

Waterstofproductie

Waterstof (H_2) wordt door sommigen gezien als de ideale energieleverende stof van de toekomst. Bij de verbranding van waterstof ontstaan geen milieuvervuilende stoffen.

- 2p 1 Geef de reactievergelijking voor de verbranding van waterstof.

Een bekende manier om waterstof te maken, is de elektrolyse van aangezuurd water.

- 2p 2 Geef de vergelijking van de halfreactie die bij de elektrolyse van aangezuurd water aan de positieve elektrode optreedt en de vergelijking van de halfreactie die aan de negatieve elektrode optreedt.

Noteer je antwoord als volgt:

positieve elektrode: ...

negatieve elektrode: ...

In verschillende onderzoeksgroepen is men op zoek naar andere methoden om waterstof te produceren. In onderstaand tekstfragment staat zo'n methode beschreven.

tekstfragment

DUURZAME ENERGIE – TNO haalt waterstof uit biomassa

- 1 TNO heeft samen met zeven andere organisaties een methode ontwikkeld om
2 waterstof uit biomassa te produceren. Het proces bestaat uit twee reacties. In de
3 eerste reactor zetten warmteminnende micro-organismen koolhydraten om in
4 waterstof, koolstofdioxide en organische zuren. Zij doen hun werk in water van
5 70 °C en bij lage druk. De gevormde waterstof en koolstofdioxide kunnen
6 continu worden afgevoerd, zodat de activiteit van de micro-organismen niet
7 wordt geremd. In de tweede reactor gebruiken andere micro-organismen licht
8 om de zuren uit de eerste reactor om te zetten in H_2 en CO_2 . Samen zorgen de
9 beide stappen ervoor dat alleen maar waterstof en koolstofdioxide overblijven
10 van de toegevoerde koolhydraten. Waterstof en koolstofdioxide kunnen
11 vervolgens op eenvoudige wijze van elkaar gescheiden worden.

naar: De Ingenieur

In reactor 1 vinden verschillende reacties plaats. Eén daarvan is de reactie tussen glucose en water waarbij waterstof, koolstofdioxide en ethaanzuur ontstaan.

- 3p 3 Geef de vergelijking van de reactie tussen glucose ($C_6H_{12}O_6$) en water. Neem daarbij aan dat per molecuul glucose twee moleculen ethaanzuur ontstaan.

Op de uitwerkbijlage bij dit examen staat de aanzet voor een blokschema waarmee de in het tekstfragment beschreven methode om zuivere waterstof uit koolhydraten te verkrijgen, vereenvoudigd kan worden weergegeven. Het schema bestaat uit drie blokken: twee reactoren en een scheidingsruimte. De stofstromen zijn met pijlen aangegeven.

- 3p **4** Vul het blokschema op de uitwerkbijlage aan. Geef elk blok de juiste naam (reactor 1, reactor 2 of scheidingsruimte). Vermeld ook bij elke pijl de betreffende stof(fen):
- koolstofdioxide;
 - (opgeloste) koolhydraten;
 - (opgeloste organische) zuren;
 - waterstof.

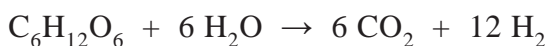
Let op: sommige stofnamen moeten meer dan één keer worden gebruikt.

Om het mengsel van koolstofdioxide en waterstof te scheiden, zou men het door een basische oplossing kunnen leiden. Uit het blokschema dat op de uitwerkbijlage staat, is af te leiden dat dit in dit proces kennelijk niet gebeurt.

- 1p **5** Geef aan hoe dit uit het blokschema blijkt.

- 2p **6** Beschrijf een andere manier om een mengsel van koolstofdioxide en waterstof te scheiden. Geef in je beschrijving ook aan van welk verschil in eigenschappen je gebruikmaakt.

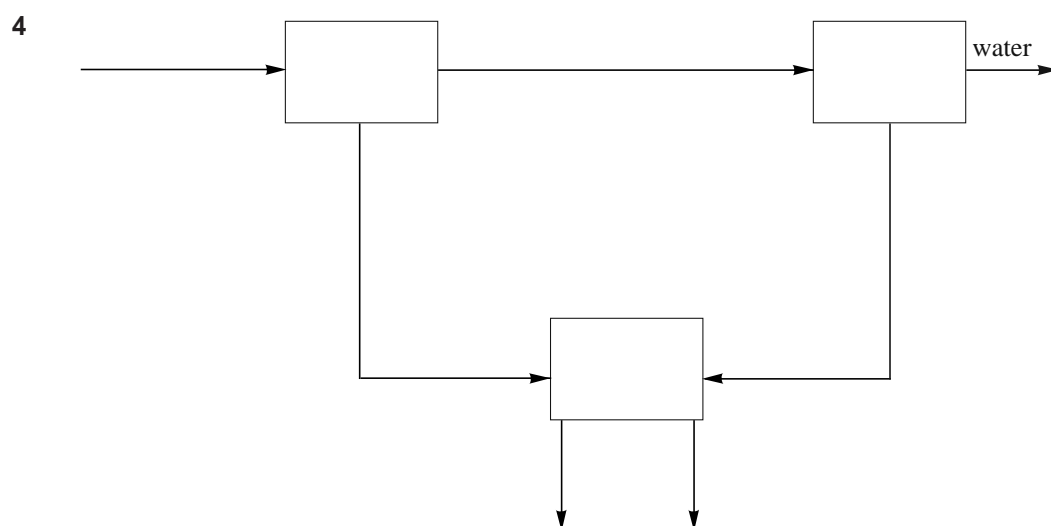
Het totale productieproces dat in het tekstfragment is beschreven, kan worden weergegeven met de volgende reactievergelijking:



Een bepaald type auto gebruikt waterstof als brandstof. Zo'n auto kan op 1,0 kg waterstof 110 km afleggen en heeft in de praktijk een actieradius van 300 km.

- 4p **7** Bereken hoeveel kg glucose nodig is voor de productie van de hoeveelheid waterstof die nodig is om met zo'n auto 300 km af te leggen.
- 2p **8** Geef twee redenen waarom de productie van waterstof als energieleverende stof volgens de methode uit het tekstfragment duurzaam kan worden genoemd en de productie via elektrolyse niet.

uitwerkbijlage



Kalkzandsteen

Een belangrijk bestanddeel van kalkzandsteen is calciumcarbonaat. Hierdoor kunnen muren van gebouwen van kalkzandsteen worden aangetast door zure regen. In deze opgave wordt een methode gepresenteerd om zulke gebouwen te beschermen.

- 1 In zure regen komt onder andere opgelost zwavelzuur voor. Dit is ontstaan uit
- 2 zwaveldioxide, zuurstof en water. Zwavelzuur is een sterk zuur.
- 3 De aantasting van gebouwen van kalkzandsteen door zure regen komt doordat
- 4 het calciumcarbonaat reageert met het opgeloste zwavelzuur. Bij deze reactie
- 5 ontstaat onder andere calciumsulfaat. Dit calciumsulfaat wordt vervolgens
- 6 langzaam weggespoeld door het regenwater.
- 7 Door de muren te behandelen met een mengsel van bariumhydroxide, ureum en
- 8 water kunnen ze worden beschermd. Dit mengsel wordt opgenomen in het
- 9 poreuze kalkzandsteen. Het ureum reageert geleidelijk met water tot ammoniak
- 10 en koolstofdioxide. Het koolstofdioxide reageert vervolgens met het opgeloste
- 11 bariumhydroxide, waarbij onder andere bariumcarbonaat wordt gevormd.
- 12 Bariumcarbonaat reageert, net als calciumcarbonaat, met opgelost zwavelzuur
- 13 uit zure regen. Hierbij ontstaat onder andere bariumsulfaat. Bariumsulfaat wordt,
- 14 in tegenstelling tot calciumsulfaat, niet weggespoeld door regenwater.

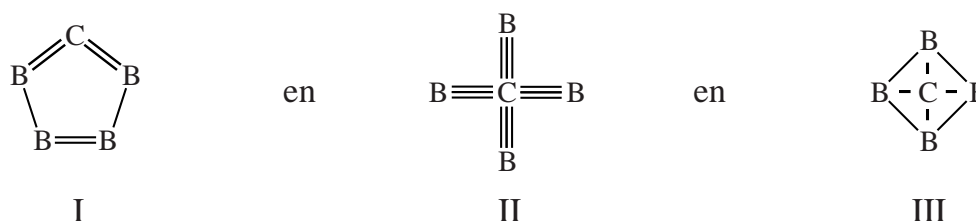
- 3p **9** Geef de reactievergelijking voor het ontstaan van opgelost zwavelzuur in zure regen (regels 1 en 2).
- 3p **10** Geef de vergelijking van de reactie tussen koolstofdioxide en een oplossing van bariumhydroxide (regels 10 en 11).
- 2p **11** Verklaar met behulp van gegevens uit Binas waarom bariumsulfaat niet wordt weggespoeld door regenwater en calciumsulfaat wel. Vermeld in je antwoord ook het nummer van de Binas-tabel waarin de gebruikte gegevens staan.
- 2p **12** Denk je dat deze manier van bescherming wordt toegepast als een eenmalige preventiemaatregel of moet je de behandeling regelmatig herhalen? Geef een verklaring voor je antwoord.

De structuur van boorcarbide

Boorcarbide, B_4C , is één van de hardste stoffen die bestaan. De stof heeft een uitzonderlijk hoog smeltpunt: ongeveer $2400\text{ }^\circ\text{C}$. Boorcarbide wordt gemaakt door koolstof te laten reageren met dibootrioxide, B_2O_3 . In deze reactie ontstaat behalve boorcarbide alleen koolstofmono-oxide.

- 2p **13** Geef de vergelijking van deze reactie.

Vroeger kon je op internet onderstaande structuurformules van boorcarbide tegenkomen.



Als je naar de aantallen bindingen van het koolstofatoom in deze structuurformules kijkt, moet je concluderen dat structuurformule II zeker onjuist is en dat structuurformules I en III goed zouden kunnen zijn. Tegenwoordig komt structuurformule II niet meer op internet voor.

- 2p **14** Leg uit dat structuurformule II, gelet op de aantallen getekende bindingen van het koolstofatoom, onjuist is.

Booratomen kunnen, net als koolstofatomen, covalente bindingen (atoombindingen) vormen. In booratomen komen twee soorten elektronen voor: elektronen die aan de vorming van covalente bindingen kunnen deelnemen en elektronen die dat niet kunnen. Uit bovenstaande formules is af te leiden hoeveel elektronen een booratoom beschikbaar heeft om covalente bindingen te vormen.

- 2p **15** Leg uit, aan de hand van structuurformules I en III, hoeveel elektronen een booratoom beschikbaar heeft om covalente bindingen te vormen.
- 2p **16** Leg uit hoeveel elektronen in een booratoom niet aan het vormen van covalente bindingen deelnemen.
- 3p **17** Beargumenteer met behulp van begrippen op microniveau (deeltjesniveau) waarom, gelet op het hoge smeltpunt van boorcarbide, geen van bovenstaande structuurformules juist is.

Kogelwerend T-shirt

Boorcarbide, B_4C , wordt vanwege zijn uitzonderlijke eigenschappen vaak toegepast in kogelwerende kleding, bijvoorbeeld kogelwerende vesten. Deze vesten worden gemaakt door er platen van boorcarbide in te verwerken. De vesten zijn daardoor zwaar en verlenen weinig bewegingsvrijheid.

Onderzoekers aan de universiteit van South-Carolina hebben onlangs een methode ontwikkeld om katoen te versterken met boorcarbide. Zo zou je van een gewoon katoenen T-shirt kleding kunnen maken dat kogelwerende eigenschappen heeft en toch licht en flexibel is.



platen van boorcarbide

Bij het ontwikkelen van die methode gingen de onderzoekers als volgt te werk:

- 1 Een stukje van een T-shirt met een massa van 15 g werd gedurende 2 uur geschud in een suspensie van 80 mL ethanol en (onder andere) 10 g boor.
- 2 Daarna werd het uit de suspensie gehaald en in een oven gedurende 5 minuten gedroogd bij 70 °C en vervolgens 3 uur verhit op 105 °C.
- 3 Tenslotte werd het materiaal in een andere oven gedurende 4 uur verhit op een temperatuur van 1160 °C, waarbij continu argon werd overgeleid.

- 3p **18** Bereken hoeveel gram boorcarbide in het beschreven experiment maximaal kan ontstaan. Neem aan dat alle boor wordt omgezet tot boorcarbide.

Het katoen van het T-shirt bestaat voornamelijk uit cellulose. In stap 1 raakt het textiel geheel doordrenkt met het ethanol. Dat komt doordat waterstofbruggen worden gevormd tussen ethanolmoleculen en cellulosemoleculen. Op de uitwerkbijlage bij dit examen staat een fragment van een cellulosemolecuul afgebeeld.

- 2p **19** Teken op de uitwerkbijlage twee ethanolmoleculen die elk met één of meer waterstofbruggen aan het cellulosemolecuul zijn gebonden.
- Gebruik structuurformules voor de ethanolmoleculen.
 - Teken de waterstofbruggen met een stippelijntje (•••).

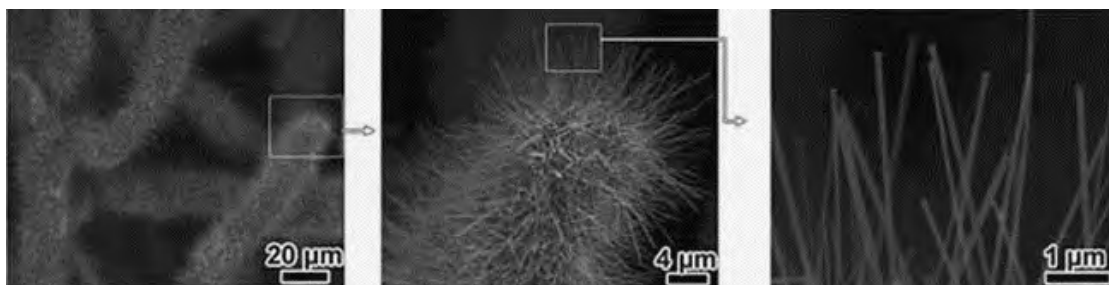
In stap 2 wordt een deel van het boor omgezet tot booroxide.

In stap 3 ontleedt de cellulose. Daarbij ontstaan koolstof, waterdamp en allerlei vluchtige koolstofverbindingen. Het koolstof en de vluchtige koolstofverbindingen reageren met boor en booroxide tot boorcarbide, koolstofmono-oxide en waterdamp. Uiteindelijk ontstaan in stap 3 vast koolstof, vast boorcarbide, koolstofmono-oxide en waterdamp. De koolstofmono-oxide en waterdamp die bij deze reacties ontstaan, worden afgevoerd met de argonstroom.

- 2p **20** Leg uit waarom men geen lucht gebruikt, maar argon voor het afvoeren van de gasvormige producten die in stap 3 ontstaan. Noteer je antwoord als volgt:
- men gebruikt geen lucht, omdat ...
 - men gebruikt argon, omdat ...

Het materiaal dat na stap 3 ontstaat, is nog steeds behoorlijk flexibel. Deze flexibiliteit wordt verklaard doordat de koolstof die bij de ontleding van de cellulose ontstaat dezelfde vezelstructuur (microvezels) heeft als de oorspronkelijke cellulose. Bovendien wordt het boorcarbide gevormd in de vorm van zogenoemde nanovezels die als het ware uit de koolstofvezels naar buiten steken.

In onderstaande figuren staan opnames die met een elektronenmicroscop zijn gemaakt van deze structuur.



Links een opname van een deel van het oppervlak van het behandelde stukje T-shirt, in het midden een uitvergroting van het uiteinde van een microvezel, met daaruit stekend de nanovezels, rechts een opname van de nanovezels.

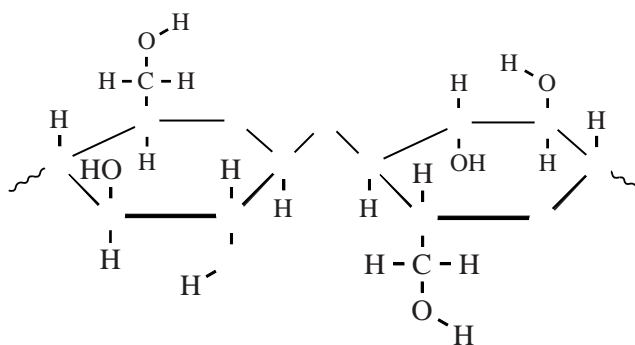
- 2p **21** Wordt in deze verklaring van de flexibiliteit gebruik gemaakt van begrippen op microniveau (deeltjesniveau)? Geef een verklaring voor je antwoord.

Het materiaal dat na stap 3 ontstaat, is lichter dan het oorspronkelijke stukje T-shirt. Zo zou ook kunnen worden voldaan aan de eis dat kogelwerende kleding niet te zwaar mag zijn.

- 2p **22** Leg uit, zonder een berekening te maken, hoe het mogelijk is dat de massa van het materiaal na stap 3 kleiner is dan de massa van het oorspronkelijke stukje T-shirt. Gebruik in je uitleg informatie uit deze opgave.

uitwerkbijlage

19



Actieve kool

Wanneer geconcentreerd zwavelzuur wordt toegevoegd aan suiker, ontstaat 'actieve kool'. Actieve kool kan als adsorptiemiddel worden gebruikt voor het verwijderen van veel kleurstoffen uit waterige oplossingen. Anne en Emma maken zelf actieve kool aan de hand van onderstaand voorschrift. Daarna testen zij de actieve kool.

voorschrift

Actieve kool maken

Doe 1,0 gram suiker ($C_{12}H_{22}O_{11}$) in een reageerbuis. Maak de suiker wat vochtig met een paar druppels water. Voeg hieraan voorzichtig 2,5 mL geconcentreerd zwavelzuur (98 massa%) toe. Na enkele seconden verkoolt de suiker onder vorming van zwaveldioxide, koolstofdioxide en warmte. Maak gebruik van de zuurkast!

Spoel de ontstane actieve kool grondig met water. Laat de actieve kool goed drogen (24 uur) en maak het daarna fijn.

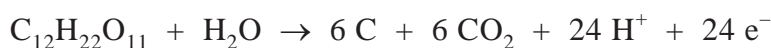
naar: www.chemie.uni-ulm.de/experiment/edm0199.html

In verband met de veiligheid moeten Anne en Emma de proef in de zuurkast uitvoeren. De beschreven wijze van het maken van actieve kool brengt namelijk enige gevaren met zich mee.

- 2p **23** Leg uit waarom de zuurkast moet worden gebruikt.

De reactie tussen zwavelzuur en suiker is een redoxreactie. Hierbij is zwavelzuur de oxidator en suiker de reductor. Doordat zwavelzuur wordt toegevoegd aan de vochtige suiker, lost een deel van het zwavelzuur op in het water. Hierdoor ontstaat warm geconcentreerd zwavelzuur. Aan de hand van dit gegeven vindt Anne in Binas-tabel 48 de vergelijking van de halfreactie van de oxidator.

Voor het opstellen van een mogelijke halfreactie van de reductor, maakt Anne gebruik van het gegeven dat de suiker wordt omgezet tot koolstof en koolstofdioxide. Zij stelt de volgende vergelijking van de halfreactie van de reductor op:



- 3p **24** Geef de vergelijking van de halfreactie van de oxidator en leid met behulp van de vergelijkingen van de halfreacties de vergelijking af van de totale redoxreactie.

De verkregen actieve kool is mogelijk nog verontreinigd met overgebleven zwavelzuur. Om dit te verwijderen, 'wassen' Anne en Emma de gevormde actieve kool met water. Dit doen zij door de actieve kool in een bekeerglas over te brengen en er gedestilleerd water bij te doen. Na goed roeren laten zij het mengsel bezinken. Hierna schenken zij zoveel mogelijk van de bovenstaande oplossing af. Deze procedure herhalen zij enige malen. Dan gieten zij de actieve kool met een restje water uit over een filter.

- 3p **25** Leg uit hoe Anne en Emma kunnen controleren of de verkregen actieve kool na het wassen nog zwavelzuur bevat. Beschrijf wat ze moeten doen en geef een mogelijke waarneming en de bijbehorende conclusie.

Anne en Emma hebben de actieve kool goed gewassen zodat alle verontreinigingen zijn verwijderd. Nadat ze de actieve kool hebben gedroogd, maken ze die fijn. Hierdoor verbetert de werking van de actieve kool als adsorptiemiddel.

- 1p **26** Leg uit waardoor de actieve kool sneller werkt als adsorptiemiddel wanneer de kool fijngemaakt is.

Tenslotte willen Anne en Emma onderzoeken of de verkregen actieve kool inderdaad werkt als adsorptiemiddel. Voor dit onderzoek hebben zij onder andere tot hun beschikking: een rode kleurstof die in water is opgelost, filter, trechter en reageerbuizen.

- 3p **27** Geef een werkplan waarmee Anne en Emma dit onderzoek kunnen uitvoeren. Geef ook de waarneming waaruit ze hun conclusie moeten trekken.

Gist

Gist kan in gedroogde vorm worden gekocht. Een fabrikant verkoopt deze gist in een doosje, met daarin 5 zakjes. Elk zakje bevat 10 gram gedroogde gist, een hoeveelheid die voor veel recepten geschikt is. Het zakje waarin de gedroogde gist zit, bestaat uit aluminiumfolie met een laagje polypropreen aan de binnenkant.

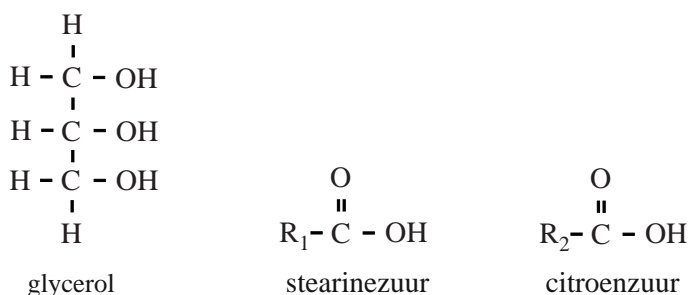
- 3p **28** Geef een stukje uit het midden van de structuurformule van polypropreen. In dit stukje moeten drie monomeereenheden zijn verwerkt.

Sommige mensen hebben bezwaren tegen het gebruik van dit verpakkingsmateriaal. Zij vinden ook dat de manier waarop de gist wordt verpakt niet milieuvriendelijk is: één groter zakje met daarin 50 gram gist zou volgens hen veel beter zijn.

- 2p **29** Geef twee argumenten die deze mensen kunnen aanvoeren:
- één argument tegen het gebruik van dit verpakkingsmateriaal;
 - één argument waarom een groter zakje beter is.

Uit de tekst op een zakje gedroogde gist blijkt dat aan deze gist de emulgator E 472c is toegevoegd. E 472c is een zogenoemde di-ester. In een molecuul van een di-ester komen twee estergroepen voor. Een molecuul van de di-ester E 472c ontstaat door de reactie van één molecuul glycerol met één molecuul stearinezuur en één molecuul citroenzuur.

Hieronder zijn de structuurformule van glycerol en de vereenvoudigde structuurformules van stearinezuur en citroenzuur weergegeven.



Er bestaan meerdere structuurformules die voldoen aan de beschrijving 'een di-ester die is ontstaan door de reactie van één molecuul glycerol met één molecuul stearinezuur en één molecuul citroenzuur'.

- 2p **30** Geef de structuurformule van een di-ester die kan ontstaan door de reactie van één molecuul glycerol met één molecuul stearinezuur en één molecuul citroenzuur. Gebruik daarbij bovenstaande vereenvoudigde structuurformules van stearinezuur en citroenzuur.
- 2p **31** Leg uit hoeveel verschillende di-esters kunnen ontstaan wanneer één molecuul glycerol reageert met één molecuul stearinezuur en één molecuul citroenzuur. Neem aan dat de groepen R_1 en R_2 bij deze estervorming onveranderd blijven.

Brooddeeg bestaat voor een groot deel uit zetmeel. Wanneer gist aan het brooddeeg is toegevoegd, zal een deel van het zetmeel worden omgezet tot glucose ($C_6H_{12}O_6$). De ontstane glucose wordt door de gist omgezet tot alcohol en koolstofdioxide. Het koolstofdioxide zorgt voor het rijzen van het deeg.

De reactievergelijking voor de omzetting van glucose tot koolstofdioxide en alcohol is als volgt:



Joris heeft twee zakjes gedroogde gist gevonden:

gist I: gist waarvan de houdbaarheidsdatum nog niet is overschreden;

gist II: gist waarvan de houdbaarheidsdatum drie jaar is overschreden.

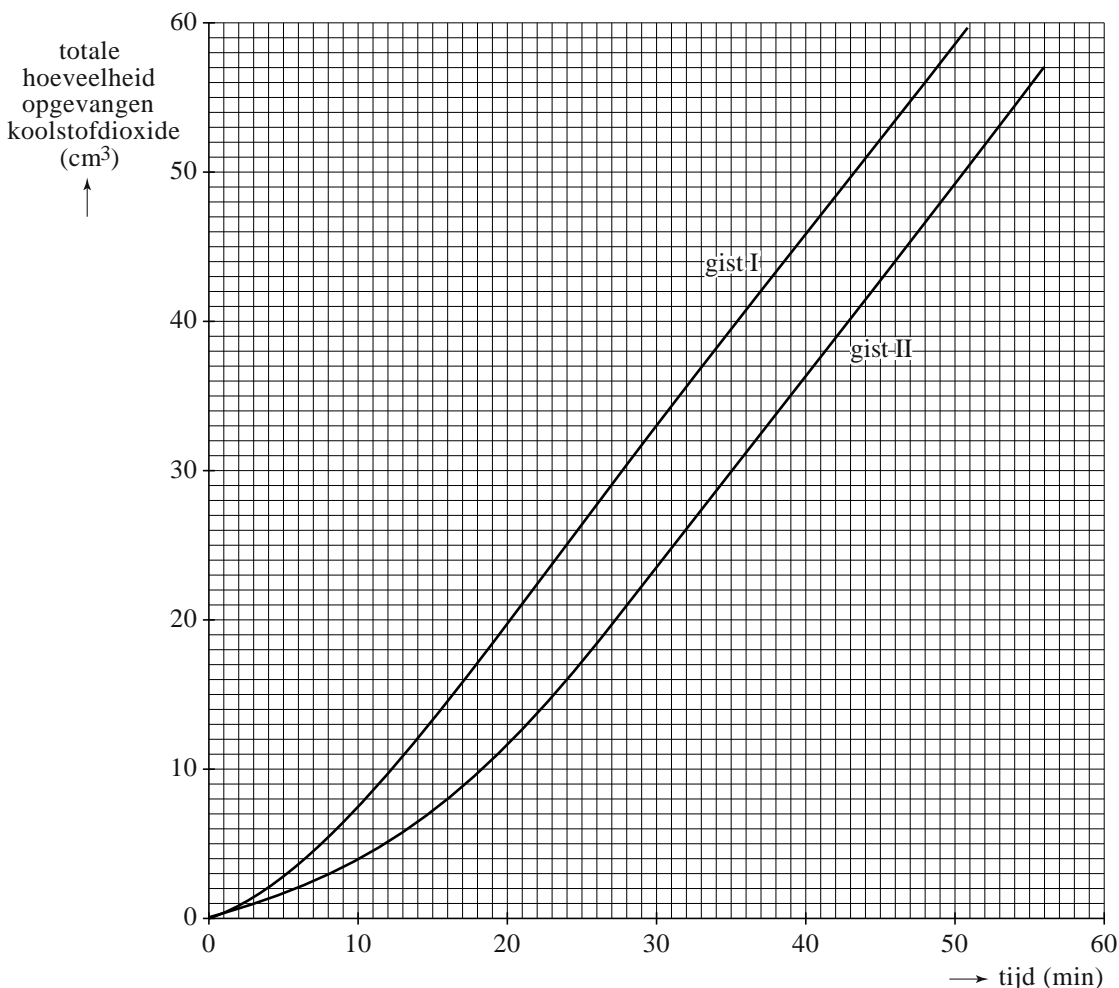
Om de werking van gist I te vergelijken met de werking van gist II voert Joris de volgende proeven uit:

Aan 100 mL van een 5% glucose-oplossing met een temperatuur van 33 °C voegt Joris 1,0 gram van gist I toe. Hij laat de glucose-oplossing met de gist net zolang staan, totdat hij de eerste gasbelletjes ziet ontstaan. Vervolgens vangt Joris het gas dat ontstaat op. Om de 5 minuten noteert hij hoeveel gas er is opgevangen.

Joris neemt weer 100 mL van de glucose-oplossing en voert de proef opnieuw uit, maar deze keer met gist II.

Onderstaand diagram is gemaakt met de resultaten van de proeven van Joris.

diagram



Het aantal cm^3 koolstofdioxide dat per tijdseenheid wordt gevormd, is een maat voor de activiteit van de gist. Uit bovenstaand diagram blijkt dat de activiteit van gist II in het begin lager is dan de activiteit van gist I.

- 3p **32** Bereken met behulp van het diagram voor elk van de twee soorten gist het aantal cm^3 gas dat is geproduceerd tussen 10 en 20 minuten vanaf het moment van opvangen. Lees de aantallen cm^3 koolstofdioxide af in één decimaal.
- 2p **33** Bereken hoeveel procent de activiteit van gist II tussen 10 en 20 minuten lager was dan de activiteit van gist I. Stel de activiteit van gist I op 100%.

De activiteit van gist II is na enige tijd even groot als de activiteit van gist I.

- 1p **34** Hoe blijkt dit uit het diagram?