structuurformule te zien is.



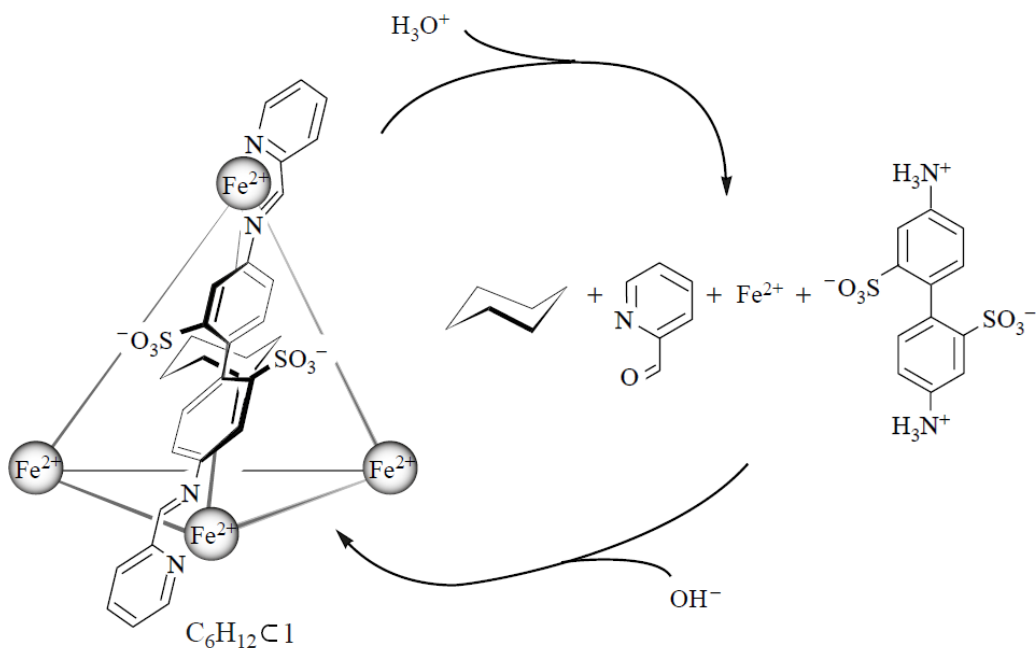
Elk ribbe-ion is in de tetraëder zo georiënteerd dat de beide sulfonaatgroepen ( $\text{SO}_3^-$ ) uit de tetraëder naar buiten steken. De beide benzeenringen zijn hierdoor naar binnen gericht. Het zo gevormde  $\text{C}_1$  is oplosbaar in water. Dat komt omdat deeltjes  $\text{C}_1$  kunnen worden gehydrateerd.

- 2p **6** Leg uit waarom deeltjes  $\text{C}_1$  kunnen worden gehydrateerd.

Een deeltje  $\text{C}_1$  kan één molecuul cyclohexaan opnemen. Het daarbij gevormde product wordt aangeduid met  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{C}_1$ . De cyclohexaanmoleculen zijn nu als het ware opgesloten in een kooi. Cyclohexaan lost niet in water op, maar  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{C}_1$  wel. Door cyclohexaan om te zetten tot  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{C}_1$ , is het dus mogelijk om cyclohexaanmoleculen door water te transporteren. Daarbij kunnen de cyclohexaanmoleculen niet uit de kooi ontsnappen.

- 3p **7** Geef een verklaring voor het feit dat in een oplossing met  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{C}_1$  de cyclohexaanmoleculen niet uit de kooi kunnen ontsnappen. Gebruik in je verklaring onder andere namen van bindingen.

Cyclohexaan blijkt onder specifieke omstandigheden wel vrij te kunnen komen uit  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{C}_1$ . Een manier is door een zuur aan de oplossing met  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{C}_1$  toe te voegen. Door vervolgens de oplossing weer neutraal of basisch te maken, ontstaat weer  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{C}_1$ . Dit omkeerbare proces is hieronder schematisch weergegeven.



- 3p **8** Leid af in welke molverhouding  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{C}_1$  en  $\text{H}_3\text{O}^+$  in deze reactie met elkaar reageren.

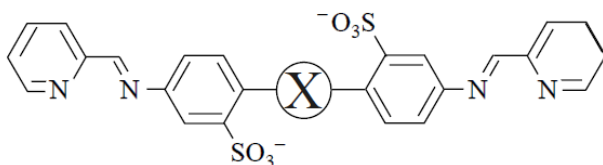


In hun publicatie hebben de onderzoekers de bereiding van  $C_6H_{12}Cl$  als volgt beschreven:

- voeg 107 mg  $Cl$  (0,032 mmol) samen met 3,0 mL water en een overmaat cyclohexaan;
- roer en verhit het mengsel en verwijder na afloop van de reactie de ontledingsproducten en de overmaat water en cyclohexaan.

Na deze stappen bleek er 101 mg  $C_6H_{12}Cl$  te zijn gevormd.

- 3p **9** Bereken het rendement van deze omzetting.  
Omdat de omgeving van een tumor vaak wat zuurder is dan elders, zou een dergelijke kooistructuur heel geschikt kunnen zijn om een geneesmiddelmolecuul bij een tumor te brengen. Een probleem is echter dat de meeste moleculen van geneesmiddelen groter zijn dan een molecuul cyclohexaan. Er moet dus een nieuw complex worden ontworpen waarin grotere moleculen passen. Dit complex wordt aangeduid met  $C2$ ; een molecuul geneesmiddel opgesloten in  $C2$  wordt aangeduid met geneesmiddel $C2$ . Als  $C2$  eenmaal is gemaakt, moet worden gecontroleerd of het daadwerkelijk het geneesmiddelmolecuul vasthoudt in basisch/neutraal milieu en loslaat in zuur milieu. Hiervoor dient eerst een zogenoemde *in vitro* test te worden uitgevoerd - dit is een test zonder proefdieren of proefpersonen.
- 2p **10** Beschrijf globaal hoe zo'n test moet worden uitgevoerd. Ga er vanuit dat geneesmiddel $C2$  in vaste vorm aanwezig is.  
Een groter complex kan worden verkregen door grotere ribbe-ionen met een lineaire structuur te gebruiken. Zo'n groter ribbe-ion zou kunnen worden gemaakt door tussen de benzeenringen van het oorspronkelijke ribbe-ion een groep  $X$  aan te brengen. Zie onderstaande structuurformule:



- 4p **11** Geef van elk van onderstaande groepen de ruimtelijke structuur en leg aan de hand daarvan uit of die groep in aanmerking komt om als groep  $X$  te gebruiken:
- $X = -(CH_2)_2 -$
  - $X = -(CH)_2 -$
  - $X = -C_2 -$



[uitlegfilmpje](#)

## 2014-II

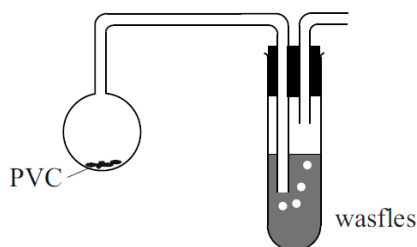
PVC wordt in de chemische industrie op grote schaal gemaakt door polymerisatie van chlooretheen. PVC wordt vervolgens in korrelvorm geleverd aan fabrieken waar men van PVC bijvoorbeeld kozijnen, deuren, waterleidingen en kabels maakt. Hierbij wordt gebruikgemaakt van het feit dat PVC een thermoplast is.

- 2p    1    Leg uit met behulp van begrippen op microniveau (deeltjesniveau) dat PVC een thermoplast is.

Voorafgaand aan de verwerking tot kozijn voegt men aan de PVC-korrels allerlei stoffen toe, zoals kleurstoffen en stabilisatoren. Als PVC wordt verwarmd zonder een stabilisator, ontleedt het bij verwarmen waarbij waterstofchloride ontstaat. Bij deze ontleding ontstaan in moleculen PVC zogenoemde geconjugeerde bindingen. Daarbij zijn om en om C–C en C=C bindingen aanwezig. De H atomen rondom de C=C bindingen nemen hierbij de *trans*-configuratie aan.

Om deze ontleding te onderzoeken, verwarmt een groepje leerlingen een monster van 1,0 g PVC-korrels. Om te bewijzen dat het gas waterstofchloride is, voeren de leerlingen de proef uit in een opstelling zoals in figuur 1 schematisch is weergegeven. In de wasfles is uitsluitend water aanwezig.

figuur 1



Om aan te tonen dat bij het verwarmen van PVC waterstofchloride is ontstaan, voeren de leerlingen na de proef twee afzonderlijke experimenten uit met monsters van de inhoud van de wasfles.

- 4p    3    Leg uit welke chemicaliën de leerlingen bij deze twee experimenten kunnen gebruiken en geef aan welke waarnemingen ze zullen doen, indien waterstofchloride aanwezig is in het monster.



[Uitlegfilmpje](#)

In het vakblad 'Science' is een artikel verschenen over een onderzoek naar het gebruik van een alternatief elektrodemateriaal. De in het onderzoek gebruikte elektrodes bevatten aan het oppervlak een dunne laag van het materiaal indiumtinoxide ITO. ITO bestaat voor 90% uit indiumoxide en 10% tin(IV)oxide. Afgaand op de soort stoffen waaruit ITO bestaat, is het niet vanzelfsprekend dat deze vaste stof de elektrische stroom geleidt.

- 2p 8 Leg uit op microniveau (deeltjesniveau) dat het niet te verwachten is dat ITO elektrische stroom geleidt.
- 2p 22 Leg uit waarom water beter oplost in ethaanzuur dan methylethanoaat.

## 2016-I

- 2p 18 Leg uit bij welke van de in tabel 1 genoemde siliciumverbindingen dipool-dipoolbindingen tussen de moleculen aanwezig zijn in de zuivere stof.
- 2p 19 Leg uit welke soort binding(en) tussen de moleculen van de siliciumverbindingen de grootste bijdrage levert (leveren) aan de hoogte van het kookpunt.

**tabel 1**

| Atoomsoorten in MGS | Kookpunt (K) | Reactieproduct na reactie met HCl | Kookpunt (K) |
|---------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|
| Si                  | 3538         | SiH <sub>3</sub> Cl               | 243          |
|                     |              | SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>  | 281          |
|                     |              | SiHCl <sub>3</sub>                | 306          |
|                     |              | SiCl <sub>4</sub>                 | 331          |
| Al                  | 2792         | AlCl <sub>3</sub>                 | 466          |
| Fe                  | 3134         | FeCl <sub>2</sub>                 | 1296         |
|                     |              | FeCl <sub>3</sub>                 | 589          |

Het silicium (EGS) dat volgens dit proces ontstaan is, is nog niet bruikbaar als materiaal voor computerchips. De kristalstructuur bevat nog te veel onregelmatigheden.

Een van de meest schadelijke verontreinigingen in silicium voor chips is het element boor. De aanwezigheid van deeltjes boor heeft invloed op de roosteropbouw en de geleidbaarheid van het silicium.

- 2p 21 Geef twee aspecten waarom de aanwezigheid van boor gevolgen heeft voor de roosteropbouw van het silicium.





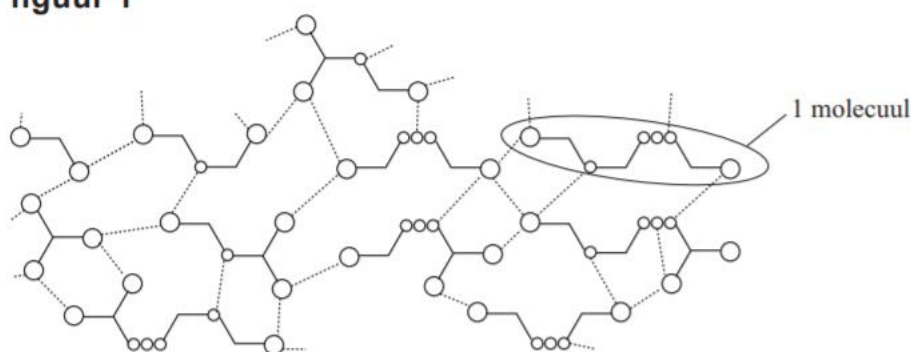
[Uitlegfilmpje](#)

2016-II

Een groep onderzoekers heeft een elastisch materiaal ontwikkeld met zelfherstellende eigenschappen. Als een elastiekje van dit materiaal wordt doorgesneden, hechten de twee delen bij samendrukken weer aan elkaar. Na afloop is het elastiekje weer net zo sterk en elastisch.

Het materiaal bestaat uit allerlei verschillende moleculen, die elk zijn opgebouwd uit een aantal dezelfde basiseenheden. In figuur 1 is de microstructuur van dit materiaal schematisch weergegeven.

**figuur 1**



De stippellijnen geven waterstofbruggen weer tussen de verschillende moleculen. Door de vele waterstofbruggen vormen de moleculen een stevige netwerkstructuur, waardoor het materiaal elastische eigenschappen krijgt.

Als een stukje van dit materiaal wordt doorgesneden, worden de waterstofbruggen tussen de moleculen aan weerszijden van de snede verbroken. Door de beide zijden tegen elkaar te drukken, komen de waterstofbrugvormende groepen weer met elkaar in contact en worden weer waterstofbruggen gevormd. De mate waarin het materiaal eenvoudig hersteld kan worden, hangt onder andere sterk af van de temperatuur. Bij 23 °C kan nog volledig herstel worden verkregen tot een week na de breuk, bij 40 °C tot 48 uur en bij 90 °C tot 15 minuten.

- 2p 13 Geef een verklaring op microniveau waarom de tijd waarin het rubber nog hersteld kan worden, afneemt bij hogere temperatuur.

De toepassing van dit materiaal is beperkt tot droge omstandigheden. Als het materiaal onder vochtige omstandigheden beschadigd raakt, is het niet meer mogelijk een breuk te herstellen.

- 2p 14 Leg uit op microniveau waarom het zelfherstellend vermogen verdwijnt bij vochtige omstandigheden.



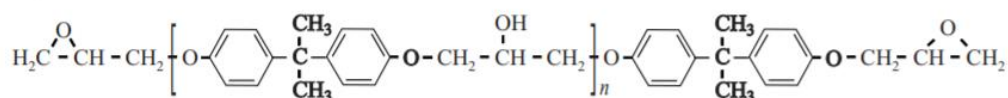
[Uitlegfilmpje](#)

Een epoxidegroep is op te vatten als een cyclische ethergroep. Van alle ethers blijken de stoffen met een epoxidegroep in de moleculen veel reactiever te zijn dan de 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.

- 2p 16 Leg uit dat de bindingshoeken in de ring van een epoxidegroep afwijken van wat de VSEPR-theorie voorspelt.

Omdat de amine-moleculen meerdere reactieve plaatsen hebben, vormen deze crosslinks tussen de moleculen van het di-epoxide.

De structuur van het meest gebruikte di-epoxide voor carbon is hieronder weergegeven. De waarde van  $n$  in dit monomeer kan liggen tussen 0 tot 25.



De waarde van  $n$  heeft onder meer invloed op de vervormbaarheid van de gevormde epoxyhars.

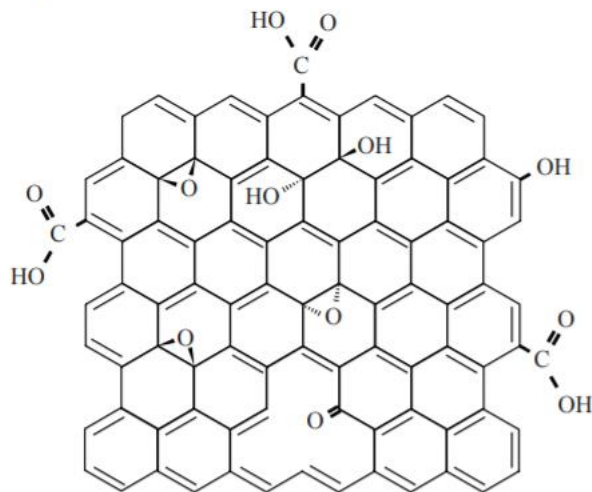
- 2p 19 Leg uit dat een grotere waarde van  $n$  zal leiden tot een grotere vervormbaarheid van de epoxyhars.

Om een voorwerp van carbon te produceren worden de twee monomeren samen met de koolstofvezels in een mal geperst.

Voor de sterkte van het gevormde carbon is van belang dat de koolstofvezels goed hechten aan de epoxyhars. Op microniveau bestaan de vezels uit meerdere koolstoflaagjes van elk één atoom dik, vergelijkbaar met grafiet (zie Binas-tabel 67E). Dankzij de platte vorm liggen de lagen dicht op elkaar.

Om de hechting met het netwerkpolymeer te verbeteren worden de koolstofvezels voorbehandeld met een oxidator. In figuur 1 is weergegeven hoe een laagje er dan uit kan zien.

**figuur 1**



- 2p **20** Leg uit op microniveau waarom deze voorbehandeling van de koolstofvezels leidt tot een betere hechting tussen de koolstofvezels en de hierboven beschreven epoxyhars.

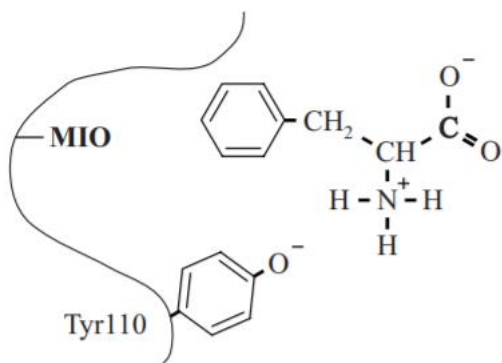
Door deze voorbehandeling blijkt de sterkte van de koolstofvezels zelf af te nemen. Men verklaart dit uit een afname van de onderlinge hechting van de koolstoflaagjes.

- 2p **21** Geef een verklaring op microniveau waarom de onderlinge hechting van de koolstoflaagjes afneemt door de voorbehandeling.

[Uitlegfilmpje](#)

2017 I

**figuur 3**

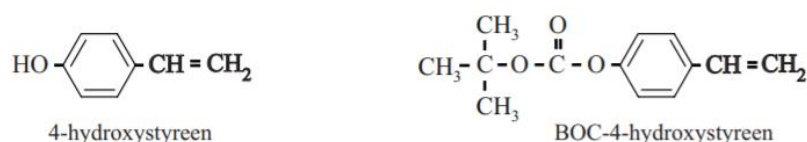




Tyr110 oefent aantrekkende en afstotende krachten uit op atoomgroepen van een fenylalanine-deeltje. Door deze interacties wordt het fenylalanine-deeltje georiënteerd zoals in figuur 3 is weergegeven.

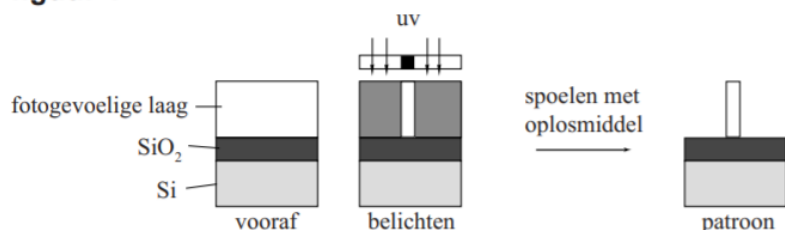
- 2p 7 Leg uit welke twee elektrostatistische interacties tussen een fenylalanine-deeltje en het Tyr110 ervoor zorgdragen, dat een fenylalanine-deeltje de holte binnengaat op de manier zoals is weergegeven in figuur 3. Geef ook aan welke atoomgroep van het fenylalanine-deeltje betrokken is bij elke afzonderlijke interactie.

Een veelgebruikt fotogevoelig materiaal bevat onder andere een copolymeer dat door additiepolymerisatie is ontstaan uit 4-hydroxystyreen en BOC-4-hydroxystyreen. Dit copolymeer noemen we in deze opgave copolymeer X.



Na het belichten zijn in de belichte delen alle BOC-4-hydroxystyreen-eenheden omgezet. Vervolgens wordt de wafer gespoeld met een oplosmiddel. In figuur 1 is het belichten en spoelen van een deel van de wafer schematisch weergegeven.

**figuur 1**



Poly-4-hydroxystyreen en copolymeer X verschillen in hun oplosbaarheid. Ze lossen beide niet goed op in water. Maar poly-4-hydroxystyreen lost wel op in een basische oplossing en copolymeer X niet. Door te spoelen met een basische oplossing lossen alleen die delen van de fotogevoelige laag op die met uv-licht zijn beschenen.

De oplosbaarheid van poly-4-hydroxystyreen in een basische oplossing is te verklaren met behulp het gegeven dat de OH groep van elke 4-hydroxystyreeneenheid in een basische oplossing een  $H^+$  afstaat.

- 2p 18 Geef een verklaring op microniveau voor het gegeven dat poly-4-hydroxystyreen dan goed oplost.



Wanneer methoxybenzeen als oplosmiddel wordt gebruikt bij het ontwikkelen, lossen alleen die delen van de fotogevoelige laag op die niet met uv-licht zijn beschenen.

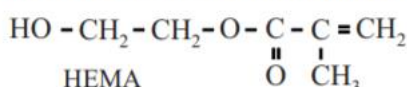
- 2p 19 Geef een verklaring voor het gegeven dat de delen van de fotogevoelige laag die niet met uv-licht zijn beschenen, oplossen als methoxybenzeen als oplosmiddel wordt gebruikt.

[uitlegfilmpje](#)



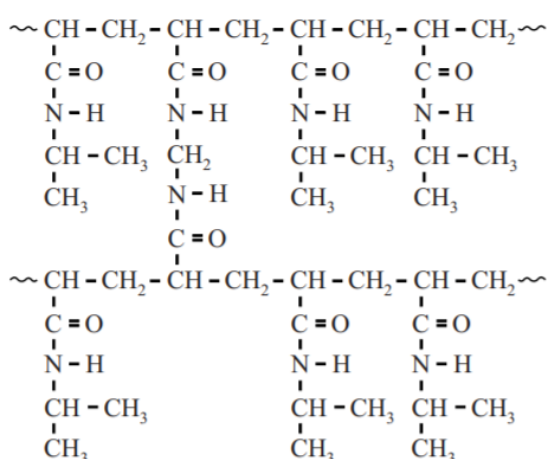
2017 II

pHEMA is het additiepolymeer van HEMA.



Omdat pHEMA in de praktijk bleek tegen te vallen, is het verwante polymeer pNIPAM onderzocht. In figuur 1 is een gedeelte van de microstructuur van pNIPAM weergegeven. pNIPAM is een netwerkpolymeer dat wordt gemaakt uit twee monomeren. Bij de polymerisatie treden uitsluitend additiereacties op.

figuur 1



- 2p 21 Geef de structuurformule van het monomeer dat voor de crosslinks in pNIPAM zorgt.

Als pNIPAM-korrels worden samengevoegd met water bij een temperatuur onder 33 °C zwelt het materiaal op door opname van water. Ketendelen van pNIPAM worden dan volledig omgeven door watermoleculen. Op de uitwerkbijlage is figuur 1 nogmaals weergegeven.

- 2p 22 Geef op de uitwerkbijlage weer hoe twee watermoleculen gebonden zijn aan pNIPAM.

Je kunt in plaats van de uitwerkbijlage je antwoord tekenen in figuur 1 hierboven

Als een dak wordt bedekt met een laag pNIPAM-korrels, kan het materiaal water opnemen tijdens regenbuien. Als dan later de zon schijnt neemt de natte hydrogel energie op én verdampt het water. Hierdoor zal een gebouw minder opwarmen. Omdat het proces herhaalbaar is, kan het materiaal langere tijd worden gebruikt.

Het eerder onderzochte pHEMA is niet geschikt voor deze toepassing omdat bij het verdampen van water zich een harde korst van pHEMA vormt. Hierdoor wordt de opname van water belemmerd.

Het eerder onderzochte pHEMA is niet geschikt voor deze toepassing omdat bij het verdampen van water zich een harde korst van pHEMA vormt. Hierdoor wordt de opname van water belemmerd.

De onderzoekers veronderstellen dat dit wordt veroorzaakt doordat tijdens het opdrogen de polymeerketens van pHEMA zich regelmatig rangschikken waardoor kristallijne gebieden worden gevormd. De interacties tussen de ketens zijn dan zo sterk dat watermoleculen niet meer tussen de ketens kunnen dringen.

- 2p 23 Leg uit op microniveau waarom in pNIPAM geen kristallijne gebieden worden gevormd tijdens het opdrogen.

[Uitlegfilmpje](#)



## Oefenopgaven vwo koolstofchemie



[Hier](#) staat een overzicht van alles van koolstofchemie. Een korte samenvatting van wat je op het examen kunt verwachten over [koolstofchemie staat hier](#) en over [polymeren hier](#).



[Samenvatting koolstofverbindingen](#) [Samenvatting polymeren](#) [Samenvatting biochemie](#)

### 2014-II (pilot)

PVC wordt in de chemische industrie op grote schaal gemaakt door polymerisatie van chlooretheen. PVC wordt vervolgens in korrelvorm geleverd aan fabrieken waar men van PVC bijvoorbeeld kozijnen, deuren, waterleidingen en kabels maakt. Hierbij wordt gebruikgemaakt van het feit dat PVC een thermoplast is.

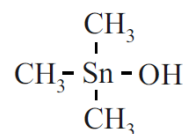
Voorafgaand aan de verwerking tot kozijn voegt men aan de PVC-korrels allerlei stoffen toe, zoals kleurstoffen en stabilisatoren. Als PVC wordt verwarmd zonder een stabilisator, ontleedt het bij verwarmen waarbij waterstofchloride ontstaat. Bij deze ontleding ontstaan in moleculen PVC zogenoemde geconjugeerde bindingen. Daarbij zijn om en om C–C en C=C bindingen aanwezig. De H atomen rondom de C=C bindingen nemen hierbij de *trans*-configuratie aan.

- 4p    2    Geef met behulp van structuurformules deze reactie van PVC weer. Geef hierbij een fragment uit het midden van een PVC keten weer, bestaande uit totaal 6 koolstofatomen.

Uit onderzoek is gebleken dat het waterstofchloride dat bij de ontleding ontstaat, deze ontleding verder katalyseert. Aan PVC worden daarom stabilisatoren toegevoegd die als functie hebben waterstofchloride te binden.

Vaak worden zogenoemde organo-tinverbindingen gebruikt. Dit zijn stoffen met de algemene formule  $R_nSnY_{4-n}$ , waarbij  $n = 1, 2, 3$  of  $4$ . R is een organische groep (methyl, ethyl, etc). Y is een karakteristieke groep, bijvoorbeeld een Cl atoom of een OH groep.

De covalentie van het tinatoom is in deze verbindingen dus gelijk aan vier. Een voorbeeld van een organo-tinverbinding, trimethylhydroxytin, is hiernaast weergegeven.



Een veelgebruikte stabilisator is dibutyltinmaleaat. Het tinatoom is hierin door twee estergroepen gebonden aan één maleaatgroep. De naam maleaat is afgeleid van maleïnezuur (*cis*-buteendizuur). Esters van maleïnezuur worden maleaten genoemd. Tevens zijn twee butylgroepen gebonden aan het tinatoom.

Bij de reactie van dibutyltinmaleaat met waterstofchloride ontstaan butaan en monobutyl-monochloortinmaleaat.

- 4p    **4**    Geef met behulp van structuurformules de reactievergelijking voor de reactie van dibutyltinmaleaat met waterstofchloride.



[Uitlegfilmpje](#)

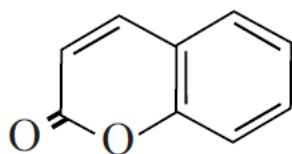


De zijketen van Asp bevat een negatieve lading en wordt schematisch weergegeven met  $\text{Asp}^-$ . Het fragment in DMT1 dat de bindingsplek bevat is  $\sim \text{Leu} - \text{Asp}^- - \text{Pro} \sim$ .

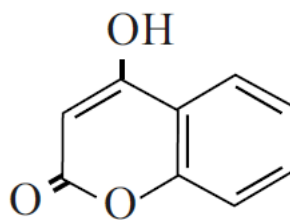
- 4p    **16**    Geef het fragment  $\sim \text{Leu} - \text{Asp}^- - \text{Pro} \sim$  weer in structuurformule. Geef in deze structuurformule ook de negatieve lading aan.

[Uitlegfilmpje](#)

### 2015-II (pilot)

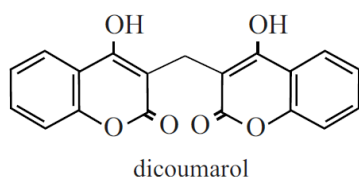


coumarine



4-hydroxycoumarine

In de bedorven klaver reageerde 4-hydroxycoumarine in de molverhouding 2 : 1 met een andere stof tot dicoumarol en water. De stof dicoumarol bleek verantwoordelijk voor de bloedingen.



- 2p    **2**    Geef de structuurformule van de stof die met 4-hydroxycoumarine reageert tot dicoumarol en water.

[uitlegfilmpje](#)



In de zoektocht naar het ontstaan van leven hebben astronomen voor het eerst een koolhydraat ontdekt in een gebied van het heelal waar sterren en mogelijk ook planeten ontstaan.

Het gaat om hydroxyethanal.

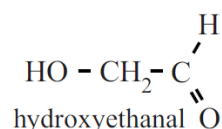
De stof is interessant omdat er aanwijzingen zijn dat deze kan reageren tot een groter koolhydraat:

ribose, een belangrijke bouwsteen voor RNA.

Een bekend mechanisme voor de vorming van ribose is een reeks van opeenvolgende reacties, de zogenoemde formosereacties.

In de eerste formosereactie vindt een additiereactie plaats: uit twee methanalmoleculen wordt een molecuul hydroxyethanal gevormd.

In de tweede formosereactie vindt ook een additiereactie plaats, nu tussen methanal en hydroxyethanal. Bij deze additiereactie zijn de aldehydegroepen van beide soorten moleculen betrokken. De moleculen die ontstaan, bezitten twee hydroxylgroepen per molecuul.



- 1p    **6**    Geef de vergelijking van de eerste formosereactie in structuurformules.
- 3p    **7**    Leg uit hoeveel verschillende producten in de tweede formosereactie kunnen ontstaan.
- Geef de structuurformules van de stoffen die kunnen ontstaan.
  - Houd in je uitleg ook rekening met eventuele spiegelbeeldisomeren.

[Uitlegfilmpje](#)

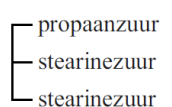




Omdat het eten van te veel vet schadelijk is voor de gezondheid, is de voedingsmiddelenindustrie al geruime tijd op zoek naar zogenoemde vetvervangers. Dit zijn stoffen die in de mond aanvoelen als plantaardige of dierlijke vetten, maar bij vertering in het lichaam minder energie leveren. Salatrim is 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 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:



triglyceride A

- 2p **24** Geef de structuurformule van dit triglyceride.
- Maak hierbij gebruik van Binas-tabel 67B.
  - De koolwaterstofrest van stearinezuur mag worden weergegeven met  $C_{17}H_{35}$ .

Triglyceride A kan worden gevormd uit glyceryl tristearaat (een triglyceride dat uitsluitend vetzuren met een lange koolstofketen bevat) en glyceryl tripropanoaat (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 om-estering 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 glyceryl tristearaat, glyceryl tripropanoaat en triglyceride A voor.

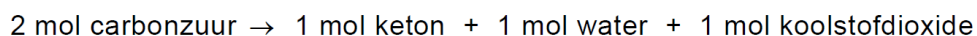
- 3p **25** Geef op eenzelfde wijze als voor triglyceride A is gedaan, de schematische aanduiding van drie andere triglyceriden die in dit mengsel voorkomen. Laat hierbij spiegelbeeldisomerie buiten beschouwing.

[Uitlegfilmpje](#)



## 2016 voorbeeldexamen

Hexaanzuur is nog niet geschikt voor gebruik als dieselbrandstof. Het is mogelijk om door middel van een ketonisatie-reactie hexaanzuur om te zetten tot een stof die wel geschikt is om als dieselbrandstof te gebruiken. Ketonisatie is een reactie van carbonzuren en kan als volgt worden weergegeven:



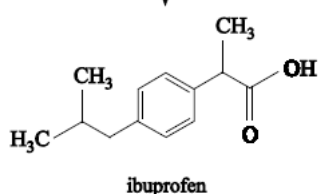
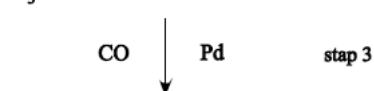
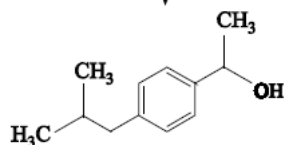
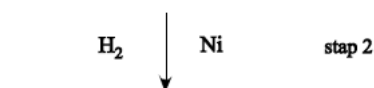
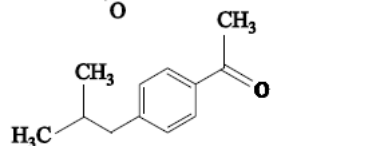
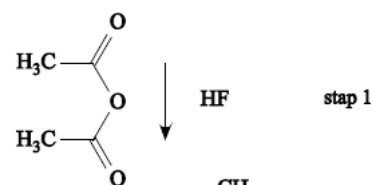
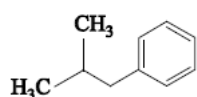
Bij de ketonisatie van ethaanzuur ontstaat propanon.

- 3p 14 Geef de reactievergelijking van de ketonisatie van hexaanzuur.  
Geef de organische verbindingen in structuurformules weer.

[Uitlegfilmpje](#)



### BHC-synthese





In deze weergave van de BHC-synthese zijn schematische structuurformules gebruikt. Links naast de reactiepijlen staan de reactanten weergegeven en rechts de katalysatoren (HF, Ni en Pd).

Alle reactanten reageren in de molverhouding 1 : 1.

In de BHC-synthese van ibuprofen ontstaat een mengsel van twee stereo-isomeren.

- 2p 18 Leg uit in welke stap van de BHC-synthese van ibuprofen voor het eerst een mengsel van stereo-isomeren ontstaat.

Als gevolg van het ontstaan van twee stereo-isomeren in de synthese, is het medicijn ibuprofen een mengsel van twee stereo-isomeren. Voordat ibuprofen als medicijn werd toegelaten, werd onderzoek gedaan naar de werking van beide stereo-isomeren. Het bleek dat slechts één van beide stereo-isomeren werkzaam is als pijnstiller. Deze werking berust op de koppeling van de werkzame stereo-isomeer aan het enzym cyclo-oxygenase. Tevens bleek dat de niet werkzame isomeer in het lichaam langzaam wordt omgezet tot de werkzame isomeer.

- 2p 19 Geef een verklaring waarom slechts één stereo-isomeer werkzaam is.

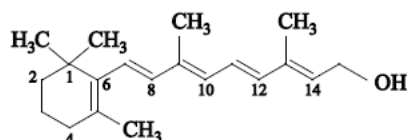
In de BHC-synthese van ibuprofen ontstaat slechts één bijproduct. Daarnaast ontstaat een klein percentage stoffen dat als afval moet worden beschouwd.

- 2p 20 Geef de naam van het enige bijproduct dat ontstaat in de BHC-synthese en leg uit of dit bijproduct in de fabriek gerecycled kan worden.

[Uitlegfilmpje](#)



Vitamine A (retinol) werd reeds in 1909 ontdekt als een vetoplosbare substantie die onmisbaar is voor het leven. Gevarieerde voeding, met onder andere wortelen en groene groenten, levert voldoende bètacaroteen dat in het lichaam wordt omgezet tot retinol. Hieronder is de schematische structuurformule van retinol weergegeven.

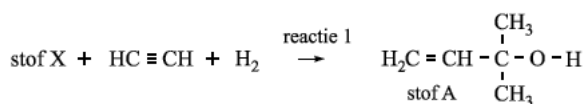


Als in de Tweede Wereldoorlog de voedselsituatie verslechtert, krijgen twee jonge chemici, Arens en Van Dorp, van de firma Organon de opdracht om synthetisch retinol te maken. In 1945 lukt het de mannen om de stof retinol te synthetiseren uit eenvoudige grondstoffen als bijvoorbeeld ethyn. Helaas blijkt hun synthese niet geschikt voor industriële productie. Het reactieproduct bevat namelijk slechts 35% retinol en verder verschillende stereo-isomeren van retinol.

- 3p 21 Leid af hoeveel stereo-isomeren maximaal mogelijk zijn van retinol. Gebruik in je uitleg nummers van de koolstofatomen zoals in de structuurformule hierboven.
- 2p 22 Leg uit met behulp van Binas-tabel 67I waarom bij de vorming van retinol uit bètacaroteen in het lichaam slechts één stereo-isomeer ontstaat.

Niet lang na het werk van Arens en Van Dorp werden betere methodes ontwikkeld om vitamine A te synthetiseren. Een veel gebruikte methode om retinol op grote schaal te produceren begint met reactie 1. In reactie 1 reageert 1 mol van stof X met ethyn en waterstof, zoals hieronder is weergegeven.

---



Reactie 1 kan worden opgevat als een additiereactie.

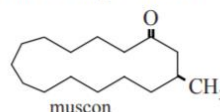
- 2p 23 Geef de structuurformule van stof X.

[Uitlegfilmpje](#)



2016 I

Muskus is een belangrijke geur die onderdeel uitmaakt van vrijwel alle parfums. Al ver voor het begin van onze jaartelling werd er gehandeld in muskus. Door het geringe aanbod was natuurlijke muskus altijd uiterst kostbaar. De belangrijkste geurstof in muskus is muscon, een stof met de molecuulformule  $\text{C}_{16}\text{H}_{30}\text{O}$ . De structuurformule van muscon is hiernaast schematisch weergegeven.



- 2p 1 Geef aan of er spiegelbeeldisomeren mogelijk zijn bij muscon. Licht je antwoord toe aan de hand van bovenstaande schematische structuurformule.

Biomassa bestaat voornamelijk uit koolhydraten, vetten en eiwitten. De vorming van biogas uit biomassa gebeurt in vier stappen. Deze stappen verlopen tegelijkertijd.

Stap 1: hydrolyse. Tijdens deze stap worden de koolhydraten, eiwitten en vetten met behulp van enzymen buiten de bacteriecellen afgebroken tot suikers, aminozuren, vetzuren en glycerol. De producten van de hydrolyse worden door bacteriën opgenomen.

- 4p 11 Geef de reactievergelijking in structuurformules voor de hydrolyse van het eiwitfragment  $\sim \text{Ala} - \text{Ser} - \text{Met}$  tot  $\sim \text{Ala}$  en de losse aminozuren.

Stap 2: verzuring. De in stap 1 gevormde stoffen worden in de bacteriën omgezet tot zuren en alcoholen. Hierbij ontstaan tevens waterstof en koolstofdioxide. Als bijproducten worden ammoniak en waterstofsulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ) gevormd.

- 2p 12 Geef aan uit welke soort(en) stof(fen) die na stap 1 aanwezig zijn in het reactiemengsel, ammoniak en waterstofsulfide kunnen worden gevormd. Licht je antwoord toe.

Stap 3: azijnzuurvorming. Zogenoemde azijnzuurvormende bacteriën zetten de in stap 2 gevormde zuren en alcoholen met water om tot ethaanzuur en waterstof. Als in een zuur of alcohol een oneven aantal C atomen aanwezig is, ontstaat hierbij tevens  $\text{CO}_2$ . Bij een even aantal C atomen ontstaat geen  $\text{CO}_2$ . De reacties in stap 3 kunnen worden voorgesteld als evenwichtsreacties.

3p 13 Geef de reactievergelijking voor de omzetting van hexaanzuur in stap 3.



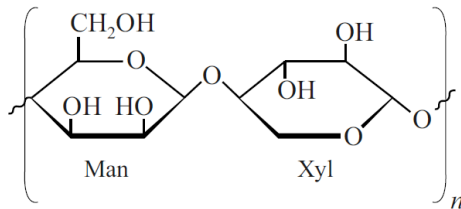
[Uitlegfilmpje](#)

2016-II

4p 1 Geef het gedeelte  $\sim \text{TCT} \sim$  in een structuurformule weer en geef weer hoe een molecuul water aan dit gedeelte gebonden zit.

Hierbij is de 1 letter code voor aminozuren uit binas 67H gebruikt.

figuur 2

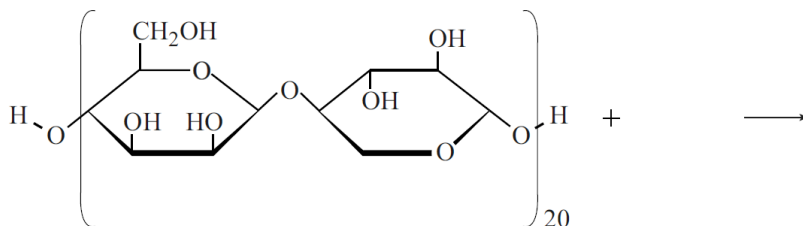


Bij het onderzoek werd de polysaccharide onder invloed van een enzym bij  $\text{pH} = 7,5$  volledig gehydrolyseerd. De ontstane oplossing bleek het beschermende effect tegen bevriezing niet te bezitten.

Op de uitwerkbijlage is de structuurformule van zo'n polysaccharide weergegeven.

3p 3 Geef op de uitwerkbijlage de reactievergelijking in structuurformules van de volledige hydrolyse van deze polysaccharide.

3





In de oplossing die ontstond na de hydrolyse waren ook vrije vetzuren aanwezig. Een onderzoeker vermoedde dat moleculen van de polysacharide 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."

Op de uitwerkbijlage staat een celmembraan schematisch weergegeven.

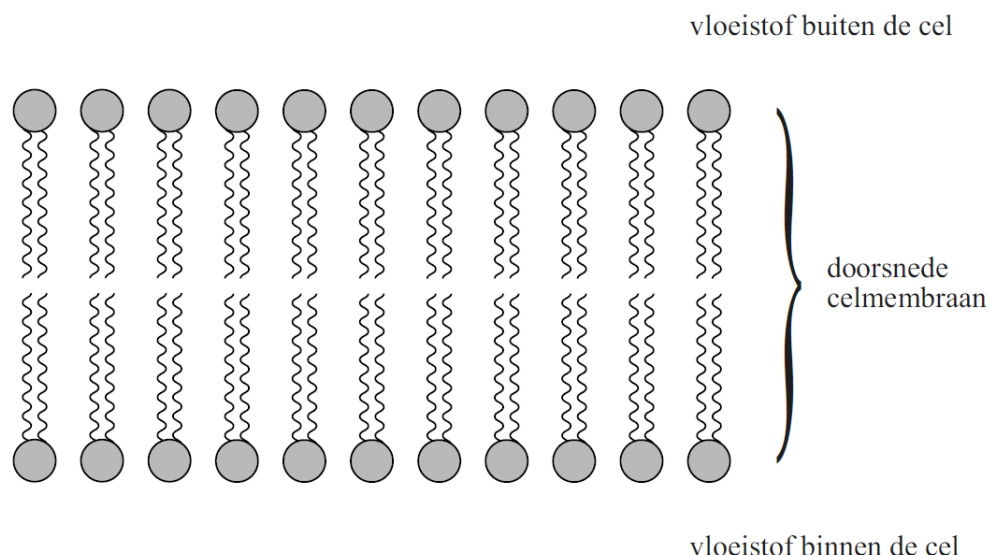
- 2p 4 Geef schematisch op de uitwerkbijlage weer hoe een molecuul van de antivriesstof volgens deze onderzoeker in het celmembraan verankerd is.

Geef het polysacharide-gedeelte weer als .

Geef het vetzuur-gedeelte weer als .

Geef de verestering weer als .

4



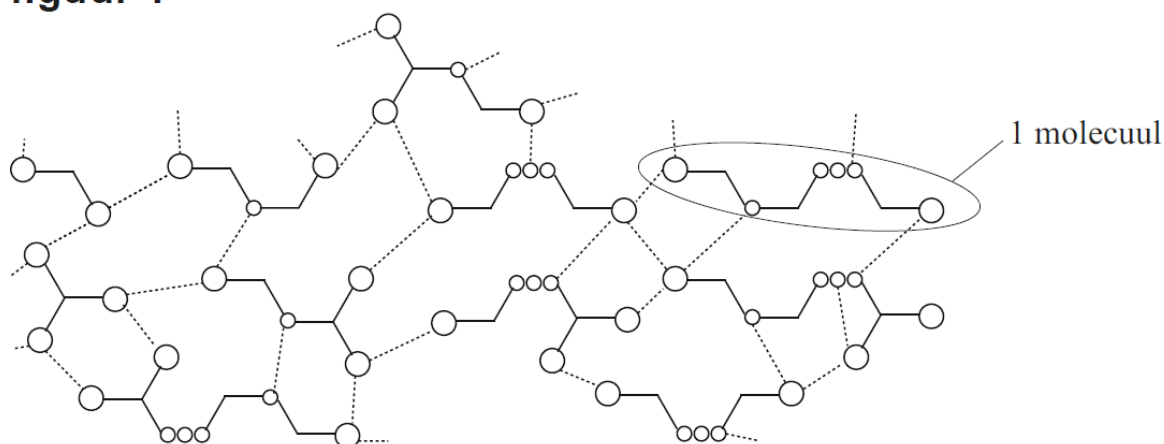
[uitlegfilmpje](#)



Een groep onderzoekers heeft een elastisch materiaal ontwikkeld met zelfherstellende eigenschappen. Als een elastiekje van dit materiaal wordt doorgesneden, hechten de twee delen bij samendrukken weer aan elkaar. Na afloop is het elastiekje weer net zo sterk en elastisch. Het materiaal bestaat uit allerlei verschillende moleculen, die elk zijn opgebouwd uit een aantal dezelfde basiseenheden. In figuur 1 is de microstructuur van dit materiaal schematisch weergegeven.



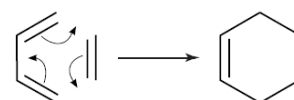
**figuur 1**



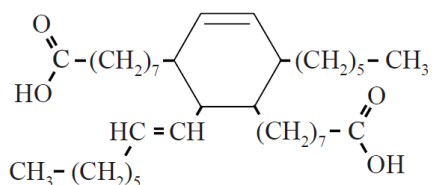
De stippellijnen geven waterstofbruggen weer tussen de verschillende moleculen. Door de vele waterstofbruggen vormen de moleculen een stevige netwerkstructuur, waardoor het materiaal elastische eigenschappen krijgt.

De vorming van het materiaal kan in drie stappen worden weergegeven. Stap 1: door een additiereactie van twee moleculen van een meervoudig onverzadigd vetzuur wordt een dizuur gevormd.

Het mechanisme van deze additiereactie is hiernaast vereenvoudigd weergegeven.

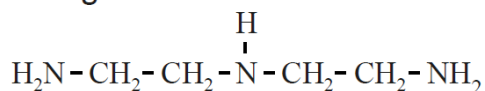


De structuurformule van het dizuur dat volgens deze additiereactie is gevormd, is hieronder weergegeven.



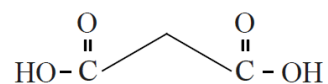
- 3p **10** Geef de structuurformule van het vetzuur dat als grondstof voor het dizuur is gebruikt. Je hoeft bij de beantwoording geen rekening te houden met eventuele stereo-isomerie.

Stap 2: men laat het dizuur reageren met diëthyleentriamine (DET) om aan het gevormde dizuur waterstofbrugvormende groepen aan te brengen. De structuurformule van DET is hieronder weergegeven.



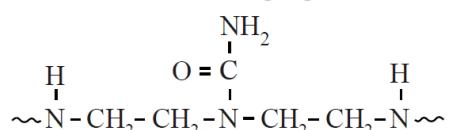
Afhankelijk van de gekozen molverhouding tussen het dizuur en DET worden verschillende producten gevormd.

- 3p 11 Geef de vergelijking van de reactie wanneer twee moleculen DET reageren met één molecuul van het dizuur.  
Gebruik structuurformules en geef het dizuur schematisch weer zoals hiernaast.



Stap 3: om nog meer waterstofbrugvormende groepen aan te brengen laat men de in stap 2 gevormde producten reageren met ureum.

Atoomgroepen van de eenheden DET vormen atoombindingen met ureum-moleculen, waarbij onder andere atoomgroepen worden gevormd zoals hieronder is weergegeven.



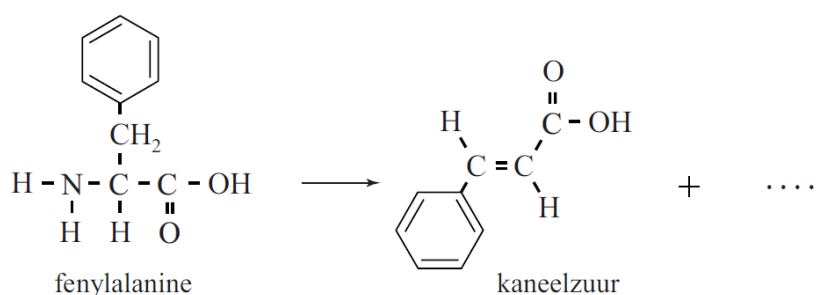
In deze reactie wordt nog een andere stof gevormd.

- 1p 12 Geef de naam van de andere stof die wordt gevormd als ureum met een eenheid DET reageert. Gebruik Binas-tabel 67J.



[Uitlegfilmpje](#)

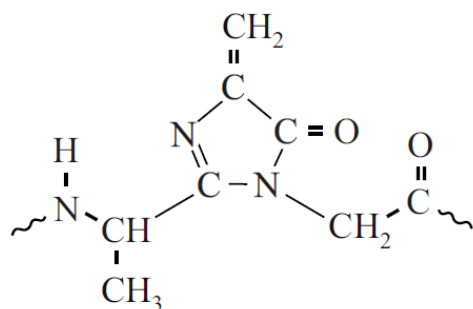
2017 I



- 1p 1 Geef de formule van het ontbrekende deeltje.

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 2 weergegeven. De MIO-groep wordt bij de synthese van PAL gevormd door ringsluiting van een deel van de eiwitketen dat kan worden weergegeven met  $\sim \text{Ala} - \text{Ser} - \text{Gly} \sim$ .

**figuur 2**



De eerste stap in de vorming van de MIO-groep is de sluiting van de in figuur 2 weergegeven vijfring 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.

- 4p    **2**    Geef de structuurformule van het gedeelte  $\sim \text{Ala} - \text{Ser} - \text{Gly} \sim$ .  
Geef in de structuurformule met een pijl/pijlen aan welke twee atomen met elkaar worden verbonden bij de ringsluiting.  
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 aminozuur-samenstelling 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.

- 2p    **3**    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.

Om deze PAL-variant te kunnen produceren, hebben de onderzoekers in een micro-organisme een puntmutatie aangebracht in het deel van het DNA dat codeert voor PAL. Een puntmutatie is de vervanging van een basenpaar in het DNA door een ander basenpaar. De code voor het eerste aminozuur van PAL begint bij het basenpaar met nummer 1.



- 3p **4** Geef de symbolen van het basenpaar van de puntmutatie, zowel voor de actieve PAL met Tyr110 als voor de inactieve PAL met Phe110. Gebruik Binas-tabel 71G.  
Noteer je antwoord als volgt en licht je antwoord toe:

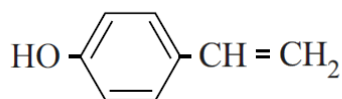
|                           | actieve PAL | inactieve PAL |
|---------------------------|-------------|---------------|
| base op coderende streng: | .....       | .....         |
| base op matrijsstreng:    | .....       | .....         |
| Toelichting: .....        |             |               |

- 2p **5** Geef aan wat het nummer is van het basenpaar van de puntmutatie. Licht je antwoord toe.

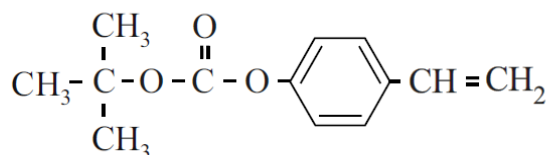
[Uitlegfilmpje](#)



Een computerchip wordt gemaakt van een dunne plaat van puur silicium, een zogeheten wafer. Hierop worden patronen van afwisselend geleidende en niet-geleidende materialen aangebracht. Om deze patronen aan te brengen, maakt men gebruik van een fotogevoelig materiaal, waarvan de oplosbaarheid verandert onder invloed van uv-licht. Een veelgebruikt fotogevoelig materiaal bevat onder andere een copolymeer dat door additiepolymerisatie is ontstaan uit 4-hydroxystyreen en BOC-4-hydroxystyreen. Dit copolymeer noemen we in deze opgave copolymeer X.



4-hydroxystyreen



BOC-4-hydroxystyreen

BOC-4-hydroxystyreen wordt gemaakt uit 4-hydroxystyreen en di-*tert*-butyldicarbonaat. Bij deze reactie ontstaan, behalve BOC-4-hydroxystyreen, ook methylpropaan-2-ol en één andere stof. Op de uitwerkbijlage vind je een onvolledige vergelijking voor deze reactie.

- 2p **15** Maak de vergelijking op de uitwerkbijlage compleet. Gebruik structuurformules.

Op de wafer wordt eerst een laag siliciumdioxide aangebracht. Daarop wordt een fotogevoelige laag aangebracht. De fotogevoelige laag bevat copolymeer X en een fotogevoelige stof, PAG. De fotogevoelige laag wordt met uv-licht in het gewenste patroon beschenen. Onder invloed van uv-licht vormt een molecuul PAG één  $H^+$  ion. De gevormde  $H^+$  ionen zitten niet vast op één plek, maar diffunderen langzaam door de fotogevoelige laag. De  $H^+$  ionen katalyseren de omzetting van de BOC-4-hydroxystyreen-eenheden uit copolymeer X tot 4-hydroxystyreen-eenheden, methylpropeen en koolstofdioxide.

- 3p 16 Geef de vergelijking in structuurformules van de omzetting van één BOC-4-hydroxystyreen-eenheid uit copolymeer X tot één 4-hydroxystyreen-eenheid.

- 2p 17 Leg uit of je verwacht of de molverhouding  $\frac{\text{PAG}}{\text{BOC-4-hydroxystyreen-eenheden}}$  in de fotogevoelige laag groter is dan 1, kleiner is dan 1 of gelijk is aan 1.

[uitlegfilmpje](#)



Chemicaliën die in de chemische industrie in grote hoeveelheden worden gebruikt (bulkchemicaliën) worden nu vaak gemaakt van aardolie. 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 plantaafval het meest voorkomende aminozuur. In een onderzoek is gekeken of glutaminezuur uit plantaafval gewonnen kan worden met behulp van een zogenoemde reactieve extractie.

Daartoe werden water en een overmaat butaan-1-ol toegevoegd aan een hoeveelheid gehydrolyseerd plantaafval. 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.

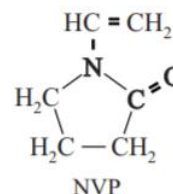
- 2p 21 Geef de structuurformule van de di-ester van glutaminezuur en butaan-1-ol. Gebruik Binas-tabel 67H1.

Behalve glutaminezuur reageren ook de andere aminozuren met butaan-1-ol tot esters. De vorming van deze esters treedt op aan het grensoppervlak van beide vloeistoffen. De omzetting verloopt sneller wanneer het reactiemengsel intensief wordt geroerd.

- 2p 22 Leg uit met behulp van het botsende deeltjesmodel waarom de omzetting van een aminozuur tot de ester sneller verloopt, wanneer het reactiemengsel intensief wordt geschud.

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 in zijn proefschrift een vervolgonderzoek hierop gepubliceerd. Hij heeft onderzocht of uit het onzuivere glutaminezuur twee belangrijke bulkchemicaliën kunnen worden geproduceerd.

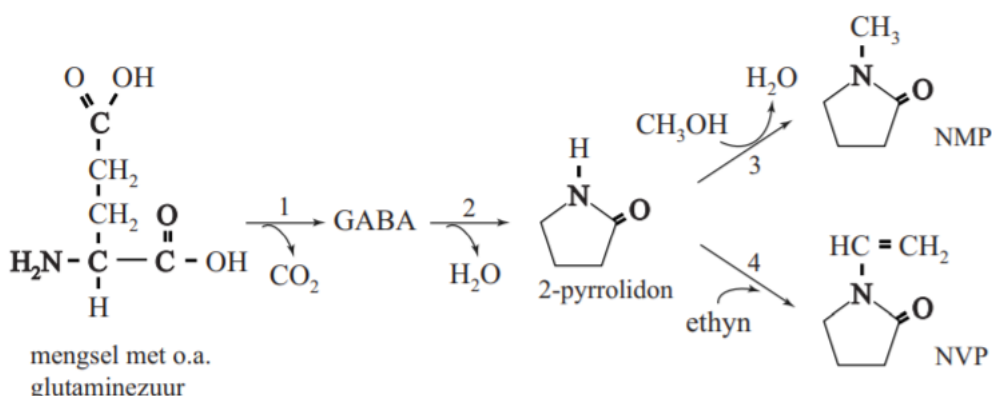
Deze chemicaliën zijn N-vinylpyrrolidon (NVP) en N-methylpyrrolidon (NMP). NVP is het monomeer voor het veelgebruikte polymeer polyvinylpyrrolidon dat via additiepolymerisatie wordt gevormd uit NVP.



- 2p 23 Geef een gedeelte uit het midden van een molecuul polyvinylpyrrolidon in structuurformule weer. Dit gedeelte moet zijn ontstaan uit twee eenheden NVP.

In figuur 1 zijn de routes weergegeven die de onderzoeker voorstelt om glutaminezuur uit het mengsel van aminozuren om te zetten tot NMP en NVP. In figuur 1 is een aantal structuurformules schematisch weergegeven.

**figuur 1**



In reactie 1 uit figuur 1 wordt het onzuivere glutaminezuur omgezet tot de stof GABA en  $\text{CO}_2$ . In een scheidingsruimte wordt GABA gescheiden van het afval, waarin onder andere ongereageerde aminozuren aanwezig zijn. In reactie 2 treedt ringsluiting van GABA op waarbij water ontstaat.

- 2p 25 Geef de structuurformule van GABA.

In reactie 2 ontstaat 2-pyrrolidon, de grondstof voor zowel NMP als NVP. Voor de productie van NVP laat men in reactie 4 het 2-pyrrolidon reageren met ethyn.

- 2p 26 Leg uit of reactie 4 uit figuur 1 een additie- of een substitutiereactie is.

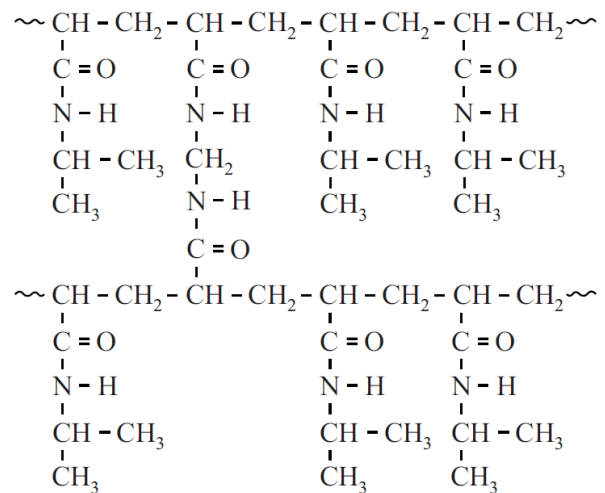
[Uitlegfilmpje](#)



2017 II

Omdat pHEMA in de praktijk bleek tegen te vallen, is het verwante polymeer pNIPAM onderzocht. In figuur 1 is een gedeelte van de microstructuur van pNIPAM weergegeven. pNIPAM is een netwerkpolymeer dat wordt gemaakt uit twee monomeren. Bij de polymerisatie treden uitsluitend additiereacties op.

figuur 1



- 2p 21 Geef de structuurformule van het monomeer dat voor de crosslinks in pNIPAM zorgt.

[uitlegfilmpje](#)





## Examenopgaven rekenen vwo scheikunde



[Hier](#) staat een overzicht van alles wat je moet weten over chemisch rekenen. [Hier](#) staat een kort filmpje over hoe chemisch rekenen op examen wordt gevraagd.



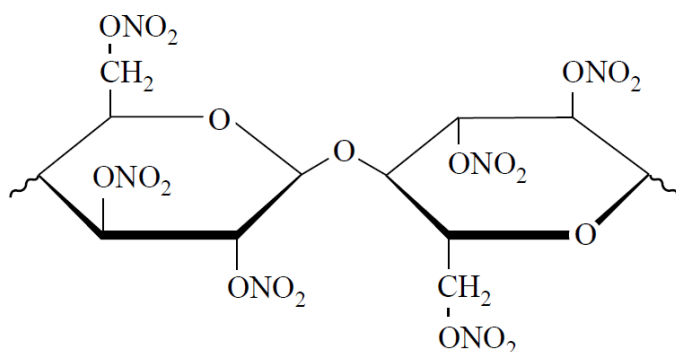
het

[Videosamenvatting chemisch rekenen](#)



### 2010-II (pilot)

Film bestaat uit een dragermateriaal en een beeldlaag. Oude films hebben voornamelijk cellulosenitraat als dragermateriaal. In deze opgave worden dergelijke films 'nitraatfilms' genoemd. Het cellulosenitraat wordt gemaakt door het polymeer cellulose te laten reageren met salpeterzuur. De hydroxylgroepen (OH groepen) worden daarbij vervangen door nitraatgroepen. Hieronder staat de schematische structuurformule van twee monomeereenheden van het polymeer dat is ontstaan wanneer alle hydroxylgroepen in cellulose zijn vervangen door nitraatgroepen.



Bij de bereiding van cellulosenitraat dat voor films wordt gebruikt, mogen niet alle hydroxylgroepen worden omgezet tot nitraatgroepen. Naarmate het aantal nitraatgroepen groter is, is de stof namelijk explosiever. Cellulosenitraat dat als drager voor filmmateriaal wordt gebruikt, mag daarom niet meer dan 12,6 massaprocent N bevatten.

Door bepaling van het massapercentage N kan worden berekend hoeveel hydroxylgroepen gemiddeld per monomeereenheid in cellulose zijn omgezet tot nitraatgroepen. In de formule voor cellulosenitraat kan dit aantal worden weergegeven met  $x$ ;  $x$  hoeft geen geheel getal te zijn.

Van een monster cellulosenitraat bleek het massapercentage N 12,1 te zijn.

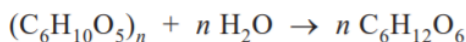
- 1p **19** Geef de formule van een monomeereenheid in cellulosenitraat, waarbij  $x$  hydroxylgroepen zijn omgezet tot nitraatgroepen. Ga uit van de volgende formule van een monomeereenheid in cellulose:  $C_6H_7O_2(OH)_3$ .
- 4p **20** Bereken het gemiddelde aantal hydroxylgroepen ( $x$ ) dat per monomeereenheid is omgezet tot nitraatgroepen wanneer het massapercentage N in cellulosenitraat 12,1% bedraagt.

[Uitlegfilmpje](#)



### 2012-II

De afbraak van cellulose kan worden weergegeven met de volgende reactievergelijking:



Vervolgens wordt het ontstane glucose door bakkersgist omgezet tot ethanol:



De proeffabriek verwerkt op deze manier jaarlijks 30.000 ton stro tot 5,4 miljoen liter ethanol.

4p **23** Bereken het rendement voor de omzetting van cellulose tot ethanol.

Ga ervan uit dat:

- de ethanol-opbrengst uit hemicellulose te verwaarlozen is;
- het gebruikte stro 35,0 massa% cellulose bevat;
- de dichtheid van ethanol 0,80 kg L<sup>-1</sup> bedraagt;
- 1 ton 1·10<sup>6</sup> g is.

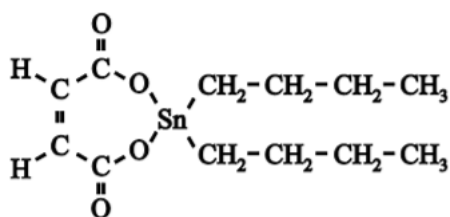
[Uitlegfilmpje](#)



2014-II (pilot)

Aan PVC wordt meestal 1,0 massa% stabilisator toegevoegd. Per jaar wordt wereldwijd 2,5·10<sup>7</sup> ton PVC geproduceerd. Dat betekent dat ook een grote hoeveelheid van het vrij schaarse metaal tin nodig is voor de synthese van organotin-stabilisatoren. De massa van een mol dibutyltinmaleaat bedraagt 347 g mol<sup>-1</sup>.

2p **5** Bereken hoeveel ton tin per jaar nodig is om de hoeveelheid stabilisator te maken die nodig is om 2,5·10<sup>7</sup> ton PVC te stabiliseren. Ga er voor de berekening van uit dat uitsluitend dibutyltinmaleaat wordt gebruikt.



dibutyltinmaleaat

[Uitlegfilmpje](#)

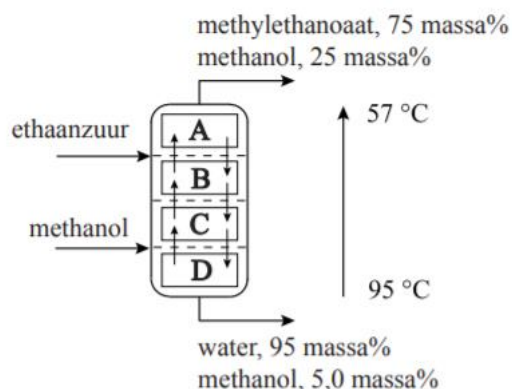


Methylethanoaat is in gebruik als oplosmiddel en als basis voor lakken. De productie van methylethanoaat ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$ ) gebeurt door estervorming uit methanol en ethaanzuur. Als katalysator wordt zwavelzuur toegepast. Deze estervorming is een evenwichtsreactie.



2p 19 Bereken de reactiewarmte van deze reactie. Gebruik hierbij onder andere de volgende gegevens:

- de vormingswarmte van methylethanoaat bedraagt  $-4,46 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ ;
- het gevormde water komt vrij als vloeistof.



Een ingenieur gaat op basis van de gegevens van de proeffabriek een schatting maken voor de bouw van een echte fabriek. Deze fabriek moet  $2,5 \cdot 10^4$  ton methylethanoaat per jaar gaan produceren.

5p 26 Bereken hoeveel kg mengsel van water en methanol per uur onder uit de reactieve-distillatiekolom komt in de echte fabriek.

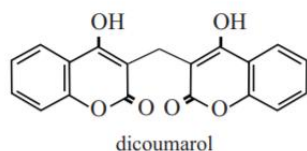
- Neem aan dat de fabriek 360 dagen per jaar continu kan produceren.
- Gebruik bij je berekening de samenstelling van de stromen, zoals die in de proeffabriek gevonden zijn.

[Uitlegfilmpje](#)



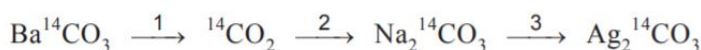
## 2015-II (pilot)

In de bedorven klaver reageerde 4-hydroxycoumarine in de molverhouding 2 : 1 met een andere stof tot dicoumarol en water. De stof dicoumarol bleek verantwoordelijk voor de bloedingen.





Om te onderzoeken of deze reactie van dicoumarol met water in het lichaam plaatsvindt, werd C-14 dicoumarol bereid. Dit is dicoumarol waarin twee C-14 atomen per molecuul aanwezig zijn. C-14 is radioactief en verbindingen met C-14 kunnen daardoor in een mengsel worden aangetoond. Voor de synthese van C-14 dicoumarol gebruikte men  $\text{Ag}_2^{14}\text{CO}_3$  dat in drie reactiestappen werd gevormd uit  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$ . Deze stappen zijn hieronder schematisch weergegeven.

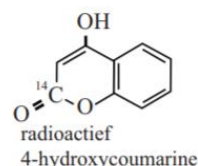


$\text{Ag}_2^{14}\text{CO}_3$  werd vervolgens gebruikt voor de bereiding van radioactief 4-hydroxycoumarine.

Hiernaast is weergegeven op welke plaats het C-14 atoom zich in het molecuul bevindt.

Het gevormde 4-hydroxycoumarine werd omgezet tot C-14 dicoumarol.

Uit 100 mg  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$  kon op deze wijze 12,2 mg C-14 dicoumarol worden bereid.



- 4p 4 Bereken het rendement van deze bereiding. Ga er hierbij vanuit dat uit één mol  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$  maximaal één mol 4-hydroxycoumarine ontstaat.



[Uitlegfilmpje](#)

- 4p 17 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 met glucose ontstaat per mol glucose maximaal 12 mol waterstof; de dichtheid van de glucose-oplossing is  $1,0 \cdot 10^3 \text{ g L}^{-1}$ .



[Uitlegfilmpje](#)

De winning van lithium uit lithiumhoudende ertslagen is economisch ook weer interessant geworden. Het belangrijkste lithiumberij is spodumeen,  $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ . Volgens de formule  $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$  zou het massapercentage lithium in spodumeen 3,7% bedragen. Meestal bevat spodumeen een lager massapercentage lithium doordat in het rooster van spodumeen een deel van de lithiumionen is 'vervangen' door natriumionen. Het werkelijke massapercentage lithium in spodumeen bedraagt gemiddeld 3,2%.

- 4p 20 Bereken hoeveel procent van de lithiumionen is 'vervangen' door natriumionen in spodumeen dat 3,2 massa% lithium bevat. Maak gebruik van de volgende molaire massa's: voor  $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$   $186,10 \text{ g mol}^{-1}$ ; voor  $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$   $202,15 \text{ g mol}^{-1}$ .

[Uitlegfilmpje](#)



## 2016 voorbeeldexamen

De verbrandingswarmte van 1,0 L ethanol bedraagt  $24 \text{ MJ L}^{-1}$ .

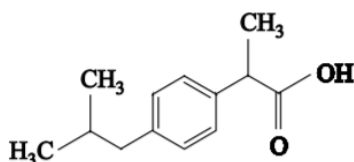
De verbrandingswarmte van ethaanzuur is lager dan deze waarde.

- 2p 8 Laat met een berekening zien dat de verbrandingswarmte van 1,0 L ethaanzuur lager is dan de verbrandingswarmte van 1,0 L ethanol. De dichtheid van ethaanzuur bedraagt  $1,05 \text{ kg L}^{-1}$ . Gebruik Binas-tabel 56.
- 3p 9 Laat met behulp van een berekening zien dat de volledige verbranding van 1 mol hexaanzuur meer energie oplevert dan de volledige verbranding van 2 mol ethanol ( $T = 298 \text{ K}$ ,  $p = p_0$ ). De vormingsenergie van hexaanzuur bedraagt  $-1,2 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ . Bij de beide verbrandingen ontstaat vloeibaar water.

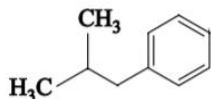


[Uitlegfilmpje](#)

Ibuprofen is een pijnstiller, die in grote hoeveelheden wordt gemaakt. Hieronder is de schematische structuurformule van ibuprofen weergegeven.



Er bestaan verschillende methodes om ibuprofen te synthetiseren. In de zestiger jaren van de vorige eeuw is de zogenoemde 'Brown-synthese' ontwikkeld. Deze synthese bestaat uit zes reactiestappen en heeft als belangrijkste beginstof iso-butylbenzeen, waarvan de schematische structuurformule als volgt is:



Een belangrijk aspect van een synthese is het rendement van het proces. Wanneer een proces uit meerdere reactiestappen bestaat, heeft dat vaak een verlaging van het rendement tot gevolg. Zo is het totale rendement van de Brown-synthese 53%.

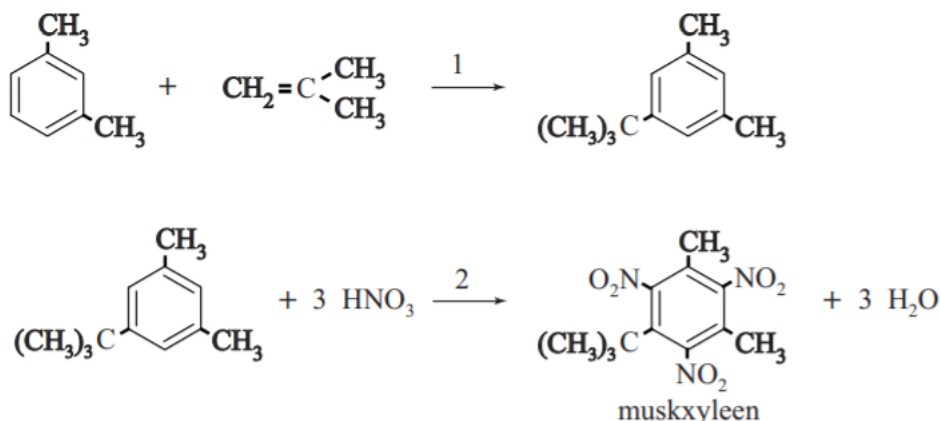
- 3p 16 Bereken hoeveel gram ibuprofen kan worden bereid uit 50,0 g iso-butylbenzeen, als het rendement van het gehele proces 53% is. Neem aan dat alle andere beginstoffen in overmaat aanwezig zijn en dat de molverhouding iso-butylbenzeen : ibuprofen gelijk is aan 1 : 1.
- Een ander belangrijk kenmerk van een synthese is de zogenoemde atomeconomie. De atomeconomie van de Brown-synthese is vrij laag, namelijk 35%. Op basis van het rendement en de atomeconomie kan ook de E-factor van de Brown-synthese worden berekend.
- 3p 17 Bereken de E-factor van de Brown-synthese met behulp van het rendement en de atomeconomie.

[uitlegfilmpje](#)



2016 I

figuur 1



In stap 1 uit figuur 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%.

- 4p 2 Bereken de E-factor voor deze bereiding van MX uit 1,3-dimethylbenzeen. De molaire massa van MX bedraagt  $297,3 \text{ g mol}^{-1}$ . Neem aan dat bij de zuivering geen stof verloren gaat.

[Uitlegfilmpje](#)



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.

- 4p 6 Laat met behulp van 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  $1,3 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

[uitlegfilmpje](#)



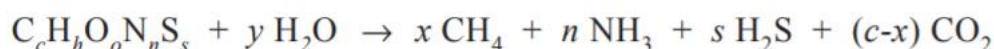


Methaan uit aardgas levert in Nederland per jaar ongeveer  $1,5 \cdot 10^{18}$  J aan energie. In 2007 werd in het rapport "Vol gas vooruit!" het doel gesteld dat op korte termijn 3,0% van deze energie wordt geleverd door biogas.

Biogas ontstaat wanneer biomassa door een mengsel van bacteriën wordt afgebroken onder zuurstofarme omstandigheden. De hoofdbestanddelen van biogas zijn koolstofdioxide en methaan.

De reactiewarmte bij de verbranding van biogas bedraagt gemiddeld  $-2,0 \cdot 10^7$  J mol<sup>-1</sup>. Deze energiewaarde kan vooral worden toegeschreven aan het aanwezige methaan.

Hieronder is een reactievergelijking voor het totale proces van de vorming van biogas uit biomassa weergegeven. Voor biomassa wordt de verhoudingsformule  $C_c H_h O_o N_n S_s$  gebruikt.



$$x = 0,125(4c + h - 2o - 3n + 2s)$$

$$y = 0,250(4c - h - 2o + 3n + 2s)$$

Een bepaalde fractie biomassa kan worden voorgesteld met de volgende verhoudingsformule:  $C_{38}H_{60}O_{26}N_3$ .

5p 10 Bereken hoeveel ton van deze biomassa moet worden vergist tot biogas om bovengenoemde doelstelling te bereiken. Maak onder andere gebruik van de volgende gegevens:

- de molaire massa van  $C_{38}H_{60}O_{26}N_3$  bedraagt 975 g mol<sup>-1</sup>;
- biogas bevat 46 vol% methaan;
- het molair volume bedraagt  $2,4 \cdot 10^{-2}$  m<sup>3</sup> mol<sup>-1</sup>.

[uitlegfilmpje](#)



Het stollingsproces zorgt voor extra zuivering van het silicium. De extra zuivering is te verklaren door de verschillende oplosbaarheden van een onzuiverheid in vast en vloeibaar silicium. Aan het grensvlak tussen vast en vloeibaar silicium stelt zich namelijk een verdelingsevenwicht in.

De waarde van de evenwichtsconstante  $K$  voor dit verdelingsevenwicht kan worden berekend volgens:

$$K = \frac{C_s}{C_l}$$

Hierin is  $C_s$  de concentratie in mol L<sup>-1</sup> van de onzuiverheid in vast silicium en  $C_l$  de concentratie van de onzuiverheid in vloeibaar silicium.

Voor enkele onzuiverheden in silicium zijn de waarden van  $K$  vermeld in tabel 2.

**tabel 2**

| Element  | Al                | As                | B                 | C                 | Cu                | Fe                | Sb                |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <i>K</i> | $2 \cdot 10^{-3}$ | $3 \cdot 10^{-1}$ | $8 \cdot 10^{-1}$ | $7 \cdot 10^{-2}$ | $4 \cdot 10^{-6}$ | $8 \cdot 10^{-6}$ | $2 \cdot 10^{-2}$ |

Uit tabel 2 is af te leiden hoe groot het gedeelte van een aanwezige verontreiniging is, dat in het vaste silicium terecht komt.

- 2p **22** Leg uit van welk element uit tabel 2 het grootste gedeelte wordt verwijderd uit het silicium als gevolg van het Czochralski-proces.

Het silicium dat in het Czochralskiproces wordt ingevoerd, bevat minder dan 1 deeltjes-ppb boor. Eén deeltjes-ppb is één deeltje onzuiverheid per  $10^9$  deeltjes. Een nadeel van het Czochralskiproces is dat voor een goede kwaliteit van de siliciumstaven, niet al het vloeibare silicium kan worden gekristalliseerd. Dit komt doordat gedurende het proces, de concentratie van de vervuiling in het vloeibare silicium stijgt.

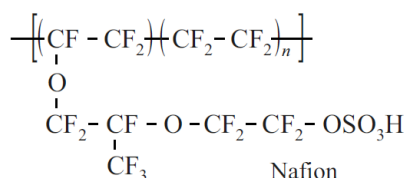
- 3p **23** Bereken vanaf welke concentratie in mol  $L^{-1}$  boor in vloeibaar silicium het gehalte boor in de siliciumstaaf boven de 1,0 deeltjes-ppb komt. De dichtheid van vast silicium bij de smelttemperatuur bedraagt  $2,2 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ .

[uitlegfilmpje](#)



**2016-II**

**figuur 1**



Omdat de waarde van  $n$  kan variëren, bestaan verschillende typen Nafion. De aanduiding 117 geeft daarom informatie over de structuur van het membraan. De eerste twee cijfers geven aan dat per 1100 gram materiaal één mol sulfonzuurgroepen ( $\sim \text{OSO}_3\text{H}$ ) voorkomt. Het cijfer 7 geeft informatie over de dikte van het membraan.

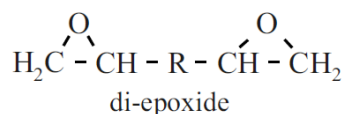
- 3p **7** Bereken de gemiddelde waarde van  $n$  voor Nafion-117.

[uitlegfilmpje](#)



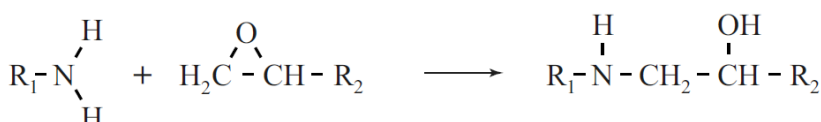
Carbon is een composiet samengesteld uit een netwerkpolymeer en koolstofvezels. Het netwerkpolymeer in carbon is een epoxyhars. De epoxyhars wordt gevormd uit twee monomeren: een amine en een zogeheten di-epoxide.

Moleculen van het di-epoxide bevatten aan beide uiteinden een epoxidegroep.



Wanneer het di-epoxide wordt gemengd met de amine treedt de hieronder weergegeven reactie op.

Met  $\text{R}_1$  en  $\text{R}_2$  worden de overige delen van de moleculen aangeduid.

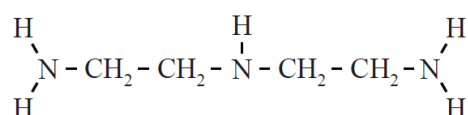


Men streeft ernaar dat in het materiaal geen reactieve groepen meer over zijn. Daarom moeten de  $\sim\text{NH}$  groepen en de epoxidegroepen in een molverhouding 1:1 gemengd worden.

Voor de gebruiker vermelden fabrikanten daarom twee waardes op de verpakking: de EEM en de AHEM. Deze waardes zijn als volgt gedefinieerd:

- EEM: het aantal gram van het di-epoxide per mol epoxidegroepen;
- AHEM: het aantal gram van de amine per mol aan stikstof gebonden waterstofatomen.

Hieronder is de structuur van de veelgebruikte diëthyleentriamine (DET) weergegeven.



2p 17 Bereken de AHEM voor DET.

Geef je antwoord in twee significante cijfers.

Bij een bereiding van epoxyhars wordt een di-epoxide gebruikt met een EEM van 189 gram en een amine met een AHEM van 15 gram.

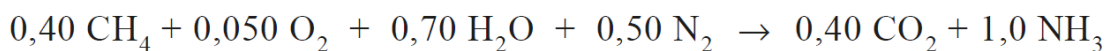
2p 18 Bereken hoeveel gram di-epoxide nodig is voor de bereiding van 100 gram van deze epoxyhars.

[uitlegfilmpje](#)





De gezuiverde waterstof wordt in een volgende reactor in reactie gebracht met stikstof. Het totaalproces van de productie van ammoniak uit onder andere methaan kan worden weergegeven 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.

- 3p **25** Bereken het energie-effect van het totaalproces volgens reactie 1 per mol gevormde ammoniak.  
Neem aan dat  $\text{H}_2\text{O}$  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.

- 3p **26** Geef de vergelijking van reactie 1 voor de praktijksituatie.

De waterstof die nodig is voor de productie van ammoniak kan ook worden verkregen uit andere processen. In tabel 1 is het relatieve energieverbruik weergegeven voor de productie van waterstof uit een aantal grondstoffen.

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.

**tabel 1**

| grondstof<br>(proces) | reactie  | relatief<br>energie-<br>verbruik |
|-----------------------|--|----------------------------------|
| kolen                 | $\text{C} + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ H}_2 + \text{CO}_2$             | 170%                             |
| zware stookolie       | $\text{CH} + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2\frac{1}{2} \text{ H}_2 + \text{CO}_2$ | 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%                             |

Zware stookolie en nafta zijn producten afkomstig van de destillatie van aardolie. Als onvoldoende aardgas beschikbaar is, kan aan de hand van tabel 1 een afweging worden gemaakt tussen de grondstoffen zware stookolie en nafta.

- 2p **27** 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 1.

Onderzocht is of het mogelijk is om gedroogd houtafval als duurzaam alternatief voor methaan te gebruiken voor de productie van ammoniak. In het onderzoek leverde 2,7 kg houtafval voldoende waterstof voor de productie van 1,0 kg ammoniak. De omzetting van alle koolstof uit het houtafval leidt uiteindelijk tot een  $\text{CO}_2$ -uitstoot van 3,3 kg  $\text{CO}_2$  per kg ammoniak.

- 2p **28** Laat door berekening zien dat de omzetting van alle koolstof uit het houtafval leidt tot een  $\text{CO}_2$ -uitstoot van 3,3 kg  $\text{CO}_2$  per kg ammoniak. Gebruik onder andere de volgende gegevens:
- het vochtgehalte van het houtafval bedroeg 35 massa%;
  - gedroogd houtafval bevat 51 massa% koolstof.

In het onderzoek is met behulp van modellen berekend dat de  $\text{CO}_2$ -uitstoot bij de productie van ammoniak uit aardgas 1,9 kg  $\text{CO}_2$  per kg ammoniak bedraagt. De productie van ammoniak uit houtafval levert een  $\text{CO}_2$ -uitstoot van 4,1 kg  $\text{CO}_2$  per kg ammoniak. In de modellen is ook de  $\text{CO}_2$ -uitstoot die optreedt buiten de ammoniakfabriek opgenomen. Op basis van de gemodelleerde  $\text{CO}_2$ -uitstoot van beide processen kan worden berekend dat houtafval een lagere bijdrage levert aan het versterkte broeikaseffect dan aardgas.

- 2p **29** Voer de volgende opdrachten uit:
- Bereken hoeveel kg  $\text{CO}_2$  per kg ammoniak netto wordt bespaard door gebruik te maken van houtafval.
  - Licht je berekening toe.

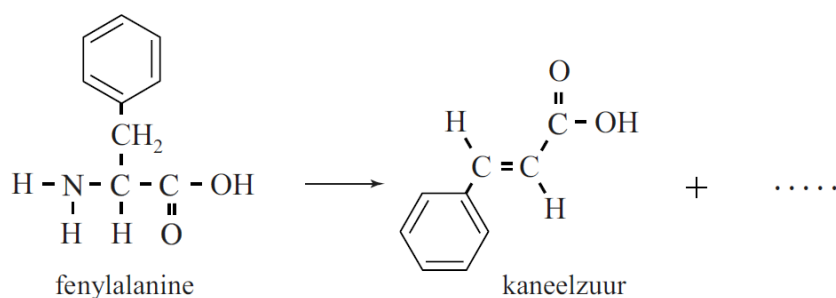


[uitlegfilmpje](#)

## 2017 I

PAL is een enzym dat voorkomt in planten en micro-organismen. PAL zet het aminozuur fenyalanine om tot kaneelzuur. De omzetting van fenyalanine door PAL is in figuur 1 weergegeven met een onvolledige vergelijking.

figuur 1



In een meting bleek een monster van 148 mg onzuivere PAL de vorming van 158  $\mu\text{mol}$  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.

3p 8 Bereken de TOF van PAL.

De molaire massa van PAL bedraagt  $2,75 \cdot 10^5 \text{ g mol}^{-1}$ .

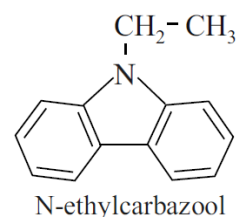
[uitlegfilmpje](#)



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 liter benzine. Uit metingen is gebleken dat een benzineauto voor het afleggen van eenzelfde afstand tweemaal zoveel chemische energie nodig heeft als een waterstofauto.

- 3p 9 Bereken hoeveel kilogram waterstof een auto moet tanken om dezelfde afstand af te leggen als een benzineauto met een tank gevuld met 50 liter benzine ( $T = 298 \text{ K}$ ,  $p = p_0$ ).  
 Bij beide verbrandingen komt het water als gas vrij.  
 Bij de verbranding van  $1,0 \text{ m}^3$  benzine komt  $3,3 \cdot 10^{10} \text{ J}$  vrij.

Waterstof als brandstof heeft als groot nadeel dat het onder hoge druk moet worden opgeslagen. Daarom wordt veel onderzoek gedaan naar manieren om waterstof chemisch te binden aan een drager. Recent onderzoek richt zich op N-ethylcarbazool als waterstofdrager. 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.



- 2p 10 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.

[Uitlegfilmpje](#)



## 2017 II

Europese chemici zijn erin geslaagd om vliegtuigbrandstof (kerosine) te produceren uit koolstofdioxide en water. De onderzoekers gebruikten voor deze omzetting een zogeheten solar-reactor. 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).



- 3p 1 Bereken de reactiewarmte voor reactie 1 per mol water.  
 Neem aan dat onder deze omstandigheden de waarden van de vormingswarmten uit Binas mogen worden gebruikt.

De gevormde zuurstof moet worden verwijderd 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  $H_2$  verkregen.

- 2p **2** Geef de vergelijking voor reactie 2.  
 2p **3** Geef aan hoeveel mol cerium(III)oxide minimaal aanwezig moet zijn per mol  $CO_2$  voor het wegvangen van alle zuurstof die ontstaat bij reactie 1. Licht je antwoord toe.

Het gasmengsel waar de zuurstof uit is verwijderd, ook wel syngas genoemd, werd door de onderzoekers met het Fischer-Tropsch-proces omgezet tot kerosine. De gevormde kerosine had een gemiddelde molecuulformule van  $C_{14}H_{28}$ . Als bijproduct ontstond alleen water.

- 2p **5** Geef de vergelijking voor de vorming van deze kerosine met het Fischer-Tropsch-proces.  
 3p **6** Bereken hoeveel ton  $CO_2$  wordt afgevangen voor het produceren van  $20\text{ m}^3$  van deze kerosine ( $T = 298\text{ K}$ ,  $p = p_0$ ). Ga er bij de berekening van uit dat geen andere koolwaterstoffen dan kerosine ontstaan. Maak gebruik van de volgende gegevens:
- neem aan dat  $H_2$  in overmaat beschikbaar is;
  - de dichtheid van de kerosine bedraagt  $7,9 \cdot 10^{-1}\text{ g mL}^{-1}$ .

[Uitlegfilmpje](#)



Stikstofoxiden ( $NO_x$ ) worden voornamelijk uitgestoten door motorvoertuigen en zijn een belangrijke veroorzaker van luchtvervuiling en zure regen. Vooral het roodbruine  $NO_2$  is giftig en een belangrijke veroorzaker van smog. In Makati, een grote stad in de Filipijnen, is een groot project van start gegaan om de  $NO_x$ -uitstoot te verminderen. Het gemeten gemiddelde volumepercentage  $NO_2$  op de plek van het project (metrostation Guadalupe) was in 2009 meer dan  $9,6 \cdot 10^{-6}\%$ .

- 3p **7** Laat met een berekening zien of het gemeten gemiddelde volumepercentage  $NO_2$  hoger of lager was dan de grenswaarde van  $NO_2$  (TGG 8 uur). ( $T = 298\text{ K}$ ,  $p = p_0$ )

De gevormde deeltjes reageren met  $\text{NO}_x$  tot salpeterzuur. Hierbij wordt uit elk deeltje  $\text{NO}_x$  één deeltje salpeterzuur gevormd.

Het gevormde salpeterzuur wordt vervolgens door het in de verf aanwezige calciumcarbonaat ( $\text{CaCO}_3$ ) volledig geneutraliseerd. De stoffen die bij deze reactie ontstaan, spoelen tijdens een regenbui weg. Als het gevormde salpeterzuur volledig wordt geneutraliseerd door calciumcarbonaat ontstaan  $\text{CO}_2$  en opgelost calciumnitraat.

In het experiment in Makati werd in totaal  $4100 \text{ m}^2$  muur geverfd. Gemiddeld zette de verf per  $\text{m}^2$  muur  $0,26 \text{ gram}$  aan  $\text{NO}_x$  per dag om tot salpeterzuur. Er is gepland om de muur elke vijf jaar opnieuw te verven.

- 4p 10 Leg uit, met behulp van een berekening van de benodigde massa aan calciumcarbonaat per  $\text{m}^2$  muur, of de verf gedurende vijf jaar het ontstane salpeterzuur kan neutraliseren.

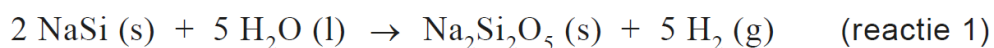
Maak onder andere gebruik van de volgende gegevens:

- per  $\text{m}^2$  muur is  $0,40 \text{ L}$  verf nodig;
- de dichtheid van de verf bedraagt  $1,52 \text{ kg L}^{-1}$ ;
- de gemiddelde molaire massa van  $\text{NO}_x$  is  $30,8 \text{ g mol}^{-1}$ .

[uitlegfilmpje](#)



In de oplader wordt het natriumsilicide in contact gebracht met water, waarbij waterstof ontstaat (reactie 1).



In de technische toelichting bij de oplader staat dat een capsule  $4,5 \text{ g}$  natriumsilicide-poeder bevat.

Per capsule ontstaat  $4,0 \text{ L}$  waterstofgas ( $T = 298 \text{ K}$ ,  $p = p_0$ ).

- 3p 12 Bereken het rendement van de waterstofproductie in de oplader ( $T = 298 \text{ K}$ ,  $p = p_0$ ).

Om de waterstofproductie per gram poeder te verhogen heeft de fabrikant nog een andere capsule ontwikkeld waarin behalve natriumsilicide ook natriumboorhydride ( $\text{NaBH}_4$ ) aanwezig is.



De fabrikant vermeldt niet in welke verhouding de twee stoffen gemengd zijn, maar wel dat 100 g van het mengsel na de reactie met water maximaal 15,7 g waterstof kan leveren.

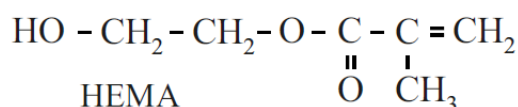
Uit de reactie van natriumboorhydride met water ontstaan waterstof, natriumhydroxide en  $B(OH)_3$ . Dit is reactie 2.

- 2p **16** Geef de vergelijking van reactie 2.  
 4p **17** Bereken met behulp van reacties 1 en 2 hoeveel gram natriumsilicide aanwezig is in 100 g van dit mengsel.  
 Neem aan dat het rendement van beide reacties 100% bedraagt.

[Uitlegfilmpje](#)



pHEMA is het additiepolymeer van HEMA.



pHEMA kan veel water opnemen. Als pHEMA geheel met water wordt verzadigd, bedraagt het massapercentage water in de ontstane hydrogel 72%.

- 2p **20** Bereken hoeveel moleculen water per monomeereenheid in deze hydrogel van pHEMA worden opgenomen.  
 Neem aan dat het massapercentage ammoniumpersulfaat in de hydrogel te verwaarlozen is.

Om de koelende werking van pNIPAM te onderzoeken, zijn temperatuurmetingen gedaan aan een miniatuurhuis waarvan het dak met een laag pNIPAM-korrels is bedekt. Aan het begin van de meting werd de laag verzadigd met water. Het miniatuurhuis werd vervolgens verwarmd onder een sterke lamp, terwijl de temperatuur van de natte hydrogel werd gemeten. De temperatuur van de natte hydrogel steeg van 24 °C tot 33 °C door de opname van energie.

Bij 33 °C bleef de temperatuur constant totdat al het aanwezige water was verdampt.

De totale hoeveelheid energie die op dat moment is opgenomen door de pNIPAM-laag hoeft niet meer door koeling te worden afgevoerd.

- 3p **24** Bereken hoeveel energie per  $\text{m}^2$  is opgenomen door de pNIPAM-laag als gevolg van de temperatuurstijging en het verdampen van het water.  
 Maak onder andere gebruik van de volgende gegevens:
- in de laag was 2,8 kg water per  $\text{m}^2$  aanwezig;
  - het massapercentage water in de pNIPAM-laag bedroeg 84%;
  - de soortelijke warmte van de natte hydrogel bedraagt  $4,0 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1}$ ;
  - de verdampingswarmte van water bedraagt  $2,26 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ .



[uitlegfilmpje](#)

## Examenopgaven vwo scheikunde redox



[Hier](#) staat een overzicht van alles wat je over redox moet weten.

De opgaven van 2018 en 2019 staan er niet bij zodat je die (her)examens als heel examen kunt oefenen. Achter elke opgave staat een link/QR code naar een

uitlegfilmpje.

[Videosamenvatting](#)



### 2012-I (pilot)

Een pacemaker is een apparaat om het hart te ondersteunen en wordt vlak onder de huid van een patiënt geplaatst. Een belangrijk moment in de ontwikkeling van pacemakers was het gebruik van lithiumbatterijen.

De pacemaker en dus ook de batterij moet zo klein en zo licht mogelijk zijn.

Bij de keuze van een geschikt metaal voor de toepassing in een pacemaker, is de zogenoemde elektrochemische capaciteit van belang. Daarmee wordt in deze opgave bedoeld: de hoeveelheid lading die 1 gram van dat metaal kan genereren.

- 3p    **5**    Laat met behulp van een berekening zien van welk metaal de elektrochemische capaciteit het grootst is: lithium of beryllium.

Mede vanwege de giftigheid van beryllium wordt deze stof niet in pacemakers toegepast. De toepassing van lithium in batterijen kent dat probleem niet.

Een lithiumbatterij heeft de volgende opbouw:

- een lithium anode: lithium reageert tijdens stroomlevering als reductor; het is de negatieve pool van de batterij;
- een kathode: dit is een materiaal (of materialen) dat tijdens stroomlevering als oxidator reageert; dit is de positieve pool van de batterij;
- een elektrolyt: dit is (meestal) een oplossing die ionentransport in de batterij mogelijk maakt en de anode en kathode in de batterij van elkaar scheidt.

In batterijen wordt soms een waterige oplossing als elektrolyt gebruikt, maar een dergelijke oplossing is in een batterij met een lithiumanode niet bruikbaar, omdat dan een gevaarlijke situatie ontstaat.

- 3p    **6**    Leg uit wat er zal gebeuren in een batterij met een lithiumanode als een waterige oplossing als elektrolyt wordt gebruikt en geef aan waarom dat gevaarlijk is.

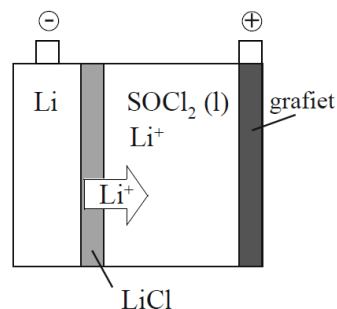
In batterijen met lithium als anode wordt gebruik gemaakt van organische oplosmiddelen die voldoende polair zijn om een lithiumzout als  $\text{LiClO}_4$  in op te kunnen lossen. Eén van die oplosmiddelen is methylmethanoaat.

- 4p    **7**    Teken de structuurformule van methylmethanoaat en leg met behulp van de structuurformule uit dat methylmethanoaat polair is.

De lithiumbatterijen die in omloop zijn, verschillen onder andere in het kathodemateriaal. Hiernaast is een batterij weergegeven met als kathode een grafietelektrode. Deze is geplaatst in een ruimte met daarin als elektrolyt de stof  $\text{LiAlCl}_4$  opgelost in de vloeistof thionylchloride ( $\text{SOCl}_2$ ).

Als in deze oplossing een anode van lithium wordt geplaatst, vormt zich een laagje vast lithiumchloride op het oppervlak van de anode. Dit laagje kan wel lithiumionen doorlaten, maar geen deeltjes  $\text{SOCl}_2$ .

Tijdens stroomlevering van een dergelijke lithiumbatterij worden aan de kathode thionylchloride en lithiumionen omgezet tot opgelost zwavel (S), opgelost zwaveldioxide en vast lithiumchloride.



- 3p 8 Geef de vergelijking van de halfreactie die tijdens stroomlevering aan de kathode optreedt.

Als een pacemaker het hartritme continu ondersteunt, is de batterij eerder leeg dan wanneer de pacemaker maar af en toe in werking hoeft te komen. Voor plaatsing kan bepaald worden hoe lang de levensduur van een batterij is. Hiervoor is alleen het volume van belang dat het lithium in de batterij inneemt. Van het totale volume van een bepaalde lithiumbatterij wordt  $0,435 \text{ cm}^3$  ingenomen door het lithium.

- 5p 9 Bereken hoeveel jaren deze batterij gebruikt kan worden bij constante ondersteuning van het hartritme. Neem aan dat alle andere stoffen dan lithium in de batterij in overmaat aanwezig zijn. Maak bij de berekening gebruik van Binas tabel 7 en onder andere de volgende gegevens:
- de dichtheid van lithium bedraagt  $0,534 \text{ g cm}^{-3}$ ;
  - de batterij levert een constante stroom van  $10 \text{ }\mu\text{A}$  ( $1 \text{ A} = 1 \text{ C s}^{-1}$ );
  - de batterij kan worden gebruikt tot het moment dat 80% van het anodemateriaal is opgebruikt.



[Uitlegfilmpje](#)

2014-II

(pilot)

Waterstof kan door middel van elektrolyse gevormd worden uit water. De materiaalkeuze voor de positieve elektrode (anode) vormt daarbij een lastig probleem. Platina is geschikt, maar veel te duur en daarom onbruikbaar op industriële schaal. Metalen zoals ijzer zijn ongeschikt omdat een anode van ijzer tijdens de elektrolyse wordt aangetast.

- 2p 6 Geef aan wat in dit verband wordt bedoeld met het woord 'aangetast' en leg uit waarom dit probleem zich niet bij de negatieve elektrode voordoet.
- 1p 7 Geef aan waarom een positieve elektrode van platina niet wordt aangetast.

De 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.



Aan de gevormde oplossing werd kobalt(II)nitraat toegevoegd tot een concentratie van  $5,0 \cdot 10^{-4}$  M. In deze oplossing plaatsten de onderzoekers twee ITO-elektrodes. Toen de stroom werd ingeschakeld, ontstond een zwart steenachtig laagje van kobalt(III)fosfaat op het oppervlak van de ITO-anode. Tevens werd aan de anode zuurstof gevormd en aan de kathode (negatieve elektrode) waterstof.

De onderzoekers veronderstellen dat op en aan de ITO-anode de volgende reacties verlopen:

- reactie 1:  $\text{Co}^{2+}$  ionen worden omgezet tot  $\text{Co}^{3+}$  ionen.
- reactie 2: De  $\text{Co}^{3+}$  ionen reageren met fosfaationen tot kobalt(III)fosfaat, dat zich als een vaste stof afzet op de elektrode.
- reactie 3: Een deel van de  $\text{Co}^{3+}$  ionen uit het kobalt(III)fosfaat wordt omgezet tot  $\text{Co}^{4+}$  ionen; deze ionen blijven gebonden aan de elektrode.
- reactie 4: De ontstane  $\text{Co}^{4+}$  ionen reageren aan het oppervlak van de elektrode met watermoleculen, onder vorming van  $\text{Co}^{2+}$  ionen en losse zuurstofatomen.
- reactie 5: De losse zuurstofatomen verenigen zich tot zuurstofmoleculen.

De  $\text{Co}^{2+}$  ionen die in reactie 4 ontstaan, komen weer in de oplossing. De  $\text{Co}^{2+}$  ionen treden dus op als katalysator bij deze elektrolyse.

- 2p 11 Geef aan welke van de reacties 1, 2 en 3 halfreacties zijn. Licht je antwoord toe. Geef je antwoord als volgt weer:  
 reactie 1: dit is wel/niet een halfreactie want ...  
 reactie 2: dit is wel/niet een halfreactie want ...  
 reactie 3: dit is wel/niet een halfreactie want ...
- 2p 12 Geef de vergelijkingen van de beide halfreacties van reactie 4 en de totale vergelijking.

De vergelijking van de halfreactie voor de vorming van waterstof aan de kathode is hieronder weergegeven.



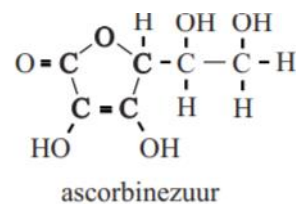
De onderzoekers hebben een stroomdichtheid gemeten van  $0,10 \text{ mA cm}^{-2}$  aan de elektrodes.

- 3p 13 Bereken hoeveel mL waterstof ( $T = 298 \text{ K}$ ,  $p = p_0$ ) aan de kathode in een uur wordt geproduceerd per  $\text{cm}^2$ .  
 Gebruik onder andere de volgende gegevens:
- $1 \text{ A} = 1 \text{ C s}^{-1}$ ;
  - de lading van 1 mol elektronen bedraagt  $9,64853 \cdot 10^4 \text{ C}$ ;

[Uitlegfilmpje](#)



Vitamine C (ascorbinezuur) wordt hierbij omgezet tot dehydro-ascorbinezuur. De ring van ascorbinezuur blijft hierbij intact en alleen de beide OH groepen aan de ring worden omgezet tot ketongroepen.



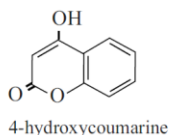
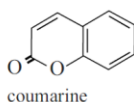
- 3p 14 Geef de vergelijking in structuurformules van de halfreactie van ascorbinezuur tot dehydro-ascorbinezuur.

[Uitlegfilmpje](#)



## 2015-II (pilot)

In de periode 1920-1930 werden verschillende delen van de VS en Canada geteisterd door een veeziekte. Koeien stierven aan inwendige bloedingen. Dierenartsen ontdekten dat bedorven honingklaver die de dieren te eten hadden gekregen, de oorzaak hiervan was. De in de klaver aanwezige coumarine werd omgezet tot 4-hydroxycoumarine.



De vorming van 4-hydroxycoumarine uit coumarine is een redoxreactie.

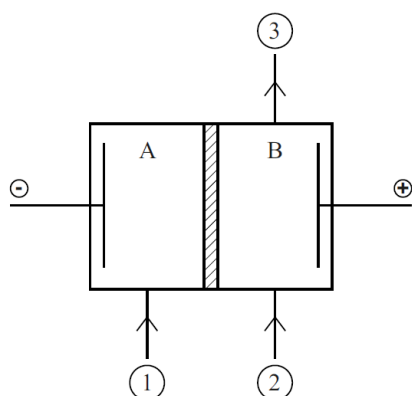
- 2p 1 Geef de vergelijking van de halfreactie van de omzetting van coumarine tot 4-hydroxycoumarine in structuurformules. In deze vergelijking komen onder andere  $H^+$  en  $H_2O$  voor.

[uitlegfilmpje](#)



Waterstof kan worden gebruikt om in een brandstofcel elektrische energie te produceren. Op de bijlage is een waterstof-brandstofcel schematisch weergegeven. De elektroderuimtes A en B bevatten een zure elektrolyt en zijn gescheiden door een membraan dat uitsluitend  $H^+$  ionen doorlaat.

### waterstof-brandstofcel



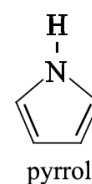
- 2p 11 Geef de namen van de stoffen die met 1, 2 en 3 zijn aangegeven.  
Noteer je antwoord als volgt: 1: ..... 2: ..... 3: .....
- 2p 12 Beredeneer in welke richting de  $H^+$  ionen bewegen wanneer de brandstofcel stroom levert, van elektroderuimte A naar elektroderuimte B of omgekeerd.



[uitlegfilmpje](#)

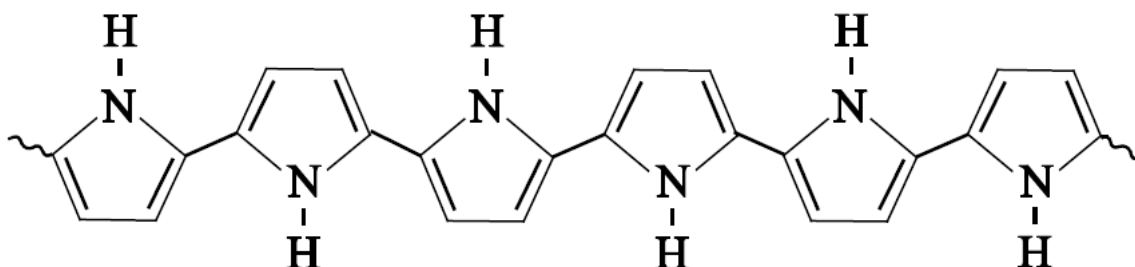
### 2016 voorbeeldexamen

Zweedse onderzoekers hebben een lichtgewicht oplaadbare batterij van papier ontwikkeld. Deze batterij is gebaseerd op een polymeer van pyrrol. De structuurformule van pyrrol is hiernaast weergegeven. De bereiding van het polymeer verloopt in twee stappen die in één proces na elkaar verlopen.



Stap 1: pyrrol wordt opgelost in ethanol en in contact gebracht met een overmaat ijzer(III)chloride-oplossing, waarmee het reageert.

Er treedt een zogenoemde elektrochemische polymerisatiereactie op, waarbij onder andere polypyrrol (PPy) en ijzer(II)ionen ontstaan.



polypyrrol (PPy)



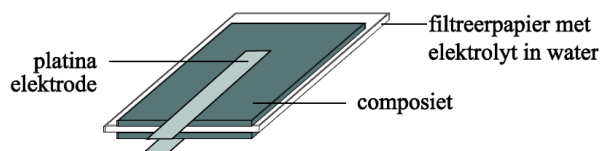
- 3p 1 Geef de vergelijking van de halfreactie voor de vorming van PPy uit pyrrol. Gebruik voor PPy de notatie  $\text{H}-(\text{C}_4\text{H}_3\text{N})_n-\text{H}$ . In de vergelijking van deze halfreactie komt ook  $\text{H}^+$  voor.
- 2p 2 Geef de vergelijking van de halfreactie voor de omzetting van ijzer(III)ionen in ijzer(II)ionen en geef de vergelijking van de totaalreactie.

Stap 2: het ontstane PPy reageert verder met de ijzer(III)chloride-oplossing. Hierbij staan PPy-moleculen elektronen af aan ijzer(III)ionen. De PPy-moleculen worden hierdoor positief geladen. De aanwezige chloride-ionen compenseren de positieve lading van de PPy-moleculen.

Het gevormde positief geladen PPy is een voorbeeld van een geleidend polymeer. Mede met behulp van mesomere grensstructuren is te verklaren dat positief geladen PPy een geleidend polymeer is. Op de uitwerkbijlage die bij dit examen hoort, is één mesomere grensstructuur van positief geladen PPy weergegeven.

De cellulose-PPy vezels worden samengeperst tot platen. Het zo gevormde materiaal wordt in de rest van deze opgave aangeduid als composiet. In figuur 1 is de papieren batterij schematisch weergegeven. De batterij is samengesteld uit twee gelijke platen composiet, twee platina elektroden en filtreerpapier gedrenkt in een oplossing van natriumchloride in water. De batterij moet vóór gebruik worden opgeladen. Bij het opladen ontstaat een ladingsverschil tussen beide composietplaten doordat het aanvankelijk positief geladen PPy in één van de platen minder positief geladen wordt, terwijl het PPy in de andere plaat sterker positief geladen wordt. Tijdens stroomlevering vinden de omgekeerde processen plaats.

**figuur 1**



- 2p 5 Leg uit of tijdens stroomlevering de  $\text{Cl}^-$  ionen in het filtreerpapier tussen de composietplaten in de richting van de positieve elektrode of in de richting van de negatieve elektrode zullen bewegen.

De papieren batterij is zeer snel oplaadbaar. De batterij heeft echter in vergelijking met de veelgebruikte lithiumbatterij maar een lage maximale spanning. De maximaal haalbare spanning van de papieren batterij is afhankelijk van de tijd dat het PPy reageert met de ijzer(III)chloride-oplossing. Als de reactietijd kort is, is de hoeveelheid positieve ladingen in de PPy-moleculen klein. Als de reactietijd lang is, is het aantal positieve ladingen in de PPy-moleculen groot.

Het aantal positieve ladingen dat kan ontstaan in de PPy-moleculen kent een maximum. Het materiaal dat ontstaat als de PPy-moleculen het maximale aantal positieve ladingen hebben, is ongeschikt om een batterij van samen te stellen. De reactietijd in stap 2 moet daarom goed worden gecontroleerd.

- 1p 6 Leg uit dat het materiaal waarin PPy-moleculen het maximaal aantal positieve ladingen hebben niet bruikbaar is om een batterij uit samen te stellen.

Het percentage van het maximaal aantal positieve ladingen is van belang om de maximaal haalbare spanning te kunnen bereiken. Daarom wordt de reactietijd zo gekozen dat het percentage positieve ladingen in de PPy-moleculen een bepaalde waarde heeft.

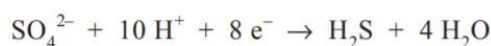
- 2p 7 Leg uit tot welk percentage van het maximaal aantal positieve ladingen de PPy-moleculen moeten reageren met de ijzer(III)chloride-oplossing tijdens stap 2, zodat de maximaal haalbare spanning van de batterij bereikt kan worden bij het opladen.

[Uitlegfilmpje](#)



## 2016 I

In stap 4 wordt door methaanvormende bacteriën ten slotte methaan en CO<sub>2</sub> gevormd. Hierbij verbruiken ze het in stap 2 gevormde waterstof. In sommige bronnen van biomassa, zoals havenslib, zijn veel sulfaationen aanwezig. De aanwezigheid van sulfaat-afbrekende bacteriën in een reactor kan dan de methaanproductie verminderen. Deze bacteriën verbruiken namelijk het aanwezige waterstof om sulfaationen om te zetten tot H<sub>2</sub>S. De vergelijking van de halfreactie van het sulfaat is hieronder weergegeven.



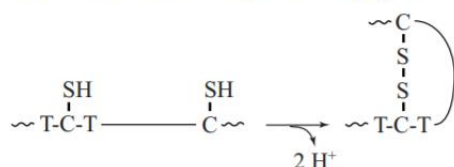
- 2p 14 Leid met behulp van de vergelijkingen van de halfreacties de totale reactievergelijking af voor deze bacteriële omzetting van SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> tot H<sub>2</sub>S. Gebruik Binas-tabel 48.



[uitlegfilmpje](#)

## 2016 II

In de zich vormende AFP worden tussen de SH groepen van opeenvolgende cysteïne-eenheden covalente bindingen gevormd, de zogeheten zwavelbruggen. Deze reactie is een redoxreactie, die hieronder onvolledig is weergegeven.



- 2p 2 Leg uit of voor de vorming van de zwavelbruggen de SH groepen met een oxidator of met een reductor moeten reageren.



[Uitlegfilmpje](#)

In het eerste waterstof-tankstation van Nederland wordt waterstofgas bij een druk van 700 bar overgepompt in de tank van de auto. De druk wordt zo hoog gehouden omdat de energiedichtheid van de waterstof dan veel hoger is dan wanneer waterstof bij gewone druk zou worden gebruikt.

De energiedichtheid van benzine bij volledige verbranding bedraagt  $46 \text{ MJ kg}^{-1}$ , 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  $\text{MJ kg}^{-1}$ , maar lager wanneer deze wordt uitgedrukt in  $\text{MJ m}^{-3}$ .

- 3p 5 Bereken de energiedichtheid van waterstof. Geef je antwoord zowel in  $\text{MJ kg}^{-1}$  als  $\text{MJ m}^{-3}$ . 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 onder deze omstandigheden de waarden van de reactiewarmtes uit Binas mogen worden gebruikt.

Als de waterstof door elektrolyse van water wordt bereid, gaat 35% van de toegevoerde elektrische energie verloren. Het energie-rendement van een waterstof-brandstofcel 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 energie-rendement van de vorming van waterstof uit water, waarna het in een brandstofcel wordt gebruikt, is hierdoor laag.

- 2p 6 Bereken het totale energie-rendement.

Tijdens stroomlevering bewegen gehydrateerde  $\text{H}^+$  ionen door het materiaal heen. Door de reacties die in de brandstofcel optreden en de beweging van gehydrateerde  $\text{H}^+$  ionen wordt het watergehalte in het membraan beïnvloed. Voor een optimale werking moet het gehalte water in het membraan constant blijven.

De halfreacties aan de elektrodes in een waterstof-brandstofcel zijn hieronder weergegeven.



De  $\text{H}^+$  ionen die aan de negatieve elektrode gevormd zijn, bewegen door het membraan naar de andere elektrode. Uit onderzoek blijkt dat elk  $\text{H}^+$  ion gemiddeld 2,7 moleculen water meesleept van de ene kant van het membraan naar de andere kant. Om het watergehalte in het membraan constant te houden moet dus aan de elektrodes water worden aangevoerd dan wel worden afgevoerd.

- 3p 9 Bereken voor beide elektrodes hoeveel gram water moet worden aangevoerd of afgevoerd per gram waterstof die in de cel wordt verbruikt om de hoeveelheid water bij beide elektrodes constant te houden. Geef je antwoord als volgt weer:
- bij de ... elektrode moet ... g water worden aangevoerd;
  - bij de ... elektrode moet ... g water worden afgevoerd.

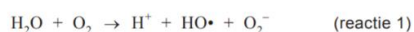
[uitlegfilmpje](#)



## 2017 II



In Makati verfde men het drukke metrostation Guadalupe met een speciaal soort verf: de zogeheten KNOxOUT™-verf van de Filipijnse firma Boysen. Deze verf zorgde ervoor dat de  $\text{NO}_x$ -concentratie drastisch daalde. Dit succes is te danken aan de katalysator  $\text{TiO}_2$  die in de verf verwerkt is.  $\text{TiO}_2$  zet water- en zuurstofmoleculen onder invloed van uv-straling om volgens reactie 1.



- 2p 8 Leg mede aan de hand van de formules van de betrokken deeltjes uit of deze omzetting van water en zuurstof kan worden opgevat als een redoxreactie of als een zuur-basereactie.

[Uitlegfilmpje](#)

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 de oplader 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.

- 2p 13 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.



[uitlegfilmpje](#)



## Oefenopgaven zuren en basen



[Hier](#) staat een overzicht van alles wat je over zuren en basen moet weten. Uit de (her)examens van 2018 en 2019 komen geen opgaven, deze kun je als heel examen oefenen. Via de link/QR code kom je steeds bij een uitlegfilmpje.

### [Videosamenvatting](#)



### 2011 II pilot

Op veel plaatsen in de wereld sijpelt water uit verlaten mijnen. Dit water heeft vaak een extreem lage pH en bevat hoge concentraties van ionen van metalen, waaronder zware metalen. In de vakliteratuur wordt dit Acid Mine Drainage (AMD) genoemd. Een oorzaak van deze waterverontreiniging is de reactie van zuurstof en water met metaalverbindingen. Eén van die metaalverbindingen is pyriet,  $\text{FeS}_2$ . In een wetenschappelijk artikel dat over AMD gaat, staat dat bij de reactie van pyriet met zuurstof en water  $\text{Fe}^{2+}$  en  $\text{SO}_4^{2-}$  ontstaan.  $\text{FeS}_2$  treedt op als reductor.

Het water dat uit de mijnen sijpelt is buitengewoon zuur. In veel gevallen worden zelfs negatieve pH's gemeten. Dan is er veel  $\text{SO}_4^{2-}$  omgezet tot  $\text{HSO}_4^-$ .

- 4p 15 Bereken hoeveel procent van het  $\text{SO}_4^{2-}$  is omgezet tot  $\text{HSO}_4^-$  in een oplossing met  $\text{pH} = -0,70$  (298 K).

Wanneer het water uit zulke mijnen in rivieren terechtkomt, wordt het rivierwater sterk verontreinigd. Er kan vissterfte optreden, dieren die dat water drinken, kunnen doodgaan en er kan schade optreden aan planten. Het is dus zaak dit zure mijnwater voor het in de rivier terechtkomt, te zuiveren. Daar bestaan verschillende manieren voor. Eén manier is het inzetten van zogenoemde sulfaatreducerende bacteriën. Die zijn in staat om organisch materiaal om te zetten met behulp van sulfaat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Bij deze omzetting ontstaan waterstofsulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ), en waterstofcarbonaat ( $\text{HCO}_3^-$ ).

Het blijkt dat hierdoor de pH van het water langzaam stijgt en dat de concentraties van ionen van (zware) metalen in het water langzaam dalen.

- 3p 16 Geef de reactievergelijking voor zo'n bacteriële omzetting van organisch materiaal met behulp van  $\text{SO}_4^{2-}$ . Gebruik glucose als organisch materiaal.

- 2p 17 Leg met behulp van Binas-tabel 49 uit dat de pH van het water bij dit proces stijgt.

De concentraties van de ionen van (zware) metalen in het water dalen doordat slecht oplosbare verbindingen worden gevormd. Dit kunnen sulfiden zijn, maar ook hydroxiden. Dit is na te gaan door aan het slib waarin deze slecht oplosbare verbindingen zich bevinden een oplossing van een sterk zuur toe te voegen.



Wanneer ijzer(II)sulfide of zinksulfide aanwezig zijn, zal een (stinkend) gas ontstaan: waterstofsulfide. Maar wanneer gasontwikkeling wordt waargenomen bij toevoeging van een oplossing van een sterk zuur, kan het toch zijn dat, behalve ijzer(II)sulfide en/of zinksulfide, ook hydroxiden in het slib aanwezig zijn.

- 3p **18** Beschrijf welke bepalingen je kunt doen om na te gaan of in het slib behalve ijzer(II)sulfide en/of zinksulfide, ook hydroxiden aanwezig zijn. Geef daarbij aan waarop je conclusie wordt gebaseerd.

Een andere manier om AMD te bestrijden is met behulp van chemicaliën. De stoffen die men daarvoor kiest, moeten chemisch gezien aan een aantal voorwaarden voldoen. Bovendien moeten de kosten voor de zuivering zo laag mogelijk worden gehouden. Deze kosten worden bepaald door de chemicaliën, maar ook door het vervoer ervan naar veelal afgelegen gebieden. Dat vervoer vindt vaak plaats met behulp van vrachtwagens.

Twee stoffen die in aanmerking komen voor zuivering van door AMD vervuild mijnwater, zijn calciumoxide en natriumhydroxide.

- 2p **19** Geef twee redenen, ontleend aan de chemie, waarom calciumoxide en natriumhydroxide beide geschikt zijn om door AMD vervuild mijnwater te zuiveren.
- 3p **20** Welk van beide stoffen heeft de voorkeur, gezien de kosten van het vervoer? Of maakt het (vrijwel) niet uit? Geef een verklaring voor je antwoord. Het maximaal laadvermogen van een vrachtwagen wordt uitgedrukt in kg.



[Uitlegfilmpje](#)

## 2014-II

(pilot)

De 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.

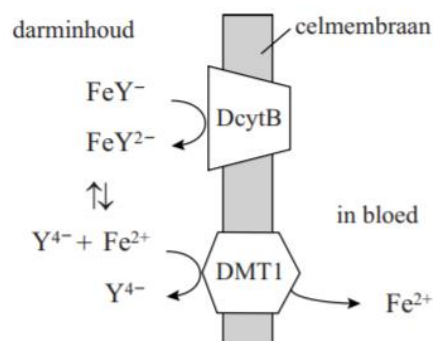
- 2p **9** Leg uit welke soort stof de onderzoekers hebben toegevoegd om de  $\text{pH}$  van de oplossing op 7,00 te brengen.
- 3p **10** Ga met een berekening na van welke soort ionen, ontstaan uit de fosfaationen, de concentratie het grootst is bij  $\text{pH} = 7,00$  (298 K).



[Uitlegfilmpje](#)

De Nederlandse firma AkzoNobel heeft een stof ontwikkeld om voedsel met goed opneembaar ijzer te verrijken: Ferrazone<sup>®</sup> (NaFeY). Ferrazone<sup>®</sup> is een zout dat bestaat uit Na<sup>+</sup> ionen en FeY<sup>-</sup> ionen. Een FeY<sup>-</sup> ion wordt gevormd als Fe<sup>3+</sup> en het zwakke zuur EDTA (H<sub>4</sub>Y) worden samengevoegd. Als Ferrazone<sup>®</sup> via voeding het menselijk lichaam binnenkomt, lost het volledig op en valt het uiteen in Na<sup>+</sup> en FeY<sup>-</sup>. De FeY<sup>-</sup> ionen nemen in het lichaam niet deel aan neerslagreacties.

Hiernaast is de opname van Fe<sup>2+</sup> uit FeY<sup>-</sup> in de darmen weergegeven. In de twaalfvingerige darm zet het enzym DcytB FeY<sup>-</sup> om tot FeY<sup>2-</sup>. Het eiwit DMT1 transporteert Fe<sup>2+</sup> vervolgens door het celmembraan van de darmwand: het ijzer is nu opgenomen en kan door het lichaam worden gebruikt voor bijvoorbeeld zuurstoftransport.



De pH dicht bij de darmwand is laag. Dit draagt bij aan het vrijkomen van de ijzer(II)ionen uit FeY<sup>2-</sup>.

- 2p 15 Leg uit dat de lage pH bijdraagt aan het vrijkomen van de ijzer(II)ionen uit FeY<sup>2-</sup>.

[uitlegfilmpje](#)



## 2015-II(pilot)

Om lithium te produceren uit spodumeen wordt spodumeen eerst vermalen en vervolgens verhit tot boven 1100 °C. Door het verhitten verpulvert het spodumeen. Vervolgens wordt het (afgekoelde) spodumeen vermengd met zwavelzuur en verhit tot 250 °C. Hierbij vindt een zuur-basereactie plaats die als volgt kan worden weergegeven:

$$2 \text{LiAlSi}_2\text{O}_6 + 4 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Li}_2\text{SO}_4 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 4 \text{SiO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$$

- 1p 21 Geef de formule van de negatieve ionsoort die in deze reactie als base optreedt.

## 2016 voorbeeldexamen

De hiervoor genoemde omzetting van ethanoaat in hexanoaat verloopt bij een pH tussen 5,5 en 7,0. Omdat hexaanzuur een zwak zuur is ( $K_s = 1,66 \cdot 10^{-5}$ ), bevat het reactiemengsel zowel natriumhexanoaat als hexaanzuur. Omdat het hexaanzuur uiteindelijk als grondstof wordt gebruikt voor de productie van de biodiesel, is van belang te weten hoe groot het percentage hexaanzuur is. Hiermee wordt het percentage bedoeld van het totaal aantal mol hexaanzuur en hexanoaat dat aanwezig is als hexaanzuur.

- 4p 10 Bereken hoeveel procent van het totaal aantal mol hexanoaat en hexaanzuur aanwezig is als hexaanzuur bij pH = 5,50 ( $T = 298 \text{ K}$ ).





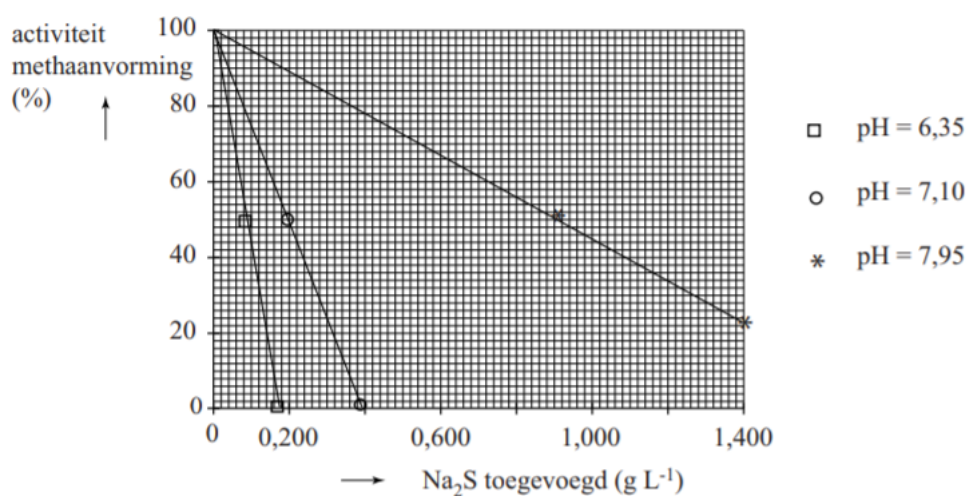
[Uitlegfilmpje](#)

2016-I

Het gevormde  $\text{H}_2\text{S}$  en het tevens aanwezige  $\text{HS}^-$  zijn bij een hoge concentratie giftig voor de methaanvormende bacteriën.

Om het remmende effect van  $\text{H}_2\text{S}$  en  $\text{HS}^-$  op de methaanproductie te onderzoeken werd in een laboratoriumopstelling de methaanproductie van methaanvormende bacteriën bepaald na toevoeging van verschillende hoeveelheden  $\text{Na}_2\text{S}$ . Dit experiment werd uitgevoerd bij drie pH-waarden, die met behulp van buffers werden ingesteld. De overige omstandigheden werden constant gehouden. In diagram 1 is het resultaat van de metingen weergegeven.

**diagram 1**



Bij de gebruikte pH-waarden worden de opgeloste  $\text{S}^{2-}$  ionen volledig omgezet tot  $\text{H}_2\text{S}$  en  $\text{HS}^-$ .

In de oplossing stelt zich het volgende evenwicht in:



- 3p **15** Leg met behulp van diagram 1 uit welk deeltje de methaanvorming het sterkst remt:  $\text{H}_2\text{S}$  of  $\text{HS}^-$ .

Bij pH = 7,10 is een afname van 50% van de methaanvorming gemeten na het toevoegen van 0,20 g  $\text{Na}_2\text{S}$  per liter. Berekend kan worden dat dan de concentratie  $\text{H}_2\text{S}$  0,041 g  $\text{L}^{-1}$  bedraagt.

Bij pH = 7,95 is dezelfde afname van de methaanvorming gemeten na het toevoegen van 0,90 g  $\text{Na}_2\text{S}$  per liter. Hoewel in deze proef meer  $\text{Na}_2\text{S}$  is toegevoegd, is er toch ongeveer evenveel  $\text{H}_2\text{S}$  aanwezig als in de genoemde proef bij pH = 7,10.

- 5p **16** Bereken hoeveel gram  $\text{H}_2\text{S}$  per liter in de reactor bij pH = 7,95 aanwezig is, wanneer 0,90 g  $\text{Na}_2\text{S}$  per liter is toegevoegd ( $T = 298 \text{ K}$ ,  $p = p_0$ ).  
Neem aan dat het  $\text{H}_2\text{S}$  in de reactor geheel is opgelost in water.

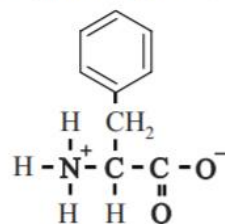
[Uitlegfilmpje](#)



## 2017 I

Het pH-optimum van PAL ligt bij pH = 8,80. Bij deze pH komen moleculen fenylalanine vooral voor in de vorm zoals hiernaast is weergegeven. De  $K_z$  van de  $\sim\text{NH}_3^+$  groep in fenylalanine bedraagt  $7,4 \cdot 10^{-10}$ .

fenylalanine (pH = 8,80)



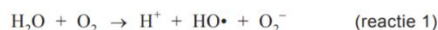
- 4p 6 Bereken hoeveel procent van de aminogroepen van fenylalanine aanwezig is als  $\sim\text{NH}_3^+$  bij pH = 8,80 ( $T = 298 \text{ K}$ ).

[Uitlegfilmpje](#)



## 2017 II

In Makati verfde men het drukke metrostation Guadalupe met een speciaal soort verf: de zogeheten KNOxOUT™-verf van de Filipijnse firma Boysen. Deze verf zorgde ervoor dat de  $\text{NO}_x$ -concentratie drastisch daalde. Dit succes is te danken aan de katalysator  $\text{TiO}_2$  die in de verf verwerkt is.  $\text{TiO}_2$  zet water- en zuurstofmoleculen onder invloed van uv-straling om volgens reactie 1.



- 2p 8 Leg mede aan de hand van de formules van de betrokken deeltjes uit of deze omzetting van water en zuurstof kan worden opgevat als een redoxreactie of als een zuur-basereactie.

De gevormde deeltjes reageren met  $\text{NO}_x$  tot salpeterzuur. Hierbij wordt uit elk deeltje  $\text{NO}_x$  één deeltje salpeterzuur gevormd.

Het gevormde salpeterzuur wordt vervolgens door het in de verf aanwezige calciumcarbonaat ( $\text{CaCO}_3$ ) volledig geneutraliseerd. De stoffen die bij deze reactie ontstaan, spoelen tijdens een regenbui weg. Als het gevormde salpeterzuur volledig wordt geneutraliseerd door calciumcarbonaat ontstaan  $\text{CO}_2$  en opgelost calciumnitraat.

- 3p 9 Geef de vergelijking van de reactie van calciumcarbonaat met opgelost salpeterzuur waarbij onder andere  $\text{CO}_2$  en opgelost calciumnitraat ontstaan.

[uitlegfilmpje](#)



## Oefenopgaven Lewisstructuren en reactiemechanisme



Via de link/QR code kom je steeds op een uitlegfilmpje.

[Uitlegfilmpje Lewisstructuren](#) tekenen. De opgaven uit de (her)examens van 2018 en 2019 staan er niet bij, zodat je die als hele examens kunt oefenen.

[Videosamenvatting](#)

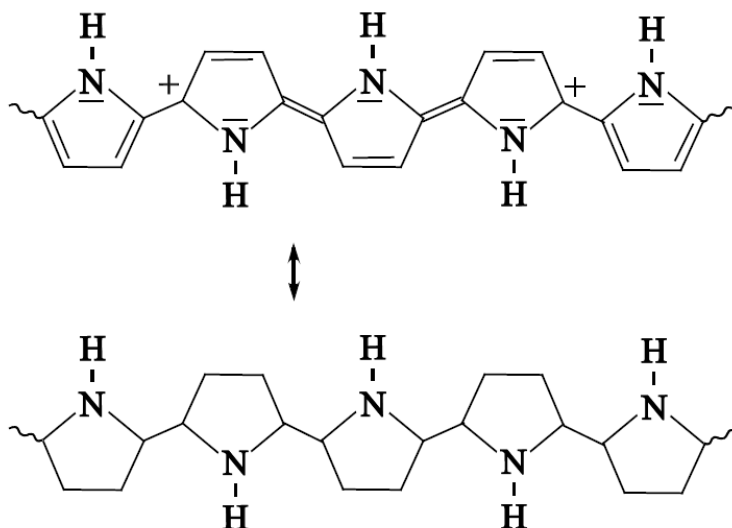


### 2016 voorbeeldexamen

Het gevormde positief geladen PPy is een voorbeeld van een geleidend polymeer. Mede met behulp van mesomere grensstructuren is te verklaren dat positief geladen PPy een geleidend polymeer is. Op de uitwerkbijlage die bij dit examen hoort, is één mesomere grensstructuur van positief geladen PPy weergegeven.

- 2p 4 Geef op de uitwerkbijlage in de onderste structuur een andere mesomere grensstructuur van de gegeven PPy-keten, waarmee verklaard kan worden dat PPy een geleidend polymeer is. Doe dit door de ontbrekende elektronenparen en positieve ladingen weer te geven.

**positief geladen polypyrrol**



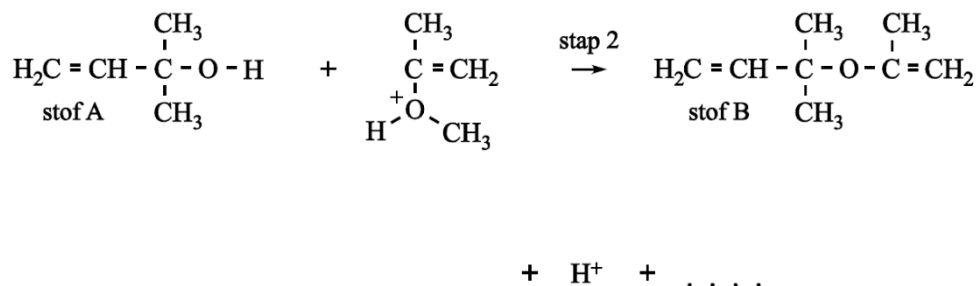
[Uitlegfilmpje](#)





In reactie 2 wordt stof A vervolgens omgezet tot stof B. Het mechanisme van reactie 2 is op de uitwerkbijlage in twee stappen onvolledig weergegeven. Behalve stof B en  $\text{H}^+$  wordt in stap 2 nog één andere stof gevormd.

- 3p **24** Geef op de uitwerkbijlage de tweede stap van het mechanisme van reactie 2 weer met behulp van Lewisstructuren.
- Geef met pijlen weer hoe elektronenparen worden verplaatst tijdens de reactie;
  - geef de Lewisstructuur van het deeltje dat ook vrijkomt in de tweede stap van het mechanisme.

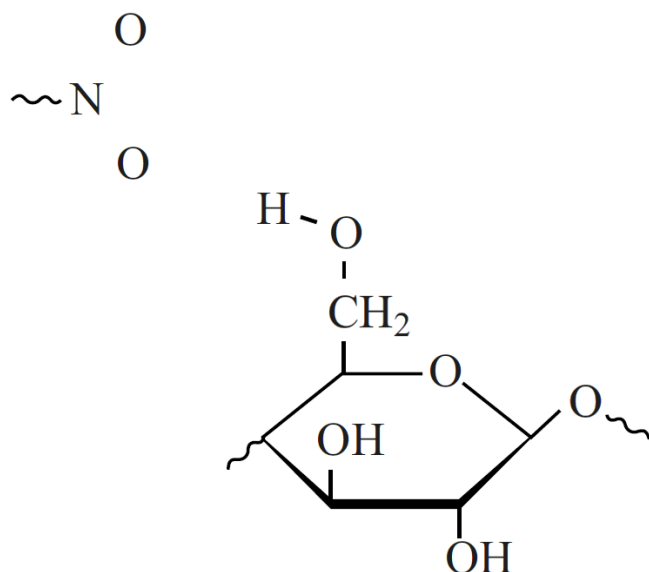


[Uitlegfilmpje](#)

**2016 I**

Met behulp van Lewisstructuren kan worden verklaard waarom MX goed hecht aan katoen. Op de uitwerkbijlage die bij dit examen hoort, zijn een nitrogroep van MX en een gedeelte van een molecuul cellulose schematisch en onvolledig weergegeven.

- 3p **3** Geef op de uitwerkbijlage de Lewisstructuur van de nitrogroep van MX en de bovenste OH groep van cellulose. Geef in de tekening formele en partiële ladingen aan. De weergegeven Lewisstructuren moeten voldoen aan de oktetregel.



[uitlegfilmpje](#)



2016 II

Het zure karakter van de sulfonzuurgroep wordt onder andere veroorzaakt doordat van de geconjugeerde  $R-OSO_3^-$  groep meerdere grensstructuren mogelijk zijn.

- 4p 8 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.

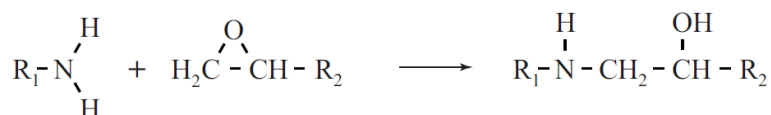
Neem aan dat de covalentie van zwavel 6 is. De overige atomen in de weergegeven Lewisstructuur moeten voldoen aan de oktetregel. Laat hierbij de groep R buiten beschouwing.

[Uitlegfilmpje](#)



Wanneer het di-epoxide wordt gemengd met de amine treedt de hieronder weergegeven reactie op.

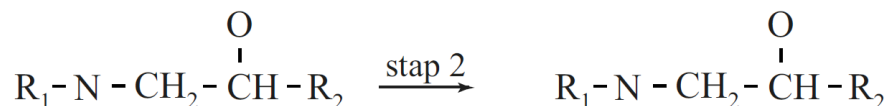
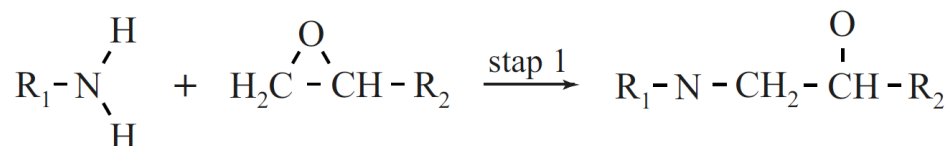
Met  $R_1$  en  $R_2$  worden de overige delen van de moleculen aangeduid.



De amine treedt hierbij op als een nucleofiel deeltje.

Op de uitwerkbijlage bij deze opgave is de reactie onvolledig weergegeven in twee stappen. In stap 2 verplaatst zich een H atoom.

- 3p 15 Maak de stappen op de uitwerkbijlage af door ontbrekende elektronenparen en atomen aan te vullen. Gebruik Lewisstructuren. Geef met pijlen aan hoe elektronenparen zich verplaatsen. Geef formele ladingen aan.

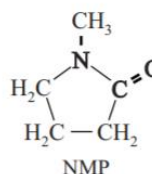


[Uitlegfilmpje](#)



2017 I

NMP is een oplosmiddel dat op grote schaal 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 mesomere grensstructuur van NMP. In deze Lewisstructuur komen formele ladingen voor.



- 3p 24 Geef de Lewisstructuur van het hierboven weergegeven NMP en van de andere mesomere grensstructuur van NMP. Geef formele ladingen aan in de structuren. De Lewisstructuren moeten voldoen aan de oktetregel.



[Uitlegfilmpje](#)

2017 II

De verhoudingsformule van natriumsilicide is NaSi. Natriumsilicide is opgebouwd uit  $\text{Na}^+$  en  $\text{Si}_4^{4-}$  ionen. Een  $\text{Si}_4^{4-}$  ion heeft de vorm van een tetraëder. Op elk hoekpunt van de tetraëder is een Si deeltje aanwezig.

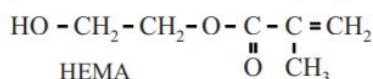
- 3p 11 Geef de Lewisstructuur van een ion  $\text{Si}_4^{4-}$ . Geef formele ladingen aan.



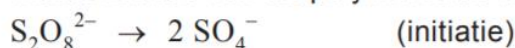
[Uitlegfilmpje](#)

Het koelen van kantoorgebouwen kost veel energie. Een manier om de energiekosten voor het koelen te verminderen is het dak van het gebouw met sponsachtig materiaal te bedekken dat regenwater opneemt. Wanneer later de zon schijnt, verdampt het water waardoor het gebouw minder opwarmt. Een groep wetenschappers heeft onderzocht of een hydrogel hiervoor een geschikt materiaal is. Een hydrogel is een homogeen mengsel van een polymeer met water. De watermoleculen zijn ingesloten tussen de polymeerketens. Interacties tussen de ketens zorgen ervoor dat het mengsel niet vloeibaar is en niet ontmengt.

Wetenschappers onderzochten eerst of een hydrogel gebaseerd op het polymeer pHEMA geschikt was om gebouwen te koelen. pHEMA is het additiepolymeer van HEMA.



pHEMA wordt bereid door aan een mengsel van HEMA met water een kleine hoeveelheid ammoniumpersulfaat,  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ , toe te voegen. De initiatiereactie van de polymerisatie is hieronder weergegeven.



Het deeltje  $\text{SO}_4^-$  is het radicaal dat de polymerisatie op gang brengt.

- 2p **18** Geef een mogelijke Lewisstructuur van het deeltje  $\text{SO}_4^-$ , waaruit blijkt dat het deeltje een radicaal is. Geef formele ladingen aan. Neem aan dat de covalentie van zwavel zes is. Het radicaal  $\text{SO}_4^-$  reageert met HEMA, waardoor uiteindelijk pHEMA ontstaat.

- 3p **19** Geef de vergelijking van de propagatiereactie van een deeltje  $\text{SO}_4^-$  met een molecuul HEMA. Geef het deeltje  $\text{SO}_4^-$  aan met  $\text{R}\cdot$ . Geef met pijlen aan hoe elektronen zich verplaatsen tijdens de reactie.

[Uitlegfilmpje](#)



## Oefenopgaven analysetechnieken en reactiesnelheid



[Hier](#) staat een uitlegfilmpje over massaspectrometrie. [Hier](#) staat een overzicht van analysetechnieken. De opgaven van de (her)examens uit 2018 en 2019 staan er niet bij zodat je die als heel examen kunt oefenen.



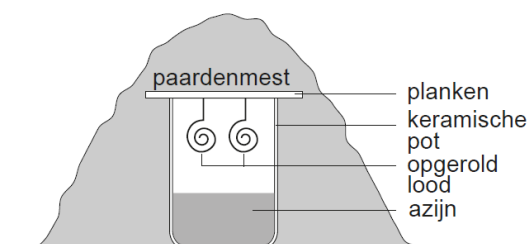
Via de linkjes/QR codes kom je steeds bij een uitlegfilmpje.

[Videosamenvatting](#)

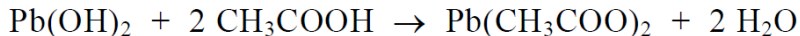


### 2007 I

Loodwit is een zogenoemd dubbelzout dat kan worden weergegeven met de formule  $\text{Pb}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$ . De bereiding van loodwit wordt niet zo nauwkeurig beschreven. De keramische potten waren niet volledig afgesloten: het lood stond via kieren in de planken in contact met de buitenlucht en met gasvormige stoffen die uit de broeiende paardenmest kwamen. Andere stoffen konden vanuit de paardenmest niet door of langs de planken in de pot terechtkomen. Zie de figuur hiernaast.



Bij het proces ontstaat eerst loodhydroxide. Een deel van dit loodhydroxide wordt met de damp van ethaanzuur omgezet tot loodethanoaat:



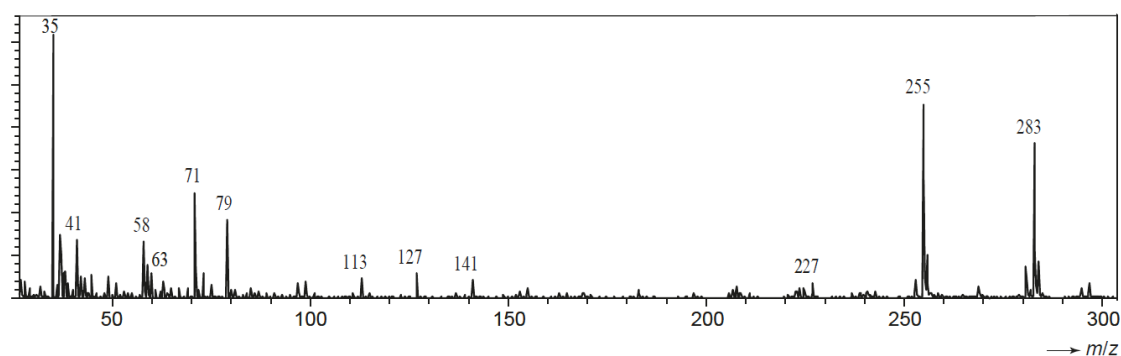
Het broeien van paardenmest is een exotherm proces. Dit feit bevordert op twee manieren de vorming van loodwit.

- 3p 11 Op welke twee manieren bevordert het feit dat het broeien van paardenmest een exotherm proces is de vorming van loodwit? Geef een verklaring voor je antwoord.

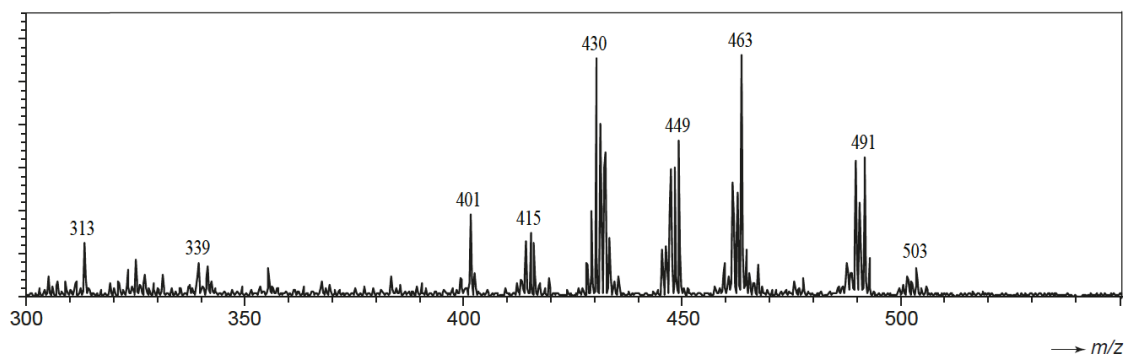
Massaspectrometrie speelt een belangrijke rol bij het onderzoek naar de samenstelling van de protrusies. Eén van de schilderijen waaraan dit onderzoek is gedaan, is het schilderij “Anatomische Les” van Rembrandt. Monsters uit de protrusies ondergingen in een massaspectrometer een zodanige bewerking dat daaruit negatieve en positieve ionen vrijkwamen. Er is een massaspectrum opgenomen van de negatieve ionen (massaspectrum 1) en één van de positieve ionen (massaspectrum 2).



### massaspectrum 1



### massaspectrum 2



Uit massaspectrum 1 blijkt de aanwezigheid van chloride-ionen in de protrusie en ook van palmitaationen en stearaationen.

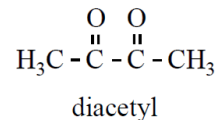
De pieken bij  $m/z = 463$  en  $m/z = 491$  in massaspectrum 2 geven een sterke aanwijzing voor de aanwezigheid van loodpalmitaat en loodstearaat in de protrusie.

- 2p **14** Geef de  $m/z$  waarde van een piek van de chloride-ionen en de  $m/z$  waarde van een piek van de stearaationen in massaspectrum 1.  
 Noteer je antwoord als volgt:  
 chloride-ionen: bij  $m/z = \dots$   
 stearaationen: bij  $m/z = \dots$
- 2p **15** Leid, mede met behulp van een gegeven uit Binas-tabel 25, de formule af van de positieve ionsoort die de piek bij  $m/z = 463$  in massaspectrum 2 veroorzaakt.



[Uitlegfilmpje](#)

Eén van de angsten van bierbrouwers is dat hun product een slechte smaak heeft. Een slechte smaak kan worden veroorzaakt door diacetyl (zie de structuurformule hiernaast). Diacetyl geeft bier een botersmaak.



Met behulp van chromatografie kan worden aangetoond dat diacetyl in bier voorkomt.

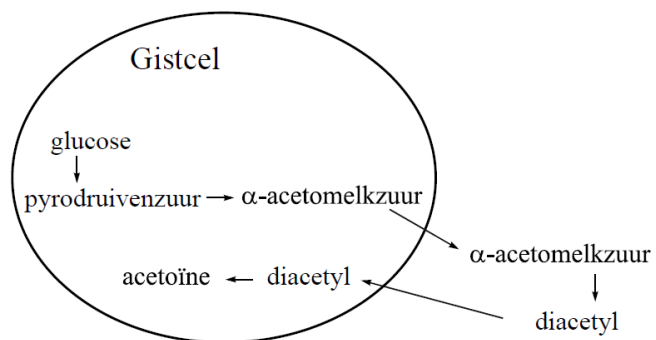
- 2p **10** Beschrijf hoe je door middel van chromatografie kunt aantonen dat diacetyl in bier voorkomt. Geef ook aan waaruit blijkt dat in het onderzochte bier inderdaad diacetyl voorkomt.

Tijdens het brouwen van bier wordt in gistcellen glucose in een aantal stappen enzymatisch omgezet. Daarbij wordt onder andere pyrodruivenzuur gevormd, een stof met de molecuulformule  $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$ . Een groot deel van het pyrodruivenzuur wordt door de gistcellen omgezet tot ethanol.

De gistcellen zullen echter uit pyrodruivenzuur ook de stof  $\alpha$ -acetomelkzuur vormen. Bij de vorming van  $\alpha$ -acetomelkzuur uit pyrodruivenzuur ontstaat één andere stof.  $\alpha$ -Acetomelkzuur heeft de molecuulformule  $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_4$ .

Een deel van het ontstane  $\alpha$ -acetomelkzuur wordt buiten de gistcel omgezet tot diacetyl. Het gevormde diacetyl kan door de gistcellen weer worden opgenomen en enzymatisch worden omgezet tot acetoïne. Acetoïne is minder nadelig voor de smaak van het bier dan diacetyl.

De hiervoor beschreven omzettingen van glucose tot diacetyl en acetoïne zijn hiernaast schematisch samengevat. Voor de omzettingen in de gistcel zijn enzymen nodig. De omzetting buiten de gistcel is een langzame reactie waarbij enzymen geen rol spelen.



Bij de bierproductie is het dus van belang dat het gistingsproces voldoende tijd krijgt. Een te korte gistingsduur kan nadelig zijn voor de smaak. De gistingsduur kan niet worden verkort door de temperatuur te verhogen, want gistcellen gaan boven  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  dood.

Op internet staat een eenvoudige test beschreven, de zogenoemde diacetyl-test, waarmee kan worden nagegaan of het gistingsproces lang genoeg heeft geduurd.

#### diacetyl-test

- neem twee monsters van het brouwsel en nummer deze 1 en 2
- plaats monster 1 gedurende 10 - 20 minuten in een waterbad van  $60 - 70\text{ }^{\circ}\text{C}$
- bewaar monster 2 bij kamertemperatuur
- koel monster 1 af tot kamertemperatuur
- proef beide monsters
- noteer of een botersmaak is waar te nemen

In principe zijn er voor de uitkomst van de test vier combinaties, die in onderstaande tabel met de letters A, B, C en D zijn aangegeven. Een + in deze tabel betekent dat een botersmaak wordt waargenomen. Een – geeft aan dat geen botersmaak wordt waargenomen.

|                           | A | B | C | D |
|---------------------------|---|---|---|---|
| monster 1 (verwarmd)      | + | – | + | – |
| monster 2 (niet verwarmd) | + | – | – | + |

Op de website wordt aan de combinatie die onder de letter D staat geen aandacht besteed. Het is namelijk zeer onwaarschijnlijk dat de test resultaat D oplevert. De andere drie combinaties kunnen wel optreden.

- 2p **13** Leg uit waarom het zeer onwaarschijnlijk is dat de test resultaat D oplevert. Maak gebruik van in deze opgave verstrekte gegevens met betrekking tot de reacties die in en buiten de gistcel plaatsvinden.
- 2p **14** Geef twee mogelijke oorzaken voor de afwezigheid van een botersmaak in monster 2 en leg uit waarom men in dat geval ook het verwarmde monster moet proeven om na te gaan of het gistingsproces lang genoeg heeft geduurd.



[Uitlegfilmpje](#)

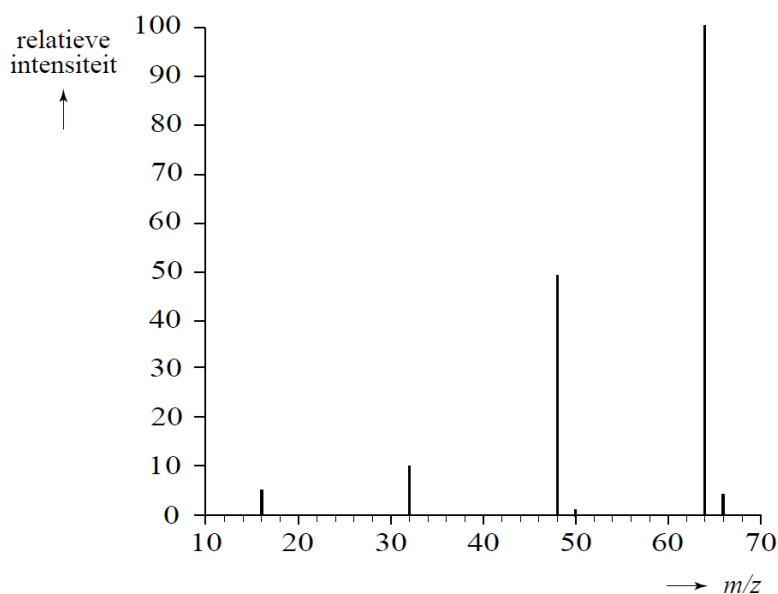
## 2011-I

Van de atoomsoort zwavel komen in de natuur meerdere stabiele isotopen voor. In onderstaande tabel staan gegevens van de twee meest voorkomende zwavelisotopen. In het vervolg van deze opgave mogen andere zwavelisotopen buiten beschouwing worden gelaten.

|                            | $^{32}\text{S}$ | $^{34}\text{S}$ |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| atoommassa (u)             | 31,97207        | 33,96787        |
| voorkomen in de natuur (%) | 95,02           | 4,21            |

Als gevolg van het voorkomen van deze zwavelisotopen bestaan er dus sulfaationen met  $^{32}\text{S}$  en met  $^{34}\text{S}$ . Uit onderzoek is gebleken dat bij de bacteriële omzetting van  $\text{SO}_4^{2-}$  tot  $\text{HS}^-$  zogenoemde isotoopfractionering optreedt. Bacteriën blijken van één van de twee isotopen meer te gebruiken dan van de andere. Dit betekent dat wanneer aan bacteriën een sulfaatoplossing wordt aangeboden waarin  $\text{SO}_4^{2-}$  met een bepaalde  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  verhouding voorkomt, deze isotoopverhouding in het niet omgezet  $\text{SO}_4^{2-}$  na verloop van tijd zal zijn veranderd. Bovendien is dan ook de  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  verhouding in het ontstane  $\text{HS}^-$  anders dan de oorspronkelijke verhouding in het  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Bij een experiment om deze isotoopfractionering te onderzoeken, werd een  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  oplossing aan een bacteriekweek aangeboden. Op verschillende tijdstippen werd een monster van de bacteriekweek genomen. Het eerste monster werd direct na toevoeging van de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  oplossing genomen ( $t = 0$ ). Het tweede monster werd enige tijd later genomen ( $t = 1$ ). Aan de monsters werd een  $\text{BaCl}_2$  oplossing toegevoegd, waardoor al het aanwezige  $\text{SO}_4^{2-}$  als  $\text{BaSO}_4$  werd neergeslagen. Het ontstane mengsel werd vervolgens gefiltreerd en het  $\text{BaSO}_4$  in het residu werd in een aantal stappen omgezet tot gasvormig  $\text{SO}_2$ . Het ontstane gas werd onderzocht in een massaspectrometer. Hieronder is het massaspectrum gegeven van het gas dat ontstond na de behandeling van het eerste monster ( $t = 0$ ).



De  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  verhouding werd afgeleid uit de verhouding van de hoogtes van de pieken bij  $m/z = 66$  en  $m/z = 64$ . De  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  verhouding is echter niet gelijk aan de verhouding van de hoogte van de pieken bij  $m/z = 66$  en  $m/z = 64$ . Dat komt omdat de piek bij  $m/z = 66$  niet alleen wordt veroorzaakt door deeltjes waarin  $^{34}\text{S}$  voorkomt, maar ook door deeltjes waarin deze isotoop niet voorkomt. De verhouding van de piekhoogtes moet hiervoor worden gecorrigeerd.

- 2p 17 Geef de isotopensamenstelling van een deeltje dat geen  $^{34}\text{S}$  bevat, maar dat in het massaspectrum van het ontstane gas wel bijdraagt aan de hoogte van de piek bij  $m/z = 66$ . Neem aan dat het onderzochte gas uitsluitend uit  $\text{SO}_2$  bestond.

De verhouding  $\frac{\text{piekhoogte bij } m/z = 66}{\text{piekhoogte bij } m/z = 64}$  in de onderzochte monsters is in onderstaande tabel weergegeven. In deze tabel is de correctie voor de aanwezigheid van andere isotopen dan  $^{34}\text{S}$  reeds toegepast.

|   | $t = 0$ | $t = 1$ |
|---|---------|---------|
| $\frac{\text{piekhoogte bij } m/z = 66}{\text{piekhoogte bij } m/z = 64}$ | 0,0443  | 0,0452  |

- 2p **18** Leg op grond van deze resultaten uit wat bacteriën meer omzetten:  $^{32}\text{SO}_4^{2-}$  of  $^{34}\text{SO}_4^{2-}$ .

In bovengenoemd experiment is de verandering van de  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  verhouding bepaald door het  $\text{SO}_4^{2-}$  te analyseren na een neerslagreactie. De verandering van de  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  verhouding kun je ook achterhalen door het  $\text{HS}^-$ , dat bij de bacteriële omzetting is ontstaan, te onderzoeken. Dit gaat echter niet eenvoudig met een neerslagreactie, omdat de meeste waterstofzouten dus ook de zouten met  $\text{HS}^-$  goed oplosbaar zijn. Om toch het  $\text{HS}^-$  in een bacteriekweek via een neerslagreactie en vervolgens met massaspectrometrie van  $\text{SO}_2$  te onderzoeken, moeten enkele bewerkingen worden uitgevoerd.

- 3p **19** Beschrijf een methode om, uitgaande van het  $\text{HS}^-$  in de bacteriekweek, een vast zout te verkrijgen waarmee in een vervolgonderzoek de  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  verhouding kan worden bepaald. Vermeld in je beschrijving ook de namen van de stoffen en/of oplossingen die moeten worden gebruikt.

[uitlegfilmpje](#)

2012-II pilot

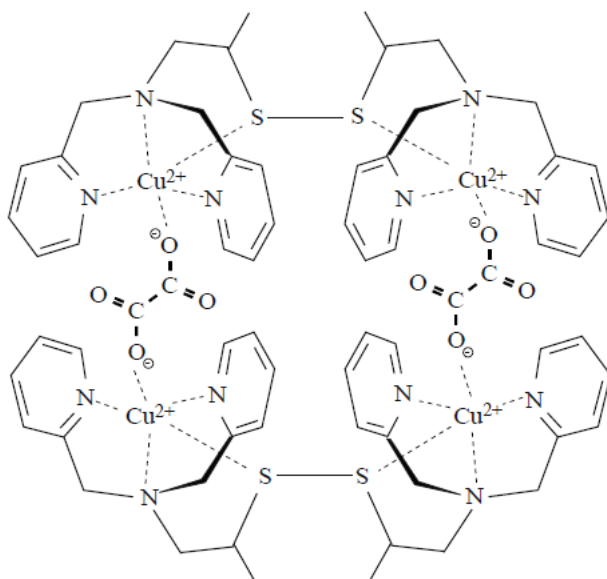


Aan de Universiteit van Leiden wordt onderzoek gedaan naar een methode om koolstofdioxide te binden. Bij deze methode wordt gebruikgemaakt van een koper(I)complex dat wordt aangeduid met  $\text{P}^{2+}$ . Men maakt dit complex door  $\text{Cu}^{2+}$  ionen te laten reageren met moleculen van een organische stof  $\text{R-SH}$ . De reactie tussen  $\text{Cu}^{2+}$  en  $\text{R-SH}$  is een redoxreactie, waarbij  $\text{P}^{2+}$  gevormd wordt.

Dat het koper(I)complex  $\text{P}^{2+}$  is gevormd, wordt aangetoond met behulp van massaspectrometrie. In het massaspectrum wordt onder andere een piek aangetroffen bij  $m/z = 335$ . Deze piek wordt toegeschreven aan het deeltje  $\text{P}^{2+}$  waarin uitsluitend de isotoop  $\text{Cu-63}$  aanwezig is. Dit deeltje  $\text{P}^{2+}$  heeft  $m = 670$  u en  $z = 2+$ .

Als een oplossing van  $\text{P}^{2+}$  aan de lucht wordt blootgesteld, ontstaan langzaam groenblauwe kristallen. Het blijkt dat de  $\text{Cu}^{2+}$  ionen worden omgezet in  $\text{Cu}^{2+}$  ionen. In deze reactie reageert niet zuurstof als oxidator, maar  $\text{CO}_2$ . Hierbij ontstaat een nieuw complex  $\text{Q}^{4+}$  dat wordt gevormd uit twee deeltjes  $\text{P}^{2+}$  en 4 moleculen  $\text{CO}_2$ . In figuur 1 is dit deeltje  $\text{Q}^{4+}$  met behulp van een schematische structuurformule weergegeven.





Dat dit deeltje  $Q^{4+}$  is gevormd, heeft men onder andere uit het massaspectrum van het reactieproduct afgeleid: daarin heeft men een piek gevonden bij  $m/z = 379$ . Deze waarde geldt voor  $Q^{4+}$  waarin van Cu en C alleen de isotopen Cu-63 en C-12 voorkomen. Dat  $CO_2$  heeft gereageerd, heeft men kunnen bevestigen door een aanvullend experiment waarbij men gebruikmaakte van  $CO_2$  met daarin uitsluitend de isotoop C-13.

- 2p 2 Laat met behulp van een berekening zien dat de piek bij  $m/z = 379$  verwijst naar het deeltje  $Q^{4+}$ .
- 2p 3 Leg uit bij welke  $m/z$  waarde een piek zal voorkomen bij het aanvullende experiment. Men kan een experiment uitvoeren, waarmee kan worden aangetoond dat  $CO_2$  de oxidator is bij gelijktijdige aanwezigheid van koolstofdioxide en zuurstof.
- 2p 4 Geef een beschrijving van zo'n experiment. Geef aan hoe uit de resultaten kan worden geconcludeerd dat bij gelijktijdige aanwezigheid van koolstofdioxide en zuurstof de oxidator koolstofdioxide is.

Een oplossing met daarin  $Q^{4+}$ , waarin koolstofdioxide uit de lucht is gebonden, kan worden geëlektrolyseerd. Hierbij wordt het complex  $P^{2+}$  weer gevormd en ontstaan oxalaationen. Als in de oplossing lithiumionen aanwezig zijn, ontstaat een neerslag van lithiumpoxalaat ( $Li_2C_2O_4$ ).

Studenten voeren een experiment uit met 5,0 L lucht afkomstig uit een niet goed geventileerde ruimte. Het volumepercentage  $CO_2$  in de lucht is vóór behandeling 0,55 volumepercent. Ze laten de lucht enige tijd met een oplossing van  $P^{2+}$  in aanraking komen. Vervolgens wordt het ontstane mengsel geëlektrolyseerd in aanwezigheid van lithiumionen. De massa van het ontstane neerslag van lithiumpoxalaat blijkt 24 mg te zijn.

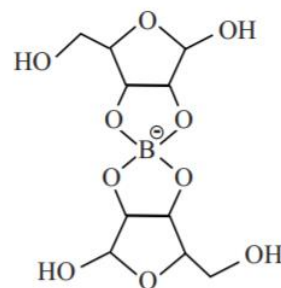
- 5p 5 Bereken hoeveel volumepercent koolstofdioxide de lucht na de behandeling bevat. Neem aan dat:
- het volume van de lucht na de behandeling nog steeds 5,0 L is;
  - alle lithiumpoxalaat is neergeslagen;
  - het molair volume voor gassen bij de proefomstandigheden  $24,5 \text{ L mol}^{-1}$  is;
  - de elektrolysereactie, waarbij het complex  $Q^{4+}$  wordt geregenereerd tot  $P^{2+}$ , voor 95% is verlopen.



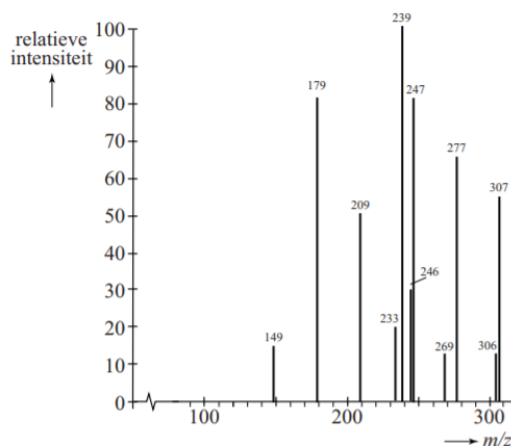
2015 II

Onderzoekers uit de VS hebben onderzocht of formosereacties waarin hydroxyethanal uiteindelijk leidt tot de vorming van ribose, mogelijk zijn in de aanwezigheid van boorverbindingen die in ruimtestof zouden kunnen voorkomen. Ze brachten hydroxyethanal en een reactieproduct van de tweede formosereactie samen met een boorverbinding. Van het mengsel dat ontstond maakten zij een massaspectrum, waarbij de apparatuur zodanig was ingesteld dat uitsluitend negatieve ionen werden gemeten. Dit massaspectrum is in de bijlage bij dit examen weergegeven.

De onderzoekers leidden uit het massaspectrum af dat er een pentose-boor verbinding was ontstaan. Zij vonden namelijk pieken die zij toekenden aan het hiernaast weergegeven negatieve ion  $B(C_5H_8O_5)_2^-$ : de molecuulionpieken met  $m/z = 306$  en  $m/z = 307$ . Ook de relatieve intensiteit van deze pieken is in overeenstemming met dit ion.



- 3p 10 Leg uit dat aanwezigheid van de pieken met  $m/z = 306$  en  $m/z = 307$  én de relatieve intensiteit van deze pieken in overeenstemming zijn met het weergegeven ion.  
Maak hierbij gebruik van Binas-tabel 25 en houd voor C, H en O alleen rekening met de meest voorkomende isotopen.

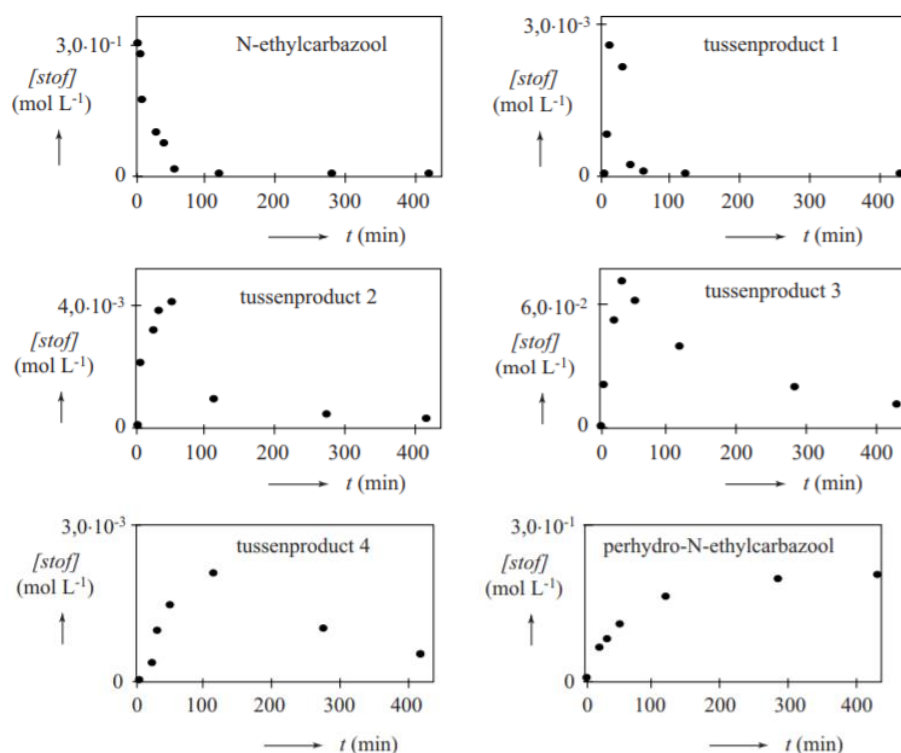


2017 I



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 1 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.

figuur 1



- 2p 11 Leg aan de hand van de diagrammen in figuur 1 uit of na 400 minuten een volledige omzetting tot perhydro-N-ethylcarbazonol is bereikt.

Uit de diagrammen kan worden opgemaakt welke van de vijf weergegeven omzettingen de snelheidsbepalende stap is voor de omzetting van N-ethylcarbazonol tot perhydro-N-ethylcarbazonol.

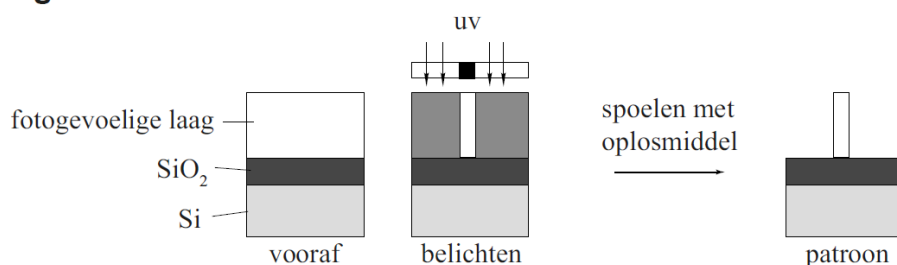
- 2p 12 Leg aan de hand van de diagrammen in figuur 1 uit welke omzetting de snelheidsbepalende stap is.



[Uitlegfilmpje](#)

Na het belichten zijn in de belichte delen alle BOC-4-hydroxystyreen-eenheden omgezet. Vervolgens wordt de wafer gespoeld met een oplosmiddel. In figuur 1 is het belichten en spoelen van een deel van de wafer schematisch weergegeven.

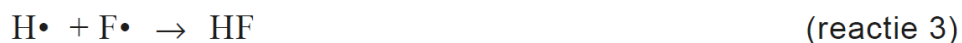
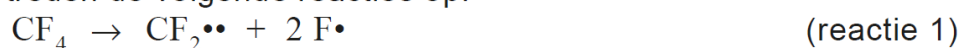
**figuur 1**



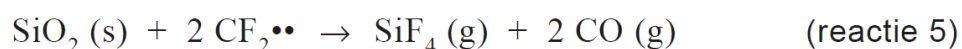
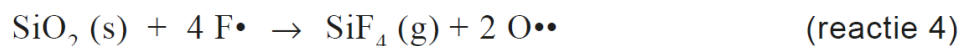
Nadat de wafer is ontwikkeld, wordt hij geëtsd met een gasmengsel van  $\text{CF}_4$  en  $\text{H}_2$ . Hierbij wordt de  $\text{SiO}_2$  laag verwijderd op de plekken waar deze niet wordt beschermd door de fotogevoelige laag. Zo ontstaat het gewenste patroon in de  $\text{SiO}_2$  laag.

Onder de gebruikte omstandigheden valt een groot deel van de moleculen  $\text{CF}_4$  en  $\text{H}_2$  uiteen en worden radicalen en dubbelradicalen gevormd.

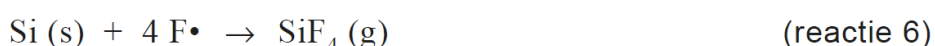
Het mengsel dat zo ontstaat wordt een plasma genoemd. In dit plasma treden de volgende reacties op:



Dit plasma reageert vervolgens met  $\text{SiO}_2$ :



Op plekken waar de  $\text{SiO}_2$  laag weg gereageerd is, kan het plasma ook met het silicium reageren volgens:



Het doel van het etsen is om uitsluitend de  $\text{SiO}_2$  laag te verwijderen terwijl de Si laag intact blijft. De concentratie  $\text{H}_2$  in het plasmamengsel beïnvloedt zowel de snelheid waarmee  $\text{SiO}_2$  wordt geëtsd (de etssnelheid) als de mate waarin  $\text{SiO}_2$  ten opzichte van Si wordt geëtsd (de selectiviteit).

- 3p 20 Neem onderstaande zinnen over en kies het juiste woord. Licht je antwoord toe aan de hand van bovenstaande reacties.
- Als de  $\text{H}_2$  concentratie wordt verlaagd, neemt de etssnelheid toe/af.
  - Als de  $\text{H}_2$  concentratie wordt verlaagd, neemt de selectiviteit toe/af.



[Uitlegfilmpje](#)

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.

Behalve glutaminezuur reageren ook de andere aminozuren met butaan-1-ol tot esters. De vorming van deze esters treedt op aan het grensoppervlak van beide vloeistoffen. De omzetting verloopt sneller wanneer het reactiemengsel intensief wordt geroerd.

- 2p   **22**   Leg uit met behulp van het botsende deeltjesmodel waarom de omzetting van een aminozuur tot de ester sneller verloopt, wanneer het reactiemengsel intensief wordt geschud.



## Oefenopgaven vwo industrie



[Filmpje](#) wat je hierover kan verwachten voor vlak voor het examen.

De opgaven van de (her)examens van 2018 en 2019 staan hier niet bij, zodat je die als heel examen kunt oefenen. De antwoorden staan onderaan, via de link/QR code kun je steeds

een uitlegfilmpje vinden. [Videosamenvatting](#)



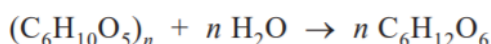
### 2012-II (pilot)

Eerste-generatie bio-ethanol werd geproduceerd uit suiker, afkomstig van eetbare gewassen. Tweede-generatie bio-ethanol wordt geproduceerd uit oneetbare, houtachtige gewassen zoals stro. De voornaamste bestanddelen van stro zijn cellulose, hemicellulose en lignine.

In een proeffabriek voor de tweede-generatie bio-ethanol wordt cellulose afkomstig van stro met behulp van enzymen afgebroken tot monosachariden. Hemicellulose wordt afgebroken tot sachariden met kortere ketens en lignine wordt in dit proces niet afgebroken.

- 1p   **22**   Geef een mogelijke verklaring voor het feit dat de enzymen die cellulose en hemicellulose afbreken, lignine niet kunnen afbreken.

De afbraak van cellulose kan worden weergegeven met de volgende reactievergelijking:



Vervolgens wordt het ontstane glucose door bakkersgist omgezet tot ethanol:



De proeffabriek verwerkt op deze manier jaarlijks 30.000 ton stro tot 5,4 miljoen liter ethanol.

- 4p   **23**   Bereken het rendement voor de omzetting van cellulose tot ethanol.  
Ga ervan uit dat:

- de ethanol-opbrengst uit hemicellulose te verwaarlozen is;
- het gebruikte stro 35,0 massa% cellulose bevat;
- de dichtheid van ethanol 0,80 kg L<sup>-1</sup> bedraagt;
- 1 ton 1·10<sup>6</sup> g is.

Een hoog rendement in de productie van tweede-generatie bio-ethanol wordt onder meer bereikt door het stro voor te behandelen met stoom, waardoor cellulose beter enzymatisch afbreekbaar wordt.

Het stro wordt hierbij in een reactor (reactor 1) geleid. Tevens wordt stoom reactor 1 ingeleid. Hierdoor wordt het hemicellulose omgezet tot sachariden met kortere ketens en andere afbraakproducten, maar wordt cellulose nauwelijks afgebroken.

In reactor 1 ontstaat afvalwater, waarin mineralen uit het stro en de afbraakproducten van hemicellulose zijn opgelost. Het afvalwater wordt de reactor uitgeleid en deels ingedampt in ruimte A. De stroperige vloeistof die ontstaat bevat voornamelijk korte ketens van C5-monosachariden en wordt C5-melasse genoemd. Deze C5-melasse kan worden gebruikt in veevoer.

- 2p **24** Geef de namen van de twee scheidingsmethoden die in reactor 1 worden toegepast.

Het voorbehandelde stro afkomstig uit reactor 1 bevat geen hemicellulose meer. Het mengsel wordt naar reactor 2 geleid. In reactor 2 vindt met behulp van enzymen gedeeltelijke hydrolyse van cellulose tot glucose en andere sachariden met korte ketens plaats. Glucose remt de werking van deze enzymen. Het in reactor 2 ontstane mengsel, vezelpulp genaamd, wordt naar reactor 3 geleid, waar er gist aan wordt toegevoegd. In deze reactor gaat de afbraak van cellulose en andere sachariden door de enzymen nog steeds door. De CO<sub>2</sub> die ontstaat bij het gisten wordt direct afgevangen en opgeslagen. Het tegelijkertijd plaatsvinden van de enzymatische afbraak van cellulose en het gisten is voordelig voor de snelheid waarmee ethanol gevormd wordt.

- 3p **25** Leg uit waarom het voordelig is voor de snelheid waarmee ethanol gevormd wordt als de afbraak van cellulose en het gisten tegelijkertijd plaatsvinden.

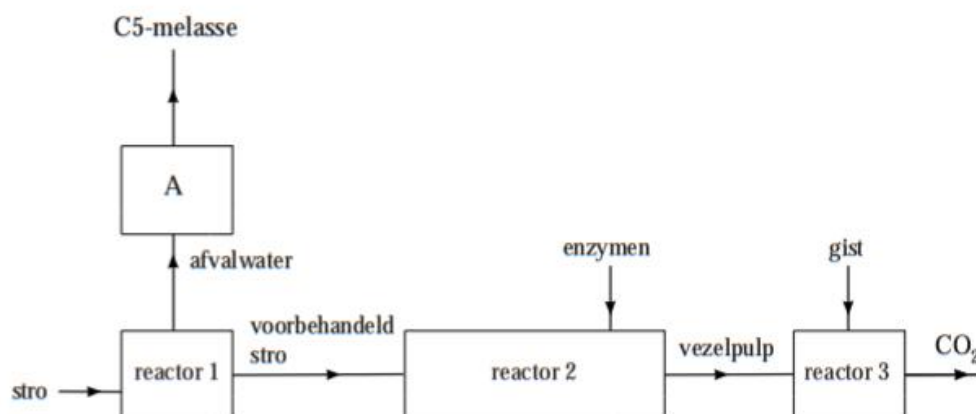
Het uit reactor 3 afkomstige mengsel, vezelbier genaamd, wordt in een destillatietoren geleid waar ethanol wordt afgescheiden. Het residu van de destillatie, vezelafval genaamd, wordt gescheiden in ruimte B in een vaste en een vloeibare fractie. De vaste fractie bevat voornamelijk lignine. Dit wordt in ruimte C gedroogd en tot korrels samengeperst. De vloeibare fractie wordt naar reactor 2 geleid. Ook al het in het proces vrijgekomen water wordt teruggeleid naar reactor 2.

- 4p **26** Op de uitwerkbijlage is het onvolledige blokschema van de ethanolfabriek weergegeven. Maak het blokschema af door blokken en pijlen met stofstromen toe te voegen.

Noteer hierin:

- de destillatietoren met een blok;
- stofnamen bij de pijlen/stofstromen.

Stofstromen voor enzymen en gist hoeven niet te worden getekend.



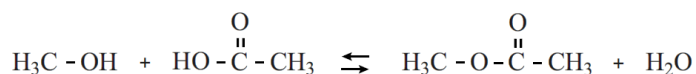
[Uitlegfilmpje](#)

2014-II

(pilot)

## Methylethanoaat

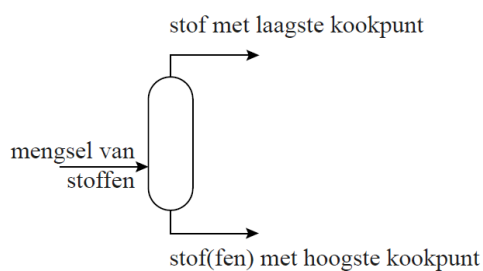
Methylethanoaat is in gebruik als oplosmiddel en als basis voor lakken. De productie van methylethanoaat ( $C_3H_6O_2$ ) gebeurt door estervorming uit methanol en ethaanzuur. Als katalysator wordt zwavelzuur toegepast. Deze estervorming is een evenwichtsreactie.



Doordat de vorming van methylethanoaat een evenwichtsreactie is, zijn na de estervorming enkele scheidingsstappen nodig om het mengsel van stoffen afkomstig uit de reactor te scheiden. Deze scheiding kan worden bereikt met destillatie. Uit de reactor komt een mengsel van vijf stoffen: ethaanzuur, methanol, methylethanoaat, water en zwavelzuur.

In een destillatiestap wordt steeds één stof uit het mengsel afgescheiden. Aangenomen mag worden dat de scheiding volledig is. In dat geval zijn vier destillatiestappen nodig na de reactie om het mengsel volledig te scheiden. Dit gebeurt in destillatiekolommen, waarvan er in figuur 1 één schematisch is weergegeven.

**figuur 1**



- 2p 20 Leg uit, met behulp van gegevens uit de tabel met kookpunten hieronder, wat de minimumtemperatuur moet zijn om in de tweede destillatiekolom een scheiding te bewerkstelligen ( $p = p_0$ ).

| stof            | kookpunt ( $^{\circ}\text{C}$ , $p = p_0$ ) |
|-----------------|---|
| ethaanzuur      | 118   |
| methanol        | 65  |
| methylethanoaat | 57  |
| water           | 100   |
| zwavelzuur      | 330   |

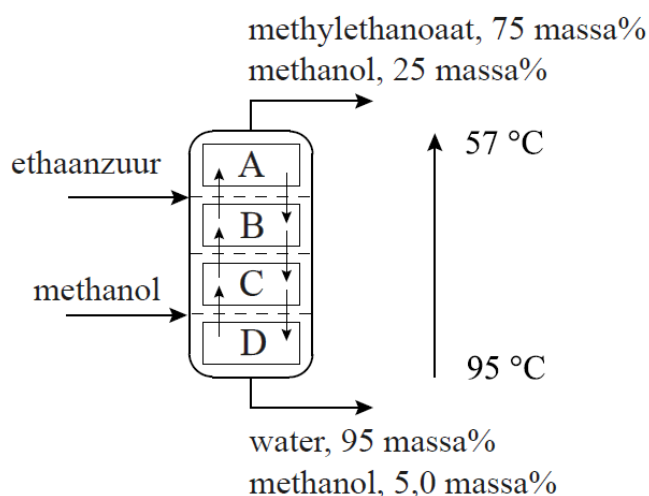
In de jaren '80 van de vorige eeuw heeft men een chemisch technologisch proces ontwikkeld, waarin een reactor en een destillatietoren worden gecombineerd. Dit proces heet 'reactieve destillatie'. Door tijdens de reactie het reactiemengsel te verwarmen, verdampt methylethanoaat uit het reactiemengsel.

- 2p 21 Leg uit wat de invloed is op de ligging van het evenwicht wanneer methylethanoaat uit het reactiemengsel verdampt.

Aan de universiteit van Oldenburg in Duitsland zijn experimenten gedaan om de productie van methylethanoaat te verbeteren. Deze experimenten zijn gedaan in een fabriek op kleine schaal, een zogenoemde proeffabriek. In de proeffabriek wordt de 'reactieve destillatie' uitgevoerd in een zogenoemde reactieve-destillatiekolom. Deze kolom is verdeeld in vier compartimenten en staat verticaal, zoals in figuur 2 is weergegeven. In compartiment C vindt de reactie plaats. De plaatsen waar ethaanzuur en methanol worden toegevoegd, zijn ook aangegeven. In de kolom neemt de temperatuur van beneden naar boven geleidelijk af van  $95^{\circ}\text{C}$  naar  $57^{\circ}\text{C}$ . Het ethaanzuur en de methanol worden van te voren op de vereiste temperatuur gebracht.



**figuur 2**



Ethaanzuur is in een deel van de kolom ook extractiemiddel: alle water en in mindere mate methanol lossen in het ethaanzuur op, methylethanoaat lost slecht op.

2p 22 Leg uit waarom water beter oplost in ethaanzuur dan methylethanoaat.

In de reactieve-destillatiekolom vindt een voortdurende uitwisseling van stoffen tussen de compartimenten plaats: vloeistoffen/oplossingen stromen van boven naar beneden en van beneden naar boven, gassen stromen alleen naar boven.

Wat in de verschillende compartimenten gebeurt, hangt af van de vulling van dat compartiment, de zogenoemde pakking. In de bovenbedoelde reactieve-destillatiekolom worden drie soorten pakkingen gebruikt:

- destillatiepakking: deze zorgt voor een optimaal verloop van een destillatie;
- extractiepakking: deze zorgt voor een optimaal verloop van een extractie;
- reactiepakking: deze zorgt voor een optimaal verloop van een reactie.

Aan de reactiepakking is eveneens de katalysator voor de vorming van methylethanoaat gebonden. Deze katalysator hoeft dus niet uit het reactiemengsel te worden verwijderd.

Per compartiment kunnen in principe drie verschillende soorten pakkingen tegelijk worden toegepast. De reactiepakking bevindt zich alleen in compartiment C.



- 3p **23** Geef voor de compartimenten B en C aan welke stoffen het compartiment van boven en van onder binnenkomen wanneer de kolom in bedrijf is. Gebruik figuur 2. Houd er rekening mee dat:
- stoffen onder hun kookpunt ook in dampvorm kunnen voorkomen;
  - stoffen boven hun kookpunt ook in oplossing kunnen voorkomen.
- Geef je antwoord in de vorm:
- compartiment B: stof (stoffen) die van boven komt (komen): ...
- compartiment B: stof (stoffen) die van beneden komt (komen): ...
- compartiment C: stof (stoffen) die van boven komt (komen): ...
- compartiment C: stof (stoffen) die van beneden komt (komen): ...
- 2p **24** Leg uit welk type (welke typen) pakking(en) in compartiment B wordt (worden) toegepast.
- In figuur 2 zijn ook de resultaten vermeld die zijn verkregen in de proeffabriek van de universiteit van Oldenburg.
- 2p **25** Leg aan de hand van figuur 2 uit hoe groot het rendement is van de productie van methylethanoaat ten opzichte van ethaanzuur.



[Uitlegfilmpje](#)

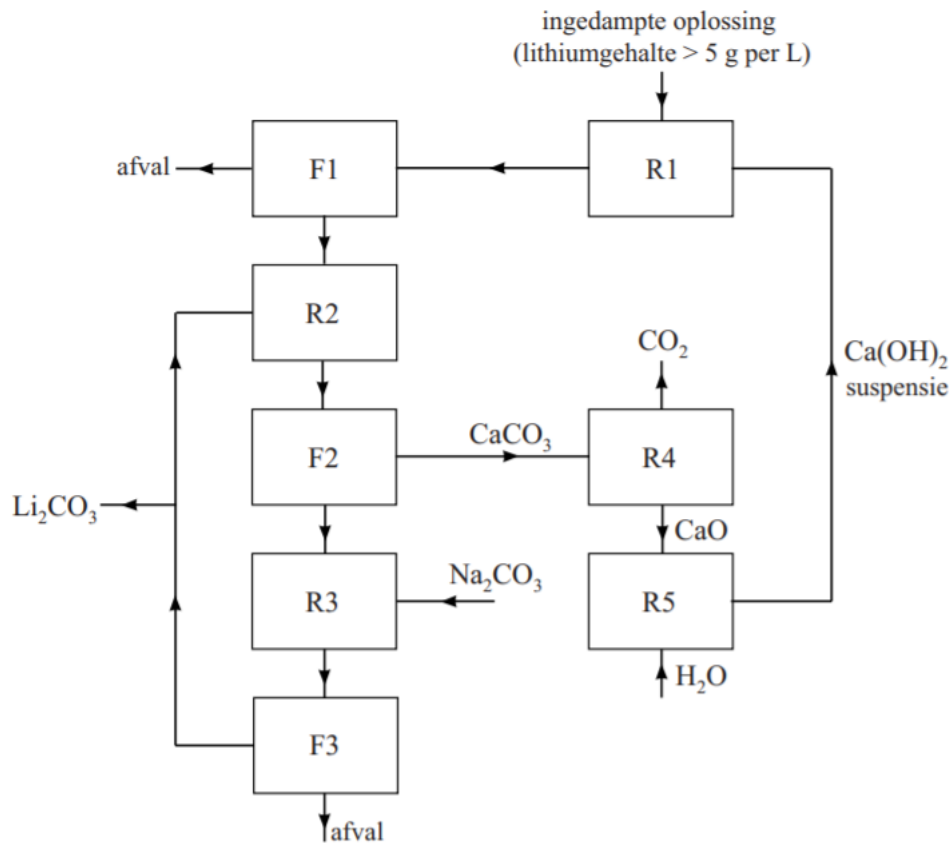
2015 II

pilot

De vraag naar lithium neemt sterk toe. Het wordt steeds meer verwerkt in batterijen en in accu's van elektrische auto's. Drooggevallelen zoutmeren in het Andesgebergte bevatten het grootste deel van de winbare wereldvoorraad lithium. Diep onder het oppervlak van deze zoutlagen bevinden zich holtes die zich gevuld hebben met water dat verzadigd is met natriumchloride. De oplossing bevat tevens magnesium-, kalium- en lithiumzouten. Het lithiumgehalte van de oplossing kan wel  $1 \text{ g L}^{-1}$  bedragen. De oplossing wordt opgepompt en in bassins door zonnewarmte langzaam ingedampt totdat het lithiumgehalte van de oplossing minstens  $5 \text{ g L}^{-1}$  bedraagt. Door het indampen stijgt ook de verhouding tussen de concentraties van de lithium- en natriumionen.

- 3p **18** Leg uit dat door indampen de verhouding  $\frac{[\text{Li}^+]}{[\text{Na}^+]}$  toeneemt. Neem aan dat de ingedamppte en opgepompte oplossing dezelfde temperatuur hebben.

## blokschema



In de bijlage bij dit examen is in een blokschema vereenvoudigd weergegeven hoe in een continu proces zuiver lithiumcarbonaat verkregen wordt uit de ingedampde oplossing.

In het proces wordt onder andere gebruikgemaakt van de eigenschap dat de oplosbaarheid van lithiumcarbonaat bij 100 °C kleiner is dan bij 20 °C. Het blokschema bevat reactoren (R) en filters (F). Bij elk filter geeft de pijl omlaag het filtraat weer en de horizontale pijl het residu.

De reacties in R1 en R2 vinden plaats bij 20 °C.

In R1 worden vooral de magnesiumionen uit de oplossing verwijderd. In R2 wordt vast lithiumcarbonaat toegevoegd aan de oplossing die uit F1 komt zodat de calciumionen uit de oplossing worden verwijderd.

Aan de oplossing die uit F2 komt, wordt natriumcarbonaat toegevoegd en R3 wordt op een hogere temperatuur gebracht. Daardoor ontstaat in R3 vast lithiumcarbonaat. Het residu uit F3 bestaat uit vast lithiumcarbonaat met een hoge zuiverheid. Een deel van dit lithiumcarbonaat wordt teruggevoerd in R2. De rest van het lithiumcarbonaat wordt opgeslagen en geleverd aan fabrieken die daaruit lithium produceren.

Wanneer in R2 te weinig lithiumcarbonaat wordt toegevoegd verloopt de omzetting in R2 onvolledig.

- 3p **19** Leg uit wat het effect is op
- het rendement van de productie van lithiumcarbonaat
  - de zuiverheid van lithiumcarbonaat
- wanneer in R2 te weinig lithiumcarbonaat wordt toegevoegd.

Door het toevoegen van extra water lossen lithiumsulfaat en aluminiumsulfaat op. Uit deze oplossing kan ook lithiumcarbonaat worden bereid volgens het blokschema op de bijlage. Vergeleken met de oplossing die onder de zoutlaag wordt opgepompt, bevat de oplossing veel minder natrium-, magnesium- en chloride ionen en veel meer waterstof-, aluminium- en sulfaationen.

- 3p **22** Leg uit voor elk van de drie ionsoorten (waterstof, aluminium en sulfaat) waar in het blokschema deze ionen worden verwijderd. Gebruik hierbij onder andere Binas-tabel 45.

Uit gegevens in deze opgave kan worden afgeleid dat de productie van lithiumcarbonaat uit de opgepompte oplossing goedkoper is dan uit spodumeen.

- 2p **23** Noem twee factoren waardoor de productie uit de opgepompte oplossing goedkoper is dan de productie uit spodumeen.

[uitlegfilmpje](#)



**2016**

**voorbeeldexamen**

In de bioreactor is de concentratie hexaanzuur laag, zodat het aanwezige hexaanzuur geheel is opgelost. Om hexaanzuur uit het reactiemengsel te isoleren, hebben de onderzoekers twee methoden onderzocht.

#### Methode 1

De pH van het reactiemengsel wordt verlaagd tot pH = 5,00 door geconcentreerd zoutzuur aan de inhoud van de bioreactor toe te voegen. Hierdoor stijgt de concentratie van hexaanzuur en daalt de concentratie van hexanoaat. Het opgeloste hexaanzuur wordt door middel van extractie met een geschikte vloeistof van de rest van het reactiemengsel gescheiden. Na de extractie wordt het hexaanzuur met behulp van destillatie gescheiden van het oplosmiddel dat opnieuw wordt gebruikt.



## Methode 2

De pH van het reactiemengsel wordt verhoogd tot  $\text{pH} = 7,00$  door geconcentreerd natronloog toe te voegen. Hierdoor stijgt de concentratie van hexanoaat en daalt de concentratie van hexaanzuur. Als aan het ontstane mengsel een overmaat calciumchloride-oplossing wordt toegevoegd, ontstaat een neerslag van het slecht oplosbare calciumhexanoaat. Het neerslag wordt gefiltreerd waarna het calciumhexanoaat met geconcentreerd zoutzuur wordt omgezet tot vast hexaanzuur.

De onderzoekers maken een afweging welke methode de voorkeur heeft bij toepassing op grote schaal. Ze vergelijken beide methoden op basis van het energieverbruik en de afvalproductie.

- 2p 12 Geef aan welke methode de voorkeur heeft als gelet wordt op het energieverbruik. Licht je antwoord toe.
- 2p 13 Geef voor beide methodes aan welke stoffen/deeltjes afkomstig van de toegevoegde oplossingen in de afvalstroom aanwezig zijn.

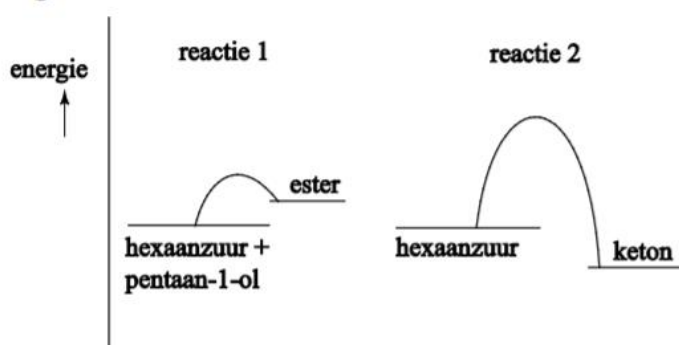
De onderzoekers wilden uitzoeken of ketonisatie ook verloopt als hexaanzuur verontreinigd is met bijvoorbeeld een alcohol. Als dat lukt, hoeft hexaanzuur niet eerst gezuiverd te worden en kan het reactiemengsel afkomstig van de bioreactor na afscheiding van water en de daarin opgeloste stoffen direct gebruikt worden voor ketonisatie.

Men ging bij het onderzoek uit van een mengsel van hexaanzuur en pentaan-1-ol. Het blijkt dat er twee reacties tegelijk verlopen:

- 1 de vorming van de ester van hexaanzuur en pentaan-1-ol, dit is een evenwicht (reactie 1);
- 2 de ketonisatie van hexaanzuur, dit is een aflopende reactie (reactie 2).

In figuur 2 zijn de energiediagrammen weergegeven van de beide reacties.

**figuur 2**



Of de ester of het keton ontstaat, blijkt sterk af te hangen van de temperatuur. Als het reactiemengsel langere tijd op hogere temperaturen wordt gehouden, wordt uitsluitend het keton aangetroffen.

- 3p 15 Leg onder andere met behulp van de energiediagrammen uit waarom alleen het keton wordt aangetroffen als het reactiemengsel langere tijd op hogere temperaturen wordt gehouden en waarom de ester niet wordt aangetroffen.

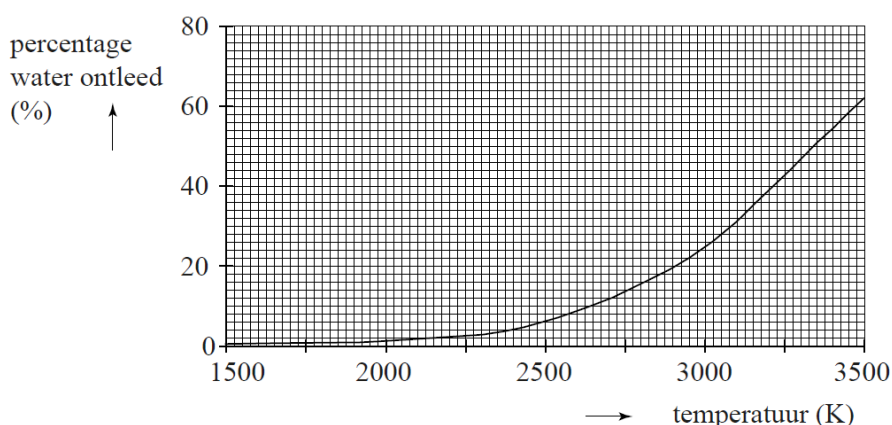
[uitlegfilmpje](#)



2016 I

Als waterdamp wordt verhit, blijkt water namelijk te ontleden in waterstof en zuurstof. In diagram 1 is weergegeven welk percentage van de watermoleculen is ontleed afhankelijk van de temperatuur.

**diagram 1**



Tussen 2000 K en 3500 K is de ontleding van waterdamp een evenwicht.

- 4p 7 Geef de evenwichtsvoorwaarde van dit evenwicht en leg met behulp van diagram 1 uit hoe de waarde van de evenwichtsconstante  $K$  verandert als de temperatuur stijgt.

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

- 3p 8 Bereken de reactiewarmte per mol ethyn van de reactie waarbij ethyn met zuurstof reageert tot koolstofmonoïoxide en waterstof. Gebruik Binas-tabel 57.



Op basis van de aanname dat de verbrandingsproducten van de ethyn-zuurstofvlam CO en  $H_2$  zijn, kan worden berekend dat dan een temperatuurstijging van ruim  $3 \cdot 10^3$  K bereikt wordt.

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.

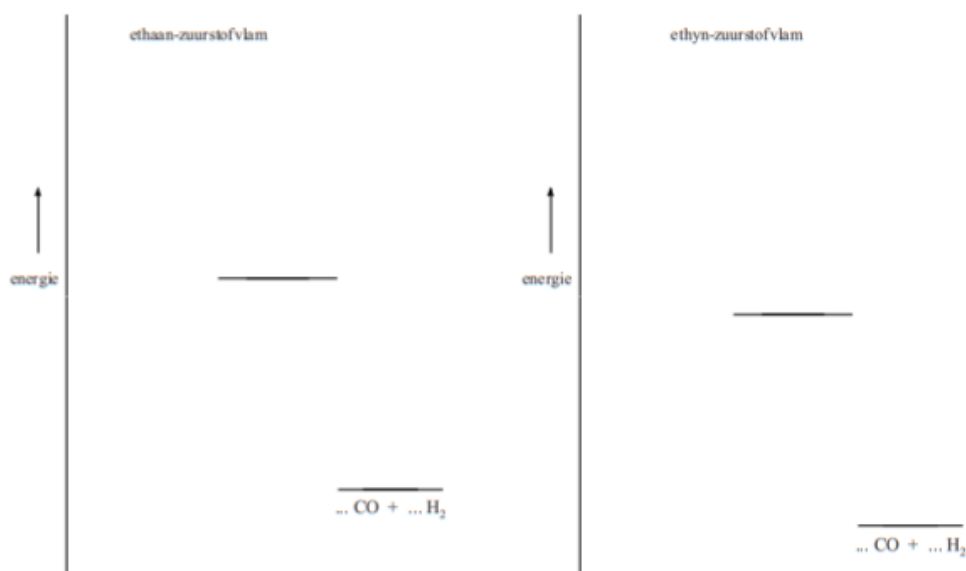
Op de uitwerkbijlage bij dit examen zijn twee energiediagrammen weergegeven. Hierin zijn de energieniveaus van de niet-ontleedbare stoffen en de reactieproducten al aangegeven.

3p **9** Maak op de uitwerkbijlage 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.



[Uitlegfilmpje](#)

Chips voor elektronica worden gemaakt van dunne ronde schijven zeer zuiver silicium, wafers genoemd. Het benodigde silicium wordt gewonnen uit de steensoort kwartsiet. Hieruit kan silicium worden verkregen met een zuiverheid van ruim 98%. Dit wordt metallurgical-grade silicium (MGS) genoemd. MGS dient als grondstof voor de bereiding van electronical grade silicium (EGS), dat een zuiverheid heeft van 99,999999999%. Het productieproces van EGS uit MGS staat in de uitwerkbijlage die bij dit examen hoort in een onvolledig blokschema weergegeven. In reactor R1 reageert MGS met HCl. Hierbij wordt het silicium uit MGS omgezet tot  $\text{SiHCl}_3$  en waterstof. Het HCl reageert hierbij volledig.

- 2p 17 Geef de vergelijking voor de reactie van Si (uit MGS) en HCl tot  $\text{SiHCl}_3$  en waterstof.

Behalve  $\text{SiHCl}_3$  en waterstof ontstaan nog allerlei andere reactieproducten in R1. De voornaamste reactieproducten en hun kookpunten staan vermeld in tabel 1. De siliciumverbindingen die in R1 worden gevormd, hebben verschillende kookpunten. Dit kan worden verklaard aan de hand van de sterkte van de bindingen tussen de moleculen. Tussen de moleculen van een aantal van de in tabel 1 genoemde stoffen is een dipool-dipoolbinding aanwezig. Deze binding wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van één of meer polaire Si-Cl atoombindingen.

| Atoomsoorten in MGS | Kookpunt (K) | Reactieproduct na reactie met HCl | Kookpunt (K) |
|---------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|
| Si                  | 3538         | $\text{SiH}_3\text{Cl}$           | 243          |
|                     |              | $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$         | 281          |
|                     |              | $\text{SiHCl}_3$                  | 306          |
|                     |              | $\text{SiCl}_4$                   | 331          |
| Al                  | 2792         | $\text{AlCl}_3$                   | 466          |
| Fe                  | 3134         | $\text{FeCl}_2$                   | 1296         |
|                     |              | $\text{FeCl}_3$                   | 589          |

De in R1 ontstane stoffen  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{FeCl}_2$  en  $\text{FeCl}_3$  worden in R1 al direct afgevoerd als afval. Het mengsel van gassen en vloeistoffen dat overblijft, wordt in S1 gedestilleerd bij 308 K. In alle destillatiestappen in dit proces komt (komen) de stof(fen) met het laagste kookpunt boven uit de destillatiekolom.

In S2 wordt het uit S1 afkomstige mengsel gedestilleerd bij 303 K, waardoor zeer zuiver  $\text{SiHCl}_3$  wordt verkregen.

In reactor R2 wordt het  $\text{SiHCl}_3$  met waterstof weer omgezet tot gasvormig silicium en HCl. In R2 vindt dus de omgekeerde reactie plaats van R1. Het silicium rijpt hierbij op een kristallisatiekern van zeer zuiver silicium. Zo ontstaat een staaf vast silicium (EGS).

$\text{SiHCl}_3$  reageert in R2 echter ook met het in R2 gevormde  $\text{HCl}$ , waarbij  $\text{SiCl}_4$  en  $\text{H}_2$  ontstaan. In R2 reageert niet al het  $\text{SiHCl}_3$  met  $\text{H}_2$ , waardoor slechts een rendement van 30% wordt behaald.

In S3 wordt het gasmengsel afkomstig uit S2 en R2 gebracht. In S3 worden waterstof en  $\text{HCl}$  gescheiden van de siliciumverbindingen. De siliciumverbindingen worden weer teruggevoerd in het proces.

In S4 worden waterstof en  $\text{HCl}$  van elkaar gescheiden, waarna ze elk worden teruggevoerd in het proces.

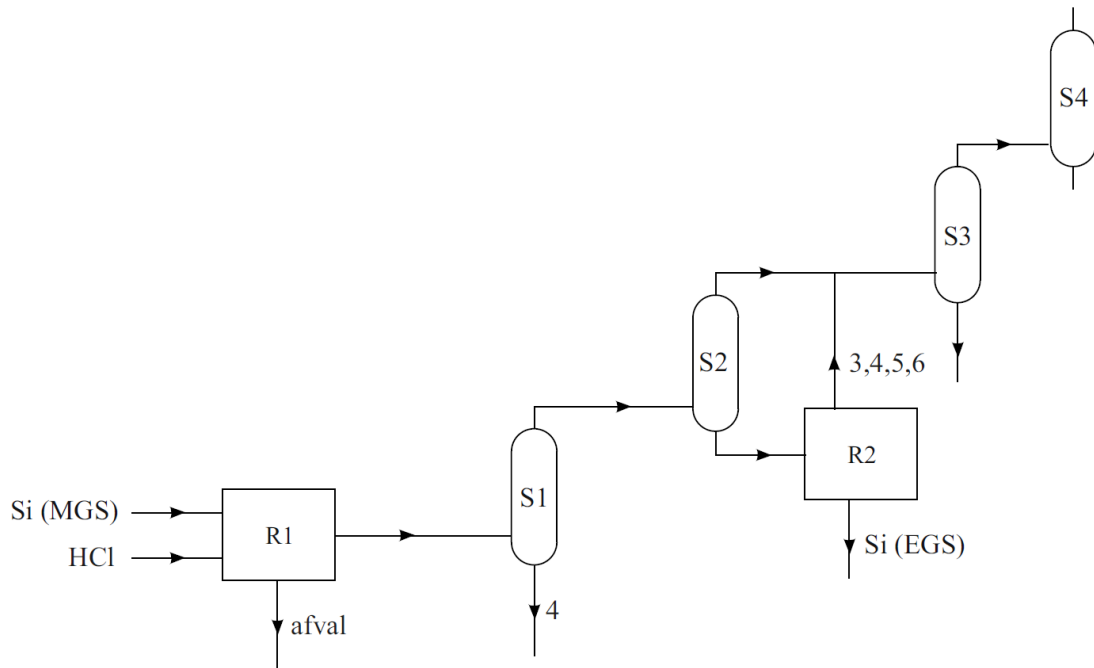
Het  $\text{SiCl}_4$  afkomstig uit S1 wordt niet teruggevoerd in het proces.

In het proces wordt geen  $\text{H}_2$  van buiten aangevoerd.

- 5p 20 Vul het blokschema op de uitwerkbijlage aan door in het blokschema de ontbrekende pijlen te tekenen. Geef bij alle pijlen de ontbrekende stofstromen aan met de volgende nummers:

|   |                           |   |                 |
|---|---------------------------|---|-----------------|
| 1 | $\text{SiH}_3\text{Cl}$   | 4 | $\text{SiCl}_4$ |
| 2 | $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ | 5 | $\text{H}_2$    |
| 3 | $\text{SiHCl}_3$          | 6 | $\text{HCl}$    |

20



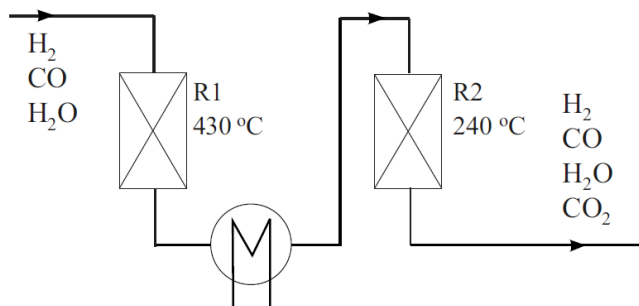
[uitlegfilmpje](#)

2016 II

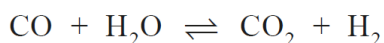
Ammoniak wordt in Europa vooral geproduceerd uit stikstof en methaan. Methaan treedt in het proces op als energiebron maar ook als bron van waterstofatomen. Om waterstof te produceren uit methaan wordt bij hoge temperatuur en druk methaan in reactie gebracht met water en zuurstof. Hierbij wordt een gasmengsel van CO, H<sub>2</sub>O en H<sub>2</sub> verkregen. Om een groot deel van het aanwezige CO te verwijderen, wordt vervolgens in twee reactoren de zogeheten gas-shift reactie uitgevoerd.

In figuur 1 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.

**figuur 1**



In beide reactoren treedt onderstaand evenwicht op.



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

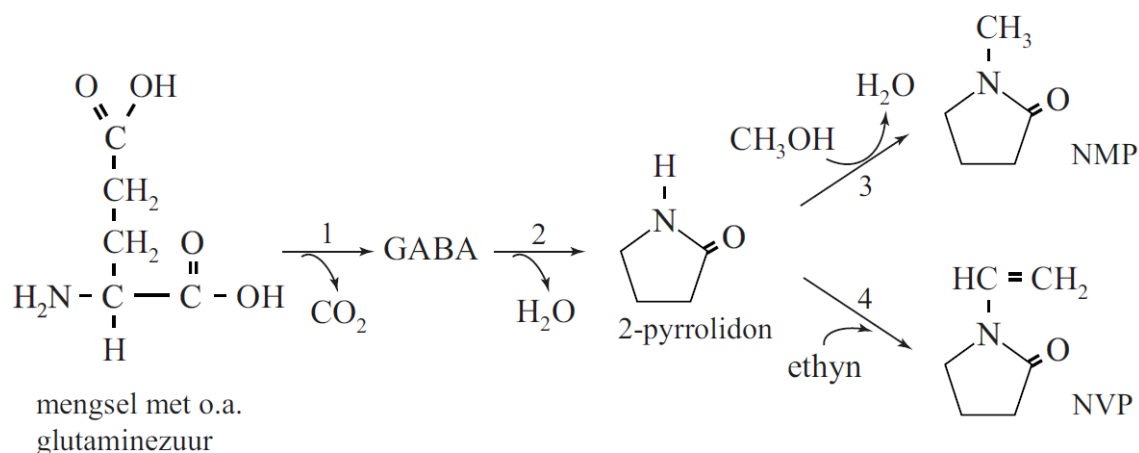
- 2p 22 Leg uit of de reactie naar rechts van dit evenwicht exotherm of endotherm is.
- 1p 23 Geef aan welk doel de hogere temperatuur in R1 heeft.
- De waterstof afkomstig uit R2 wordt in een aantal stappen afgescheiden van de rest van het gasmengsel. Allereerst wordt water afgescheiden. Daarna wordt CO<sub>2</sub> gescheiden van de overige gassen.
- 2p 24 Leg uit op welke wijze CO<sub>2</sub> kan worden afgescheiden uit het gasmengsel dat is ontstaan na het verwijderen van water uit het gasmengsel afkomstig van R2.

[Uitlegfilmpje](#)





figuur 1



In reactie 1 uit figuur 1 wordt het onzuivere glutaminezuur omgezet tot de stof GABA en  $\text{CO}_2$ . In een scheidingsruimte wordt GABA gescheiden van het afval, waarin onder andere ongereageerde aminozuren aanwezig zijn. In reactie 2 treedt ringsluiting van GABA op waarbij water ontstaat.

In reactie 2 ontstaat 2-pyrrolidon, de grondstof voor zowel NMP als NVP. Voor de productie van NVP laat men in reactie 4 het 2-pyrrolidon reageren met ethyn.

De onderzoeker heeft de verschillende stappen voor de productie van NMP en NVP uit glutaminezuur onderzocht met behulp van laboratoriumreactoren. Op basis van de resultaten heeft hij een industrieel productieproces ontworpen. Dit proces kan worden weergegeven met een blokschema. Dit blokschema is op de uitwerkbijlage onvolledig weergegeven.

Hieronder is het productieproces van NMP en NVP beschreven.

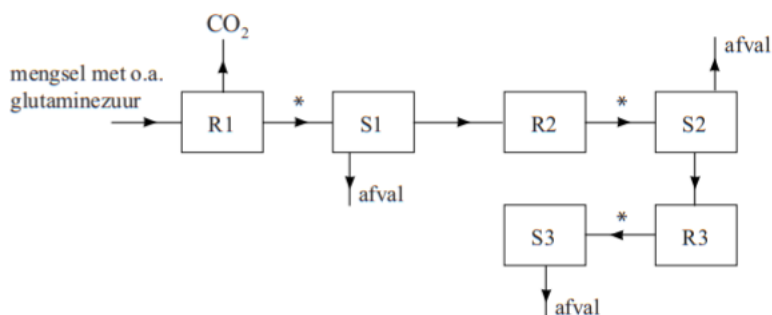
- 1 In reactor R1 wordt een mengsel van aminozuren ingevoerd. In R1 vindt reactie 1 uit figuur 1 plaats.  
Voor reactie 1 zijn zowel de omzetting als de selectiviteit 100%.
- 2 In scheidingsruimte S1 wordt het mengsel afkomstig uit R1 volledig gescheiden in GABA en afval van de ongereageerde aminozuren.
- 3 In R2 vindt reactie 2 plaats.  
Voor reactie 2 zijn zowel de omzetting als de selectiviteit 100%.



- 4 In R2 treedt ook reactie 3 op. Methanol is hier in overmaat aanwezig. Voor reactie 3 is de omzetting 50% en de selectiviteit 92%.
- 5 In S2 wordt het mengsel afkomstig uit R2 met behulp van destillatie gescheiden in vier stromen: NMP, 2-pyrrolidon, methanol en afval. De overmaat methanol kan voor 95% worden teruggevoerd naar R2. De overige 5% bevindt zich met onder andere water in het afval van S2.
- 6 Het 2-pyrrolidon dat in R2 niet heeft gereageerd wordt volledig doorgevoerd naar reactor R3. Hier treedt reactie 4 op. Voor reactie 4 is de omzetting 100% en de selectiviteit 90%.
- 7 In S3 wordt ten slotte het NVP gescheiden van een afvalstroom.

De term omzetting geeft aan welk percentage van het aantal mol beginstof in een reactie is omgezet. De term selectiviteit geeft aan welk percentage van het aantal mol omgezette stof heeft gereageerd tot het gewenste product.

- 3p 27 Maak het blokschema op de uitwerkbijlage compleet.
- Noteer ontbrekende pijlen en ontbrekende stoffen bij de pijlen. Houd daarbij rekening met hergebruik van stoffen.
  - Waar in het blokschema een \* voorkomt, hoeft niets te worden aangegeven.



De bovenstaande meetgegevens zijn verkregen in een laboratoriumopzet van de fabriek. De metingen zijn gedaan aan een mengsel van aminozuren waarin 1538 kg glutaminezuur aanwezig was.

- 3p 28 Bereken de massa NMP en de massa NVP die uit deze hoeveelheid glutaminezuur werden gevormd.



[Uitlegfilmpje](#)

## 2017-II

Europese chemici zijn erin geslaagd om vliegtuigbrandstof (kerosine) te produceren uit koolstofdioxide en water. De onderzoekers gebruikten voor deze omzetting een zogeheten solar-reactor. 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).



De gevormde zuurstof moet worden verwijderd 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 H<sub>2</sub> verkregen.

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 H<sub>2</sub> uit te voeren als een continuproces moeten reacties 1 en 3 tegelijk plaatsvinden.

- 3p    4    Geef een mogelijk blokschema van deze productie van CO en H<sub>2</sub>. 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.

Het gasmengsel waar de zuurstof uit is verwijderd, ook wel syngas genoemd, werd door de onderzoekers met het Fischer-Tropsch-proces omgezet tot kerosine. De gevormde kerosine had een gemiddelde molecuulformule van C<sub>14</sub>H<sub>28</sub>. Als bijproduct ontstond alleen water.

- 2p    5    Geef de vergelijking voor de vorming van deze kerosine met het Fischer-Tropsch-proces.

[uitlegfilmpje](#)



## Begrippenlijst

Via de linkjes kom je op een filmpje waarin het begrip verder wordt uitgelegd.

**actief transport** transport door het celmembraan waarvoor energie (ATP) nodig is, omdat een stof van een lage naar een hoge concentratie moet worden getransporteerd.

**actieve site** / actieve plaats de plek van een enzym waar een substraat bindt.

**activeringsenergie** verschil in energie tussen de geactiveerde toestand en het energieniveau van de beginstoffen, hoe groter de activeringsenergie, hoe langzamer een reactie verloopt.

**additie** reactie waarbij een C=C binding een C-C binding wordt en 2 stoffen reageren tot 1 stof. Uitleg: [mechanisme](#)

**1,2-additie** de beginstof heeft 1 C=C, dat wordt een C-C, aan de 1<sup>e</sup> en de 2<sup>e</sup> C komt een nieuw atoom/groep atomen te zitten.

**1,4-additie** de beginstof heeft C=C-C-C, dat wordt C-C=C-C, aan de 1<sup>e</sup> en de 4<sup>e</sup> C komt een nieuw atoom/groep atomen te zitten.

**additiepolymeer** polymeer dat ontstaan is door dubbele bindingen die openklappen. Het monomeer is een alkeen, in het polymeer zitten geen C=C bindingen, de naam van het polymeer eindigt op -een.

**ADI-waarde** (binas 95) Aanvaardbare Dagelijkse Inname in mg per kg lichaamsgewicht

**adsorberen** aanhechten, [scheidingsmethode](#) die gebruikt maakt van een verschil in aanhechtingsvermogen

**aflopende reactie** reactie die geen evenwichtsreactie is, uiteindelijk worden alle beginstoffen die kunnen reageren omgezet

**aggregatietoestand** (fase) vast (s) vloeibaar (l) gas (g) of opgelost in water (aq)

**aldehyde** (binas 66D) stof met een C=O aan het eind van de keten, aan de C zit een H en een andere C gebonden

**alifatische verbinding** koolstofverbinding zonder benzeenring erin

**alkanen** (binas 66D)  $C_nH_{2n+2}$  verzadigde koolwaterstoffen

**alkenen** (binas 66D)  $C_nH_{2n}$  onverzadigde koolwaterstoffen, bevatten 1 C=C binding

**alkynen** (binas 66D)  $C_nH_{2n-2}$ , onverzadigde koolwaterstoffen die 1  $C\equiv C$  binding bevatten

**alkanol** alkaan waarbij 1 H vervangen is door een -OH groep.

**alkoxyalkanen** bevatten C-O-C,  $CH_3OCH_2CH_3$  is bijvoorbeeld methoxyethaan

**allotropie** (binas 67E) een element heeft meerdere verschijningsvormen zoals grafiet en diamant bij koolstof

**amfolyt** deeltje dat als zuur en als base kan reageren, bijvoorbeeld een aminozuur of  $HCO_3^-$

**amine** (binas 66D) koolstofverbinding met een  $-NH_2$  groep

**apolaire stof** hydrofobe stof, lost slecht op in water

**aromatische verbinding** koolstofverbinding met minimaal 1 benzeenring erin.

**asymmetrisch C-atoom** C-atoom met vier verschillende groepen, zorgt voor spiegelbeeldisomeren, notatie C\*

**atomaire massa eenheid** eenheid die gebruikt wordt voor molecuulmassa, massa van een proton/neutron uitgedrukt in u

**atoombinding** (=covalente binding), binding tussen twee niet-metaalatomen, ook aanwezig in de gasfase

**atoomeconomie** (binas 37H en 97F) de massa van het gewenste product/ massa van de beginstoffen x 100 %

**atoomrooster** (= covalent netwerk) stof waarin alle atomen met elkaar verbonden zijn met atoombinding, hierdoor is de stof heel stevig, bijvoorbeeld diamant (binas 67 E)

**base** deeltje dat  $H^+$  opneemt, bekende basen zijn  $NH_3$ ,  $OH^-$ ,  $O^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$  en  $HCO_3^-$ , zie verder binas 49

**batchproces** proces waarbij de reactor telkens na de reactie leeggehaald wordt

**bezinken** scheidingsmethode waarmee je door een verschil in dichtheid emulsies en suspensies kunt scheiden

**bijproduct** ongewenst product dat ontstaat door een nevenreactie, dat is een andere reactie dan de gewenste reactie

**biobrandstof** brandstof die gemaakt is van planten, de  $CO_2$  die vrij komt bij het verbranden is kort daarvoor door de plant opgenomen via fotosynthese

**biodegradeerbaar** stof die door micro-organismen afgebroken kan worden zoals bio-plastic

**biodiesel** biobrandstof die ontstaat door omestering van een olie met methanol

**bioethanol** ethanol gemaakt door vergisting van suikers

**biogas** gas dat gemaakt wordt van planten, als je dit verbrandt komt er in theorie evenveel  $CO_2$  vrij als de planten via fotosynthese hebben opgenomen, het is dan  $CO_2$  neutraal.

**biogebaseerd** stof die gemaakt is van hernieuwbare grondstoffen zoals zetmeel of cellulose die door planten worden gemaakt.

**blokschema** (binas 38B) schema waarin een industrieel proces wordt weergegeven, de pijlen geven stofstromen aan en de blokken een reactor/scheiding/opslagen/verwarmen/afkoelen.

**brandstofcel** elektrochemische cel waarbij zuurstof als oxidator reageert en de brandstof als reductor

**broeikaseffect** gasen als  $CO_2$  en  $CH_4$  houden de warmte-uitstraling van de aarde tegen, waardoor deze opwarmt.

**buffer** mengsel waarvan de pH vrijwel niet verandert bij verdunnen of het toevoegen van een zuur of base. Een buffer bevat een zwak zuur en zijn geconjugeerde base.

**carbonzuur** (binas 66D) Zuur met daarin minimaal 1  $-COOH$  groep. Bijvoorbeeld ethaanzuur  $CH_3COOH$ .

**cis trans isomeren** stereo-isomeren die een starre binding hebben met aan weerszijden van de starre binding twee verschillende groepen.

**C/H verhouding** verhouding tussen de elementen C en H in een brandstof, hoe meer C er naar verhouding is, hoe meer  $CO_2$  er wordt uitgestoten, dus hoe meer het broeikaseffect wordt versterkt.

**chromatografie** scheidingsmethode waarmee (kleur)stoffen worden gescheiden door een verschil in aanhechtingsvermogen en een verschil in oplosbaarheid in de loopvloeistof.

**coderende streng** (binas 71 E) DNA streng die de genetische code bevat, mRNA heeft dezelfde base-volgorde als coderend DNA, alleen is de T op DNA in mRNA een U.

**codon** (binas 71G) die basen op mRNA die coderen voor een aminozuur

**concentratiebreuk** onderdeel van de evenwichtsvoorwaarde, de concentraties van de stoffen na de pijl staan rechts en die van voor de pijl links. Alleen stoffen met de fase (aq) of (g) komen in de evenwichtsvoorwaarde en de coëfficiënten zie je terug als machten.

**condensatiereactie** reactie waarbij doordat OH groepen met OH of NH groepen reageren onder afsplitsing van water

**condensatiepolymeer** bij het vormen van een condensatiepolymeer ontstaat naast het polymeer ook een stof met kleine moleculen, meestal water. Polyesters en polyamiden zijn condensatiepolymeren.

**constante van Faraday** (binas tabel 7)  $96485 \text{ C/mol}$  hiermee kun je rekenen als je bijvoorbeeld de stroomsterkte (in A,  $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ ) en de tijd weet en moet berekenen hoeveel van een stof reageert/ontstaat bij elektrolyse.

**composiet** materiaal dat bestaat uit twee of meer bestanddelen, bijvoorbeeld gewapend beton.

**continu proces** proces in een fabriek waarbij de beginstoffen continu aangevoerd worden en de reactieproducten continu afgevoerd worden.

**copolymeer** polymeer dat gemaakt is van twee verschillende monomeren

**corrosie** aantasting van een metaal bijvoorbeeld door een reactie met zuurstof en water, corrosie bij ijzer heet roesten

**covalente binding** (=atoombinding) binding tussen twee atomen in een molecuul

**covalentie** het aantal bindingen dat een atoomsoort kan maken. Je gebruikt dit alleen bij niet-metalen. Waterstof en de halogenen hebben covalentie 1. Zuurstof, zwavel en seleen covalentie 2. Stikstof en fosfor covalentie 3 en koolstof covalentie 4.

**cradle-to-cradle** in het Nederlands: van wieg tot wieg, het betekent dat bij het ontwerpen van een product rekening gehouden wordt met hergebruik.

**crosslink** (dwarsverbinding ) verbinding (met atoombindingen) tussen polymeerketens. Je krijgt dan een netwerk, zulke polymeren zijn thermoharders.

**cycloalkanen** koolstofverbinding met een ring erin en geen dubbele bindingen,  $C_nH_{2n}$  dus het zijn isomeren van alkenen

**destillaat** de stof die bij destillatie het laagste kookpunt heeft en na condenseren weer een vloeistof is geworden

**destilleren** scheidingsmethode waarbij je een oplossing scheidt door een verschil in kookpunt.

**dichtheid** (binas 8 t/m 12) massa van  $1\text{ m}^3$  van een bepaalde stof, in binas 8 t/m 11 is de eenheid voor vaste stoffen en vloeistoffen  $\text{g/cm}^3$  of  $\text{g/mL}$ . De dichtheid van gassen in tabel 12 is in  $\text{g/L}$  en geldt alleen bij  $T=273\text{ K}$ .

**dipool** (binas 55) molecuul waarvan de ene kant een beetje positief is geladen en de andere kant een beetje negatief

**dipool-dipool binding** aantrekkingskracht tussen dipoolmoleculen, de negatieve kant van het ene molecuul trekt de positieve kant van het andere molecuul aan.

**disacharide** (binas 67F2) koolhydraat dat bestaat uit 2 ringstructuren, bijvoorbeeld maltose

**DNA** (binas 71C) DNA is dubbelstrengs, een coderende streng en een matrijsstreng, A zit altijd tegenover T en C altijd tegenover G, in binas 71C staat de structuurformule.

**edelgassen** elementen uit groep 18 van het periodiek systeem, edelgassen reageren vrijwel nergens mee

**E-factor** (zie binas 37H en 97F voor de formule) hoeveel kg afval er ontstaat per kilogram gewenst product

**eiwit** (binas 67H) stof die is opgebouwd uit aminozuren die via peptidebindingen aan elkaar gebonden zijn

**elektrochemische cel** redoxreactie waarbij elektronen niet rechtstreeks maar via een draad van reductor naar oxidator gaan, waardoor je stroom krijgt. Een elektrochemische cel levert energie, chemische energie wordt omgezet in elektrische energie.

**elektrode** staafje dat gebruikt wordt bij een elektrochemische cel en elektrolyse, bij een elektrochemische cel reageert de oxidator bij de positieve elektrode. Bij elektrolyse reageert de sterkste reductor bij de positieve elektrode.

**elektrofiel** deeltje dat aangetrokken wordt door negatieve lading en zelf dus (gedeeltelijk) positief is geladen

**elektrolyse** gedwongen redoxreactie aan de + pool reageert de sterkste reductor en aan de – pool de sterkste oxidator



**elektrolyt** stof/oplossing die de stroom geleidt, dit is bijvoorbeeld nodig voor een gesloten stroomkring in een elektrochemische cel

**elektronegativiteit** (binas 40A) getal dat aangeeft hoe sterk een atoomsoort elektronen aantrekt, hoe groter het getal, hoe sterker het atoomsoort elektronen aantrekt.

**elektrovalentie** (binas 40A helemaal rechts) de lading van een ion

**elementkringloop** (binas 93F,G) kringloop van een element dat steeds wordt ingebouwd in andere moleculen/ionen

**emulgator** stof die ervoor zorgt dat een hydrofobe en een hydrofiel stof toch kunnen mengen

**emulsie** mengsel van een hydrofobe en een hydrofiel vloeistof die slecht met elkaar mengen

**endotherm** Bij een endotherme reactie is voortdurend energie nodig, de reactiewarmte van een endotherme reactie is een positief getal.

**energiediagram** diagram waarin is het energie-effect van een reactie is af te lezen, het energieniveau van de beginstoffen, de geactiveerde toestand en de reactieproducten staan er in. Bij een endotherme reactie ligt het energieniveau van de reactieproducten boven dat van de beginstoffen. De geactiveerde toestand is altijd het hoogste energieniveau, een katalysator verlaagt het energieniveau van de geactiveerde toestand.

**energie effect** hoeveel warmte er nodig is/ontstaat bij een proces, bij een positief getal is het endotherm en bij een negatief getal exotherm

**enkelvoudig onverzadigd**: stof waar 1 x een C=C binding in voorkomt en verder alleen enkele bindingen tussen C-atomen.

**enzym** biologische katalysator, enzymen werken (stereo)specifiek, ze zetten maar 1 stof in 1 (stereo-isomeer van) een andere stof. Enzymen werken het beste bij hun pH optimum en temperatuur optimum.

**enzymsubstraat complex** enzym dat gebonden is aan de stof die reageert (het substraat), het substraat is dan gebonden aan de actieve site van het enzym.

**essentieel aminozuur** (binas 67H1 voetnoot 2) aminozuren die mensen niet zelf kunnen aanmaken en die je dus via het voedsel binnen moet krijgen.

**ester** stof ontstaat bij de reactie tussen een alcohol en een carbonzuur, bevat  $-C-O-C=O$ . Bij de vorming

**ether** zie alkoxyalkanen, bevatten C-O-C

**eutrofiëring** door overbesteding bereiken meststoffen het grond- en oppervlaktewater waardoor bepaalde organismen(vaak algen) andere organismen verdringen

**evenwicht** Een evenwichtsreactie is een reactie waarbij de reacties naar links en rechts plaatsvinden. Als het evenwicht zich heeft ingesteld gaat de reactie naar links even snel als de reactie naar rechts, dat heet een dynamisch evenwicht.

**evenwichtsvoorwaarde**  $K =$  concentratiebreuk, waarbij K de evenwichtsconstante is Uitleg: [rekenen aan evenwichten](#)

**evenwichtsconstante** (binas 51) K, als de concentratiebreuk gelijk is aan deze constante, is het evenwicht ingesteld

**evenwicht verstoren** Als je een stof aan een evenwicht toevoegt of onttrekt of het volume, de druk of de temperatuur verandert, verstoort je een evenwicht. De reactie die de verstoring tegen gaat is tijdelijk in het voordeel. Bij het verhogen van de temperatuur is de endotherme reactie tijdelijk in het voordeel.

**exotherm** bij een exotherm proces komt netto energie vrij, de reactiewarmte van een exotherme reactie is een negatief getal

**extraheren** scheidingsmethode waarbij je een mengsel van vaste stoffen scheidt dankzij een verschil in oplosbaarheid in het extractiemiddel, bijvoorbeeld thee zetten.

**fase-overgang** overgang van de ene fase naar de andere: smelten ( $s \rightarrow l$ ), stollen ( $l \rightarrow s$ ), rijpen ( $g \rightarrow s$ ), sublimeren ( $s \rightarrow g$ ), condenseren ( $g \rightarrow l$ ) en verdampen ( $l \rightarrow g$ ). Fase-overgangen zijn geen chemische reacties.

**filtraat** vloeistof die door het filter is gegaan bij filtratie

**formele lading** lading die een atoom heeft in een [Lewisstructuur](#), als een atoom een elektron meer om zich heen heeft dan het aantal valentie-elektronen van dat atoomsoort, is de formele lading bijvoorbeeld 1-.

**fosfolipide** (binas 67G3) bouwsteen van het celmembraan, het bestaat uit een hydrofiele kop met daarin een fosfaatgroep en hydrofobe staarten

**fossiele brandstof** brandstof die gedurende miljoenen jaren ontstaan is uit resten van planten en dieren, bijvoorbeeld steenkool, aardolie en aardgas.

**fotolyse** [ontledingsreactie](#) waarbij licht energie levert

**fotosynthese** vindt plaats in planten:  $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$

**gaschromatografie** analysetechniek waarbij je gassen analyseert door ze over een kolom te leiden. De tijd die een gas er over doet is de retentietijd en daarmee kun je kijken welk gas er in een mengsel zit. De oppervlakte onder de piek is een maat voor de hoeveelheid stof.

**geactiveerde toestand** (ook wel overgangstoestand) hoogste energieniveau in een energiediagram, hoe groter het verschil tussen de beginstoffen en de geactiveerde toestand, hoe groter de activeringsenergie en hoe langzamer de reactie.

**geconjugerd systeem** afwisselend C=C en C-C binding, dit kan bij polymeren als polyethyn zorgen voor stroomgeleiding

**geconjugeerde base** base die hoort bij een zwak zuur, deeltje dat ontstaat als dat zwakke zuur een  $\text{H}^+$  heeft afgestaan [verhouding \[zwak zuur\]:\[geconjugeerde base\] berekenen](#)

**gefractioneerde destillatie** destillatie waarbij geen zuivere stoffen ontstaan maar mengsel van stoffen met kookpunten die bij elkaar in de buurt liggen, ruwe aardolie wordt zo gescheiden in fracties.

**grensstructuur** (= mesomere structuur) Lewisstructuur die een van de mogelijke Lewisstructuren van een stof is, de “werkelijke” structuur is een gemiddelde van de grensstructuren

**grenswaarde** (binas 97A) hoeveel er van een stof in de lucht aanwezig mag zijn in  $\text{mg/m}^3$ .

**halfreactie** (binas 48) helft van een redoxreactie, in een halfreactie staan altijd elektronen. Bij een oxidator staan de elektronen links van de pijl en bij een reductor rechts van de pijl.

**halogenen** elementen uit groep 17 van het periodiek systeem:  $\text{F}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{I}_2$  en  $\text{At}_2$

**hydraat** zie zouthydraat

**hydratatie** omringd door water, bijvoorbeeld een positief ion waarbij de beetje negatief geladen O-kanten van watermoleculen zich aan binden.

**hydrofiel** stof die goed oplost in water, bevat vaak -OH of NH.

**hydrofoob** bang voor water, apolaire stof die slecht oplost in water

**hydrolyse** reactie waarbij een stof met water reageert waarbij kleinere stoffen ontstaan, bv eiwit + water  $\rightarrow$  aminozuren, ester + water  $\rightarrow$  alcohol + carbonzuur, polysacharide + water  $\rightarrow$  monosachariden.

**indampen** scheidingsmethode waarbij je een oplossing verwarmt en de stof(fen) met het laagste kookpunt laat verdampen

**indicator** bij zuur-base indicatoren hangt de kleur af van de pH (binas 52A)

**initiatie** eerste stap van een radicaalmechanisme waarbij een molecuul reageert tot twee radicalen

**insteltijd evenwicht** tijd die het duurt vanaf het moment van het bij elkaar voegen van de stoffen tot de concentraties van de stoffen niet meer veranderen en het evenwicht zich dus heeft ingesteld.

**inwendig spiegelvlak** als een molecuul met twee asymmetrische C-atomen symmetrisch is (bijvoorbeeld 2,3-dibroombutaan), heb je een inwendig spiegelvlak, dan zijn er 3 in plaats van 4 stereo-isomeren.

**ionbinding:** binding tussen een positief ion en een negatief ion in een vast of vloeibaar zout

**ion-dipoolbinding** aantrekkingskracht tussen een ion en een dipool, bijvoorbeeld de negatieve kant van een dipoolmolecuul (bv de O in H<sub>2</sub>O) wordt aangetrokken door een positief ion.

**ionrooster** rooster van een zout waarin de positieve ionen en negatieve ionen om en om gerangschikt zijn.

**isomeren** stoffen met dezelfde molecuulformule en een verschillende structuurformule, het zijn dus verschillende stoffen

**karakteristieke groep** (binas 66D) groep die voorkomt in de naamgeving van een koolstofverbindingen, bijvoorbeeld een zuurgroep, alcoholgroep of aminegroep. In binas 66D staat een overzicht. De karakteristieke groep die daar het hoogste staat, bepaalt het achtervoegsel. De andere karakteristieke groepen krijgen een voorvoegsel.

**katalysator** stof die een bepaalde reactie versnelt zonder verbruikt te worden, komt niet voor in de reactievergelijking

**K<sub>b</sub>** (binas 49) evenwichtsconstante van het evenwicht waarbij een zwakke base oplost in water **K<sub>b</sub> berekenen** hoe kleiner K<sub>b</sub>, hoe zwakker de base

**ketenlengte** (=polymerisatiegraad) het aantal monomeren dat in een polymeerketen aan elkaar gekoppeld is

**keton** (binas 66D) stof met een C=O waarbij de C aan 2 andere C atomen is gebonden

**K, L, M schil** Volgens het atoommodel komen elektronen voor in schillen, maximaal 2 elektronen in de K-schil, maximaal 8 in de L schil en ook maximaal 18 in de M-schil.

**koolhydraat** (binas 67F) stof die voldoet aan de formule C<sub>n</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>m</sub>, een koolhydraat bestaat uit 1 of meer "suikerringen". Glucose is een bekend monosacharide.

**koolstofkringloop** (binas 93F) kringloop waarin je ziet in hoe het element koolstof in telkens andere stoffen/ionen terug komt. Een korte kringloop is dat CO<sub>2</sub> via fotosynthese glucose wordt, glucose wordt omgezet in alcohol en alcohol verbrandt waarbij weer CO<sub>2</sub> ontstaat.

**koolwaterstof** stof die alleen uit de elementen C en H bestaat

**kraken** reactie waarbij grotere koolwaterstoffen worden omgezet in kleiner koolwaterstoffen

**kristalwater** water dat gebonden zit in een kristalrooster van een zout, genoteerd als •nH<sub>2</sub>O waarbij je voor n een getal invult. Koper(II)sulfaatpentahydraat is bijvoorbeeld CuSO<sub>4</sub>•nH<sub>2</sub>O.

**K<sub>w</sub>** (binas 50A) watersconstante K<sub>w</sub>=[H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>][OH<sup>-</sup>] en pK<sub>w</sub> = -log[K<sub>w</sub>]=pH + pOH

**K<sub>z</sub>** (binas 49) Evenwichtsconstante van de reactie waarbij een zwak zuur in een evenwichtsreactie reageert tot H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> en zijn geconjugeerde base. Uitleg: **K<sub>z</sub> berekenen**

**legering** mengsel van metalen

**Lewisstructuur** structuur waarin alle valentie-elektronen zijn aangeven, ook de niet bindende paren. Als een atoom een formele lading heeft staat die erbij.

**lineaire structuur** polymeren die bestaan uit ketens die geen dwarsverbindingen met elkaar vormen hebben een lineaire structuur. Zulke polymeren zijn thermoplasten.

**loopvloeistof** vloeistof die gebruikt wordt bij chromatografie

**macroniveau** het niveau van stoffen

**massagetal**: de som van het aantal protonen en neutronen in een bepaald atoom

**massaspectrometrie** (binas 39D) analysetechniek waarbij moleculen beschoten worden met elektronen, daarna ontstaan fragmentionen. De massa van deze fragmentionen wordt bepaald, het resultaat is een massaspectrum. Aan de hand van een massaspectrum kun je achterhalen welke stof je hebt onderzocht.

**matrijsstreng** (binas 71 E) niet coderende streng in DNA

**meervoudig onverzadigd** stof waarin meerder C=C bindingen voorkomen, bijvoorbeeld linolzuur (zie binas 67G2)

**membraan** laagje dat alleen bepaalde deeltjes, bijvoorbeeld positieve ionen, door laat. Een membraan kan je gebruiken om twee halfcellen van elkaar te scheiden in een elektrochemische cel, zodat de oxidator en reductor niet rechtstreeks met elkaar in contact kunnen komen.

**mesomere grensstructuur** zie grensstructuur

**mesoniveau** het niveau van groepen moleculen, bv vezels

**metaalbinding** binding tussen metaalatomen in een vast of vloeibaar metaal (zie binas 99)

**methyl** zijgroep -CH<sub>3</sub> die aan een langere koolstofketen zit. Uitleg: [systematische naamgeving](#)

**microniveau** het niveau van moleculen, ionen, atomen en bindingen

**mobiele fase** de vloeistof bij papierchromatografie en het gas bij gaschromatografie

**mol** eenheid van chemische hoeveelheid,  $6,02 \cdot 10^{23}$  deeltjes

**molaire massa** (binas 98/99) de massa van 1 mol van een bepaalde stof, eenheid g/mol

**molariteit** de concentratie van een stof in een oplossing in molair (M) 1 M = 1 mol/L

**molair volume** (binas tabel 7) het aantal L dat 1,00 mol van een gas inneemt bij een bepaalde druk en temperatuur. T=273 K en p=p<sub>o</sub> V<sub>m</sub>=22,4 dm<sup>3</sup>/mol en bij T=298 K en p=p<sub>o</sub> V<sub>m</sub>= 24,5 dm<sup>3</sup>/mol.

**moleculaire stof** stof die is opgebouwd uit molecuul, die bestaan alleen uit niet-metaal atomen (zie binas 99)

**molecuulbinding** (=vanderwaalsbinding) binding tussen moleculen in een moleculaire stof die in de vaste of vloeibare fase is.

**monomeer** beginstof waarmee je een polymeer kunt maken

**monomeereenheid** (=repeterende eenheid) stukje in het polymeer dat zich steeds herhaalt en afkomstig is van 1 monomeer.

**monosacharide** (binas 67F1) koolhydraat dat bestaat uit 1 ringstructuur, bijvoorbeeld glucose

**m-RNA** (binas 71 E) stukje RNA met de code voor een eiwit, de code wordt afgelezen in het ribosoom

**neerslagreactie** (binas 45A) reactie waarbij een vaste stof ontstaat als je oplossingen bij elkaar voegt

**netwerkstructuur** polymeer waarbij er dwarsverbindingen tussen de ketens zitten, je krijgt zo een netwerk, deze polymeren zijn thermoharders

**nevenreactie** andere reactie die optreedt naast de gewenste reactie, een nebenreactie levert bijproducten op

**NO<sub>x</sub>** mengsel van NO en NO<sub>2</sub> dat ontstaat in een verbrandingsmotor doordat stikstof en zuurstof met elkaar reageren. NO<sub>x</sub> zorgt voor verzuring en smogvorming.

**nucleofiel** deeltje dat aangetrokken wordt door positieve lading en zelf (gedeeltelijk) negatief is geladen.

**octetregel** in het algemeen hebben niet-metalen (behalve waterstof) in een Lewisstructuur 4 paren valentie elektronen om zich heen. Sommige atoomsoorten (bijvoorbeeld N, P en S) kunnen een uitgebreid octet hebben en meer valentie-elektronen om zich heen hebben.

**olie** (binas 67G) triglyceride van onverzadigde vetzuren

**omestering** (biodiesel maken) een ester reageert met een alcohol tot een ander alcohol en een andere ester

**omringingsgetal** zie VSEPR

**ondermaat** een stof die helemaal reageert bij een reactie omdat er genoeg is van de andere beginstoffen.

**ontleding** reactie waarbij uit 1 beginstof meerdere reactieproducten ontstaan

**opladen** bij het opladen van een batterij keren de halfreacties die plaatsvinden bij stroomlevering om. Aan de positieve elektrode vindt dus de omgekeerde halfreactie plaats van de halfreactie van de oxidator (bij stroom leveren) plaats, dus daar reageert de reductor.

[Hier](#) staat uitleg.

**oplosvergelijking** Bij [zouten](#) valt het zout uit elkaar ion ionen, bv  $\text{CaCl}_2 (\text{s}) \rightarrow \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Cl}^{-}(\text{aq})$ . Bij moleculaire stoffen vallen de moleculen niet uit elkaar, bv  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} (\text{s}) \rightarrow \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} (\text{aq})$

**optische isomeren** (spiegelbeeldisomeren) stoffen met een asymmetrisch C-atoom. Twee spiegelbeeldisomeren hebben dezelfde stof eigenschappen behalve dat de ene optische isomeer wel kan binden aan een enzym en zijn spiegelbeeld, de andere optische isomeer, niet.

**overmaat** als er te veel is van een van de beginstoffen om helemaal te reageren omdat er niet genoeg is van een van de andere beginstoffen

**oxidator** (binas 48) deeltje dat een of meer elektronen opneemt

**passief transport** (diffusie) transport door een celmembraan waar geen energie voor nodig omdat de deeltjes in de richting van de laagste concentratie bewegen.

**peptide** eiwit een dipeptide bestaat bijvoorbeeld uit 2 aminozuren

**peptidebinding** binding tussen twee aminozuren in een eiwit die is ontstaan uit de reactie tussen een COOH en een NH<sub>2</sub> groep, waarbij O=C-NH de peptidebinding wordt en ook water ontstaat.

**pH** zuurgraad [pH oplossing zwak zuur berekenen](#)

**pH-optimum** pH waarbij een enzym het beste werkt

**pOH**  $\text{pOH} = -\log[\text{OH}^{-}]$  [OH<sup>-</sup>] is de concentratie OH<sup>-</sup> in mol/L zie binas 37F  $\text{pH} + \text{pOH} = 14,00$  bij T=298 K

**polaire atoombinding** atoombinding tussen twee atomen waarbij het ene atoom een beetje positief en het andere atoom een beetje negatief is geladen. Het verschil in elektronegativiteit (binas 40A) tussen de atomen waar de bindingen tussen zit is minimaal 0,5.

**polaire stof** stof waarvan de ene kant een beetje positief is geladen en de andere kant een beetje negatief. Bijvoorbeeld stoffen met een -OH of NH groep. Polaire stoffen lossen goed op in andere polaire stoffen zoals water.

**polyamide** polymeer dat ontstaan is door reacties tussen zuurgroepen en amine-groepen, in een polyamide komen peptidebindingen voor

**polyester** polymeer dat ester bindingen bevat, gemaakt van een stof die een alcohol en een zuurgroep bevat of van een diol en een dizuur [mechanisme](#)



**polysacharide** (binas 67F3) polymeer gemaakt van monosachariden

**polymerisatiegraad** het aantal monomeren dat gemiddeld in een polymeerketen aan elkaar gekoppeld is

**ppb** parts per billion, je hebt massa-ppm en volume-ppm, massa-ppm bereken je door de massa van het geheel te delen door de massa van het geheel en dan keer  $10^9$  te doen.

**ppm** parts per million, je hebt massa-ppm en volume-ppm, massa-ppm bereken je door de massa van het geheel te delen door de massa van het geheel en dan keer  $10^6$  te doen.

**primaire structuur** van een eiwit (binas 67H) aminozuurvolgorde

**principes (uitgangspunten) van de groene chemie** (binas 97F) 12 punten die in binas 97F staan en waar je op moet letten om een product te duurzaam mogelijk te maken

**propagatie** tweede stap in het radicaalmechanisme waarbij een radicaal en een molecuul reageren tot een ander radicaal en een ander molecuul

**proton** (binas 40A) positief geladen kerndeeltje, het aantal protonen van een atoom of ion is gelijk aan het atoomnummer van het atoomsoort.

**Q-factor** (binas 97F) getal dat aangeeft hoe vervuילend een stof is, water heeft een Q-factor van 0.

**reactiesnelheidsvergelijking** Hiermee kun je de reactiesnelheid berekenen. Voorbeeld:  $s = k[A][B]^2$  als in de snelheidsbepalende stap 1 deeltje A met 2 deeltjes B reageert.

**reactiemechanisme** in verschillende stappen geef je aan hoe een reactie plaats vindt, met pijlen wordt getekend hoe elektronen zich verplaatsen. Vaak worden Lewisstructuren gebruikt. Voorbeeld: [verestering](#)

**reactiesnelheid** snelheid van een reactie uitgedrukt in  $\text{mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$

**reactiewarmte** hoeveelheid energie die vrij komt of nodig is voor een reactie in J/mol. Je moet erbij zetten om welke stof het dan gaat. Een negatief getal betekent een exotherme reactie en een positief getal een endotherme reactie. Met vormingswarmte kun je de reactiewarmte berekenen.

**reagens** stof waar je een andere stof mee aantoonst, bv kalkwater voor koolstofdioxide en wit kopersulfaat voor water.

**recirculatie** het hergebruik van stoffen in een blokschema, let erop dat je niet dezelfde stof als bij een ingaande pijl en bij een uitgaande pijl uit het blokschema hebt staan

**recycling** een afvalproduct wordt tot grondstof verwerkt

**redoxreactie** (binas 48) reactie waarbij een reductor een of meer elektronen af staat aan een oxidator. Je moet redoxreacties kunnen [herkennen](#).

**reductor** (binas 48) deeltje dat elektronen af staat

**rendement** (binas 37H) massa werkelijke opbrengst/massa theoretische opbrengst  $\times 100\%$

**repeterende eenheid** (monomeereenheid) stukje dat zich steeds herhaalt in een polymeer  
**residu** wat bij filtreren achter blijft in het filter en bij destilleren in de destillatiekolf (de stof met het hoogste kookpunt)

**retentietijd** tijd die een stof erover doet om door een gaschromatograaf te gaan, de retentietijd zegt iets over welke stof je hebt

**RNA** (binas 71C) enkelstrengs, er bestaan verschillende vormen zoals mRNA en tRNA

**significante cijfers** cijfers die relevant zijn gezien de nauwkeurigheid van je meetinstrument, hierbij tellen nullen voor een ander cijfer niet mee en nullen op een eind van een getal wel. Bij pH en pOH waarden zijn alleen de getallen achter de komma (decimalen) significante cijfers

**smog** mist die vervuילd is door luchtvervuiling, onder andere veroorzaakt door NO<sub>x</sub>, roet, koolstofmonoxide en onverbrande koolwaterstoffen

**spectrofotometrie** analysemethode waarmee via absorptie van licht van een bepaalde golflengte kwantitatief, dus de hoeveelheid van, een stof/deeltje wordt bepaald  
**rooster** manier waarop atomen ionen of moleculen gerangschikt zijn in een vaste stof  
**secundaire structuur** van een eiwit (binas 67H) stukjes van de peptideketen die  $\alpha$ -helix en  $\beta$ -plaat vormen via waterstofbruggen tussen NH en C=O van verschillende peptidebindingen  
 **$S_N1$  en  $S_N2$**  (binas 54) nucleofiele substitutiereactie die in 1 of 2 stappen plaats kan vinden  
**snelheidsbepalende stap** de langzaamste stap in een reactiemechanisme, deze stap bepaalt de snelheid van de totale reactie

**spiegelbeeldisomeren** (=optische isomeren) stoffen met een asymmetrisch C-atoom. Twee spiegelbeeldisomeren hebben dezelfde stof eigenschappen behalve dat de ene optische isomeer wel kan binden aan een enzym en zijn spiegelbeeld, de andere optische isomeer, niet.

**standaardelektrodepotentiaal** (binas 48) getal dat aangeeft hoe sterk een oxidator is, dit is bepaald door een elektrochemische cel te maken met alle stoffen in een concentratie van 1,0 M. De ene halfcel is  $H^+/H_2$  en de andere halfcel de halfreactie waarvan je de standaardelektrodepotentiaal wil weten.

**stationaire fase** het papier bij papierchromatografie en de kolom bij gaschromatografie

**stereo-isomeren**: spiegelbeeldisomeren (=optisch isomeren) en cis-trans isomeren

**stikstofkringloop** (binas 93G) overzicht hoe het element stikstof van de ene naar de andere stof/ion wordt omgezet

**stofstroom** lijn met een pijl in een blokschema die aangeeft hoe de stoffen door het systeem gaan

**stoichiometrische verhouding** molverhouding waarin stoffen reageren volgens de reactievergelijking

**stroomgeleiding** wordt bij metalen veroorzaakt door vrije elektronen en bij vloeibare en in water opgeloste zouten door vrije elektronen

**substitutie** reactie waarbij atomen of groepen atomen uitwisselen. Bijvoorbeeld ethaan en chloor reageren tot chloorethaan en waterstofchloride. Voor deze reactie is licht nodig.

Uitleg: **mechanisme**

**substraat** stof die bindt aan een enzym en door een enzym wordt omgezet

**suspensie** mengsel van een vaste stof en een vloeistof die slecht met elkaar mengen

**temperatuuroptimum** temperatuur waarbij een enzym het beste werkt

**terminatie** laatste stap van een radicaalmechanisme waarbij twee radicalen reageren tot een (polymeer)molecuul

**tertiaire structuur** van een eiwit (binas 67H2) driedimensionale structuur van een eiwit die bepaalt hoe een eiwit werkt en ontstaat door interacties tussen de zijketens van aminozuren.

**thermoharder** polymeer die een netwerkstructuur heeft een daardoor niet zacht wordt of vervormt bij verhitten.

**thermolyse** ontledingsreactie waarbij warmte de vorm van energie is die de reactie op gang houdt.

**thermoplast** polymeer dat bestaat uit ketens die niet onderling verbonden zijn, het heeft een lineaire structuur. Thermoplasten worden zacht als je ze verhit.

**transcriptie** (binas 71 E) de informatie op DNA wordt omgezet in informatie op mRNA

**translatie** (binas 71 E) bij translatie wordt de informatie op mRNA vertaald naar een eiwit, het eiwit wordt gemaakt in een ribosoom

**triglyceride** (binas 67G1) ester gemaakt van glycerol en drie vetzuren

**triviale naam** (binas 66A) niet officiële naam van een stof, bijvoorbeeld natronloog, de rationale naam daarvan is een oplossing van natriumhydroxide in water.

**Uv straling** straling waar C=C bindingen in een polymeer gevoelig voor zijn en die een molecuul kan omzetten in radicalen.

**valentie elektron** (binas 99) elektronen in de buitenste schil van een atoom. Het aantal valentie-elektronen kun je opzoeken in binas 99, het staat daar rechts onderaan bij een atoomsoort

**vanderwaalsbinding** (=molecuulbinding) binding tussen moleculen in een moleculaire stof die in de vaste of vloeibare fase is.

**verbrandingswarmte** (binas 56) Hoeveel energie er vrij komt bij de verbranding van 1 mol van een stof, in de tabel staat het in  $10^5$  J/mol.

**verdelingsgraad** hoe fijn verdeeld een vaste stof is, ijzerpoeder heeft een grotere verdelingsgraad dan een spijker en reageert daarom sneller. Het wordt ook wel contactoppervlak genoemd. Je gebruikt dit begrip alleen bij vaste stoffen

**vergisting** reactie waarbij dankzij een gist een suiker wordt in alcohol en koolstofdioxide

**verhoudingsformule** formule van een zout waarin met zo klein mogelijke getallen is aangegeven wat de verhouding tussen positieve en negatieve ionen is.

**vet** (binas 67G) triglyceride van verzadigde vetzuren

**vetzuur** (binas 67G2) carbonzuur met een lange staart

**volledige verbranding** verbranding waarbij genoeg zuurstof aanwezig is, het element koolstof wordt dan omgezet in  $\text{CO}_2$ .

**vrij elektronenpaar** elektronenpaar dat bestaat uit valentie elektronen en geen binding vormt, zo'n paar teken je in een Lewisstructuur.

**VSEPR** valentieschil elektronenpaar repulsie theorie. Het gaat hierbij om het aantal bindingen/niet-bindende elektronenparen die om een atoom heen zitten. Hierbij telt een dubbele of drievoudige binding als 1. Bij een 4-omringing, bijvoorbeeld methaan of water (niet-bindende paren tellen ook mee) heb je hoeken van  $109^\circ$ , bij een 3-omringing, bijvoorbeeld bij etheen heb je hoeken van  $120^\circ$ . Bij een 2-omringing (bijvoorbeeld ethyn en koolstofdioxide) zijn de hoeken  $180^\circ$ .

**vormingswarmte** (binas 57) hoeveel energie vrij komt of nodig is voor de vorming van 1 mol van een stof uit niet-ontleedbare stoffen (elementen), in J/mol. Let op de  $10^5$  boven in de tabel.

**warmtewisselaar** in twee buizen vloeien twee vloeistoffen met verschillende temperaturen in tegenovergestelde richting. Zo kun je energie besparen in een fabriek waar gekoeld en verwarmd moet worden.

**waterstofbrug** in vaste en vloeibare stoffen waarvan de moleculen een -NH en/of -OH groep bevatten, aantrekkingskracht tussen de H van het ene molecuul met de O of N van een ander molecuul. Let op: de H moet aan een O of N vast zitten.

**weekmaker** stof die wordt toegevoegd aan plastic, zodat het plastic flexibeler wordt. De weekmaker gaat tussen de ketens zitten en maakt de vanderwaalsbindingen tussen de ketens zwakker.

**zoutbrug** U-vormige buis met daarin een gel waarin een zout is opgelost die zorgt voor een gesloten stroomkring bij een elektrochemische cel.

**Zouthydraat** Zout waar kristalwater aan de ionen is gebonden in het ionrooster, genoteerd als  $\bullet n\text{H}_2\text{O}$ . Natriumcarbonaatdecahydraat is bijvoorbeeld  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \bullet 10\text{H}_2\text{O}$ .

**zwavelbrug** binding tussen twee zwavelatomen (uit cysteïne zijketens) in de tertiaire structuur van een eiwit.

**zure depositie** verzuring veroorzaakt door  $\text{SO}_2$  en  $\text{NO}_x$ , wordt vaak zuren regen genoemd  
**zuur** deeltje dat  $\text{H}^+$  af kan staan, sterke zuren staan in binas tabel 49 boven  $\text{H}_3\text{O}^+$  en zwakke daaronder. Een oplossing van een sterk zuur noteer je als  $\text{H}^+/\text{H}_3\text{O}^+ + \dots$

**zuur base reactie** reactie waarbij een zuur een of meer  $\text{H}^+$  af staat aan een base, je moet deze reacties ook kunnen [herkennen](#)

**zwak zuur** (binas 49) zuur dat in binas tabel 49 onder  $\text{H}_3\text{O}^+$  staat en boven  $\text{H}_2\text{O}$ , het vormt een evenwichtsreactie in water, waarbij het gedeeltelijk wordt omgezet in  $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}^+$ .

**zwakke base** (binas 49) base die in water slechts voor een klein deel  $\text{H}^+$  opneemt, het vormt een evenwichtsreactie met water, waarbij water wordt omgezet in  $\text{OH}^-$ . Zwakke basen staan in tabel 49 boven  $\text{OH}^-$  en onder  $\text{H}_2\text{O}$ . Uitleg: [pH van de oplossing van een zwakke base berekenen](#)

Hoe worden de vragen over de verschillende onderwerpen meestal op het examen gesteld:



**Formules**

massa-ppm =(massa gevraagde stof/totale massa) $\times 10^6$ .

$K_z = \frac{[Z^-][H_3O^+]}{[HZ]}$

$pK_z = -\log K_z$

$K_b = \frac{[HB][OH^-]}{[B^-]}$

$K_b = 10^{-pK_b}$

aantal L gas =  $V_m \times$  aantal mol gas

E-factor = (massa beginstoffen - massa werkelijke opbrengst) / massa werkelijke opbrengst

atoomeconomie = massa gewenst reactie product / massa beginstoffen  $\times 100\%$ .

rendement = praktische opbrengst / theoretische opbrengst  $\times 100\%$

Binastabellen deel 1 en deel 2 Gebruik ook het register.

7 alleen voor gassen, 22,4 L/mol (T=273 K en p=p<sub>o</sub>) en 24,5 L/mol (T=298 K en p=p<sub>o</sub>)

8-12 dichtheid (let op bij gassen is de dichtheid bij T=273 K gegeven)

37 formules

38B symbolen in blokschema's

39D massaspectrometrie

40A elementen, atoomnummers en ladingen

42 smeltpunten en kookpunten.

45A oplosbaarheid zouten in water

52A indicatoren

57 vormingswarmte

65B kleuren van stoffen

66A triviale namen

66B formules

66C+D naamgeving koolstofchemie

67F koolhydraten

67G vetten

67H eiwitten

71E transcriptie en translatie.

71G genetische code

95 ADI waarden

97A grenswaarden

97F groene chemie

98 molaire massa's

99 periodiek systeem



Vragen waar geen witregel tussen staat zijn gekoppelde vragen. Het antwoord op de eerste vraag heb je dan nodig voor de tweede vraag. De eerste vraag wijst je dus in de goede richting.



Gebruik het laatste kwartier van het examen om alle opgaven en jouw antwoorden door te lezen. Controleer of je steeds een uitleg, beredenering, afleiding of berekening hebt gegeven. Kijk of je alle H-atomen hebt getekend in structuurformules. Controleer de eenheden en significantie en kijk of je inderdaad antwoord hebt gegeven op de vraag. Als in de vraag staat "leg met gegevens uit de tekst uit" dan moet je ook naar regels van de genoemde tekst verwijzen.



Als laatste het allerbelangrijkste: OEFEN VEEL OP EXAMENNIVEAU, KIJK JE ANTWOORDEN KRITISCH NA EN VERGEET NIET OM GOED TE LEZEN!!!!!!!!!!

[examen 2018-I-II](#)



[examen 2019-I+II](#)



Kijk op [scheikundehavovwo.nl](http://scheikundehavovwo.nl) voor meer uitleg en de filmpjes van de andere examens!

**S**chrijf mee met de filmpjes.

**C**heck je antwoorden in het laatste kwartier.

**H**aal informatie uit de tekst.

**E**lke (half)reactie moet kloppen, kijk ook naar de formules.

**I**n binas kun je heel veel vinden.

**K**ijk alles kritisch na en leer van je fouten.

**U**ren oefenen = minder racen tegen de klok.

**N**a elke rekenvraag: eenheid, significantie, kan het?

**D**us... trek altijd een conclusie.

**E**lk puntje is er 1