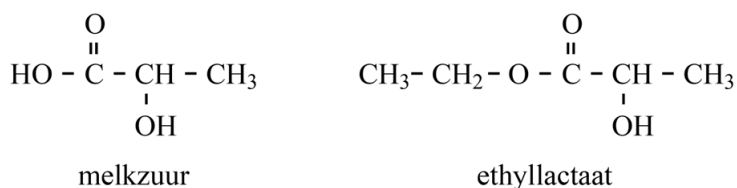


## Ethyllactaat

In de elektronica-industrie worden printplaten gemaakt. Tijdens het productieproces van deze printplaten worden hydrofobe stoffen gebruikt die later weer verwijderd moeten worden. Voor het verwijderen van deze stoffen kan ethyllactaat worden gebruikt. Ethyllactaat wordt gevormd uit melkzuur ( $C_3H_6O_3$ ) en ethanol. Hieronder zijn de structuurformules van melkzuur en ethyllactaat weergegeven.



Melkzuur wordt op industriële schaal gemaakt door omzetting van sachariden met behulp van micro-organismen. Een voorbeeld van zo'n sacharide is sacharose ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ). Voor de omzetting van sacharose tot melkzuur is ook water nodig.

- 2p 1 Geef de vergelijking in molecuulformules van de omzetting van sacharose tot melkzuur.

Ethyllactaat heeft een uitstekend reinigend vermogen. Bovendien is ethyllactaat zowel met hydrofobe stoffen als met water mengbaar. Een voorwerp dat gereinigd is met ethyllactaat, kan daarna gespoeld worden met water.

- 2p 2 Leg uit, aan de hand van de structuurformule, dat ethyllactaat zowel met een hydrofobe stof als met water mengbaar is.

In een fabriek kan ethyllactaat volgens een continuproces worden gemaakt uit melkzuur en ethanol. De vergelijking van deze omzetting is hieronder weergegeven.



Op de uitwerkbijlage bij dit examen is het onvolledige blokschema van het continuproces weergegeven. In dit blokschema ontbreken enkele stofstromen en de namen van de bijbehorende stoffen.

In reactor R1 worden een ruime overmaat ethanol en een melkzuuroplossing geleid. In aanwezigheid van een katalysator wordt het reactiemengsel krachtig geroerd. Hierbij wordt een groot deel van het melkzuur omgezet tot ethyllactaat. Ook treden nevenreacties op waarbij esters ontstaan, zoals de ester van twee moleculen melkzuur.

- 2p 3 Geef de structuurformule van de ester van twee moleculen melkzuur.

Voortdurend wordt een deel van het reactiemengsel uit reactor R1 overgebracht naar scheidingsruimte S1. Dit reactiemengsel bestaat uit ethanol, ethyllactaat, melkzuur, water en de esters die zijn ontstaan door nevenreacties. In scheidingsruimte S1 verdampen water, ethanol en ethyllactaat.

- 2p 4 Geef de namen van de twee bindingstypen die worden verbroken bij het verdampen in scheidingsruimte S1.

De stoffen die niet verdampen, worden vanuit scheidingsruimte S1 teruggevoerd naar reactor R1. In reactor R1 wordt een gedeelte van de esters die zijn ontstaan door nevenreacties, omgezet tot melkzuur. De damp uit scheidingsruimte S1 wordt naar scheidingsruimte S2 gebracht. Hier wordt ethyllactaat als vloeistof afgescheiden. In scheidingsruimte S3 worden water en ethanol gescheiden. Water wordt afgevoerd.

- 3p 5 Maak het blokschema op de uitwerkbijlage compleet.
- Teken de pijlen van de ontbrekende stofstromen. Houd daarbij rekening met hergebruik van stoffen.
  - Noteer de nummers van de onderstaande stoffen bij de juiste pijlen.
    - 1 ethanol
    - 2 ethyllactaat
    - 3 melkzuur
    - 4 esters die zijn ontstaan door nevenreacties
    - 5 water
  - Alle nummers moeten meer dan één keer worden gebruikt.

Volgens de fabrikant kan de productie van ethyllactaat duurzaam worden genoemd. De fabrikant onderbouwt deze bewering aan de hand van de atoomeconomie van reactie 1.

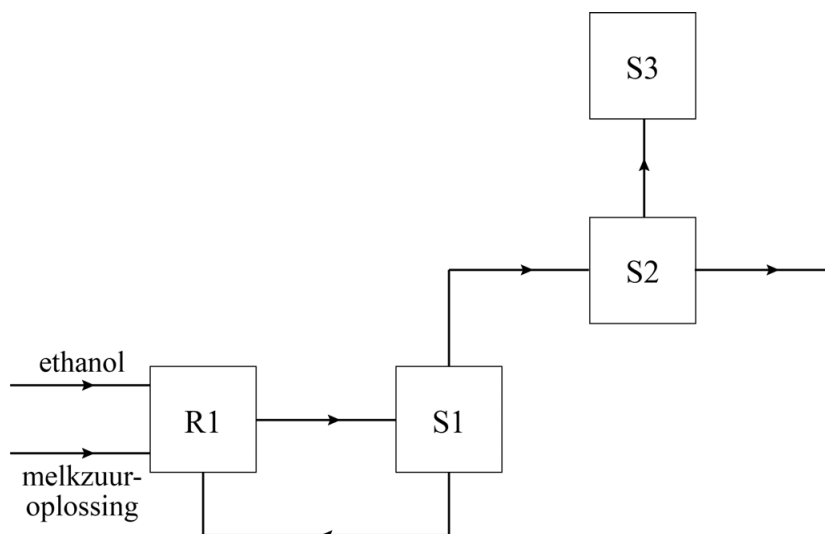
- 2p 6 Bereken de atoomeconomie voor de vorming van ethyllactaat volgens reactie 1. Gebruik Binas-tabel 37H of ScienceData-tabel 1.7.7.
- 1p 7 Geef aan waarom een hoge atoomeconomie duurzaam is.

Volgens de fabrikant voldoet het proces door de hoge atoomeconomie aan uitgangspunt 2 van de groene chemie. Omdat de fabrikant plantaardige sachariden gebruikt, kan hij ook een ander uitgangspunt van de groene chemie als argument gebruiken om de productie van ethyllactaat duurzaam te noemen.

- 2p 8 Leg uit welk ander uitgangspunt van de groene chemie dit is.
- Gebruik Binas-tabel 97F of ScienceData-tabel 38.6
  - Noteer je antwoord als volgt:  
Er worden plantaardige sachariden gebruikt, dus kan de fabrikant uitgangspunt nummer ... gebruiken, omdat ...

uitwerkbijlage

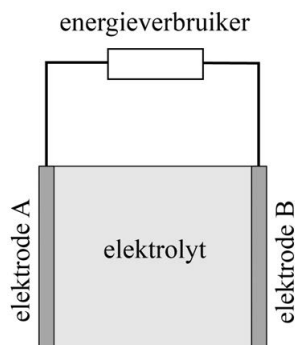
5



## Lithium-ionbatterij

In veel mobiele telefoons zit een lithium-ionbatterij. Deze batterijen zijn licht, kunnen veel energie leveren en zijn snel op te laden. Het basisonwerp van een lithium-ionbatterij is in figuur 1 schematisch weergegeven.

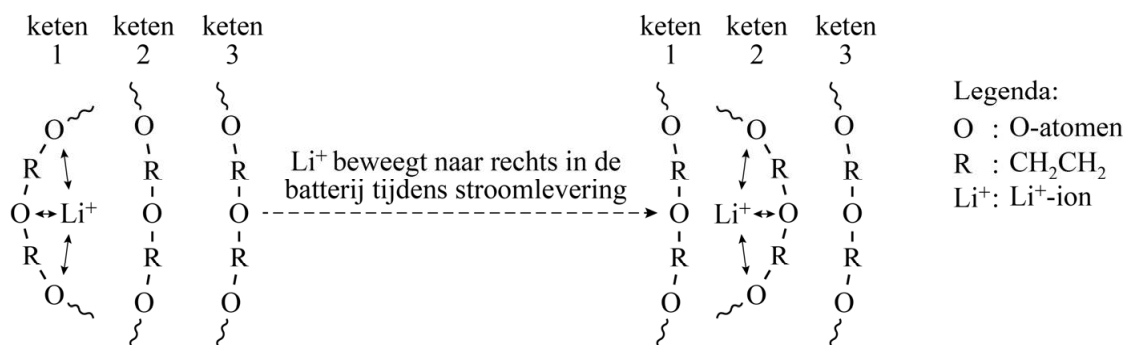
figuur 1



Elektrode A bevat onder andere het metaal lithium (Li). Elektrode B bevat  $\text{Li}^+$ -ionen. Tussen beide elektroden bevindt zich een elektrolyt, dat bestaat uit een polymeer waarin zich een vloeibaar lithiumzout bevindt.

Een veelgebruikt polymeer is PEO. De formule van PEO is  $(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n$ . In figuur 2 is een vergroting van het elektrolyt schematisch weergegeven. Hierin is te zien hoe een  $\text{Li}^+$ -ion van polymeerketen naar polymeerketen wordt doorgegeven, doordat telkens een ander groepje O-atomen het  $\text{Li}^+$ -ion bindt. De binding komt tot stand doordat de O-atomen in PEO enigszins negatief geladen zijn. Dit is het gevolg van een polaire atoombinding tussen de C-atomen en de O-atomen in PEO. Tijdens de stroomlevering bewegen  $\text{Li}^+$ -ionen van elektrode A naar elektrode B.

figuur 2



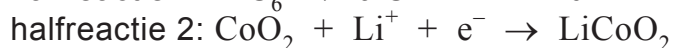
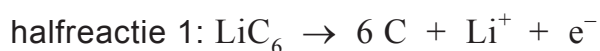
1p **9** Leg uit of figuur 2 een weergave is op microniveau.

2p **10** Geef aan of PEO een thermoplast of een thermoharder is. Licht je antwoord toe aan de hand van een structuurkenmerk uit figuur 2.

Een docente bespreekt met haar leerlingen de elektrische geleiding in PEO. Een leerling vraagt of polyetheen ook gebruikt kan worden als elektrisch geleidend polymeer.

- 2p 11 Teken een fragment uit het midden van de structuurformule van polyetheen. In het getekende fragment moeten drie monomeereenheden zijn verwerkt.
- 2p 12 Leg uit, aan de hand van de structuurformule van polyetheen, of polyetheen  $\text{Li}^+$ -ionen kan binden.

De halfreacties die in deze batterij optreden tijdens stroomlevering zijn hieronder vereenvoudigd weergegeven:



- 2p 13 Geef aan welke halfreactie optreedt aan elektrode A en vermeld ook of dit de positieve of de negatieve elektrode is.  
Noteer je antwoord als volgt:  
Aan elektrode A treedt halfreactie ... op. Dit is dus de ... elektrode.

$\text{CoO}_2$  kan worden opgevat als een zout dat bestaat uit kobaltionen en oxide-ionen.  $\text{LiCoO}_2$  kan worden opgevat als een zout dat bestaat uit lithiumionen, kobaltionen en oxide-ionen. Uit de formules  $\text{CoO}_2$  en  $\text{LiCoO}_2$  kan worden afgeleid dat de kobaltionen in  $\text{CoO}_2$  en in  $\text{LiCoO}_2$  niet dezelfde lading hebben.

- 2p 14 Geef de lading van het kobaltion in  $\text{CoO}_2$  en van het kobaltion in  $\text{LiCoO}_2$ .  
Noteer je antwoord als volgt:  
De lading van het kobaltion in  $\text{CoO}_2$  is ...  
De lading van het kobaltion in  $\text{LiCoO}_2$  is ...

In een bepaalde lithium-ionbatterij kan maximaal 0,053 mol elektronen worden overgedragen tussen de twee elektroden, voordat deze batterij weer opgeladen moet worden.

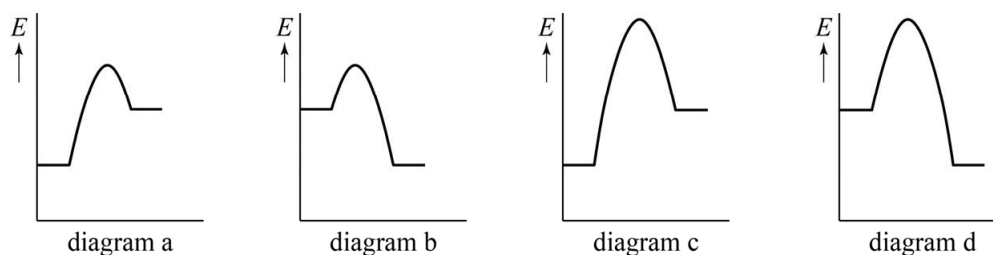
- 2p 15 Bereken hoeveel gram  $\text{CoO}_2$  deze batterij minstens bevat. Gebruik de vergelijking van halfreactie 2.

Veel luchtvaartmaatschappijen hebben vanwege brandgevaar speciale eisen gesteld aan het vervoeren van oplaadbare lithium-ionbatterijen in het laadruim van passagiersvliegtuigen. Het polymeer PEO ontbrandt namelijk gemakkelijk. Bovendien kan de warmte die bij de verbranding vrijkomt ervoor zorgen dat ook andere batterijen ontbranden.

- 3p 16 Geef de reactievergelijking van de volledige verbranding van PEO. De formule van PEO is  $(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n$ .

In figuur 3 staan vier energiediagrammen. In deze diagrammen behoort het linker energieniveau bij de beginstoffen en het rechter energieniveau bij de reactieproducten.

figuur 3



- 2p 17 Leg uit welk energiediagram het best in overeenstemming is met de verbranding van het polymeer PEO. Gebruik in je antwoord informatie uit deze opgave.

## Bromide in grondwater

Schaliegas is aardgas dat in gesteente diep onder het aardoppervlak is opgesloten. Om schaliegas te winnen gebruikt men een methode die fracking wordt genoemd. Hierbij wordt een mengsel van water, zand en chemicaliën onder hoge druk in het gesteente gepompt zodat hierin scheurtjes ontstaan en het schaliegas vrijkomt. Bij fracking ontstaan grote hoeveelheden afvalwater dat onder andere  $\text{Br}^-$ -ionen,  $\text{Cl}^-$ -ionen en  $\text{I}^-$ -ionen bevat. Deze ionen zijn afkomstig van goed oplosbare zouten die in het gesteente voorkomen.

- 2p 18 Geef de formule van een zout dat bromide-ionen bevat en goed oplosbaar is in water. Maak gebruik van Binas-tabel 45A of ScienceData-tabel 8.4d.

Op frackinglocaties worden regelmatig monsters van het grondwater genomen. Om op de frackinglocatie snel het bromidegehalte van het grondwater te bepalen is de methode ontwikkeld die in tekstfragment 1 is beschreven.

### tekstfragment 1

- 1 Men maakt gebruik van filtreerpapierjes waarop eerst een oplossing van chloramine-T en de zuur-base-indicator fenolrood is aangebracht en die men daarna heeft laten drogen.
- 2 Een druppel grondwater wordt op zo'n filtreerpapierje aangebracht. Eventueel wordt het grondwater eerst verdund.
- 3 In aanwezigheid van  $\text{Br}^-$  vinden achtereenvolgens twee reacties plaats:  
Reactie 1:  $\text{Br}^-$  wordt door een reactie met chloramine-T omgezet tot onder andere broom.  
Reactie 2: het ontstane broom reageert volledig met fenolrood tot onder andere broomfenolblauw.
- 4 Door beide reacties wordt het gele filtreerpapierje enigszins blauw.
- 5 De afname van de gele kleur wordt gemeten met een kleurdetector.
- 6 Met behulp van een ijklijn wordt het bromidegehalte bepaald.

De oplossing waarin de reacties plaatsvinden, heeft een pH van 4,6. Het ontstane broomfenolblauw heeft bij deze pH een blauwe kleur.

- 2p 19 Bereken de  $[\text{H}^+]$  in  $\text{mol L}^{-1}$  in de oplossing waarin de reacties plaatsvinden. Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.
- 2p 20 Leg uit met behulp van tekstfragment 1 en Binas-tabel 52A of ScienceData-tabel 9.1d, dat de kleur van het filtreerpapierje eerst geel is en dan verandert naar blauw. Noteer je antwoord als volgt:  
eerst geel omdat ...  
verandert naar blauw doordat ...

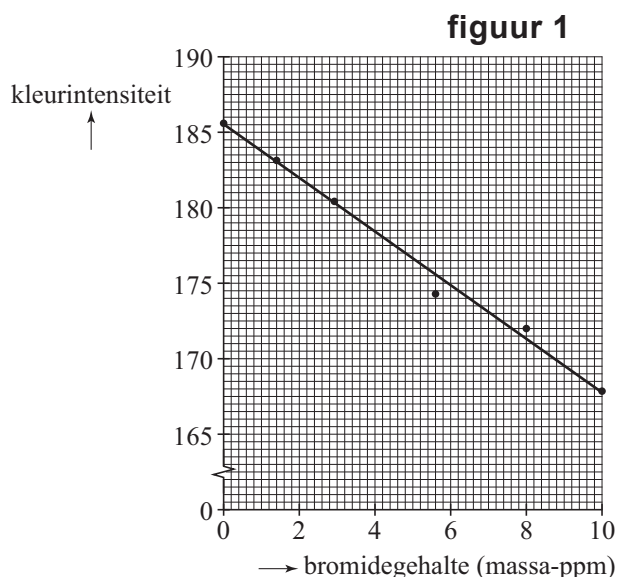
Reactie 2 is een reactie van fenolrood ( $C_{19}H_{14}O_5S$ ) met broom. Daarbij worden per molecuul fenolrood vier H-atomen vervangen door vier Br-atomen. Bij reactie 2 ontstaan broomfenolblauw en één andere stof. Deze reactie is vergelijkbaar met de substitutiereactie van een alkaan met een halogeen en is op de uitwerkbijlage onvolledig weergegeven.

- 3p 21 Maak de vergelijking van reactie 2 op de uitwerkbijlage compleet. Gebruik molecuulformules.

De hoeveelheden chloramine-T en fenolrood die op het filtreerpapier zijn aangebracht, zijn zo gekozen dat bromidegehalten tot maximaal 10 massa-ppm gemeten kunnen worden. Wanneer bij punt 2 een grondwatermonster met een bromidegehalte hoger dan 10 massa-ppm wordt aangebracht, zal een onjuist bromidegehalte worden gemeten.

- 2p 22 Leg uit of het gemeten gehalte in dat geval te hoog of te laag zal zijn.

In figuur 1 is de ijklijn weergegeven die is gemaakt met behulp van een aantal oplossingen met elk een bekend bromidegehalte. In de figuur is het bromidegehalte uitgezet tegen de kleurintensiteit. De kleurintensiteit komt overeen met een bepaalde hoeveelheid van de beginstof fenolrood, die afneemt naarmate er meer bromide aanwezig is.



Een wetenschapper onderzoekt het bromidegehalte van een grondwatermonster. Hij voert de bepaling uit tekstfragment 1 uit. Bij punt 2 verdunt hij het grondwatermonster door in een reageerbuisje 2,00 mL grondwater met 8,00 mL gedestilleerd water te mengen. Hij meet vervolgens een kleurintensiteit van 180. Met behulp van de grafiek en de beschreven verdunning berekent hij het bromidegehalte van het grondwatermonster, in massa-ppm.

- 3p 23 Geef deze berekening. Lees af op één decimaal nauwkeurig en geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.



**uitwerkbijlage**

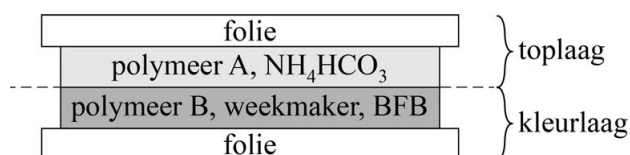
21



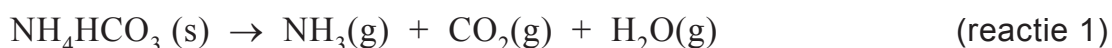
## Groen is niet vers

Hoeveel dagen kun je een verse salade bewaren? En in hoeverre wordt de houdbaarheid beïnvloed door de temperatuur? Een tijd-temperatuur-indicator (TTI), ontworpen door Andrew Mills, laat dit in een oogopslag zien. Deze TTI is een blauwgekleurde, temperatuurgevoelige sticker. Zolang de sticker blauw is, is de salade vers. Als de sticker naar groen of zelfs geel is verkleurd, dan is de salade bedorven. De TTI bestaat uit twee lagen (zie figuur 1). De toplaag van de sticker bestaat uit een folie waarop een mengsel van polymeer A en ammoniumwaterstofcarbonaat ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ) is aangebracht. De kleurlaag bestaat uit een folie waarop een mengsel van polymeer B, een weekmaker en de indicator broomfenolblauw (BFB) is aangebracht.

figuur 1



De toplaag van de sticker houdt de TTI blauw zolang de TTI niet wordt gebruikt. Dit komt doordat in deze laag een reactie optreedt waarbij ammoniak ontstaat (reactie 1). Deze ammoniak wordt door de kleurlaag opgenomen en kleurt de indicator (BFB) blauw (reactie 2).



Reactie 1 verloopt langzaam, waardoor een ongebruikte sticker maandenlang houdbaar blijft.

- 2p **24** Bereken de reactiewarmte van reactie 1 in J per mol  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  ( $T = 298 \text{ K}$  en  $p = p_0$ ).
- Gebruik Binas-tabel 57 of ScienceData-tabel 9.2.
  - De vormingswarmte van  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  is  $-8,45 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ .

Een winkelier plakt de TTI op een bakje verse salade en verwijdert de toplaag van de sticker. Daarna verkleurt de indicator geleidelijk van blauw via groen tot geel doordat het gele BFB volgens reactie 3 wordt teruggevormd. Door de kleurverandering wordt zichtbaar hoe vers het product is.



De activeringsenergie van reactie 3 is ongeveer even groot als de activeringsenergie van reacties die plaatsvinden tijdens voedselbederf. Wanneer in plaats van BFB een andere indicator wordt gebruikt, die verkleurt door een reactie met een aanzienlijk hogere activeringsenergie, zou de TTI minder betrouwbaar zijn.

- 2p **25** Beredeneer dat een hogere activeringsenergie de TTI minder betrouwbaar maakt. Neem aan dat de overige factoren gelijk zijn.

Door het verwijderen van de toplaag kunnen de ammoniakmoleculen die bij reactie 3 ontstaan in de omgevingslucht vrijkomen. Hierdoor is er steeds minder  $\text{NH}_3\text{BFB}$  en zal de TTI steeds geler kleuren. Om vrij te kunnen komen in de omgevingslucht moeten de ammoniakmoleculen door de kleurlaag heen bewegen. Dit gaat gemakkelijker wanneer het polymeer waaruit de kleurlaag bestaat een weekmaker bevat.

- 2p **26** Leg uit waardoor een weekmaker ervoor zorgt dat ammoniak gemakkelijker uit de kleurlaag vrijkomt. Formuleer je antwoord op microniveau.

- 2p **27** Leg uit, met behulp van het botsende-deeltjesmodel, dat de TTI in de koelkast (5 °C) langzamer verkleurt dan bij kamertemperatuur (20 °C).

Uit de TTI komt een kleine hoeveelheid ammoniak vrij. Ammoniak heeft een indringende geur en een lage geurdrempel. De geurdrempel is de laagste concentratie van een gasvormige stof in lucht die waarneembaar is voor de mens. Toch zal de lucht in een koelkast volgens Andrew Mills niet naar ammoniak gaan ruiken, zelfs niet als een koelkast veel TTI's bevat.

- 3p **28** Bereken hoeveel TTI's in een bepaalde koelkast aanwezig kunnen zijn voordat de geurdrempel overschreden wordt.

Ga bij de berekening uit van de volgende gegevens:

- Per TTI komt maximaal  $9,2 \cdot 10^{-8}$  mol ammoniak vrij.
- De geurdrempel van ammoniak is  $3,7 \text{ mg m}^{-3}$ .
- De koelkast heeft een inhoud van 183 L.

## Eiwitvertering

Voedsel bevat de voedingsstoffen die het lichaam nodig heeft. Deze voedingsstoffen kunnen op basis van de chemische structuur in drie groepen worden ingedeeld. De eiwitten vormen een van deze groepen.

- 2p 29 Geef de namen van de twee andere groepen voedingsstoffen.

Tijdens het eten belandt voedsel via de mond in de maag. De vloeistof in de maag is zuur, doordat bepaalde cellen van de maagwand zoutzuur afgeven. Dit zoutzuur kan worden opgevat als een oplossing die 5,8 g HCl per liter bevat.

- 2p 30 Bereken de pH van een oplossing die 5,8 g HCl per liter bevat.

De zure maagvloeistof bevat ook het enzym pepsine. Pepsine is een eiwit dat de afbraak van voedsleiwitten versnelt. Bij deze afbraak wordt steeds een binding tussen twee aminozuureenheden in de keten van een voedsleiwitmolecuul verbroken.

- 2p 31 Geef de naam van de karakteristieke groep waarvan de binding wordt verbroken, en geef de naam van het reactietype dat daarbij optreedt.

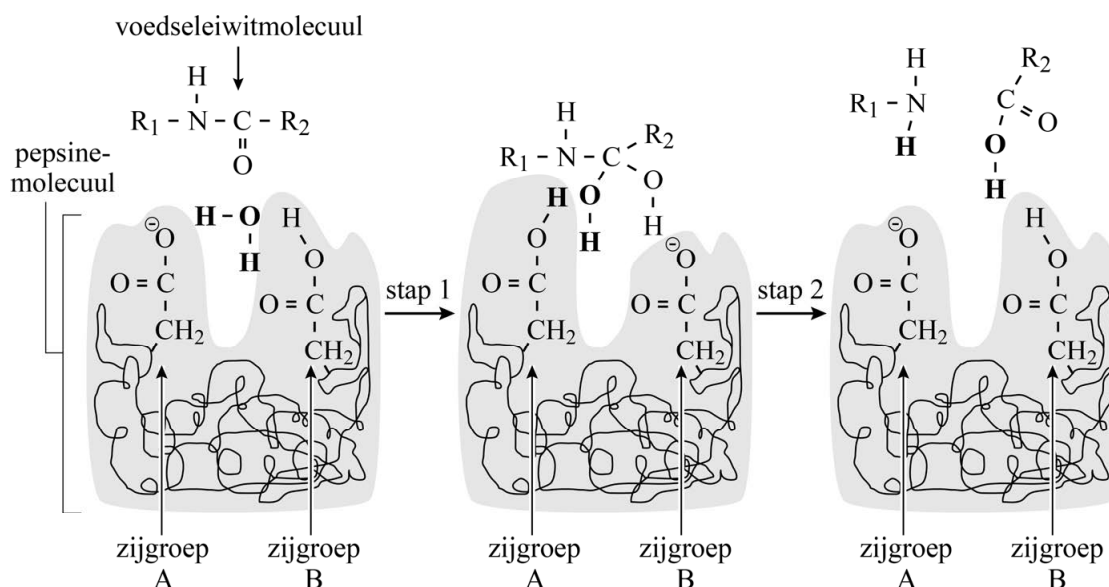
Noteer je antwoord als volgt:

naam karakteristieke groep: ...

naam reactietype: ...

Het verbreken van deze bindingen is een proces dat in 2 stappen verloopt. Dit proces is vereenvoudigd weergegeven in figuur 1. In figuur 1 zijn ook twee zijgroepen van het pepsinemolecuul weergegeven. Zijgroep A is geïoniseerd doordat deze een  $H^+$ -ion heeft afgestaan.

figuur 1



- 2p 32 Geef aan bij welke stap in figuur 1 zijgroep A optreedt als base. Licht je antwoord toe.

Zowel uit de tekst van deze opgave als uit figuur 1 blijkt dat pepsine een enzym is.

- 2p **33** Licht toe, aan de hand van een kenmerk dat is gegeven in de tekst van deze opgave en een kenmerk dat is af te leiden uit figuur 1, dat pepsine een enzym is.  
Noteer je antwoord als volgt:  
kenmerk gegeven in de tekst: ...  
kenmerk afgeleid uit figuur 1: ...

Hieronder is een fragment weergegeven van de primaire structuur van een eiwitmolecuul dat in voedsel kan voorkomen.

~Cys-Phe-Asp-Val-Phe-Lys-Glu~

Dit fragment kan met behulp van een pepsinemolecuul worden afgebroken tot onder meer het onderstaande molecuul.

Phe-Asp-Val

- 3p **34** Geef de structuurformule van dit molecuul. Gebruik Binas-tabel 67H of ScienceData-tabel 13.7c.

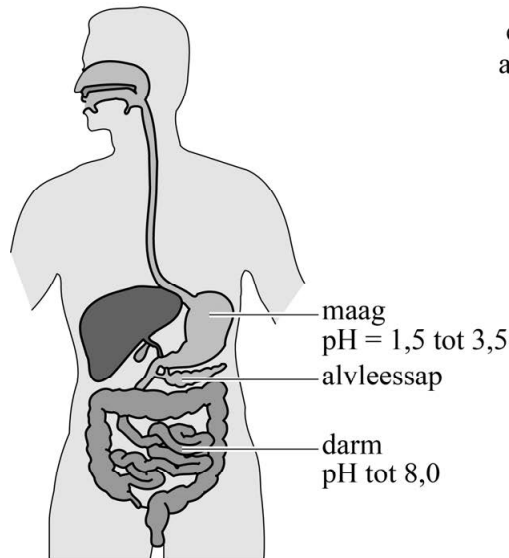
Pepsinemoleculen kunnen niet tussen alle aminozuureenheden bindingen verbreken, maar wel:

- de binding tussen twee aminozuureenheden met beide een hydrofobe zijgroep,
- de binding tussen een aminozuureenheid met een hydrofobe zijgroep en een aminozuureenheid met een zwavelbevattende zijgroep.

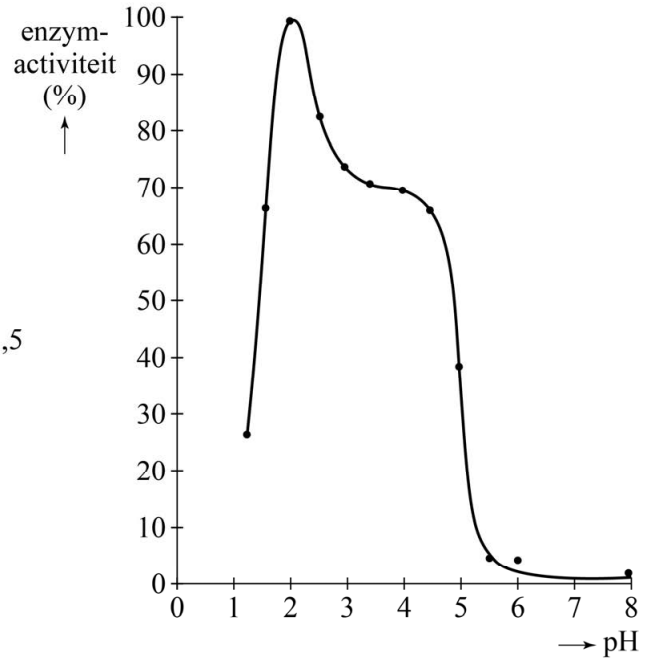
- 2p **35** Leg uit of verwacht mag worden dat een pepsinemolecuul de binding tussen de aminozuureenheden Lys en Glu kan verbreken. Geef je antwoord aan de hand van bovenstaande informatie en de structuurformules in Binas-tabel 67H of ScienceData-tabel 13.7c.

Na verloop van tijd belandt het deels verteerde voedsel vanuit de maag in de darm. Hier wordt het alvleessap toegevoegd (figuur 2), waardoor de pH in de darm anders is dan die in de maag. Door deze pH-verandering verandert de activiteit van pepsine. Dit is weergegeven in figuur 3.

figuur 2



figuur 3



- 2p **36** Geef, aan de hand van de samenstelling van het alvleessap, de naam van het deeltje dat de pH-verandering veroorzaakt. Maak gebruik van Binas-tabel 82F of ScienceData-tabel 22.7.
- 2p **37** Leg uit, aan de hand van figuur 2 en figuur 3, of de activiteit van pepsine hoger of lager wordt wanneer het alvleessap wordt toegevoegd.