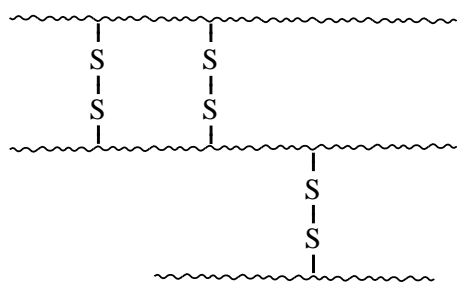


## Haarverzorging

In haar is het eiwit keratine aanwezig. In een molecuul keratine komt het volgende fragment voor:  $\sim \text{Ser} - \text{Pro} - \text{Cys} \sim$ .

- 3p 1 Geef het fragment  $\sim \text{Ser} - \text{Pro} - \text{Cys} \sim$  in een structuurformule weer.

In keratine zijn relatief veel cysteïne-eenheden aanwezig. Uit de SH groepen van de cysteïne-eenheden hebben zich zogenoemde zwavelbruggen gevormd. Deze zwavelbruggen geven de haren hun stevigheid. Hieronder is een gedeelte van een keratinemolecuul schematisch weergegeven:



Van een bepaalde keratinesoort is de gemiddelde molecuulmassa  $1,74 \cdot 10^4$  u; het massapercentage cysteïne-eenheden is 23.

- 5p 2 Bereken het aantal zwavelbruggen dat in deze keratinesoort per molecuul keratine aanwezig is. Ga er bij de berekening van uit dat:
- alle cysteïne-eenheden zwavelbruggen hebben gevormd;
  - geen eindstandige cysteïne-eenheden voorkomen.

Wanneer mensen ouder worden, verandert de kleur van hun haar; meestal wordt het grijs. Er zijn vele middelen om de grijze kleur te verbergen. Eén zo'n middel, een lotion die vooral door mannen wordt gebruikt, bevat onder andere opgelost lood(II)acetaat. Deze lotion kleurt het haar donker.

Op het flesje lotion staat dat 0,6 massaprocent lood(II)acetaat in de lotion aanwezig is. Om dit te controleren hebben twee leerlingen de hierna beschreven bepaling uitgevoerd.

Ze bepaalden eerst de dichtheid van de lotion:  $0,994 \text{ g mL}^{-1}$ .

Vervolgens pipetteerden ze 25,0 mL van de lotion in een erlenmeyer, voegden een indicator toe en titreerden met een 0,0500 M EDTA oplossing. EDTA reageert met  $\text{Pb}^{2+}$  in de molverhouding 1 : 1. Het equivalentiepunt was bereikt nadat 7,85 mL EDTA oplossing was toegevoegd.

Toen de leerlingen het massapercentage lood(II)acetaat in de lotion uitrekenden, kregen zij een andere uitkomst dan 0,6 massaprocent. Toch hebben ze de bepaling goed uitgevoerd. Onderzoek op internet leverde een belangrijk extra gegeven op. In een patent dat voor het haarkleurmiddel is aangevraagd, staat dat het massapercentage van 0,6 betrekking heeft op een hydraat van lood(II)acetaat. De leerlingen waren er in hun berekening van uitgegaan dat de lotion watervrij lood(II)acetaat,  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ , bevat.

Het hydraat van lood(II)acetaat kan worden weergegeven met de formule  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ .

- 3p 3 Bereken het massapercentage  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  dat de leerlingen hebben berekend.
- 3p 4 Bereken de waarde van  $x$  in de formule  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ . Gebruik bij de berekening de uitkomst van de berekening zoals door de leerlingen uitgevoerd en het massapercentage van 0,6 dat op het etiket vermeld staat. Geef het antwoord als een geheel getal.

De leerlingen vroegen zich af hoe de lotion het haar donkerder doet kleuren. Een mogelijke verklaring is dat de  $-\text{S}-\text{S}-$  bruggen in de keratinemoleculen worden verbroken en dat met  $\text{Pb}^{2+}$  ionen nieuwe bruggen worden gevormd. Die nieuwe bruggen, die worden weergegeven met  $-\text{S}^- \bullet \bullet \text{Pb}^{2+} \bullet \bullet \text{S}^-$ , veroorzaken de donkere kleur.

De vorming van de  $-\text{S}^- \bullet \bullet \text{Pb}^{2+} \bullet \bullet \text{S}^-$  bruggen uit de  $-\text{S}-\text{S}-$  bruggen is een redoxreactie.

- 2p 5 Leg uit of voor de vorming van de  $-\text{S}^- \bullet \bullet \text{Pb}^{2+} \bullet \bullet \text{S}^-$  bruggen uit de  $-\text{S}-\text{S}-$  bruggen een reductor dan wel een oxidator nodig is.

Om wat meer inzicht te krijgen over hoe die  $-\text{S}^- \bullet \bullet \text{Pb}^{2+} \bullet \bullet \text{S}^-$  bruggen worden gevormd, hebben de leerlingen een e-mail aan de fabrikant van de lotion gestuurd. Zij kregen een antwoord waar onder andere het volgende in staat.

### antwoord fabrikant

Het mechanisme voor de vorming van de bruggen is niet precies bekend. We denken dat door de hoofdhuid een stof wordt afgescheiden die vervolgens aanwezig is in de oliën en vetten op de hoofdhuid en op de haren. Deze stof reageert waarschijnlijk met de  $-\text{S}-\text{S}-$  bruggen.

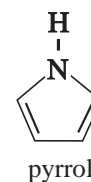
- 2p 6 Beschrijf een experiment dat kan worden uitgevoerd om de juistheid van het antwoord van de fabrikant na te gaan.

De leerlingen vinden het vreemd dat zich in haarlotion loodionen bevinden. Als loodionen in de bloedbaan komen, is dat schadelijk voor de gezondheid. Toch is het gebruik van loodacetaat toegestaan voor gebruik in haarlotion. Ze stellen zich de vraag welke verklaring er kan zijn voor het feit dat het gebruik van de lotion niet schadelijk voor de gezondheid wordt geacht.

- 2p 7 Geef twee mogelijke verklaringen voor het feit dat het gebruik van de lotion niet schadelijk voor de gezondheid wordt geacht.

## Papieren batterij

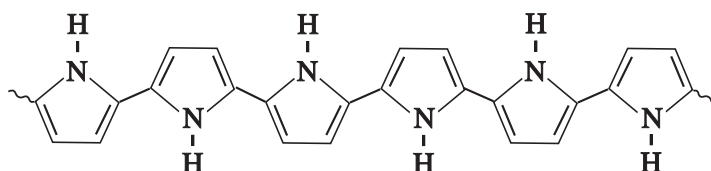
Zweedse onderzoekers hebben een lichtgewicht oplaadbare batterij van papier ontwikkeld. Deze batterij is gebaseerd op een polymeer van pyrrol. De structuurformule van pyrrol is hiernaast weergegeven. Dit polymeer is gehecht aan cellulosevezels. De gevormde vezels kunnen worden gebruikt om een materiaal te bereiden dat lijkt op papier.



De bereiding van het polymeer verloopt in twee stappen, die in één proces achter 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.



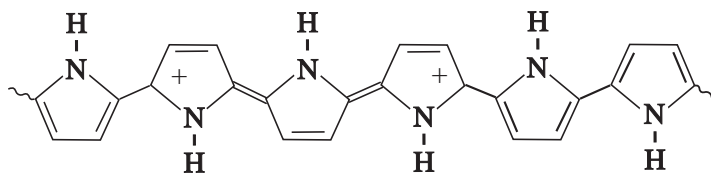
polypyrrol (PPy)

- 3p **8** 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 **9** Geef de vergelijking van de halfreactie voor de omzetting van ijzer(III)-ionen in ijzer(II)-ionen en geef de vergelijking van de totaalreactie.

In het reactievat zijn ook de cellulosevezels aanwezig, waaraan het slecht oplosbare PPy goed hecht.

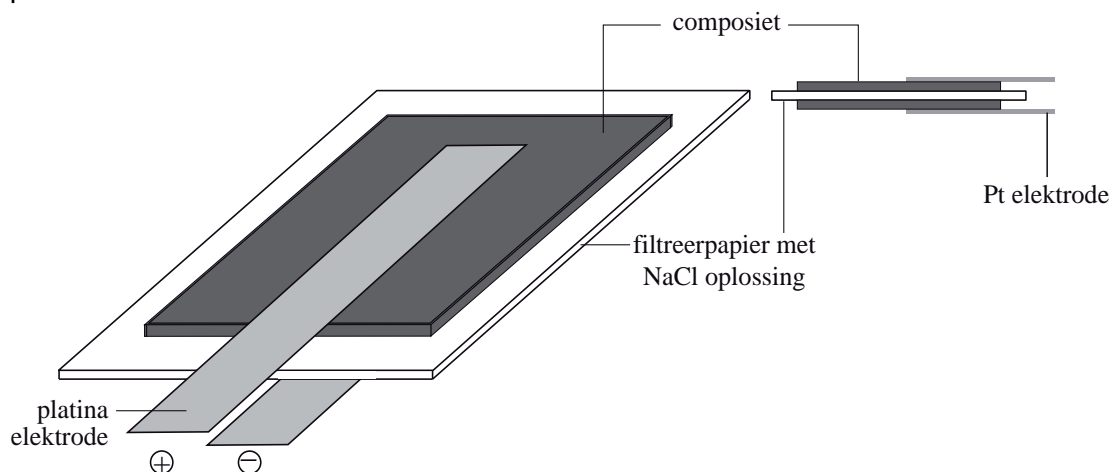
- 2p **10** Leg met behulp van begrippen op microniveau uit dat PPy goed hecht aan cellulose. Maak gebruik van Binas-tabel 67A3.

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, zoals hieronder is weergegeven. De aanwezige chloride-ionen compenseren de positieve lading van de PPy-moleculen.



positief geladen polypyrrol

De cellulose-PPy vezels worden samengeperst tot platen. Het zo gevormde materiaal wordt in de rest van deze opgave aangeduid als composiet. Zoals hieronder is weergegeven, wordt de papieren batterij samengesteld uit twee gelijke platen composiet, twee platina elektroden en filtreerpapier gedrenkt in een natriumchloride-oplossing. De batterij moet vóór gebruik opgeladen worden. 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.



- 2p **11** 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 PPy-moleculen klein. Als de reactietijd lang is, is het aantal positieve ladingen in PPy-moleculen groot.

Het aantal positieve ladingen dat kan ontstaan in PPy-moleculen kent een maximum.

- 1p **12** Leg uit dat de batterij niet oplaadbaar is als de PPy-moleculen het maximaal aantal positieve ladingen hebben.

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 PPy-moleculen een bepaalde waarde heeft.

- 2p **13** Leg uit tot welk percentage van het maximaal aantal positieve ladingen de PPy-moleculen moeten reageren met de ijzer(III)chloride-oplossing, zodat de maximaal haalbare spanning van de batterij bereikt kan worden bij het opladen.

## Acid Mine Drainage

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. De pH van het water daalt hierbij, als gevolg van het ontstaan van  $\text{H}^+$  ionen. In dit proces reageert  $\text{FeS}_2$  in de molverhouding 1:1 met water.

- 3p 14 Geef de vergelijking voor de reactie van pyriet met water en zuurstof.

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 zogenaamde 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 sulfiden zoals 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.

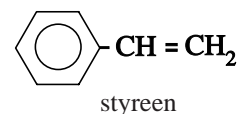
Een andere manier om AMD te bestrijden is met behulp van chemicaliën. De stoffen die men daarvoor kiest, moeten chemisch gezien aan een aantal voorwaarden voldoen. Bovendien moeten de kosten voor de zuivering zo laag mogelijk worden gehouden. Deze kosten worden natuurlijk bepaald door de aanschafkosten van 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.

## Styreen

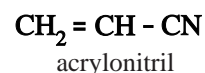
Hiernaast is de structuurformule van styreen afgebeeld. Styreen is de grondstof voor een aantal kunststoffen. Eén van die kunststoffen is ABS (Acrylonitril-Butadieen-Styreen).



Eén van de grondstoffen voor de bereiding van ABS is een polymeer van 1,3-butadieen. Als 1,3-butadieen polymeriseert, zijn de koolstofatomen 1 en 4 betrokken bij de polymerisatie.

In een molecuul van dit polybutadieen is hierdoor per monomere eenheid nog een C = C binding in de hoofdketen aanwezig. Door de aanwezigheid van deze C = C bindingen kan polybutadieen met acrylonitril en styreen reageren. Er ontstaan dan zijtakken aan de polybutadieenmoleculen waarin moleculen acrylonitril en styreen zijn verwerkt.

Hiernaast is de structuurformule van acrylonitril afgebeeld.



- 2p **21** Geef van het hierboven beschreven polybutadieen een gedeelte uit het midden van een polymeermolecuul in structuurformule weer. Dit gedeelte dient te zijn opgebouwd uit twee monomeereenheden. Houd geen rekening met eventuele *cis-trans* isomerie.
- 2p **22** Geef de structuurformule van een fragment van een molecuul ABS. Dit fragment moet bestaan uit één polybutadieen-eenheid, één acrylonitril-eenheid en één styreen-eenheid. Geef hierbij de CN groep van acrylonitril als –CN weer.

Eén van de manieren om styreen in de industrie te produceren, is door ontleding van ethylbenzeen. Dit is een evenwichtsreactie waarin behalve styreen ook waterstof ontstaat. De ontledingsreactie is endotherm.

De omstandigheden in de reactor zijn zodanig dat alle stoffen in de gasfase verkeren. Om de jaaropbrengst aan styreen zo hoog mogelijk te maken, wordt de reactie bij hoge temperatuur uitgevoerd.

- 2p **23** Geef twee redenen waarom het voor de jaaropbrengst voordelig is om de reactie bij een hoge temperatuur uit te voeren. Licht je antwoord toe.

Het voor de bereiding van styreen benodigde ethylbenzeen wordt in een apart proces bereid. Daartoe laat men etheen reageren met benzeen. Er ontstaan hierbij ook bijproducten. Het ontstane ethylbenzeen kan namelijk met etheen doorreageren onder vorming van di-ethylbenzenen. En ook de di-ethylbenzenen kunnen met etheen reageren, waarbij tri-ethylbenzenen worden gevormd.

De di- en tri-ethylbenzenen worden vervolgens in een aparte reactor met benzeen omgezet tot ethylbenzeen. In een fabriek voor de industriële bereiding van styreen worden beide processen (de bereiding en ontleding van ethylbenzeen) gecombineerd. In het totale proces worden drie reactoren gebruikt en drie destillatiekolommen. Hieronder volgt een beschrijving van het totale proces.

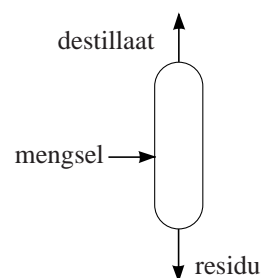
- In reactor 1 (R1) laat men etheen reageren met benzeen. Men gebruikt overmaat benzeen. Hier ontstaat een mengsel van ethylbenzeen, di- en tri-ethylbenzenen en niet-gereageerd benzeen. Alle etheen reageert.
- In destillatiekolom 1 (K1) wordt benzeen afgescheiden uit het mengsel dat erin komt.
- In destillatiekolom 2 (K2) wordt het ethylbenzeen uit het residu van K1 afgescheiden.
- In reactor 2 (R2) worden de di- en tri-ethylbenzenen met benzeen omgezet tot ethylbenzeen. Ook hier gebruikt men overmaat benzeen. Alle di- en tri-ethylbenzenen worden omgezet.
- In reactor 3 (R3) vindt de ontleding van ethylbenzeen plaats. Omdat dit een evenwichtsreactie is, verlaat een mengsel van ethylbenzeen, styreen en waterstof deze reactor.
- Het mengsel dat uit R3 komt, wordt eerst afgekoeld zodat ethylbenzeen en styreen vloeibaar worden. Het dan nog aanwezige gasvormige waterstof wordt via een ventiel (V) verwijderd en opgevangen.
- Het overblijvende mengsel van ethylbenzeen en styreen wordt in destillatiekolom 3 (K3) gescheiden.

Op de uitwerkbijlage bij dit examen, is een onvolledig blokschema voor het totale proces weergegeven. Alle reactoren en destillatiekolommen zijn hierin getekend. Een groot deel van de stofstromen ontbreekt.

Bij de destillatiekolommen wordt aangegeven welke stof de kolom via de top verlaat en welke stoffen via de onderkant worden afgevoerd (zie de figuur hiernaast).

De cijfers in het blokschema verwijzen naar de volgende stoffen:

1	benzeen	4	di-ethylbenzenen	7	waterstof
2	etheen	5	tri-ethylbenzenen		
3	ethylbenzeen	6	styreen		



- 4p **24** Teken in het blokschema op de uitwerkbijlage de ontbrekende stofstromen.
- Zet bij deze stofstromen met cijfers welke stof(fen) daar bij hoort (horen).
  - Geef ook aan welke stoffen bij de diverse destillatiekolommen via de top en via de onderkant worden afgevoerd. De kookpunten/kooktemperaturen van de diverse stoffen zijn als volgt:

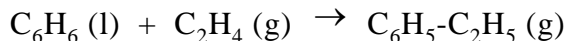
benzeen	80 °C	di-ethylbenzenen	182 – 184 °C
etheen	- 104 °C	tri-ethylbenzenen	216 – 218 °C
ethylbenzeen	136 °C	styreen	145 °C

Houd rekening met het feit dat men, waar mogelijk, stoffen recirculeert.



In de fabriek wordt ook rekening gehouden met een zo zuinig mogelijk gebruik van energie. Energie die in een reactor vrijkomt, kan bijvoorbeeld worden gebruikt om een andere reactor te verwarmen.

De reactie die in reactor 1 verloopt kan als volgt worden weergegeven:



De reactie-energie van deze reactie is  $-0,72 \cdot 10^5$  J per mol benzeen.

- 2p **25** Geef de reactievergelijking van de reactie die in reactor 3 verloopt. Gebruik structuurformules voor de organische stoffen.
- 3p **26** Bereken de reactie-energie per mol styreen van de reactie die in reactor 3 verloopt en laat zien of de reactie-energie uit reactor 1 voldoende is om de reactie in reactor 3 te laten verlopen.  
De vormingswarmte van styreen (gas) is  $+1,48 \cdot 10^5$  J mol<sup>-1</sup>.

Omdat voor het totale proces inclusief destillaties energie nodig is, moet energie gewonnen worden uit een verbrandingsreactie. De keuze is verbranding van het in het proces geproduceerde waterstof of de verbranding van extra in te kopen aardgas. Het waterstof kan dan worden verkocht. Inkoop van aardgas kost voor grootverbruikers € 0,0235 per kWh. De prijs van waterstof is € 2,50 per kg.

- 3p **27** Laat met een berekening zien of het voor de fabriek financieel voordeliger is om het gevormde waterstof te verkopen of te verbranden ( $T=273$  K;  $p=p_0$ ).  
Gebruik Binas-tabel 28A.

uitwerkbijlage

24

