

Duurzaam produceren

13.1 Groene productie

A 1

- a Een product of productieproces is duurzaam als het nu en in de toekomst geen schade toebrengt aan de aarde, het milieu of aan andere mensen.
- b Meer welzijn voor de medewerkers (People), minder belasting voor het milieu (Planet) en meer winst maken (Profit)
- c Bij hergebruik gebruik je een voorwerp opnieuw waar het voor bedoeld was. Bij recycleren gebruik je het materiaal; van een voorwerp voor een andere toepassing.
- d Hergebruik: statiegeldflessen, recycleren: kartonnen bekertjes uit oud papier

B 2

Vorming uit methylsalicylaat uit de bladeren van de wintergroenplant is duurzamer. De aardolie zal immers opraken, maar de plant kan opnieuw groeien en daardoor telkens nieuwe bladeren leveren.

A 3

Alle gebruikte materialen kunnen na hun leven in het ene product nuttig worden ingezet in een ander product. Er is daardoor geen afval.

B 4

- a De accu wordt niet opnieuw gebruikt. Alleen het materiaal uit de accu wordt opnieuw gebruikt. Dit is recycleren.
- b Er wordt zo van een afvalstof een nieuwe bruikbare stof gemaakt.

A 5

Processen die zijn gebaseerd op de principes van groene chemie zijn veiliger, gebruiken minder grondstoffen en energie, gebruiken zo veel mogelijk duurzame energie en grondstoffen, geven minder vervuiling.

B 6 

- a Het proces dat nodig is om uit verse melk eerst melkpoeder te maken wordt overbodig. Dat levert een besparing op in energiekosten: principe 6.
- b De ruimte in de voertuigen die voor het vervoer zorgen wordt efficiënter gebruikt. Hierdoor is er een besparing op de transportkosten: principe 6.
- c Het ontstaan van afval wordt verminderd doordat het slachtafval wordt hergebruikt: principe 1.

A 7

- a Wil een reactie groen zijn, dan moet de atomeconomie zo groot mogelijk zijn.
- b Wil een proces groen zijn, dan moet het rendement zo groot mogelijk zijn.

B 8

- a De reactie van chloor met etheen heet een additiereactie.
- b $\text{Cl}_2 + \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$
- c Het type reactie waarin chloor reageert met ethaan onder invloed van licht heet een substitutiereactie.
- d $2 \text{Cl}_2 + \text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2 + 2 \text{HCl}$

e Uit chloor en etheen:

$$\text{atoomeconomie} = \frac{\text{massa } C_2H_4Cl_2}{\text{massa } Cl_2 + \text{massa } C_2H_4} \times 100\% = \frac{98,95}{70,90 + 28,05} \times 100\% = 100\%$$

Uit chloor en ethaan:

$$\text{atoomeconomie} = \frac{\text{massa } C_2H_4Cl_2}{\text{massa } 2 Cl_2 + \text{massa } C_2H_4} \times 100\% = \frac{98,95}{2 \times 70,90 + 30,07} \times 100\% = 57,57\%$$

De vorming van 1,2-dichloorethaan via een additiereactie uit chloor en etheen heeft de grootste atoomeconomie en is dus het groenst.

C 9 ★

- a ethaan-1,2-diol
- b De concentraties van etheenoxide en MEG worden kleiner bij gebruik van een grote overmaat water. Daardoor neemt het aantal effectieve botsingen per seconde tussen moleculen van etheenoxide en MEG af. Dus de snelheid van reactie 2 neemt af.
- c In beide processen komen bij de vorming van MEG uit etheenoxide met water alle atomen van de beginstoffen in het reactieproduct terecht. Dus de atoomeconomie is in beide processen 100%.
- d Nummer 1 : preventie, want er ontstaat minder bijproduct, geen DEG en minder koolstofdioxide bij de destillatie.
 Nummer 3, want minder/kleinere destillatie-installaties betekent minder materiaal om deze te maken.
 Nummer 6 : energie-efficiënt ontwerpen. Er hoeft minder water door destillatie te worden gescheiden van MEG, dus er is minder energie voor de destillatie nodig.

C 10

- a Destilleren, want je maakt salmiak van een salmiakoplossing, dus het water moet verdampen. Er staat dat het water wordt hergebruikt, dus het wordt weer afgekoeld.
- b $NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$
- c De molaire massa van HCl is 36,461 kg kmol⁻¹ en van NH₄Cl 53,491 kg kmol⁻¹.
- $100 \text{ kg HCl} \triangleq \frac{100}{36,461} = 2,74 \text{ kmol HCl}$. Er ontstaat dus ook 2,74 kmol NH₄Cl. Dit komt overeen met $2,74 \times 53,491 = 147 \text{ kg NH}_4\text{Cl}$.
- d Per uur kan maximaal 147 kg ontstaan; dus per dag kan maximaal $24 \times 147 = 3,52 \cdot 10^3 \text{ kg} = 3,52 \text{ ton}$ ontstaan.

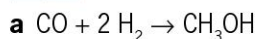
$$\text{rendement} = \frac{\text{praktische opbrengst}}{\text{theoretische opbrengst}} \times 100\% = \frac{2,58}{3,52} \times 100\% = 73,3\%$$

A 11

- a Wil een reactie groen zijn dan moet de E-factor zo *klein* mogelijk zijn.
- b De E-factor heeft *wel* een minimale waarde (nul).

B 12 ○

- a $N_2(g) + 3 H_2(g) \rightarrow 2 NH_3(g)$
 Alle atomen uit de beginstoffen komen terug in het reactieproduct.
- b De theoretische opbrengst is $2 \times \text{massa } NH_3 = 2 \times 17,031 = 34,062 \text{ u}$.
 De werkelijke opbrengst is 65% van de theoretische opbrengst = $0,65 \times 34,062 = 22 \text{ u}$.
- $$E\text{-factor} = \frac{(\text{massa } N_2 + 3 H_2) - (\text{werkelijke opbrengst})}{\text{werkelijke opbrengst}} = \frac{(28,02 + 3 \times 2,016) - 22}{22} = 0,55$$
- c Als het rendement van de reactie hoger wordt, wordt de teller van de breuk kleiner en de noemer groter. De waarde van de breuk neemt dan af: de E-factor wordt kleiner.

B 13**b** De molaire massa van H_2 is $2,016 \text{ kg kmol}^{-1}$ en van CH_3OH $34,042 \text{ kg kmol}^{-1}$.

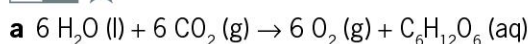
$$1,0 \text{ kg H}_2 \triangleq \frac{1,0}{2,016} = 0,50 \text{ kmol H}_2$$

De molverhouding $\text{H}_2 : \text{CH}_3\text{OH} = 2 : 1$, dus er ontstaat $0,50 \div 2 = 0,25 \text{ kmol CH}_3\text{OH}$.Dit komt overeen met $0,25 \times 32,042 = 7,9 \text{ kg CH}_3\text{OH}$. Dit is de theoretische opbrengst.

$$\text{rendement} = \frac{\text{praktische opbrengst}}{\text{theoretische opbrengst}} \times 100\% = \frac{5,6}{7,9} \times 100\% = 70\%$$

c De werkelijke opbrengst is $0,70 \times 34,042 = 23,83 \text{ u}$.

$$\text{E-factor} = \frac{(\text{massa CO} + 2 \text{H}_2) - (\text{werkelijke opbrengst})}{\text{werkelijke opbrengst}} = \frac{(28,01 + 2 \times 2,016) - 23,83}{23,83} = 0,34$$

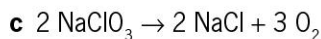
C 14 ★

$$\text{b atomeconomie} = \frac{\text{massa } 6 \text{O}_2}{\text{massa } 6 \text{H}_2\text{O} + \text{massa } 6 \text{CO}_2} \times 100\% =$$

$$\frac{6 \times 32,00}{6 \times 18,015 + 6 \times 44,010} \times 100\% = 51,59\%$$

$$\text{E-factor} = \frac{(\text{massa } 6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}) - (\text{werkelijke opbrengst})}{\text{werkelijke opbrengst}} =$$

$$\frac{(6 \times 44,010 + 6 \times 18,015) - (6 \times 32,00)}{6 \times 32,00} = 0,9383$$



$$\text{d atomeconomie} = \frac{\text{massa } 3 \text{O}_2}{\text{massa } 2 \text{NaClO}_3} \times 100\% = \frac{3 \times 32,00}{2 \times 106,44} \times 100\% = 45,10\%$$

$$\text{E-factor} = \frac{(\text{massa } 2 \text{NaClO}_3) - (\text{werkelijke opbrengst})}{\text{werkelijke opbrengst}} = \frac{2 \times 106,44 - 3 \times 32,00}{3 \times 32,00} = 1,218$$

e De E-factor is het meest gunstig voor de vorming van zuurstof door groene planten. Bovendien kunnen die planten steeds zuurstof blijven produceren. De vorming van zuurstof uit natriumchloraat is minder duurzaam, want natriumchloraat raakt op.

13.2 Blokschema's

A 15

- a** Bedrijven die relatief kleine hoeveelheden van een stof maken houden zich bezig met fijnchemie, bijvoorbeeld de farmaceutische industrie. Bedrijven die enorme hoeveelheden van één product maken houden zich bezig met bulkchemie, bijvoorbeeld de hoogovens.
- b** Bij een batchproces wordt een afgeronde hoeveelheid van een product gemaakt. Bij een continuproces worden grote hoeveelheden van een stof geproduceerd tijdens een volledig geautomatiseerd proces dat 24 uur per dag doorgaat.

B 16 ○

- a** Een batchproces is vaak ingewikkeld. De vaten worden handmatig gevuld en geleegd, daarvoor zijn veel mensen nodig: er moet steeds iemand bij zijn.

- b** Bij een continuproces kunnen vaten op een constante temperatuur en druk worden gehouden. Dit kost minder energie dan het telkens moeten verwarmen en afkoelen zoals dat bij een batchproces voor kan komen.
- c** Dit is een batchproces. De bakker maakt immers telkens een aantal broden en begint dan weer opnieuw. Bovendien bakt hij niet voortdurend hetzelfde soort brood, maar elke 'batch' kan weer anders zijn dan de vorige.

A 17

- a** Een blokschema is een manier om de verschillende stappen in een productieproces overzichtelijk weer te geven.
- b** Elk blok stelt een onderdeel van het totale proces voor, vaak een chemische reactie en/of een scheiding.
- c** De pijlen geven de aan- en afvoer van de verschillende stoffen aan.

B 18

- a** $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3(\text{g})$
- b** Ammoniak gaat gasvormig de scheider in en komt er vloeibaar uit.
- c** Ammoniak wordt bij 240 K vloeibaar (Binas tabel 42A), je moet dus koelen tot onder 240 K.
- d** Destilleren, op basis van verschil in kookpunt

B 19

- a** In blok 1 vindt extractie van de olie uit de zaden plaats. Deze scheidingsmethode berust op het verschil in oplosbaarheid van de olie en de rest van de zaden in hexaan.
- b** In blok 2 wordt de oplossing van olie in hexaan gescheiden van de rest van de zaden. Dat gebeurt door filtratie. Deze scheidingsmethode berust op het verschil in deeltjesgrootte van de zaadresten en de oplossing.
- c** In blok 3 worden olie en hexaan van elkaar gescheiden door destillatie. Deze scheidingsmethode berust op het verschil in kookpunt van olie en hexaan.
- d** De letter A stelt een mengsel voor van niet-opgeloste zaadresten en olie in hexaan. B stelt de niet-opgeloste zaadresten voor en C de oplossing van olie in hexaan. De letter D stelt hexaan voor dat na de destillatie in blok 3 wordt teruggevoerd naar blok 1. Daar doet het weer dienst als extractiemiddel voor de olie.

A 20

- a** In een warmtewisselaar wordt warmte die tijdens het proces ontstaat en afgevoerd moet worden overgedragen aan stoffen die opgewarmd moeten worden.
- b** Bij gebruik van een warmtewisselaar wordt energie bespaard doordat de warmte niet nutteloos wordt afgevoerd, maar wordt gebruikt voor het verwarmen van andere stoffen. Dat zou anders immers op een andere manier moeten, er zou dus meer energie voor nodig zijn. Gebruik van een warmtewisselaar spaart energie en geld.

B 21

- a** De stof moet N- en H-atomen bevatten, want die komen de reactor uit. NH_3 is het meest waarschijnlijk.
- b** NO en O_2 worden volledig omgezet in NO_2 . Er ontstaan geen andere stoffen. Alle atomen in de beginstoffen komen dus terug in het reactieproduct. Water reageert niet mee.
- c** $3 \text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 2 \text{HNO}_3(\text{l}) + \text{NO}(\text{g})$
- d** De vormingswarmtes zijn:

3 NO_2	$3 \times 0,332 \cdot 10^5 = 0,996 \cdot 10^5 \text{ J}$
1 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	$-2,42 \cdot 10^5 \text{ J}$
2 HNO_3	$2 \times -1,74 \cdot 10^5 \text{ J} = -3,48 \cdot 10^5 \text{ J}$
1 NO	$0,913 \cdot 10^5 \text{ J}$

De totale vormingswarmte van de beginstoffen is:

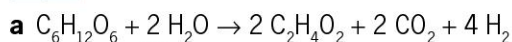
$$0,996 \cdot 10^5 \text{ J} + (-2,42 \cdot 10^5 \text{ J}) = -1,42 \cdot 10^5 \text{ J}$$

De totale vormingswarmte van de reactieproducten is:

$$-3,48 \cdot 10^5 \text{ J} + 0,913 \cdot 10^5 \text{ J} = -2,57 \cdot 10^5 \text{ J}$$

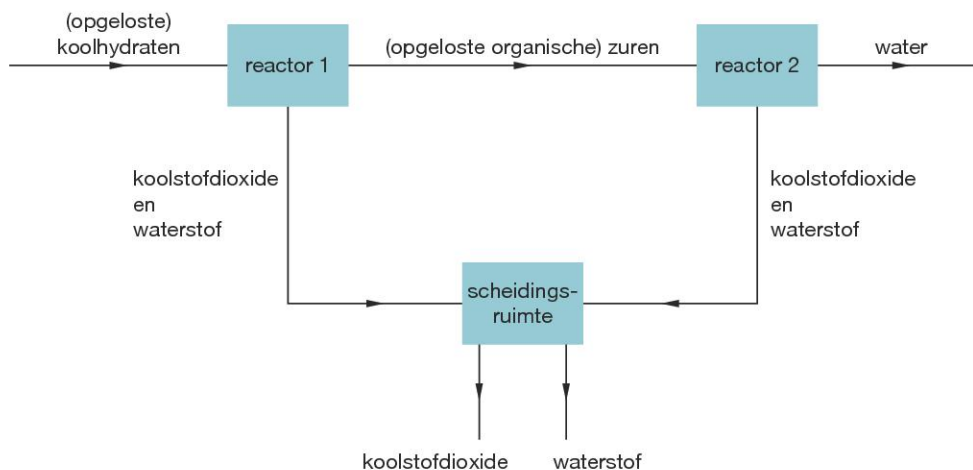
$$\text{De reactiewarmte is } -2,57 \cdot 10^5 - (-1,42 \cdot 10^5) = -1,15 \cdot 10^5 \text{ J.}$$

- e** De reactie is exotherm, want de reactiewarmte is negatief. Er komt dus warmte vrij en de reactor moet gekoeld worden.
- f** NO kan gerecirculeerd worden van reactor III naar reactor II (waar de stof reageert).

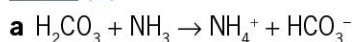
B 22

b Zie figuur 13.1.

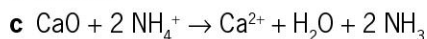
c Er is geen pijl voor de aanvoer van een basische oplossing in een van de blokken getekend.



13.1

C 23 ★

b filtreren



d H_2O

e NH_3 en CO_2

C 24

- a** De molaire massa van FeTiO_3 is $55,85 + 47,87 + 3 \times 16,00 = 151,72 \text{ g mol}^{-1}$.
De molaire massa van H_2SO_4 is $98,079 \text{ g mol}^{-1}$.

$$1,0 \text{ ton FeTiO}_3 = 1,0 \cdot 10^6 \text{ g FeTiO}_3 \triangleq \frac{1,0 \cdot 10^6}{151,72} = 6,6 \cdot 10^3 \text{ mol FeTiO}_3.$$

Nodig is dus ook $6,6 \cdot 10^3 \text{ mol H}_2\text{SO}_4$.

Dit komt overeen met $6,6 \cdot 10^3 \times 98,079 = 6,5 \cdot 10^5 \text{ g H}_2\text{SO}_4 = 0,65 \text{ ton H}_2\text{SO}_4$.

Er wordt 0,67 ton toegevoegd en er blijft dus $0,67 - 0,65 = 0,02 \text{ ton H}_2\text{SO}_4 = 2 \cdot 10^1 \text{ kg H}_2\text{SO}_4$ over.

- b** Uit de filtratieruimte komt FeCl_3 , dus er verdwijnen chloordeeltjes (ionen) uit het proces. Er moet continue toevoer van chloordeeltjes zijn, anders stopt het proces na een tijdje omdat de massabalans van chloor niet meer klopt.
- c** Bij de vorming van 1 mol TiO_2 ontstaat 2 mol chloor (reactie 2). 1 mol TiO_2 ontstaat uit 1 mol TiCl_4 (reactie 2). 1 mol TiCl_4 ontstaat uit 3,5 mol Cl_2 (molverhouding $\text{Cl}_2 : \text{TiCl}_4 = 7 : 2$, reactie 1). Voor elke 3,5 mol die nodig is in reactie 1, ontstaat er weer 2 mol in reactie 2. Er moet dus $3,5 - 2,0 = 1,5 \text{ mol Cl}_2$ per mol TiO_2 worden toegevoerd vanuit de opslag.
- d** Het gaat om het terugwinnen van titanium.

$$\text{atoomeconomie} = \frac{\text{massa Ti}}{\text{massa TiCl}_4 + \text{massa 2 Mg}} \times 100\% =$$

$$\frac{47,87}{(47,87 + 4 \times 35,45) + 2 \times 24,31} \times 100\% = 20,09\%$$

- e** De atoomeconomie van de reactie bij e is heel laag en de elektrolyse die erop volgt kost zeer veel energie.

13.3 Metalen

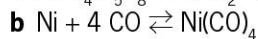
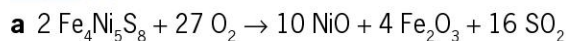
A 25

Je moet de (positieve) metaalionen uit het erts omzetten in metaalatomen. Dat doe je met een reductor.

B 26

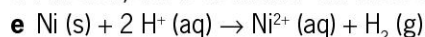
Extraheren, filtreren en destilleren

C 27 ★



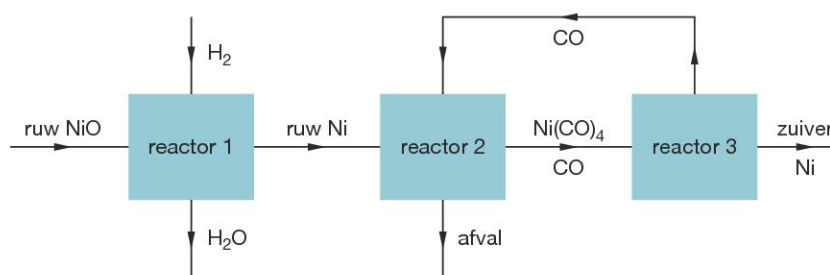
c Zie figuur 13.2.

d Filtreren, dat is de manier om vaste stoffen van een oplossing te scheiden

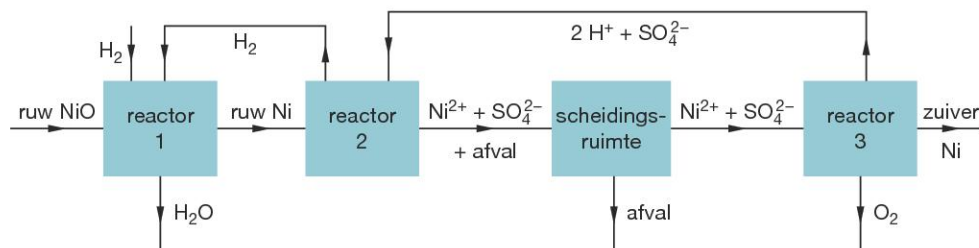


f Zie figuur 13.3.

g Er komt water vrij, dus er verdwijnen continu waterstofatomen uit het proces. Als die niet ook continu ergens een reactor binnengaan, dan houdt het proces op.



13.2



13.3

A 28 ●

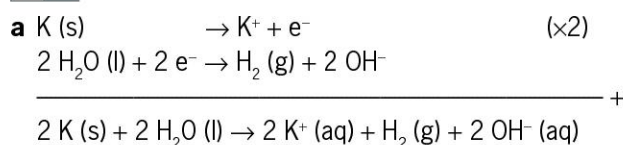
De corrosiegevoeligheid geeft aan hoe gevoelig een metaal is voor aantasting door zuurstof en water.

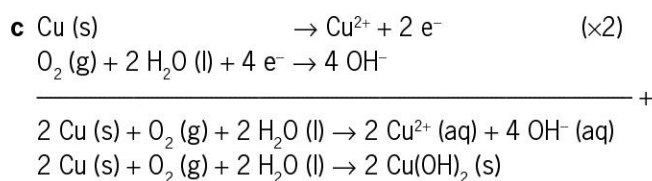
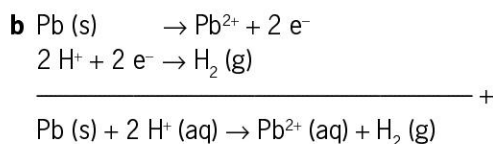
A 29

a Je kunt ijzer afdekken met olie, vet, glas, verf, een oxidelaagje, een edelmetaal of een legering van ijzer en een ander metaal maken.

b Aluminium vormt een afdekkend aluminiumoxidelaagje. Ijzeroxides dekken niet goed af waardoor er alsnog water en zuurstof bij het onderliggende ijzer kan komen. Alle metalen die niet edel zijn, reageren met water en zuurstof waardoor ze oxidelaagjes vormen. Bij sommige metalen is dat afdekkend, bij andere metalen blijft dat poreus.

C 30





d Goud is een slechte reductor; daarom staat hij hoog in de reductortabel. Goud is een edelmetaal en zal dus niet reageren met water en zuurstof oftewel corroderen.

A 31

Ze geleiden goed stroom, zijn buigzaam en onderling mengbaar in elke verhouding.

A 32

- a** Stroomgeleiding is mogelijk door de vrije elektronen. Elektronen kunnen in een metaalrooster vrij bewegen tussen de positieve ionen.
- b** De metaalbinding is heel sterk en zorgt voor een hoog smeltpunt.
- c** Bij het buigen van een metaal verschuift een laag positief geladen metaalionen in het metaalrooster van een kristal. De negatief geladen vrije elektronen bewegen hier tussendoor en houden de metaalionen op hun nieuwe plaats bij elkaar. De beweging kan worden doorgegeven aan andere kristallen.
- d** Uitleg a en b zijn op microniveau en c is op mesoniveau.

B 33

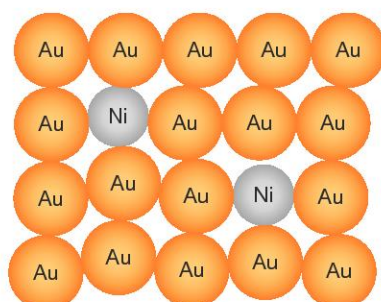
- a** Lage dichtheid ('licht')
- b** Geleidt goed stroom door een lage weerstand
- c** Lage corrosiegevoeligheid

A 34

Op mesoniveau gezien zorgen de atomen van het andere metaal voor verstoringen van het metaalrooster (roosterfouten). Hierdoor wordt het verschuiven van de lagen in de metaalkristallen en het doorgeven van de verschuivingen naar andere kristallen veel moeilijker.

B 35

- a** Je hebt dan minder goud nodig en dat is goedkoper.
- b** Nikkelatomen hebben een atoomstraal van $124 \cdot 10^{-12}$ m. Dat is kleiner dan goudatomen, die hebben een atoomstraal van $144 \cdot 10^{-12}$ m.
- c** In witgoud zijn 10% van de atomen nikkelatomen. Op 20 atomen zijn er 2 nikkelatomen. Zie figuur 13.4.
- d** Op mesoniveau gezien zorgen de nikkelatomen voor verstoringen in het metaalrooster van goud (roosterfouten). Hierdoor wordt het verschuiven van de lagen in de metaalkristallen veel moeilijker.



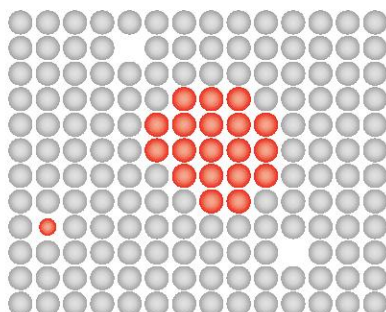
13.4

B 36 ★

- a** De molaire massa van nikkel is $58,69 \text{ g mol}^{-1}$ en de molaire massa van titaan is $47,87 \text{ g mol}^{-1}$. Nikkel- en titaanatomen moeten in gelijke molverhouding aanwezig zijn. De massaverhouding is dus eveneens $58,69 : 47,87$, ofwel $1,226 : 1,000$.
- b** De geheugenwerking van nitinol berust op de faseovergang tussen twee kristalroosters, austeniet en martensiet. Wanneer door roosterfouten deze kristalroosters veranderen, zal deze overgang niet goed meer verlopen en zal het metaal bij verwarmen niet meer 'terugspringen'.
- c** Een lagere temperatuur (ruim onder de 37°C) is wenselijk voor toepassingen in je lichaam, zoals stents in bloedvaten en het rechtekken van je ruggengraat. Een hogere temperatuur is bijvoorbeeld wenselijk bij gebruik in een brandmelder of bij een beveiliging tegen oververhitting.

C 37 ●

- a** Een zuiver metaal is te zacht en zal gemakkelijk vervormen. Een legering is veel harder en zorgt voor meer stevigheid in de constructie.
- b** Zie figuur 13.5.



13.5

13.4 Veiligheid en milieu

A 38

- a** De grenswaarde is de maximale concentratie van een stof in mg per m^3 die op een werkplek in de lucht aanwezig mag zijn.
- b** De ADI-waarde is de aanvaardbaar dagelijkse inname van stoffen die in voedsel zitten per kilogram lichaamsgewicht.
- c** De LD_{50} geeft de giftigheid van stoffen aan. Het is de hoeveelheid van een stof per kilogram lichaamsgewicht waarbij 50% van een proefdiergroep overlijdt.

B 39

Op het etiket staat dat rubber of plastic handschoenen gebruikt moeten worden. De stof is dus schadelijk voor de huid. Dit past bij GHS-nummer 05, 06 en 07.

B 40

- a** $0,12 \text{ mg m}^{-3}$
- b** $0,12 \text{ mg m}^{-3} = 0,12 \cdot 10^{-6} \text{ g L}^{-1}$
 $1,0 \text{ L}$ mag dus maximaal $1,2 \cdot 10^{-7} \text{ g}$ ozon bevatten.
- c** $1,0 \text{ L}$ lucht heeft een massa van $1,3 \text{ g}$. De grenswaarde van ozon in massa-ppm is dus:

$$\frac{1,2 \cdot 10^{-7} \text{ g}}{1,3 \text{ g}} \times 10^6 = 0,092 \text{ massa-ppm}$$

B 41

- a** De ADI is de hoeveelheid die aanvaardbaar is om dagelijks binnen te krijgen. Dat moet natuurlijk altijd minder zijn dan de LD_{50} : de hoeveelheid waarbij 50% van een proefdierkolonie sterft.
- b** $60,0 \text{ kg} \times 4 \cdot 10^6 \mu\text{g kg}^{-1} = 2,4 \cdot 10^8 \mu\text{g} = 240 \text{ g}$

- c Er geldt dat dan 50% van een proefdierkolonie sterft. Dat zijn dus niet alle individuen. Verder kan het zijn dat het effect van de betreffende stof op proefdieren groter is dan op mensen.

B 42

Minder giftig wil zeggen: een hogere LD_{50} , dus $100 \times 42 \text{ mg kg}^{-1} = 4,2 \cdot 10^3 \text{ mg kg}^{-1}$.

C 43

- a Een gemiddelde accu is 17,2 kg. 17% daarvan is lood. Dat is $0,17 \times 17,2 \text{ kg} = 2,9 \text{ kg}$ lood.

50% van de accu bestaat uit loodverbindingen. Dat is $0,50 \times 17,2 \text{ kg} = 8,6 \text{ kg}$ loodverbindingen.

De molaire massa is 293 kg kmol^{-1} .

$$8,6 \text{ kg} \triangleq \frac{8,6}{293} = 0,029 \text{ kmol loodverbindingen} = 0,029 \text{ kmol lood.}$$

Dit komt overeen met $0,029 \times 207,2 = 6,1 \text{ kg lood}$.

(De molaire massa van lood is $207,2 \text{ kg kmol}^{-1}$.)

In totaal bevat een loodaccu dus $2,9 + 6,1 = 9,0 \text{ kg lood}$.

- b Bezinken, dit berust op een verschil in dichtheid.

- c De vormingswarmtes zijn:

1 PbO_2	$-2,77 \cdot 10^5 \text{ J}$
1 C	0 J
1 Pb	0 J
1 CO_2	$-3,935 \cdot 10^5 \text{ J}$

De totale vormingswarmte van de beginstoffen is $-2,77 \cdot 10^5 \text{ J}$.

De totale vormingswarmte van de reactieproducten is $-3,935 \cdot 10^5 \text{ J}$.

De reactiewarmte is $-3,935 \cdot 10^5 - (-2,77 \cdot 10^5) = -1,17 \cdot 10^5 \text{ J per mol Pb}$.

A 44

- a Bij uitspoelen zakken nuttige metaalionen dieper de bodem in door (regen)water. Ze worden vervangen door H^+ -ionen, wat leidt tot verzuring.
- b Bij eutrofiëring komen er, bijvoorbeeld door uitspoeling, veel mineralen in oppervlaktewater. Het water is hierdoor veel voedselrijker, wat leidt tot grotere algengroei.

A 45

- a Ademhalingsklachten en smog
- b Giftig voor mensen en smog
- c Versterking van het broeikaseffect
- d Zure depositie en smog

B 46

- a Pokon bevat in ieder geval fosfor, kalium en stikstof (P, K en N).

- b Er is vaak geen oppervlaktewater in de buurt waar de mineralen naartoe spoelen.

B 47

- a Ongewenste stoffen zijn CO , C, NO_x (NO en NO_2), SO_2 , fijnstof, onverbrande koolwaterstoffen.

- b $4,0 \text{ L}$ benzine heeft een massa van $4,0 \times 0,72 = 2,88 \text{ kg} = 2,88 \cdot 10^3 \text{ g}$.

$$\text{Per km wordt } \frac{2,88 \cdot 10^3}{100} = 28,8 \text{ g benzine verbruikt.}$$

De massa van 1 mol benzine (C_7H_{12}) is $7 \times 12,01 + 12 \times 1,008 = 96,17 \text{ g}$.

$$28,8 \text{ g benzine levert } \frac{28,8}{96,17} = 0,30 \text{ mol benzine} = 7 \times 0,30 = 2,1 \text{ mol } \text{CO}_2.$$

De molaire massa van CO_2 is $44,010 \text{ g mol}^{-1}$.

$2,1 \text{ mol } \text{CO}_2$ komt overeen met $2,1 \times 44,010 \text{ g mol}^{-1} = 92 \text{ g}$.

C 48

- a** eutrofiëring
b 1 = fosfaat
 2 = polyfosfaat
 3 = PHB
 4 = zuurstof
 5 = koolstofdioxide + water
c Bij de omzetting van polyfosfaat tot fosfaat komt energie vrij die gebruikt wordt voor de omzetting van koolstofverbindingen tot PHB, dus het is een exotherm proces.
d $2,5 \text{ ton struviet} = 2,5 \cdot 10^6 \text{ g struviet} \triangleq \frac{2,5 \cdot 10^6}{245,41} = 1,0 \cdot 10^4 \text{ mol struviet}.$

Dit komt overeen met $1,0 \cdot 10^4 \text{ mol Mg}^{2+} = 1,0 \cdot 10^4 \text{ mol MgCl}_2.$

De molaire massa van $\text{MgCl}_2 = 95,211 \text{ g mol}^{-1}.$

$1,0 \cdot 10^4 \text{ mol MgCl}_2 \triangleq 1,0 \cdot 10^4 \times 95,211 = 9,7 \cdot 10^5 \text{ g MgCl}_2.$

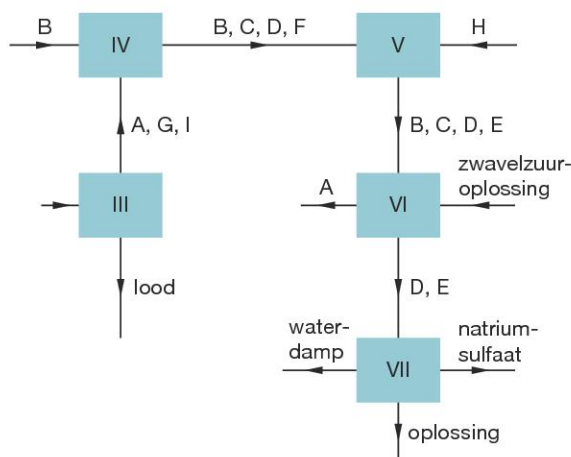
De oplossing bevat 32 massa-% $\text{MgCl}_2.$

De totale massa van de oplossing is dan:

$$\frac{100}{32} \times 9,7 \cdot 10^5 = 3,0 \cdot 10^6 \text{ g} = 3,0 \cdot 10^3 \text{ kg MgCl}_2\text{-oplossing}.$$

C 49 ★

- a** Ongewenst is smogvorming die wordt veroorzaakt door zwaveldioxide, zure depositie die wordt veroorzaakt door zwaveldioxide en waterstofchloride. Giftig/ongezond/schadelijk bij inademen / gevaarlijk voor huid en ogen (Binas tabel 97A) veroorzaakt door zwaveldioxide en waterstofchloride, bijtend (Binas tabel 97A) veroorzaakt door waterstofchloride.
b Zie figuur 13.6.
c $2 \text{ SO}_3^{2-} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ SO}_4^{2-}$
d Als salpeterzuur reageert, ontstaat minder natriumsulfaat. Uit ruimte I komt zwavelzuur dat je kunt gebruiken. Er hoeft dan geen zuur te worden ingekocht.
 Als salpeterzuur reageert, komt er natriumnitraat in de oplossing waardoor een extra zuiveringsstap nodig is.



13.6

Afsluiting

1

a prop-1-een-1-ol, prop-2-een-1-ol of prop-1-een-2-ol

b De theoretische opbrengst is de massa van propeenoxide (C_3H_6O):

$$3 \times 12,01 + 6 \times 1,008 + 16,00 = 58,08 \text{ u}$$

De werkelijke opbrengst is 74% van de theoretische opbrengst:

$$0,74 \times 58,08 = 43 \text{ u}$$

$$E\text{-factor} = \frac{(\text{massa } C_3H_6 + H_2O_2) - (\text{werkelijke opbrengst})}{\text{werkelijke opbrengst}} =$$

$$\frac{(3 \times 12,01 + 6 \times 1,008 + 34,015) - 43}{43} = 0,77$$

c $3,0 \cdot 10^5$ ton propeenoxide = $3,0 \cdot 10^{11}$ g propeenoxide.

De molaire massa van propeenoxide is $58,08 \text{ g mol}^{-1}$.

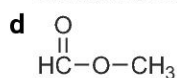
$$3,0 \cdot 10^{11} \text{ g} \triangleq \frac{3,0 \cdot 10^{11}}{58,08} = 5,2 \cdot 10^9 \text{ mol propeenoxide} \triangleq 5,2 \cdot 10^9 \text{ mol } H_2O_2.$$

Het rendement is 74%, dus er is minimaal $\frac{100}{74} \times 5,2 \cdot 10^9 = 7,0 \cdot 10^9 \text{ mol } H_2O_2$ nodig.

Dat is 90% van wat nodig is. Dus er is in totaal $\frac{100}{90} \times 7,0 \cdot 10^9 = 7,7 \cdot 10^9 \text{ mol } H_2O_2$ nodig.

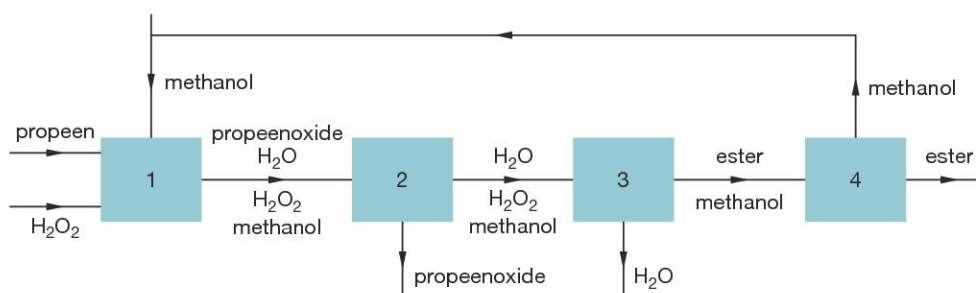
(De molaire massa van $H_2O_2 = 34,015 \text{ g mol}^{-1}$.)

Dit komt overeen met $7,7 \cdot 10^9 \times 34,015 = 2,6 \cdot 10^{11} \text{ g } H_2O_2 = 2,6 \cdot 10^5 \text{ ton } H_2O_2$.



e Methanol wordt bij dit proces verbruikt doordat het reageert tot een ester.

f Zie figuur 13.7.



13.7

2



a Extractie en filtratie

b A water

B DCM en cafeïne

C DCM

D cafeïne

E cafeïnevrije koffiebonen

c Er wordt telkens een bepaalde lading koffiebonen geweekt. Het is dus een batchproces.

- d** Ethylacetaat heeft een hogere grenswaarde dan DCM en is dus minder schadelijk: uitgangspunt: 3, minder schadelijke chemische productiemethoden.
Je kunt ook zeggen dat ethylacetaat door de hogere grenswaarde dan DCM minder risicovol is. Daarbij hoort uitgangspunt 12: minder risicovolle chemie.

3 ★

- a** Zink en lood zijn onedele metalen en zilver is een edel metaal. Zink en lood reageren dus gemakkelijk met water en zuurstof (ze zijn corrosiegevoelig) en zilver niet.
- b** Lood is een metaal en heeft dus een metaalrooster. Daarin kunnen de lagen positieve ionen onderling worden verschoven. De vrije elektronen houden alles dan weer bij elkaar. PbS is een zout met een ionrooster. Als je daarin lagen gaat schuiven, dan komen positieve ionen naast positieve ionen en negatieve ionen naast negatieve ionen te liggen. Het materiaal gaat daardoor barsten.
- c** NaCl kan worden gewonnen door middel van extractie, want dat is goed oplosbaar in water. CaF_2 is slecht oplosbaar in water en kan dus niet door extractie worden gewonnen.
- d** H410 en P273 horen bij een milieugevaarlijke stof. Hierbij hoort symbool 09.
- e** Na de pijl moet een stof staan met zwavel. Het oxide van zwavel is zwaveldioxide.
- f** $2 \text{ZnS} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ZnO} + 2 \text{SO}_2$
Het gaat om ZnO, dat is de stof die in de volgende reacties verder reageert en daar is het van belang de atomeconomie te weten.

$$\text{atomeconomie} = \frac{\text{massa } 2 \text{ ZnO}}{\text{massa } 2 \text{ ZnS} + \text{massa } 3 \text{ O}_2} \times 100\% =$$

$$\frac{2 \times 81,38}{2 \times 97,45 + 3 \times 32,00} \times 100\% = 55,95\%$$

- g** De base O^{2-} in ZnO reageert met het zuur tot H_2O . Het is dus een zuur-basereactie.
- h** De grenswaarde van zwavelzuur is $0,05 \text{ mg m}^{-3}$. In 125 m^3 mag dus maximaal:
 $125 \text{ m}^3 \times 0,05 \text{ mg m}^{-3} = 6,25 \text{ mg}$ zwavelzuur aanwezig zijn.
De dichtheid van zwavelzuur is $1,84 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} = 1,84 \cdot 10^3 \text{ mg mL}^{-1}$.

$$6,25 \text{ mg zwavelzuur heeft dus een volume van } \frac{6,25}{1,84 \cdot 10^3} = 3 \cdot 10^3 \text{ mL}.$$

- i** De molaire massa van zinksulfaat is $161,44 \text{ g mol}^{-1}$.

$$370 \text{ g ZnSO}_4 \triangleq \frac{370}{161,44} = 2,29 \text{ mol ZnSO}_4$$

Dit levert ook $2,29 \text{ mol Zn}^{2+}$ per liter = $2,29 \text{ mol L}^{-1}$.

- j** 500 L met $2,29 \text{ mol L}^{-1}$ bevat $500 \text{ L} \times 2,29 \text{ mol L}^{-1} = 1145 \text{ mol Zn}^{2+}$.
Dit levert dus ook 1145 mol Zn .
Dit komt overeen met $1145 \times 65,38 = 7,49 \cdot 10^4 \text{ g Zn}$ per uur.
Dat is $24 \times 7,49 \cdot 10^4 = 1,80 \cdot 10^6 \text{ g Zn} = 1,80 \cdot 10^3 \text{ kg Zn}$ per dag.

4

- a** propaan-2-ol
- b** Er verdwijnt een dubbele binding, dus de reactie is een additiereactie.
- c** H_2
- d** IPA-moleculen bevatten een OH-groep en de moleculen van aceton niet, dus IPA vormt H-bruggen en aceton niet. Het kookpunt van IPA is dus hoger dan het kookpunt van aceton. Dus is IPA het residu en aceton het destillaat.

5

- a** Methylbromide is schadelijk voor de gezondheid op lange termijn, kan erfelijke mutaties veroorzaken / is mutageen, is kankerverwekkend, is gevaarlijk voor de luchtwegen / maakt luchtwegen overgevoelig / kan allergie- of astmasymptomen veroorzaken en kan de vruchtbaarheid of het ongeboren kind schaden.

- b** Bij het verdampen van methylbromide worden de vanderwaalsbindingen verbroken. De afstand tussen de moleculen wordt veel groter dan in de vloeistoffase. Per volume-eenheid bevat gasvormig methylbromide dus veel minder moleculen dan vloeibaar methylbromide, dus is de dichtheid ook veel kleiner.
- c** De massa van 1 mol methylbromide (CH_3Br) is $12,01 + 3 \times 1,008 + 79,90 = 94,93 \text{ g}$. 1 mol heeft een volume van $24,5 \text{ dm}^3$.

De dichtheid is $\frac{94,93}{24,5} = 3,87 \text{ g dm}^{-3} = 3,87 \cdot 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$.

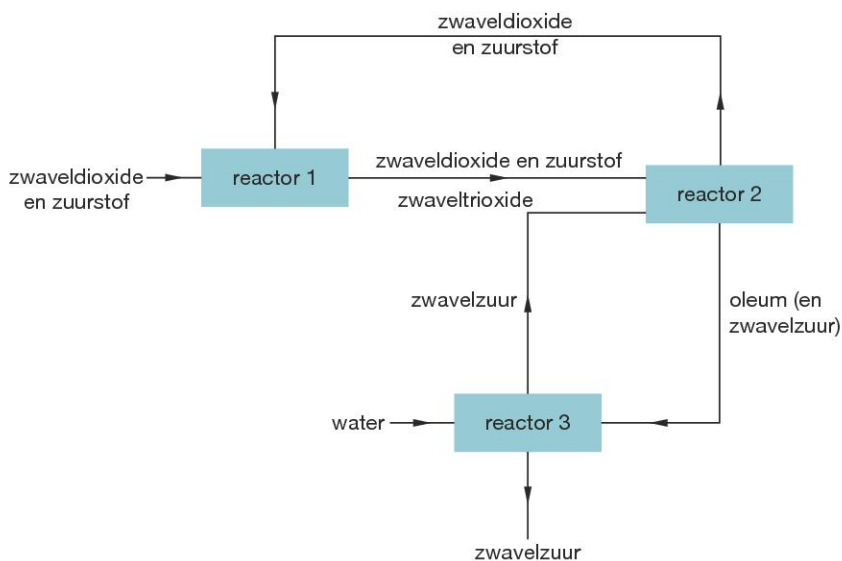
- d** 5 volume-ppm = 5 m^3 methylbromide per $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ lucht
De dichtheid van gasvormig methylbromide is $3,87 \cdot 10^{-3} \text{ g cm}^{-3} = 3,87 \cdot 10^6 \text{ mg m}^{-3}$.
 5 m^3 methylbromide heeft een massa van $5 \text{ m}^3 \times 3,87 \cdot 10^6 \text{ mg m}^{-3} = 1,9 \cdot 10^7 \text{ mg}$.

5 volume-ppm is dus $1,9 \cdot 10^7 \text{ mg}$ per $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ lucht = $\frac{1,9 \cdot 10^7}{1 \cdot 10^6} = 19 \text{ mg m}^{-3}$.

Dit komt overeen met de gegeven grenswaarde en het is dus inderdaad volume-ppm.

6

- a** Zwaveldioxide leidt tot zure depositie en samen met NO_x tot smogvorming.
- b** Door de hogere temperatuur in de reactor gaat de instelling van het evenwicht sneller dan in de buitenlucht. In de reactor zal ook een betere en beter verdeelde katalysator aanwezig zijn dan de metaalionen in de muren van gebouwen. In de reactor is ook een hogere concentratie SO_2 en O_2 aanwezig dan in de buitenlucht.
- c** $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$
- d** $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2\text{SO}_4$
- e** Zie figuur 13.8.



13.8