

Universiteit Twente.

**Faculteit
Gedragswetenschappen**

*Instituut ELAN
Lerarenopleiding*



Cooperative learning:

**Over de effectiviteit van samenwerkend leren in
het scheikunde onderwijs**

Verslag Onderzoek van Onderwijs (10 ec variant)

Ir. S.F.P. ten Donkelaar
s0108901
s.f.p.tendonkelaar@utwente.nl

augustus 2014

M.Sc. Science education and
communication (SEC), Scheikunde

M.Sc. Science education and communication (SEC), Scheikunde

Student

Ir. S.F.P. ten Donkelaar

s0108901

s.f.p.tendonkelaar@utwente.nl

Examination committee

Dr. F.G.M Coenders

Drs. W.J. Gradussen

INHOUDSOPGAVE

1. SAMENVATTING	4
2. INLEIDING.....	5
3. THEORETISCH KADER.....	6
4. ONDERZOEKSVRAGEN.....	9
5. METHODE	10
5.1 CONTEXT VAN DE STUDIE.....	10
5.2 RESPONDENTEN	10
5.3 PROCEDURE	10
5.4 INSTRUMENTEN	11
5.5 ANALYSE	14
6. RESULTATEN	16
SAMENSTELLEN STAM- EN EXPERTGROEPEN	16
SUB-ONDERZOEKSVRAAG 1	16
SUB-ONDERZOEKSVRAAG 2	19
SUB-ONDERZOEKSVRAAG 3	20
SUB-ONDERZOEKSVRAAG 4	21
7. CONCLUSIE EN DISCUSSIE	22
SAMENSTELLEN STAM- EN EXPERTGROEPEN	22
SUB-ONDERZOEKSVRAAG 1	22
SUB-ONDERZOEKSVRAAG 2	26
SUB-ONDERZOEKSVRAAG 3	27
SUB-ONDERZOEKSVRAAG 4	28
EVALUATIE EN UITKOMST ONDERZOEKSVRAAG	29
8. REFERENTIES	31
9. BIJLAGEN.....	32
9.1 PLANNING MODULE	32
9.2 SCHRIFTELIJKE OVERHORINGEN EXPERTISES	33
9.3 OPDRACHT: SAMENVATTING MAKEN	37
9.4 OPDRACHT: CONCEPT MAP MAKEN.....	38
9.5 VRAGENLIJSTEN EXPERTISES EN INHOUD MODULE	45
9.6 SAMENVATTINGEN EXPERTISES LEERLINGEN	48
9.7 EINDTOETS MODULE.....	53
9.8 MODULE BRANDSTOFPRODUCTIE DOOR MEMBRAANTECHNOLOGIE.....	56

1. Samenvatting

In dit verslag worden de resultaten gepresenteerd van een studie naar de effectiviteit van samenwerkend leren in het scheikunde middelbaar onderwijs. Het aantal respondenten is 22, in de leeftijd van 15 - 16. Het ging hierbij om een 4 atheneum klas die samenwerkend leren, als onderwijsmethode, hebben toegepast bij het doorwerken van een, speciaal hiervoor samengestelde, module ontwikkeld in samenwerking met de vakgroep anorganische membranen (universiteit Twente) en als onderdeel van dit onderzoek van onderwijs (OvO). Hierbij is de onderzoeksvraag beantwoord door gebruik te maken van een viertal sub-onderzoeksvragen. De aldus gepresenteerde antwoorden, welke met doelgerichte instrumenten zijn onderbouwd, geven aan dat samenwerkend leren effectief is bij het verwerken van veel informatie in een beperkte tijd. Dit bevestigt de bevindingen van, bijvoorbeeld, Dinan en Frydrychowski (1995), deze auteurs verklaarden dat, in hun geval, 14% meer materiaal werd behandeld door de manier van werken in plaats van klassikaal onderwijs. De hier gepresenteerde studie toont bovendien aan dat samenwerkend leren geleerd moet worden en in eerste instantie op veel weerstand stuit. Ook laat deze studie het belang van motivatie zien bij samenwerkend leren. Er zal een, intrinsieke en/of extrinsieke, motivatie moeten zijn om een project te doen laten slagen.

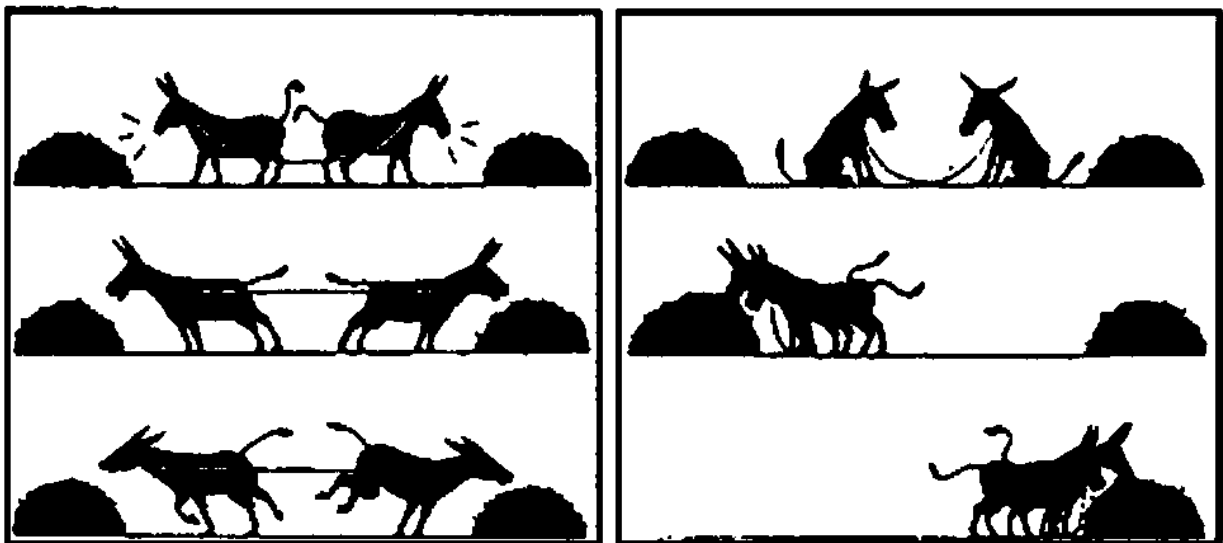


Fig. 1: Een voorbeeld van de voordelen van samenwerken.

2. Inleiding

Het laatste hoofdstuk scheikunde van leerjaar 4vwo wordt bij het Twickelcollege (Hengelo (O)) ingevuld door toepassingen. Normaal gesproken biedt de gebruikte methode (Chemie, Noordhoff Uitgevers) een hoofdstuk aan waarin toepassingen binnen de scheikunde behandeld worden maar de school heeft mij de kans gegeven om dit hoofdstuk te vervangen door een door mij geschreven module waarin ik de leerlingen een kijkje geef in de wereld van de anorganische membraantechnologie. Tevens is deze module een stap richting de nieuw op te zetten Twickelacademie. Via deze module wordt een nieuwe werkvorm richting leerlingen aangeboden: samenwerkend leren in projectgroepen en expertgroepen. Tevens wordt bij de module context-concept onderwijs toegepast. De context van de module is hierbij: 'Brandstofproductie door membraan technologie' waarbij de belangrijkste concepten procesontwerp, procestechnologie, materiaalkunde en chemische analyse zijn. De module is als bijlage aan dit verslag toegevoegd (9.8).

Op de hierboven genoemde school wordt vooral een klassieke manier van scheikunde onderwijs aangeboden (*chalk-and-talk*): De eerst 10 minuten een presentatie van de lesstof door de docent gevolgd door het individueel laten maken van opgaven door de leerlingen. De module is op een manier opgezet waarbij nagegaan kan worden via tussentijdse toetsing van de expertisegroepen, vragenlijsten, enquêtes en een eindtoets over de hele module hoe effectief samenwerkend leren, door gebruik te maken van expertgroepen, is. Onderwerpen die hierbij van belang zijn, zijn: (a) leren leerlingen wat ze moeten leren door samen te werken in expertgroepen, (b) kunnen de leerlingen deze kennis zodanig verwerking en op een duidelijke manier samenvatten dat het voor anderen duidelijk wordt wat ze hebben gedaan, (c) begrijpen de leden van de eigen stamgroep de uitleg van de expert, en zal het gebruik van expertgroepen tot voldoende kennis en vaardigheden leiden bij alle leden van de stamgroep. De hier gepresenteerde manier van werken is niet nieuw maar wordt in het scheikunde onderwijs nog maar weinig toegepast. Hierdoor kan deze module een bijdrage leveren tot meer gebruik van deze leervorm in de toekomst (zeer zeker op de school waar het onderzoek is uitgevoerd). De aan de leerlingen aangeboden module is direct uit de praktijk "gegrepen". Het gaat hierbij om de implementatie van anorganische membranen in een reactor concept voor de scheiding van zuurstof uit lucht. Hierbij wordt een stukje procesontwerp, materiaalkunde en analytische chemie aangeboden. Er is naar gestreefd om de kennis zo te presenteren dat er een directe link is met het al geleerde in voorgaande leerjaren. Leerlingen worden niet in het diepe gegooid maar wel uitgedaagd de eventueel weggezakte kennis weer op te halen. Alle nieuw gebruikte termen worden in de module toegelicht en dikgedrukt weergegeven om aan te geven dat dit "nieuwe kennis is. Het onderzoek, welke gepresenteerd wordt, in de module is zo innovatief dat deze nu nog gaande is als Ph.D. project binnen de vakgroep anorganische membranen (universiteit Twente). Om belangenverstrengeling te voorkomen zijn getoonde resultaten in de module op realistische "fantasie" gebaseerd.

3. Theoretisch kader

Samenwerkend leren is niet nieuw in het onderwijs! Als dit al is vaker gedaan is waarom dan nog eens in een onderzoek herhalen? Ondanks dat het niet nieuw is in het onderwijs wordt van deze manier van leren in het scheikunde onderwijs nog weinig gebruik gemaakt (Bowen, 2000). Dit komt mede voort uit de gedachtegang dat wanneer de docent lesmateriaal niet heeft behandeld in de les de theorie dus niet geleerd kan zijn door leerlingen. Een andere misconceptie hierbij is dat het gebruik maken van groepjes om kennis te vergaren inefficiënt is en dat er daardoor delen van de leerstof niet behandeld worden. Ook zijn docenten en managementteam vaak bang dat een docent problemen krijgt met klassenmanagement wanneer er in groepjes gewerkt wordt (Dinan & Frydrychowski, 1995) of dat ze het overzicht kwijt raken wat en hoe leerlingen dingen leren (Coenders et al., 2010).

Belangrijke begrippen gerelateerd aan dit project zijn: 1) samenwerkend leren, 2) 'jigsaw' techniek en 3) expert groepen. Johnson et al. (2000) gaven een gepaste uitleg over wat samenwerkend leren inhoudt: *'Samenwerkend leren kan alleen bestaan wanneer leerlingen samenwerken richting gezamenlijke leerdoelen. Een leerling kan alleen zijn/haar leerdoelen bereiken wanneer de andere groepsleden deze ook bereikt hebben'*. De 'jigsaw' techniek is een variant hierop, of eigenlijk een uitbreiding. Dit model is in eerste instantie ontwikkeld in de jaren 70 (Aronson et al., 1978) en is eigenlijk de klassieke manier van samenwerkend leren alleen is het nu de bedoeling dat dit de plaats van de "ouderwetse" manier van lesgeven vervangt. Waarbij de 'ouderwetste' manier van lesgeven gedefiniëerd wordt als een docent in het middelpunt van de belangstelling welke kennis over probeert te brengen via een hoorcollege waarbij leerlingen als een soort van kennis loos medium gezien kunnen worden welke de docent probeert te vullen met zo veel mogelijk kennis.

Bij de 'Jigsaw' techniek zal iedere leerling in een stamgroep een bepaalde taak krijgen die hij/zij zich aanleert. Deze informatie moet overgebracht worden aan de rest van de stamgroep. Wanneer er meerdere stamgroepen zijn dan is er ook de mogelijkheid om leerlingen per taak in een aparte groep kunnen plaatsen. Hierdoor creëert men als het ware expertgroepen. Een expertise kan dan onder de "experts" gedeeld, geleerd en uitgewerkt worden voordat deze weer terug zal moeten keren naar de eigen stamgroep. Schematisch wordt de 'jigsaw' techniek van samenwerkend leren weergegeven in figuur 3.1.

Fase 1 - Start in de stamgroep.

1	2	1	2	1	2	1	2
3	4	3	4	3	4	3	4

Fase 2 - Vanuit de stamgroep aan het werk gaan in expertgroepen.

1	1	2	2	3	3	4	4
1	1	2	2	3	3	4	4

Fase 3 - Terugkeren naar de stamgroep om de opgedane expertise te delen.

1	2	1	2	1	2	1	2
3	4	3	4	3	4	3	4

Fig. 3.1: schematisch overzicht indeling projectgroepen

Volgens Maceirasa et al. (2011) is samenwerkend leren een manier om in een druk curriculum op een efficiënte wijze te kunnen werken. Leerlingen vinden dat deze manier van werken bovendien een positieve invloed op hun werkhouding heeft. Wel erkennen de auteurs dat de nieuwsgierigheid en motivatie essentieel zijn om samenwerkend leren succesvol te laten verlopen. Samenwerkend leren is zo veel meer dan alleen informatie te verwerken op een efficiënte manier, het stimuleert ook sociale eigenschappen bij leerlingen (Sharan 2010) zoals vriendschap tussen leerlingen met diverse achtergronden. Communicatieve vaardigheden worden hierbij gepromoot (Dinan & Frydrychowski, 1995). Het samenwerkend leren in een groep moet de volgende punten bevatten (Bowen, 2000):

1. Positieve onafhankelijkheid: Leerlingen krijgen taken toegewezen die alleen voldaan kunnen worden wanneer alle groepsleden een bijdrage leveren.
2. Face-to-face gesprekken: leerlingen moeten de tijd en ruimte krijgen om elkaar te ontmoeten en elkaar op deze manier ondersteuning kunnen bieden bij de werkzaamheden.
3. Persoonlijke aansprakelijkheid: Iedere leerling is verantwoordelijk voor zijn/haar eigen leren. De groep zal hierbij ondersteuning moeten bieden.
4. Interpersoonlijke vaardigheden: Leerlingen moeten vaardigheden zoals vertrouwen, communicatievaardigheden en hoe om te gaan met conflicten ontwikkelen. Feedback richting de leerlingen is hierbij essentieel.
5. Reflectie op groepswerk: Leerlingen moeten tijd en ruimte krijgen om op het eigen werk in en met de groep te kunnen reflecteren.

Leerlingen hanteren vaak een leerstrategie waarbij stukken theorie uit het hoofd geleerd worden om voor een toets of examen te slagen (*surface approach*). Wanneer de aangeboden kennis te veel is om alleen maar te onthouden dan moet de leerling echt de theorie begrijpen om een selectie te kunnen maken van wat van belang is goed te kennen (Law, 2011). Onderzoek laat hierbij wel zien dat de meest efficiënte manier van leren bestaat uit docent-gestuurd samenwerkend leren (Law, 2011). Wanneer leerlingen eenmaal als groep aan het werk zijn dan zijn ze geneigd om meer verantwoordelijkheid op zich te nemen. Leerlingen zijn meer bereid elkaar te helpen binnen een groep en stimuleren elkaar om aanwezig en productief te zijn. Bij falen van leden van de groep nemen ze maatregelen, hierdoor leren ze om te gaan met disciplinaire problemen (Dinan & Frydrychowski, 1995).

Dinan en Frydrychowski (1995) laten de uitkomst van een vragenlijst over samenwerkend leren zien waarbij 36 studenten gevraagd zijn deze in te vullen. Het ging hierbij over bachelor studenten die organische chemie volgden. 97 % van de leerlingen heeft het gevoel dat deze manier van werken beter was voor de relatie tussen leerlingen onderling dan wanneer er klassikaal les werd gegeven. 84 % van de leerlingen vond wel dat werken in teams harder werken inhield in vergelijking met alleen maar het volgen van colleges. Het verantwoordelijkheidsgevoel ging er volgens de leerlingen wel op vooruit. 90 % van de leerlingen voelden zich verantwoordelijk voor een goede voorbereiding als groep voor elk college. Ondanks dat er geen opkomstverplichting was stimuleerden 90 % van de leerlingen de eigen groepsleden toch om naar elk college te gaan. Wanneer de auteurs kijken naar de resultaten van de toetsingen dan is er minimale verbetering qua cijfers tussen klassikaal werken (score 67,1 van 100) en samenwerkend leren (70.8 van 100). Wel moet hierbij opgemerkt worden dat bij groepswork twee hoofdstukken extra behandeld konden worden in dezelfde tijd als klassikaal werken, dit kwam neer op 14 % meer behandeld lesmateriaal.

4. Onderzoeksvragen

De onderzoeksvraag van het verrichte onderzoek is:

Hoe effectief is het gebruik van expertgroepen bij samenwerkend leren?

Om een goed onderbouwde verklaring voor een antwoord op deze vraag te geven is deze onderverdeeld in 4 sub-onderzoeksvragen.

1. Leren leerlingen in expertgroepen wat ze zouden moeten leren
2. Kunnen leerlingen van de stamgroep hun expertise op een duidelijke manier samenvatten?
3. Begrijpen leerlingen van de stamgroep de uitleg van de expert?
4. Leidt het gebruik van expertgroepen tot voldoende kennis en vaardigheden bij alle leden van de stamgroep?

De verwachting is dat leerlingen leren wat ze zouden moeten leren op basis van de aangeboden lesstof. Waarschijnlijk komt er wel veel protest vanuit de leerlingen aangezien de manier van werken iets nieuws is waar ze geen enkele ervaring mee hebben. Hierom is samenwerking aan het begin van het project niet te verwachten. De leerlingen hanteren bij het scheikunde onderwijs vooral de *surface approach*, aangezien de aangeboden lesstof er op gericht is om al opgedane kennis in de afgelopen twee jaar toe te passen zijn hier problemen te verwachten. Er wordt veel zelfredzaamheid van de leerlingen verwacht waarbij een planning wordt aangeboden die als hulpmiddel gebruikt moet worden om de lesstof door te werken. De leerlingen hebben weinig ervaring met een planning hierdoor is te verwachten dat in het begin van de module veel onduidelijkheid zal ontstaan over wat de bedoeling is. Waarschijnlijk is een introductie les van de docent voldoende om dit te verduidelijken en het belang van de planning duidelijk te maken.

5. Methode

5.1 Context van de studie

Procestechnologie en de wereld hieromheen zijn voor scholieren vaak onbekend. Toch komt het alom voor in de leermethoden. Vaak worden toepassingen zeer kort verwerkt als vraag waardoor leerlingen weinig gevoel ontwikkelen voor procestechnologie. In dit onderzoek is een module geschreven waarbij de concepten procestechnologie, procesontwerp, materiaalkunde en analytische chemie behandeld worden. De context hierbij is 'brandstofproductie door gebruik te maken van membraantechnologie'. Om alle onderwerpen per les te behandelen zijn veel lessen nodig. Hierom is gekozen voor samenwerkend leren in combinatie met het gebruik van expertgroepen. In paragraaf 3 (theoretisch kader) is deze manier van werken in meer detail beschreven.

5.2 Respondenten

Het aantal respondenten in deze studie is 22, waarvan 15 meisjes en 7 jongens. De respondenten zijn allen in de leeftijd van 15 - 16 jaar. Het gaat hierbij om een 4 atheneum klas waarin de leerlingen twee jaar scheikunde onderwijs hebben gehad. Een selectie van respondenten was niet van toepassing aangezien het om de stageschool ging waar maar bij één klas stage werd gelopen. Het ging om een klas waarin zich een aanzienlijk deel "zwakke" leerlingen bevonden. De opzet van de module is zo dat er via een voorselectie door de docent stamgroepen samengesteld zijn.

5.3 Procedure

Alle leerlingen kregen een module waar de stamgroepindelingen in stonden. De eerste les bestond uit een introductie, waarbij de docent uitleg over de lesstof in de module gaf en praktische informatie verschaftte over wat en wanneer werkzaamheden af moesten zijn. Hierbij werd verwezen naar de studieplanner in de module. Nadat leerlingen zelf de inleidende theorie en opgaven met de eigen stamgroep gemaakt hadden moesten de leerlingen een expertise kiezen. Iedere expertise had, toepasselijk, één van de eerder genoemde concepten als onderwerp. De gebruikte expertises waren:

1. De procesontwerper
2. De procestechnoloog
3. De materiaalkundige
4. De chemisch analist

In de bijlage is een kopie van de planning (9.1) opgenomen ter verduidelijking van bovengenoemde. Leerlingen met dezelfde expertises moesten elkaar opzoeken en

samen de theorie en opgaven doorwerken. Via de planner konden leerlingen zien wanneer welke theorie behandeld moest zijn en wanneer toetsen gepland waren.

De rol van de docent bij de behandeling van de module is vooral coaching. In de stamgroepen en expertgroepen zijn groepsleden elkaars docenten. Tijdens het doorwerken van de module werden, per les, verschillende rondes door de klas gelopen om de voortgang te monitoren en vragen van groepjes te beantwoorden. Na de periode van werken in expertgroepen was er een toets moment om na te gaan wat het niveau was van de expertise. Aan het einde van de module was er een grotere toets over alle expertisegebieden, die via het werken in stamgroepen aangeleerd waren. De toetsen waren in de vorm van schriftelijke overhoringen. Paragraaf 5.3 geeft een uiteenzetting van de gebruikte instrumenten voor het beantwoorden van de sub-onderzoeksvragen.

5.4 Instrumenten

Naast de onderstaande instrumenten om de sub-onderzoeksvragen, en uiteindelijk de onderzoeksvraag, te beantwoorden is er een initieel instrument toegepast om een leefklimaat in de klas te creëren waarbij samenwerkend leren beter doorgang kan vinden. Dit instrument is het indelen van stam- en expertgroepen. Ondanks dat deze indeling een subjectief karakter heeft is er geprobeerd dit objectief te beoordelen door enkele parameters te stellen. Er is gekozen voor:

1. Is de leerling gemotiveerd om aan scheikundige onderwerpen te werken? Hierbij is een 3-puntsschaal toegepast ('nee', 'redelijk' en 'ja'). Deze beoordeling is gebaseerd om de ervaringen tijdens schoolpracticum 2.
2. Werkhouding: Werkt de leerling actief aan opgegeven opgaven en theorie. Hierbij is een 3-puntsschaal toegepast ('nee', 'redelijk' en 'ja'). Deze beoordeling is gebaseerd om de ervaringen tijdens schoolpracticum 2. Dit was na te gaan door huiswerkcontroles en observatie.
3. Geleverde scheikunde prestaties: Hierbij is een 3-puntsschaal toegepast ('onvoldoende', 'voldoende' en 'goed'). Deze beoordeling is gebaseerd op de toetsen van het afgelopen en lopende schooljaar.

Gebruikte instrumenten:

1. Schriftelijke overhoring expertise (so).
2. Samenvatting expert (richtlijnen, concepten in module).
3. Vragenlijst uitleg: hoe beoordelen leerlingen de uitleg van de experts?
4. Vragenlijst inhoud: is de inhoud door de leerlingen begrepen?
5. Eindtoets over de hele module.

Tabel 5.1 geeft, per sub-onderzoeksvraag, aan welke instrumenten gebruikt worden. De instrumenten zijn zo ontworpen dat deze gebruikt kunnen worden bij het beantwoorden van twee sub-onderzoeksvragen, met uitzondering van de schriftelijke overhoring en de concept map. Zoals in tabel 5.1 weergegeven, het antwoord op een

onderzoeksvraag is niet gebaseerd op één instrument maar op twee. Er zijn 4 schriftelijke overhoringen (so) waarbij iedere expertise behandeld wordt. Iedere expert zal hierbij getoetst worden op zijn/haar eigen expertise. Het ging hierbij om een korte so van 15 minuten bestaande uit 3 open vragen waarbij het vragen naar gepresenteerde kennis en routines (reproductie) vooral aan de orde waren. Deze toetsing was essentieel om het niveau van expertise te bepalen. Is het niveau onvoldoende dan zal dit, naar alle waarschijnlijkheid, voor problemen zorgen wanneer de “expert” terugkeert naar zijn/haar stamgroep. Omdat het niveau van de expert zo belangrijk is bij de rest van de module was een voldoende voor de so verplicht, onvoldoende gemaakte so’s moesten worden herkanst. In bijlage 9.2 zijn de so’s opgenomen.

Tabel 5.1: Gebruikte instrumenten

Instrument	1. Leren leerlingen wat ze zouden moeten leren?	2. Kunnen leerlingen op een duidelijke manier samenvatten?	3. begrijpen leerlingen de uitleg van de expert?	4. Leiden expertgroepen tot voldoende kennis en vaardigheden bij alle leden van de stamgroep?
1. Schriftelijke overhoring	X			
2. Samenvatting expert	X	X		
3. Vragenlijst uitleg		X	X	
4. Vragenlijst inhoud			X	X
5. Concept map				X
6. Eindtoets v/d hele module	X			X

Na de so’s hebben de leerlingen de taak gekregen om per expertgroep een samenvatting van de leerstof te maken, zie bijlage 9.3. De samenvattingen werden gebundeld en dienden als achtergrondinformatie bij het maken van de opdrachten in de stamgroepen. Het maken van de samenvattingen werd niet met cijfers beoordeeld maar bij het inleveren van een goede samenvatting was een halve bonuspunt op het eindcijfer van de module te behalen. ‘Goede’ is hierbij een subjectieve term die door vooraf gestelde minimale concepten in de module objectief gemaakt is. Wanneer het expertiseniveau acceptabel is keren de experts terug naar de eigen stamgroepen.

Tijdens de laatste les van de module moesten alle leerlingen een concept map maken over minimaal twee van de vier expertise gebieden. Hierbij mag de eigen expertise niet gebruikt worden. Op deze manier kan getoetst worden in hoeverre leerlingen de relatie tussen concepten onderling zien. Bijlage 9.4 geeft deze opdracht weer. Er is bij het maken van de concept map voor gekozen om leerlingen te voorzien van een lijstje met 8 concepten die in willekeurige volgorde stonden. Leerlingen kregen 15 minuten de tijd voor het individueel maken van het werk. Wanneer er voldoende inzet getoond werd dan werd dit beloond met een halve bonuspunt bovenop het eindcijfer van de module. Aan het einde van de module werden alle concepten in de module nogmaals behandeld via een praktijk dag aan de universiteit Twente. Hierbij konden de leerlingen de verworven theoretische kennis toegelicht zien worden door voorbeelden uit de praktijk. Dit was geen instrument bij het beantwoorden van de sub-onderzoeksvragen van dit onderzoek maar was als instrument voor de leerlingen, om zich de stof meer eigen te maken, zeer zinvol.

Aan het einde van de praktijk dag moesten leerlingen 2 vragenlijsten invullen, één over de inhoud van de module en één over het functioneren van de medestamgroep leden in de verschillende rollen als experts. De vragenlijsten zijn toegevoegd als bijlage 9.5. Bij het invullen van de vragenlijst over de inhoud van de module kon nagegaan worden in hoeverre een leerling vond dat hij/zij voldoende voorkennis had om de module door te werken en of de vragen goed te maken waren met de aangeboden theorie. Ook werd hierbij gevraagd of het onderwerp van de module de leerling aansprak en of deze graag met medeleerlingen samenwerkte om tot een bepaald resultaat te komen. De vragen waren zo opgesteld dat deze met de keuze uit 'helemaal mee eens', 'eens' en 'helemaal mee oneens' beantwoord konden worden. De vragenlijsten over het functioneren van de verschillende experts zijn zo ontworpen dat nagegaan kon worden hoe leerlingen het expertiseniveau en de motivatie van de respectievelijke expert ervaren hebben. Ook was het hierbij van belang dat leerlingen de uitleg van de experts goed konden begrijpen (kon de expert goed uitleggen) en hoe de samenwerking verliep tussen de respectievelijke expert en de andere leden van de stamgroep. Het beantwoorden van de vragen verliep via het aankruisen van een antwoord welke het dichtst bij de mening van de leerling lag, bijvoorbeeld via de keuze uit 'altijd', 'meestal wel', 'meestal niet', en 'niet'.

Tijdens de proefwerkweek werd de module afgesloten met een eindtoets over de hele module. Er is bij het maken van de eindtoets rekening mee gehouden dat de 4 verschillende expertise gebieden op een zo eerlijk mogelijke manier aan bod kwamen door rekening te houden met de moeilijkheidsgraad van de vragen en de te verwachten tijd voor het maken van de opgaven. De eindtoets is toegevoegd aan dit verslag als bijlage 9.7. De uiteindelijke weging om tot het eindcijfer, voor de module, te komen was: $\frac{1}{3}$ cijfer so + $\frac{2}{3}$ cijfer eindtoets module. Bovenop dit cijfer kwam nog 1 punt wanneer de expertise samenvatting en concept map voldoende waren.

5.5 Analyse

Bij het beantwoorden van de eerste sub-onderzoeksvraag (Leren leerlingen wat ze zouden moeten leren?) is gebruik gemaakt van drie instrumenten, deze zijn weergegeven in tabel 5.1. Er is bij het opstellen van de so's gebruik gemaakt van vetgedrukte termen/begrippen in de theorie en de opgaven. In de begrippenlijsten aan het begin van de theorie per expertise stonden de begrippen die leerlingen minimaal moesten kennen. Op basis van deze handreikingen zouden de so's goed te doen moeten zijn. Per so is de *p*-waarde per opgave bepaald om de moeilijkheidsgraad van deze opgave te bepalen. De *p*-waarde is een maat voor het aantal leerlingen die het goede antwoord hebben gegeven, $p\text{-waarde} = \text{gemiddelde score} / \text{maximaal haalbare score}$. De *p*-waarde is gebruikt om de kwaliteit van de vragen te beoordelen. "Goede" vragen hebben hierbij een *p*-waarde tussen de 0,27 en 0,79. De *p*-waarde zegt hierbij iets over hoe moeilijk de vraag voor leerlingen was. Wanneer de *p*-waarde kleiner dan 0,27 is dan is er vaak wat aan de hand met de vraag. Wanneer de *p*-waarde groter is dan 0,79 dan is de vraag juist te makkelijk, dit moet dan ook voorkomen worden. Ook kan het zo zijn dat alle leerlingen de stof dermate goed beheersen dat iedereen deze vraag goed gemaakt heeft.

Naast de *p*-waarde per vraag is ook de *R*-waarde per vraag bepaald. De *R*-waarde is hierbij te bepalen door: $R\text{-waarde}(x) = p\text{-waarde}(x) * (pg(x) - p) / p$. Waarbij $pg(x)$ de gemiddelde eindscore, van de toets, is van de leerlingen die vraag *x* goed beantwoord hebben. De waarde van *p* is hierbij de gemiddelde eindscore van alle leerlingen (niet te verwarren met de *p*-waarde!), per toets. De *R*-waarde is hierbij een discriminatie-index van een vraag waarmee de mate aangegeven wordt waarin er onderscheidt gemaakt kan worden tussen laag en hoog scorende leerlingen [<http://www.cito.nl/static/oenw/ttb/beglist1.htm#DISCRIMINATIE-INDEX>]. De correlatie tussen antwoorden op een vraag en de eindscore wordt hierbij berekend. Wanneer de *R*-waarde voor een bepaalde vraag kleiner is dan 0 dan is de vraag goed gemaakt door leerlingen die onder het gemiddelde, voor de toets, scoren. Andersom zal voor een positieve waarde gelden dat de vraag door de gemiddeld betere leerlingen goed is gemaakt. Een waarde van 0 zal inhouden dat de vraag door niemand goed is gemaakt of door iedereen juist goed is gemaakt [http://www.wintoets.nl/help31/919%20winanalyse_penrwaarde.htm]. Wanneer de *R*-waarde van een vraag groter is dan 0,35 dan is er een goed onderscheid te maken tussen leerlingen met een hoge en lage eindscore bij deze vraag. Bij een *R*-waarde lager dan 0,15 zal dit onderscheidend vermogen moeilijk op te maken zijn, m.a.w. er is weinig samenhang tussen de scores per individuele antwoord per toets vraag en de eindscore van de toets. De beheersing van de expertise is beoordeeld met een waardering (cijfer) van de so. De samenvattingen die na deze so's gemaakt moesten worden gaven een extra oefenmoment om de belangrijkste punten van de theorie bij elkaar te zetten. De samenvattingen werden niet met een cijfer beoordeeld maar werden wel gecontroleerd op inhoud; stond alles er wel in? Deze controle vond plaats aan de hand van voorbeeld samenvattingen waarbij de minimale hoeveelheid

begrippen en uitleg vermeld stonden. Doordat leerlingen met de samenvattingen de hoofdzaken van de bijzaken moesten onderscheiden gaf dit een tweede indicatie van het expertise beheersingsniveau weer. De beoordeling van de eindtoets vond op een zelfde manier plaats als de so's alleen ging het nu om de gehele module. De eindtoets is opgedeeld in vier verschillende onderwerpen (de expertisegebieden) en is hierbij gebruikt om een terugkoppeling met de eigen expertise te maken per leerling. Aan de hand van de instrumenten is een uitspraak over de eerste sub-onderzoeksvraag te doen waarbij het gebruik van 3 instrumenten de betrouwbaarheid zal waarborgen. Bij de andere drie sub-onderzoeksvragen zijn ook twee tot drie instrumenten gebruik om een degelijke uitspraak over de antwoorden en de betrouwbaarheid te kunnen doen.

De gemaakte samenvattingen werden ook gebruikt om de tweede sub-onderzoeksvraag (Kunnen leerlingen op een duidelijke manier samenvatten?) te beantwoorden. Op basis van de modelsamenvattingen en een checklist over hoe een goede samenvatting opgebouwd dient te worden [<http://www.checklistpagina.nl/checklist.php?cl=Samenvatting%20maken>] kon beoordeeld worden of alle relevante informatie vermeld was en deze niet ondersneeuwde door niet relevante informatie. Op basis van deze beoordelingen was na te gaan of er een goed opgebouwde samenvatting was die alle relevante informatie bevatte die gebruikt kon worden als theorie voor de andere leden van de stamgroep. De samenvattingen werden hiernaast ook beoordeeld, via een vragenlijst, door de andere leden van de stamgroep (die de expertise in kwestie niet hadden). Hierdoor is een direct inzicht te verkrijgen of het ook een duidelijke manier van samenvatten was voor de andere leerlingen.

De derde sub-onderzoeksvraag (Begrijpen de leerlingen de uitleg van de expert?) werd beantwoord door gebruik te maken van twee vragenlijsten. Leerlingen beoordeelden hierbij (1) de uitleg van de expert op inhoud (theorie eigen expertise) maar ook op didactisch niveau (2). De vragenlijst over de inhoud van de module was hierbij gericht op het beheersingsniveau van de expertise van de expert maar ook over de aangeboden theorie in de module. Het didactische niveau werd per expert per stamgroep bepaald door na te gaan of een expert gemotiveerd was om uitleg te geven over zijn expertise en vragen hierover te beantwoorden. Ook was het hierbij van belang of een expert goed kon uitleggen en een uitleg ook in andere woorden uit kon leggen.

De vragenlijsten over de inhoud van de module werden ook toegepast bij het beantwoorden van de vierde sub-onderzoeksvraag (Leiden expertgroepen tot voldoende kennis en vaardigheden bij alle leden van de stamgroep?) Naast de hierboven beschreven informatie die verkregen werd is ook informatie te verwerven over hoe gemotiveerd leerlingen waren om via de gepresenteerde module te werken en of leerlingen vonden dat ze voldoende voorkennis hadden voor het maken van de module. Ook is hierbij na te gaan hoe leerlingen het samenwerken, op deze manier, hebben ervaren met leerlingen die niet direct een eerste keuze zouden zijn bij het

samenstellen van een groepje. De hiermee verkregen informatie is te relateren aan de eindresultaten van de module. Bijvoorbeeld, liep de samenwerking niet goed dan zal zich dit waarschijnlijk ook uiten in de eindresultaten. De eindtoets werk gebruikt om een meer kwantitatief beeld te krijgen van de kennis en de vaardigheden. De beoordeling was op dezelfde manier zoals beschreven bij de so's.

6. Resultaten

Samenstellen stam- en expertgroepen

Bij een (informele) navraag over de motivatie waarom men in de 4^e klas voor scheikunde gekozen heeft beantwoorden het merendeel van de meisjes deze vraag met *'we hebben scheikunde nodig om na het afstuderen mee te mogen doen met de loting voor toegang tot de studie medicijnen'*. Bij het merendeel van de jongens was er niet veel duidelijkheid over het waarom. Misschien niet in het algemeen te stellen maar een antwoord van één van de jongens was *'ik moest toch iets kiezen'*. Het werd tijdens voorgaande werkzaamheden (schoolpracticum 2) al duidelijk dat bepaalde leerlingen (8) eigenlijk niets wilden doen (en hier ook heel duidelijk in waren) en alleen maar de tijd uitzaten. Om te voorkomen dat groepjes hier problemen mee konden krijgen is hier rekening mee gehouden door een voorselectie bij de indeling van de stamgroepen te hanteren. Een stamgroep was een gemiddelde afspiegeling van de klas. Om leerlingen het gevoel te geven dat niet alles al strak geregeld was mochten leerlingen zelf een expertise kiezen.

Sub-onderzoeksvraag 1

Zoals in hoofdstuk 5 naar voren gekomen is zijn er 3 instrumenten gebruik bij het beantwoorden van de eerste onderzoeksvraag (Leren leerlingen wat ze zouden moeten leren?). Aan het einde van het expertise gedeelte was er een so over de stof. De tabellen 6.1 A - D geven hierbij de resultaten weer van de so's. De leerlingen hebben hierbij een nummer gekregen aangezien namen hierbij niet van belang zijn (ook om privacy redenen). In de tabellen 6.1 A en 6.1 D zijn bij, respectievelijk, leerling 2 en leerling 6 alleen een cijfer ingevuld zonder scores bij de opgaven, dit heeft te maken met het inhalen van de so's (andere versie van de so's). Het cijfer van de so's zijn als volgt tot stand gekomen: Cijfer so = (behaalde score * 10) / maximale score. De p- en R-waardes zijn tot stand gekomen zoals in paragraaf 5.4 (analyse) is beschreven. Om tot een R-waarde per vraag te komen is opgave 1 van 'De procestechnoloog' als voorbeeld berekening hieronder opgenomen.

Het gemiddelde eindcijfer voor de toets is 7,25. In de berekening wordt deze waarde p genoemd. $pg(x)$ is het gemiddelde eindcijfer van de leerlingen die deze vraag goed hadden. Om deze vraag goed te hebben zal minimaal 60% van het aantal punten behaald moeten worden. In deze vraag voldoen alleen leerlingen met 2 behaalde punten hieraan. De leerlingen 5, 6, 8 en 10 hadden 2 punten en het

gemiddelde eindcijfer van deze leerlingen is hierdoor 8,08. Zoals in tabel 6.1 B te zien is, is de *p*-waarde voor de vraag 0.83. Wanneer de formule voor het berekening van de *R*-waarde (paragraaf 5.4) wordt toegepast dan is deze waarde 0.09 (= $0.82 * (8.08 - 7,25) / 7,25$). Volgens de gestelde criteria zal deze *R*-waarde een slecht onderscheidend vermogen hebben. Dit is gezien het aantal respondenten niet verassend. De resultaten van de so's zijn: 1 onvoldoende en 21 voldoende.

Tabel 6.1 A - D: Resultaten schriftelijke overhoringen expertises

A. De procesontwerper				
	Opgave			cijfer so
	1	2	3	
Max. Score	3	3	3	10
score student				
1	0	3	0	3.3
2	-	-	-	7.3
3	3	3	0	6.7
4	3	3	1	7.8
p-waarde	0.67	1.00	0.11	
R-waarde	0.15	0.00	0.00	

		B. De procestechnoloog				
		Opgave				cijfer so
		1	2	3	4	
Max. Score score student	2	4	2	1	10	
5	2	4	2	1	10	
6	2	1	2	1	6.7	
7	1	1	2	1	5.6	
8	2	2	2	1	7.8	
9	1	1	2	1	5.6	
10	2	2	2	1	7.8	
p-waarde	0.83	0.46	1.00	1.00		
R-waarde	0.09	0.17	0.00	0.00		

		C. De materiaalkundige				
		Opgave				cijfer so
		1	2	3	4	
Max. Score	score student	3	2	2	2	10
11		3	2	1	2	8.9
12		3	2	0	1	6.7
13		3	2	2	2	10
14		3	1	2	2	8.9
15		2	1	0	2	5.6
16		3	1	1	2	7.8
p-waarde		0.94	0.75	0.50	0.92	
R-waarde		0.00	0.05	0.09	0.03	

		D. De chemisch analist				
		Opgave				cijfer so
		1	2	3	4	
Max. Score	score student	2	3	1	3	10
	17	2	0	1	0	8.9
	18	2	0	0	1	8.9
	19	2	3	1	2	8.9
	20	2	0	1	2	6.7
	21	2	2	0	2	6.7
	22	-	-	-	-	7.8
	p-waarde	1.00	0.33	0.60	0.47	
	R-waarde	0.00	-0.01	0.01	-0.03	

De samenvattingen zijn, per expertise, beoordeeld met een 'voldoende' of 'onvoldoende'. De beoordeling vond plaats zoals beschreven in paragraaf 5.4 (analyse). Aangezien een goede samenvatting als basis diende voor het werk in de stamgroepen was het essentieel dat deze met 'voldoende' beoordeeld kon worden, bovendien was er een deadline afgesproken voor het, per e-mail, inleveren van de samenvattingen. De leerlingen moesten per expertgroep één samenvatting inleveren. Dit alles is gebeurd en de samenvattingen waren van een kwaliteit die meer dan acceptabel was om als theorie voor de stamgroepen te dienen. Ter illustratie zijn de samenvattingen als bijlage 9.6 toegevoegd.

Tabel 6.2 geeft de resultaten van de eindtoets weer. Het cijfer voor de eindtoets is als volgt tot stand gekomen: Cijfer eindtoets = (behaalde score * 10) / maximale score. Het gemiddelde eindcijfer is hierbij 4,6 met een standaard deviatie van 1,9. De *p*- en *R*-waardes zijn tot stand gekomen zoals in paragraaf 5.4 (analyse) is beschreven. De resultaten van de eindtoets zijn: 15 onvoldoendes en 6 voldoende. In de tabel is in het geel aangegeven welke vragen bij het expertise gebied van de leerling horen. De vragen 1 t/m 3 en 7 hadden betrekking op expertisegebied 'De

materiaalkundige', de vragen 4 t/m 6 hadden betrekking op expertisegebied 'De chemisch analist' en de vragen 1 t/m 10 waren op het gebied van 'De procesontwerper' en 'De procestechnoloog' (hier was in de opgaven moeilijk een onderscheid te maken door de grote overlap in expertise). Vraag 8 was een algemene vraag uit het gemeenschappelijke deel van de module en ging over algemene kennis op het gebied van membraantechnologie.

Tabel 6.2: Resultaten Eindtoets

		Vraag											Cijfer
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	proefwerk
→	Max. pt.	2	2	3	2	4	2	2	3	3	2	2	
↓	score II.												
	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1.5
	2	0	0	0.5	1	0	0	2	0	1	0	0	1.7
	3	1	0.5	1	2	2	1	0	1	0	1	0	3.5
	4	1	0	3	2	0.5	1	2	3	1	1	2	6.1
	5	2	1.5	3	2	2	0	2	2	0	1	1	6.1
	6	0.5	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1.7
	7	2	0	1	1	1	1.5	2	1.5	0	1	2	4.8
	8	2	0.5	1.5	2	2	0	1	0	0	1	1	4.4
	9	2	1	3	1	0	1	1	0	1	2	2	5.2
	10	1	0.5	2	0	1	0	1	1	1	1	2	3.9
	11	2	0	2	1	1	1	2	1	0	1	1	4.4
	12	2	0.5	3	1	0	0	0	0	1	1	0	3.1
	13	1	2	2	1	2	1	1	3	0	1	1	5.6
	14	2	1	0	0	1	1	2	0	2	1	0	3.7
	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	16	2	1	0	1	0.5	1	0	0	2	1	0	3.1
	17	2	1	3	2	2.5	0	0	1	1	0	0	4.6
	18	2	1	1	2	3.5	2	1.5	1	0	1.5	1	6.1
	19	2	2	3	2	4	2	1	2	2.5	2	2	9.1
	20	2	1	3	2	4	2	2	3	2	1	0	8.1
	21	1	0	3	2	1	1	2	1	2	0	0	4.8
	22	0.5	0.5	1	1	2	2	2	1	1	1	0	4.4
	p-waarde	0.71	0.33	0.59	0.67	0.36	0.42	0.63	0.36	0.29	0.46	0.36	
	R-waarde	0.1	0.17	0.11	0.19	0.25	0.18	0.06	0.16	0.08	0.22	0.1	

Figuur 6.1 en tabel 6.3 geven een samenvatting van de, door de leerlingen, behaalde resultaten van de eindtoets over de gehele module weer.

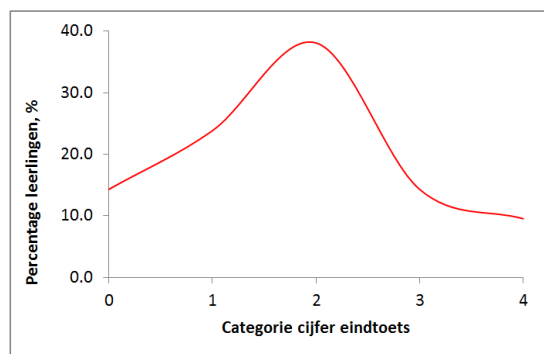


Fig. 6.1: samenvatting resultaten eindtoets

Tabel 6.3: samenvatting resultaten eindtoets

Categorie cijfer eindtoets	Cijfer eindtoets	Aantal leerlingen	Percentage leerlingen
0	0 - 2.0	3	14.3
1	2.1 - 4.0	5	23.8
2	4.1 - 6.0	8	38.1
3	6.1 - 8.0	3	14.3
4	8.1 - 10.0	2	9.5

Sub-onderzoeksvraag 2

Bij het beantwoorden van deze vraag (Kunnen leerlingen op een duidelijke manier samenvatten?) is ook een vragenlijst gebruikt waarmee nagegaan kon worden hoe de leerlingen zelf over de samenvattingen dachten (of ze hier mee uit de voeten konden). Deze vragenlijst is hieronder nogmaals geplaatst. De antwoorden hebben een structuur van A t/m D. In tabel 6.4 staan de resultaten van de vragenlijst. In sub-onderzoeksvraag 1 is de samenvatting al behandeld, de resultaten hiervan zijn ook voor sub-onderzoeksvraag 2 gebruikt.

Vragenlijst uitleg expertise

1. Hoeveel kennis had de expert?
A) veel B) redelijk veel C) voldoende D) onvoldoende
2. Was de expert gemotiveerd om uitleg te geven?
A) altijd B) meestal wel C) meestal niet D) Nooit
3. Had de expert zin om vragen te beantwoorden over zijn expertisegeraad?
A) altijd B) meestal wel C) meestal niet D) Nooit
4. Kon de expert goed uitleggen?
A) zeer goed B) goed C) voldoende D) onvoldoende
5. Kon de expert de uitleg ook in andere woorden uitleggen?
A) altijd B) meestal wel C) meestal niet D) nooit
6. Hoe verliep de samenwerking met de expert?
A) goed B) voldoende C) redelijk D) onvoldoende

Tabel 6.4: Resultaten vragenlijst uitleg expertise in aantal % van de leerlingen

Vraag	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)
1	29,4	51,0	19,6	0
2	51,0	39,2	9,8	0
3	34,7	63,3	2,0	0
4	22,4	51,0	26,5	0
5	25,0	65,0	10,0	0
6	49,0	33,3	17,6	0

Sub-onderzoeksvraag 3

Sub-onderzoeksvraag 3 (begrijpen leerlingen de uitleg van de expert?) werd beantwoord door de vragenlijst over de uitleg (zie sub-onderzoeksvraag 2) en de vragenlijst over de inhoud van de module te gebruiken. Hieronder is de vragenlijst over de inhoud geplaatst. In tabel 6.5 zijn de resultaten, per vraag, weergegeven.

Vragenlijst inhoud		Helemaal mee eens	Eens	Helemaal mee oneens
1.	Ik had voldoende voorkennis voor het het maken van deze module.	☐	☐	☐
2.	Leren, zoals in deze module gedaan is, spreekt mij aan.	☐	☐	☐
3.	De inhoud van de module vond ik interessant.	☐	☐	☐
4.	De theorie was duidelijk en er waren goede opgaven beschikbaar.	☐	☐	☐
5.	Het niveau van de opgaven was goed.	☐	☐	☐
6.	Bij het maken van de opgaven werk ik graag samen met medeleerlingen.	☐	☐	☐
7.	De samenwerking in onze projectgroep Verliep goed.	☐	☐	☐
8.	Hoeveel procent van de opgaven in de module heb je gemaakt?			
	☐ 0 – 20% ☐ 21 – 40% ☐ 41 – 60% ☐ 61 – 80% ☐ 81 – 100%			

Doordat er meer antwoordmogelijkheden geboden werden bij vraag 8, staan deze antwoorden niet in tabel 6.5. van de gegeven antwoorden verklaarden 36,4% van de leerlingen dat ze 41 en 60% van de aangeboden opgaven in de module gemaakt hadden. Voor 40,9% en 22,7% van de leerlingen gold, respectievelijk, dat ze 61 – 80% en 81 – 100% van de opgaven hadden gemaakt.

Tabel 6.5: Resultaten vragenlijst inhoud in aantal % van de leerlingen

Vraag	Helemaal mee eens (%)	Eens (%)	Helemaal mee oneens (%)
1	0	40,9	59,1
2	0	27,3	72,7
3	0	45,5	54,5
4	0	59,1	40,9
5	4,5	54,5	40,9
6	59,1	27,3	13,6
7	31,8	54,5	13,6

Sub-onderzoeksvraag 4

Bij het beantwoorden van de vierde onderzoeksvraag (Leiden expertgroepen tot voldoende kennis en vaardigheden bij alle leden van de stamgroep?) werden drie instrumenten toegepast: 1) de vragenlijst over de inhoud van de module, 2) de resultaten van de eindtoets en 3) het maken van concept maps. De eerste twee instrumenten zijn in voorgaande paragrafen behandeld. Het verwerken van de resultaten is niet te doen zonder eerst een opdeling te maken tussen serieus en niet serieus gemaakte concept maps. Ondanks dat dit een subjectief karakter heeft is er voor gekozen om alleen de concept maps te bekijken waar ook daadwerkelijk iets op papier stond dat te herkennen was als concept map. Van de 42 concept maps vielen er door deze eerste selectie 8 af. De concept maps zijn opgedeeld in de respectievelijke expertisegebieden, waarbij de beoordeling plaatsvond op basis van “voldoende” en “onvoldoende”. De Tabellen 6.6 A - D geven de resultaten hiervan weer. Van de 34 concept maps hadden 10 de expertise ‘de procesontwerper’, 8 de expertise ‘de procestechnoloog’, 17 de expertise ‘de materiaalkundige’ en 3 de expertise ‘de chemisch analist’. In bijlage 9.4 zijn de resultaten van drie leerlingen getoond. Deze leerlingen zijn achteraf gekozen op basis van de resultaten van de eindtoets.

Tabel 6.6 A - D: resultaten concept maps in aantal % van de leerlingen

A. De procesontwerper	
Voldoende (%)	Onvoldoende(%)
50	50

B. De procestechnoloog	
Voldoende (%)	Onvoldoende(%)
62,5	37,5

C. De materiaalkundige	
Voldoende (%)	Onvoldoende(%)
69,2	30,8

D. De chemisch analist	
Voldoende (%)	Onvoldoende(%)
100	0

7. Conclusie en discussie

Samenstellen stam- en expertgroepen

Bij de indeling van de stamgroepen waren leerlingen redelijk ontevreden. Ze vonden dat ze best zelf groepen samen konden stellen. Doordat leerlingen zelf de expertise mochten kiezen en hierdoor dus ook een groepje werd de onvrede minder. Deze manier van werken resulteerde wel weer in expertgroepen waarbij bepaalde mensen bij elkaar zaten die juist bij elkaar weggehouden waren in de stamgroepen maar gaf minder onvrede en een stukje rust in de klas. Deze klas was een zeer interessante klas met betrekking tot klassenmanagement. Iedere ruimte die gegeven werd richting de klas werd direct in onrust en een verminderde werkhouding vertaald.

Sub-onderzoeksvraag 1

- Leren leerlingen wat ze zouden moeten leren? -

Om tot een antwoord tot deze vraag te komen is allereerst naar de so's over de verschillende expertisegebieden gekeken. De so's waren zo samengesteld dat hierin de minimale eisen werden getoetst die gesteld waren aan het expertiseniveau om als expert een bijdrage te kunnen leveren als expert in de stamgroep. Tabel 6.1 laat hierbij zien dat de so's, op één uitschieter naar beneden na, goed gemaakt zijn. Om een beter uitspraak over deze resultaten te doen worden de resultaten per expertise behandeld.

De tabel van expertise 'De procesontwerper' (6.1 A) laat zien dat hier één onvoldoende is gevallen. Dit was te verwachten aangezien de persoon met dit toets resultaat weinig tot geen inzet heeft getoond. Wanneer er gekeken wordt naar de p -waardes dan is te zien dat vraag 1 een vraag is geweest die goed te doen was (p -waarde is tussen de 0,27 en 0,69) de R -waarde laat hierbij zien dat de leerlingen die boven het gemiddelde hebben gepresteerd (6,3), met betrekking tot het eindcijfer, hier weinig problemen ondervonden. Bij vraag 2 werd er gevraagd om een berekening te doen met een formule die essentieel was bij het maken van de opgaven als stamgroep. Hier hadden de leerlingen zich erg goed op voorbereid en hierdoor was de score dan ook bij de leerlingen maximaal. Een p -waarde van 1 zou suggereren dat de opgave te makkelijk zou zijn maar aangezien er veel aandacht voor deze berekening is geweest zou dit een niet heel realistische conclusie zijn. Omdat de p -waarde hier 1 is zegt een R -waarde niets over het discriminerend vermogen van de vraag. Vraag 3 was een vraag waarbij leerlingen kennis uit voorgaande jaren moesten gebruiken, al is een iets andere versie van de vraag ook in de module aan bod gekomen. Leerlingen hadden moeite om uit eerder verworven kennis de kennis voor deze vraag op te halen. De toets laat zien dat het kennis niveau van de expertise acceptabel is maar dan vooral bij de reproductievragen. Met productievragen hebben leerlingen nog veel moeite.

De resultaten van het so met expertise 'De procestechnoloog' (6.1 B) laten zien dat de eerst twee vragen een p -waarde van, respectievelijk, 0,83 en 0,46 hebben. Hierbij is te stellen dat vraag 1 een ietwat hoge p -waarde heeft maar aangezien de begeleidende tekst een goede uitleg gaf over wat de bedoeling was zou dit bijgedragen kunnen hebben aan deze verhoogde p -waarde. Bij deze twee vragen waren de R -waardes, respectievelijk 0,09 en 0,17. Hieruit is op te maken dat de gemiddeld "betere" leerlingen (hogere eindscore toets) op deze vraag het beste scoorden. Betere staat tussen aanhalingstekens aangezien de resultaten van dit so redelijk hoog waren. Op basis van de p - en R -waardes is stellen dat er met deze vragen, op basis van deze getallen, niets mis was. Het ging hierbij om twee productievragen. De vragen 3 en 4 waren vooral reproductievragen waarbij iedereen maximaal scoorde.

Bij 'De materiaalkundigen' (6.1 C) werd een goed so gemaakt. De p -waardes van vraag 1 en 4 liggen wat aan de hoge kant maar het ging hierbij om een zeer gemotiveerde groep die goed geleerd had. Deze vragen waren vooral reproductie vragen, hierdoor zijn hoge p -waardes niet verwonderlijk en er kan geen uitspraak over de kwaliteit van de vraag worden gedaan qua moeilijkheidsniveau. Er is duidelijk een daling in p -waarde te zien bij vragen waarbij leerlingen uitgedaagd worden om echt over een vraag na te gaan denken. Vraag 2 was een logische vraag maar er moest wel nagedacht worden over wat een gevraagde analyse techniek ook alweer inhield voordat de vraag beantwoord kon worden. Getuige de R -waarde scoorden de gemiddeld "beter" leerlingen hier hoger. Vraag 3 was een combinatie van een productie en reproductie vraag. Allereerst moest er nagegaan worden om welke technieken het ging (welke zijn er ook alweer in de module genoemd?) gevolgd door een onderbouwde uitspraak over welke het beste is om te gebruiken bij het gestelde probleem. Wederom liet de R -waarde zien dat de gemiddeld beter scorende leerlingen hier ook het beste resultaat hadden.

In de toets voor 'De chemisch analisten' (6.1 D) waren de vragen 1, 3 en 4 vooral reproductievragen waarbij het moeilijkheidsniveau in deze volgorde toenam. Over de R -waarden is geen uitspraak te doen, deze liggen alle drie zeer dicht bij 0. Het is interessant om te zien dat, wederom, een productie vraag problemen oplevert. De p -waarde laat zien dat er weinig mis met de vraag is maar dat leerlingen slecht uit de voeten kunnen met vragen waarin gevraagd wordt naar een onderbouwde mening waarom een bepaalde manier van chemische analyse beter is dan een andere met betrekking tot het beoogde doel.

Op basis van de resultaten van de so's is te stellen dat de leerlingen leren wat er in de module staat maar dat het toepassen hiervan problemen oplevert. Bij het bepalen van de p - en R -waarden is het de vraag in hoeverre deze betrouwbaar zijn aangezien het aantal respondenten per so klein zijn. Desalniettemin geeft het een indicatie over de moeilijkheidsgraad van de so's en het leerniveau van de leerlingen.

Een tweede instrument om tot een antwoord op de sub-onderzoeksvraag te komen waren samenvattingen per expertise. Op deze manier leren de leerlingen de hoofdzaken van de bijzaken te onderscheiden en heeft dit een extra leermoment als resultaat. De samenvatting laat zien in hoeverre leerlingen uit de tekst op hebben kunnen maken wat ze zouden moeten leren. Leerlingen leverden per expertgroep een samenvatting over de eigen expertise in. In alle gevallen wat het niveau prima en voldeed het aan de gestelde criteria (begrippenlijst, vetgedrukte termen in de tekst, richtlijnen over hoe een samenvatting gemaakt moet worden). Er is bij dit resultaat wel een kanttekening te maken; vaak was het maar één of waren het maar twee leerlingen die zich bezighielden met de samenvatting. Hierdoor gingen de andere leerlingen wat anders doen (praten, zingen, etc.). Ondanks opmerkingen hierover hadden leerlingen geen “zin” om aan het werk te gaan en er kwam nog wel eens de opmerking dat de opdracht “toch gewoon” werd gedaan. Toen de samenvattingen af waren werd deze wel met de rest van de expertgroep gedeeld en bediscussieerd. Het subdoel is hierdoor wel bereikt.

De resultaten van de eindtoets gaven, samen met de voorgaande instrumenten, een goede achtergrond om een uitspraak te kunnen doen over sub-onderzoeksvraag 1. Tabel 6.2 is hieronder nogmaals weergegeven, hierbij is rekening gehouden met het expertise gebied van de leerling. Bij alle vragen geven de R-waarden aan dat per vraag de leerlingen met de bovengemiddelde scores, voor de eindtoets, hier het beste scoren. Bij bijna de helft van de vragen ligt de R-waarde wel aan de lage kant (lager dan 0,15) hierdoor is het onderscheidend vermogen tussen de lager scorende leerlingen en de hoge scorende leerlingen voor de eindtoets niet erg betrouwbaar, wel geeft het nog steeds een indicatie. De berekende R-waardes geven aan, in combinatie met p-waardes die in bijna alle gevallen tussen de 0.27 en 0.69 liggen, dat er geen redenen zijn om aan te nemen dat de eindtoets te moeilijk of juist te gemakkelijk was. Wel zijn er, over het algemeen, slechte cijfers gehaald voor de eindtoets. Leerlingen hadden absoluut geen zin om zich bezig te houden met de module en lieten dit zeer duidelijk merken. Hierover meer bij de sub-onderzoeksvragen 3 en 4. Er is een terugkoppeling gemaakt tussen de experts en de vragen over de expertises gesteld in de eindtoets. De onderstaande tabel geeft dit in het geel weer. Tabel 7.1, op de volgende pagina, geeft een samenvatting van de resultaten. Hierbij geeft de weergegeven data weer hoeveel procent, gemiddeld gezien, van de punten per vraag behaald zijn. Op vraag 7 na is hierbij te zien dat de leerlingen met de expertise gebieden ‘De materiaalkundige’ en ‘De chemisch analist’ voor hun eigen expertisegebied hoger scoren dan de andere leerlingen. Vraag 3 is weinig over te zeggen aangezien zowel de experts als de niet-experts nagenoeg gelijk scoren op deze vraag. Bij de leerlingen met het expertisegebied ‘De procesontwerper’ en ‘de procestechnoloog’ is dit iets anders. Hierbij scoren de leerlingen met deze expertises gelijk aan of lager dan de leerlingen zonder dit expertise gebied in 2 van de 3 vragen. Vraag 8 was hierbij een vraag over de algemene inleiding, gegeven in de module. De cijfers voor de eindproef waren laag. Als er aangenomen wordt dat figuur 6.1 een

normaal verdeling voorstelt dan ligt de mediaan op categorie 2, welke een gebied weergeeft waarin cijfers zijn behaald tussen de 4,1 en 6. In totaal zijn er 6 voldoende behaald en 15 onvoldoendes. Bij de onderzoeksvraag 4 wordt hier verder op ingegaan. Op basis van de behaalde resultaten op de eindtoets is te stellen dat de leerlingen, over het algemeen, niet hebben geleerd wat ze zouden moeten leren.

De sub-onderzoeksvraag is te beantwoorden met de drie gebruikte instrumenten. Op basis van de evaluatie van de drie toets momenten is voorzichtig te stellen dat de leerlingen leren wat ze zouden moeten leren al waren de productievragen in de so's erg lastig voor de leerlingen. Van de reproductie vragen in de eindtoets hebben de leerlingen, gemiddeld 45,7% van de te behalen punten behaald, bij de productie vragen was dit nagenoeg een gelijk resultaat (45,4%).

Tabel 6.2: Resultaten Eindtoets

	Vraag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Cijfer proefwerk
Max. pt.	2	2	3	2	4	2	2	3	3	2	2		
score II.													
1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1.5	
2	0	0	0.5	1	0	0	2	0	1	0	0	1.7	
3	1	0.5	1	2	2	1	0	1	0	1	0	3.5	
4	1	0	3	2	0.5	1	2	3	1	1	2	6.1	
5	2	1.5	3	2	2	0	2	2	0	1	1	6.1	
6	0.5	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1.7	
7	2	0	1	1	1	1.5	2	1.5	0	1	2	4.8	
8	2	0.5	1.5	2	2	0	1	0	0	1	1	4.4	
9	2	1	3	1	0	1	1	0	1	2	2	5.2	
10	1	0.5	2	0	1	0	1	1	1	1	2	3.9	
11	2	0	2	1	1	1	2	1	0	1	1	4.4	
12	2	0.5	3	1	0	0	0	0	1	1	0	3.1	
13	1	2	2	1	2	1	1	3	0	1	1	5.6	
14	2	1	0	0	1	1	2	0	2	1	0	3.7	
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16	2	1	0	1	0.5	1	0	0	2	1	0	3.1	
17	2	1	3	2	2.5	0	0	1	1	0	0	4.6	
18	2	1	1	2	3.5	2	1.5	1	0	1.5	1	6.1	
19	2	2	3	2	4	2	1	2	2.5	2	2	9.1	
20	2	1	3	2	4	2	2	3	2	1	0	8.1	
21	1	0	3	2	1	1	2	1	2	0	0	4.8	
22	0.5	0.5	1	1	2	2	2	1	1	1	0	4.4	
p-waarde	0.71	0.33	0.59	0.67	0.36	0.42	0.63	0.36	0.29	0.46	0.36		
R-waarde	0.1	0.17	0.11	0.19	0.25	0.18	0.06	0.16	0.08	0.22	0.1		

Tabel 7.1: Gemiddeld behaalde percentage van een goede score per vraag op de eindtoets

	De materiaalkundige				De chemisch analist			algemeen	De procesontwerper/ De procestechnoloog		
Vraag	1	2	3	7	4	5	6	8	9	10	11
Score experts (%)	91,7	45,8	55,6	41,7	90,0	72,5	90,0	-	16,7	45,0	50,0
Score rest (%)	63,3	28,3	60,0	71,7	59,4	24,2	26,6	35,7	40,9	47,7	22,7

Sub-onderzoeksvraag 2

- Kunnen leerlingen op een duidelijke manier samenvatten? -

De gemaakte samenvattingen waren van een voldoende niveau. De leerlingen gebruikten hierbij de richtlijnen zoals die in de klas uitgedeeld waren. De samenvattingen bevatten de hoofdlijnen van de aangeboden theorie. Vooraf was voor de leerlingen duidelijk wat hier in moest staan, hierdoor waren hier zeer weinig problemen en werden de samenvatting op tijd ingeleverd. Een limitatie van dit instrument was dat leerlingen de samenvattingen niet als groep samen maakten maar dat werk werd verdeeld. Hierdoor zijn de respondenten niet de 22 leerlingen in de klas maar 1 á 2 leerlingen per expertgroep. De kwaliteit van dit instrument werd verbeterd doordat de samenvattingen wel per expertgroep werden bekeken en bijgeschaafd werden waar nodig. Leerlingen gebruikten hierbij de uitgedeelde checklist voor het maken van een samenvatting, de begrippenlijsten en opgaven. Hierdoor is iedereen wel bezig geweest met het maken van de samenvattingen. Hierdoor was dit geen verkeerde manier van werken aangezien er in de groepen nu pas echte discussie over de theorie tot stand kwam. Leerlingen bediscussieerden of bepaalde informatie inderdaad hoofdzaken waren of dat het toch bijzaken waren die voor het begrijpen van de theorie niet of weinig van belang waren.

De vragenlijst over de uitleg van de experts werd gebruikt om na te gaan of leerlingen de uitleg van de eigen expert begrepen wanneer onduidelijkheden bij de samenvattingen ontstonden. In tabel 6.4 zijn de resultaten van de vragenlijst weergegeven. De leerlingen vonden, over het algemeen, dat de eigen experts meestal de samenvattingen goed uit konden leggen al vonden ongeveer 25% van de leerlingen dat experts hier ook nogal eens moeite mee hadden. Bij onduidelijkheden in de samenvattingen waren leerlingen het er over eens dat 85% van de experts dit meestal wel op een andere manier konden samenvatten/uitleggen.

Op basis van de beoordeling van de samenvattingen door de docent en het oordeel van de leerlingen is er te concluderen dat leerlingen, over het algemeen, weinig problemen ondervonden bij het correct samenvatten van een tekst. Ondanks dat dit positief is en een direct antwoord op de sub-onderzoeksvraag geeft is een bijkomende limitatie van dit instrument dat leerlingen waren voorzien van richtlijnen over hoe een samenvatting er uit ziet en welke termen er in behandeld moesten worden.

Sub-onderzoeksvraag 3

- Begrijpen leerlingen de uitleg van de expert? -

De leerlingen vonden dat de experts voldoende kennis hadden over de eigen expertise. Al vonden 50% van de ondervraagde leerlingen wel dat de experts de motivatie misten om uitleg te geven. 2 van de 3 experts hadden meestal wel zin om vragen van de stamgroep te beantwoorden, maar dit ging niet spontaan. Over het algemeen vonden de leerlingen de uitleg van de expert goed (51%) en het merendeel van de leerlingen vonden dat de experts de uitleg ook op een andere manier uit konden leggen (85%). Hierdoor konden de leerlingen de uitleg van de expert goed begrijpen. De leerlingen geven aan dat de samenwerking in de stamgroep goed tot redelijk verliep. Bij de observatie van de werkzaamheden van de stamgroepen zijn bij de gegeven antwoorden wel kanttekeningen te plaatsen. Leerlingen vonden het erg prettig om bij elkaar te zitten en te overleggen maar echt samen bezig zijn met de opgaven was bij geen enkele stamgroep aan de orde. Vaak ging het overleg toch over andere zaken dan de module. Leerlingen lieten zich niet overhalen om toch als stamgroep aan het werk te gaan.

Bij de vragenlijst over de inhoud van de module werden ook vragen gesteld met betrekking tot de eigen motivatie en scheikunde voorkennis. 60% van de leerlingen gaf aan dat ze niet de voorkennis hadden om de module goed te maken. Aangezien veel in de module gebaseerd is op kennis uit voorgaande jaren geeft dit aan dat leerlingen naar een bepaald onderwerp toewerken en dit dan voor zichzelf afsluiten. Dit kwam ook naar voren door opmerkingen van leerlingen zoals 'ja, maar dat was vorig jaar'. De relatie tussen verschillende onderwerpen zagen leerlingen hierbij vaak niet. 72,7% van de leerlingen gaf aan dat de werken via een module hen niet aansprak en dat ze het onderwerp niet interessant vonden (54,5%). Doordat leerlingen veel motivatie misten werden er tijdens de uitleg van de expert weinig tot geen vragen gesteld.

De gebruikte instrumenten gaven weinig informatie of de leerlingen de uitleg van de experts daadwerkelijk begrepen hadden. De leerlingen vonden van wel maar met dit oordeel moet voorzichtig omgegaan worden aangezien er weinig motivatie bij de leerlingen was om als stamgroep aan het werk te gaan en het er veelal op uit draaide dat men de tijd "uitzat" of voor zichzelf met de module aan het werk was. Wanneer de samenvattingen als uitleg van de experts gezien worden dan is de sub-onderzoeksvraag met 'ja' te beantwoorden aangezien leerlingen vragen maakten, waarbij deze werden beantwoord met behulp van de samenvattingen.

Sub-onderzoeksvraag 4

- Leiden expertgroepen tot voldoende kennis en vaardigheden bij alle leden van de stamgroep? -

In de vragenlijst over de inhoud van de module gaven de leerlingen aan ze, over het algemeen, graag samenwerken bij het maken van opgaven (59,1%) en dat het niveau van de opgaven goed was (54,5%). Bij de resultaten van de concept maps werd duidelijk dat het merendeel van de leerlingen voldoende over andere expertises wisten om concepten aan elkaar te koppelen (70%). Bijlage 9.4 geeft enkele gemaakte concept maps weer. Hierbij zijn drie leerlingen gebruikt die, respectievelijk, onvoldoende, voldoende en goed op de eindtoets scoorden. Het valt op dat alle concept maps van voldoende niveau waren en er moeilijk onderscheidt te maken is tussen het beheersingsniveau van de leerlingen op basis van alleen de concept maps. Tijdens het maken van de concept maps werd er veel samen gewerkt. Waarschijnlijk was het dan ook beter geweest om het maken van concept maps vooruit te schuiven in de planning van de module. Op basis van de vragenlijst en de gemaakte concept maps is de sub-onderzoeksvraag met 'ja' te beantwoorden. Een limitatie hierbij is dat leerlingen weinig daadwerkelijk samenwerkten (ondanks veel stimuleren) hierdoor is moeilijk na te gaan of deze resultaten zijn behaald door het gebruik van expertgroepen of door het leren van de samenvattingen.

Ondanks de indicatie dat leerlingen voldoende kennis en vaardigheden hadden door het gebruik van expertgroepen lieten de resultaten van de eindtoets een ander beeld zien. Sub-onderzoeksvraag 1 geeft hier al een gedetailleerde analyse van. Het is moeilijk te zien of de resultaten het gevolg zijn van individueel leren of het samenwerken in expertgroepen en stamgroepen. Door de hoeveelheid theorie lijkt het aannemelijk dat leerlingen toch voldoende samen hebben gewerkt om de relatie tussen concepten te zien maar dat gedetailleerde kennis ontbreekt. Het merendeel van de leerlingen (77,3%) gaven aan dat ze minder dan 80% van de vragen gemaakt hadden (maar dat ze nooit alles maakten!). Dit kan hierdoor ook de slechte resultaten van de eindtoets verklaren.

Evaluatie en uitkomst onderzoeksvraag

- Hoe effectief is het gebruik van expertgroepen bij samenwerkend leren? -

De leerlingen vonden het, over het algemeen, leuk om samen te werken in groepen. Door de zorgvuldige samenstelling van de stamgroepen en het werken met een expertgroepensysteem werden de meer introverte leerlingen ook gestimuleerd om actief mee te doen. Dit werd tijdens de observaties zichtbaar, leerlingen sneeuwden niet onder in de stamgroepen. Communicatieve vaardigheden werden hierbij zeker verbeterd. Dit komt overeen met datgene beschreven is door Dinan en Frydrychowski (1995), de auteurs stelden dat bij samenwerkend leren de communicatieve vaardigheden worden gepromoot tussen leerlingen met diverse achtergronden. In de expertgroepen en stamgroepen vroegen leerlingen elkaar om hulp en werd hulp geboden. Er kwam wel sterk naar voren dat de leerlingen weinig interesse in het onderwerp hadden en geen enkele nieuwsgierigheid hadden in het vakgebied, volgens Maceirassa et al. (2011) is dit essentieel om samenwerkend leren te laten slagen. De leerlingen zagen wel in dat samenwerkend leren een realistische manier van werken is om grote hoeveelheden informatie op een efficiënte manier te verwerken, Maceirassa et al. (2011) stellen dit ook vast. Veel van de leerlingen zagen het werken in expertgroepen/stamgroepen als iets waar ze nog niet klaar voor waren, één van de uitspraken hierbij was *'Het is een interessante inhoud, maar de methode werkt totaal niet! Op de uni misschien wel, maar bij ons werkt dit niet, omdat het ons niet heel erg interesseert'*. Deze uitspraak is ietwat verwarrend omdat eerst wordt gesteld dat de inhoud interessant is en hierna gezegd wordt dat het ze niet interesseert. Leerlingen hebben deze manier van leren nog niet eerder meegemaakt en waren gelijk in paniek omdat het afweek van de "normale" manier van les krijgen, een opmerking van een leerling hierbij is *'Ik had liever nog meer klassikaal uitleg gehad'*. Verder was er de opmerking dat er te weinig tijd was om de vragen te maken. Er waren drie lesuren ingepland voor 8 opgaven, in het stamgroep gedeelte. Wanneer we naar de eindtoets kijken; hier moesten 11 opgaven gemaakt worden van eenzelfde niveau en hierbij vonden de leerlingen het niveau acceptabele. De leerlingen kregen één lesuur voor het maken van de eindtoets en vonden dit voldoende tijd om rustig de vragen te maken. Ondanks dat de eindtoets, over het algemeen, niet heel goed gemaakt is was het eindresultaat van de module acceptabel. Het gemiddelde cijfer was hierbij 6,6 (met een uitschieter naar een 10) met een standaard deviatie van 1,4.

Het gebruik van expertgroepen bij samenwerkend leren heeft in deze studie laten zien dat leerlingen in staat zijn om een groot project te kunnen verwerking in een korte tijd. Dit bevestigt de bevindingen van Dinan en Frydrychowski (1995), de auteurs verklaarden dat, in hun geval, 14% meer materiaal werd behandeld door de manier van werken in plaats van klassikaal onderwijs. Hierdoor is te stellen dat ook in dit project het gebruik van expertgroepen bij samenwerkend leren effectief is, al zijn de resultaten vertroebeld door motivatieproblemen en de paniek die bij een nieuwe manier van werken komen kijken. Dinan en Frydrychowski (1995) beschrijven dat bij

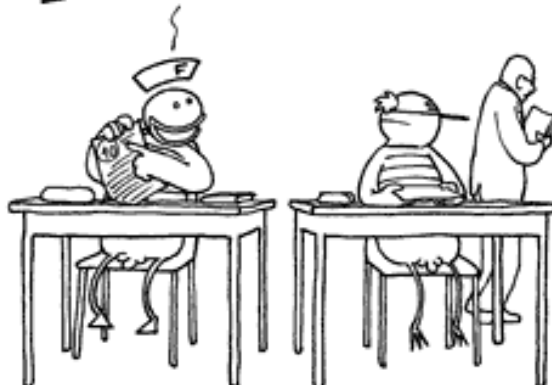
samenwerkend leren het verantwoordelijkheidsgevoel bij 90% van de leerlingen er op vooruit ging. Bij de respondenten in de hier beschreven studie (OvO) was dit niet het geval. Dit is te zien aan de resultaten van de vragenlijsten in combinatie met de beoordeelde opdrachten. Er moet wel rekening gehouden worden met het leeftijdsverschil tussen de bachelor studenten “van” Dinan en Frydrychowski en de vierde klas vwo leerlingen. Dit kan een verschil van 2 tot 5 jaar zijn.

Ergens moet begonnen worden maar een limitatie van dit onderzoek is dat de leerlingen onervaren zijn met deze manier van werken. Bij het samenstellen van de gebruikte module is voldaan aan de, door Bowen (2000), gestelde criteria (zie ook pagina 7) voor samenwerkend leren in een groep maar leerlingen konden dit nog niet echt een plek geven in hun manier van werken. Een aanbeveling hierbij, voor een collega student, zou zijn om volgend jaar deze klas weer onderwijs in deze vorm aan te bieden. De leerlingen hebben nu meer ervaring met deze manier van werken en hierdoor zal de onwil voor het nieuwe waarschijnlijk minder zijn.

FOKKE & SUKKE
HEBBEN EEN NIEUWE ONDERWIJSMETHODE ONTDEKT

ZÓ HEE!!

**DAT “LEREN”
DAT WERKT
ECHT GOED!!!**



RG-T

www.foksuk.nl

8. Referenties

Aronson, E., Stephan, C., Lides, J., Blaney, N., Snapp, M. (1978). The jigsaw classroom. Oxford, England: Sage

Bowen, C.W. (2000). A quantitative literature review of cooperative learning effects on high school and college chemistry achievement. *Journal of chemical education*. 77 (1), 116 - 119.

DOI:10.1021/ed077p116

Coenders, F., Terlouw, C., Dijkstra, S., Pieters, J. (2010). The effects of the design and development of a chemistry curriculum reform on teachers' professional growth: A case study. *Journal of science teacher education*. 21 (5), 535 - 557.

DOI: 10.1007/s10972-010-9194-z

Dinan, F.D., Frydrychowski, V.A. (1995). A Team Learning Method for Organic Chemistry. *Journal of chemical education*. 72 (5), 429 - 431.

DOI: 10.1021/ed072p429

Johnson, D.W., Johnson, R.T., Stanne, M.B. (2000). Cooperative learning methods: a meta-analysis. 1 - 16.

Law, Y.K. (2011). The effects of cooperative learning on enhancing Hong Kong fifth graders' achievement goals, autonomous motivation and reading proficiency. *Journal of research in reading*. 34 (4), 402 - 425.

DOI:10.1111/j.1467-9817.2010.01445.x

Marceiras, R., Cancela, A., Urréjola, S., Sánchez, A. (2011). Experience of cooperative learning in engineering. *European journal of engineering education*. 36 (1), 13 - 19.

DOI: 10.1080/03043797.2010.518232

Sharan, Y. (2010). Cooperative learning for academic and social gains: valued pedagogy, problematic practice. *European journal of education*. 45 (2), 300 - 313.

DOI: 10.1111/j.1465-3435.2010.01430.x

9. Bijlagen

9.1 Planning module

Lesnummer	Onderwerp van de les
1 woensdag 14/05/'14	- Inleiding module door de docent. - In de projectgroepen (waar je in begint) de inleiding uit de module doornemen met je groepsleden en de opgaven maken.
2 donderdag 15/05/'14	- Expertgroepen vormen en per expertise theorie uit de module behandelen en de hierbij behorende opgaven maken.
3 donderdag 22/05/'14	- Per expertise theorie uit de module behandelen en de hierbij behorende opgaven maken.
4 woensdag 28/05/'14	- Eerste 15 minuten: schriftelijke overhoring expertgroepen. - Overgebleven tijd: samenvatting maken en maandag 2/06/'14 per e-mail inleveren (1 per expertgroep).
5 woensdag 04/06/'14	- terugkeren naar je projectgroep en theorie en opgaven maken samen met de projectgroep.
6 donderdag 05/06/'14	- terugkeren naar je projectgroep en theorie en opgaven maken samen met de projectgroep.
7 woensdag 11/06/'14	- Afronden opgaven samen met de projectgroep - Laatste 15 minuten: concept map maken in tweetallen (individueel inleveren).
8 donderdag 12/06/'14	- Practicum dag Universiteit Twente
9 donderdag 19/06/'14	- Eindtoets module (Toetsweek)

9.2 Schriftelijke overhoringen expertises

Toets expertgroepen 4 VWO

de procesontwerper

mei 2014

De toets bestaat uit 3 vragen. Voor iedere vraag is aangegeven hoeveel punten voor die vraag gehaald kunnen worden. In totaal kunnen er 9 punten worden behaald. Je krijgt 15 minuten voor het maken van deze toets.

Partiële oxidatie van methaan

Bij de partiële oxidatie van methaan kiest de procesontwerper ervoor om destillatie te gebruiken om zuurstof van lucht te scheiden. Je mag hierbij aannemen dat lucht uit stikstof en zuurstof bestaat. De hiermee verkregen pure zuurstof wordt een reactor ingestuurd waar de partiële oxidatie van methaan plaatsvindt. De uitgaande stroom van deze reactor is synthese gas ($\text{CO} + \text{H}_2$). Graag wil de procesontwerper puur waterstof hebben zonder koolstofmonoxide, hiervoor is een scheidingskolom geplaatst.

- 3p **1** Teken het blokschema van het hierboven beschreven proces. Zet bij de stofstromen de naam (namen) of formule(s).
- 3p **2** Geef een schatting van de kosten voor het bouwen van de fabriek zoals die hierboven is beschreven. Ga uit van een capaciteit van 50.000 ton per jaar en een wisselkoers van 1,00 Britse pond = 1,50 Euro.

CO₂ stabiliteit

Wanneer we uitgaan van het materiaal strontium ferraat (SrFeO_3) en hier koolstofdioxide over heen laten stromen dan zal dit poeder reageren tot strontium(II)carbonaat en ijzer(III)oxide. Ook zal er bij deze reactie een gas vrijkomen. Bij strontium ferraat mag je aannemen dat de lading van het strontium ion 2+ is.

- 3p **3** Geef de reactievergelijking van de hierboven genoemde reactie.

Toets expertgroepen 4 VWO**de procestechnoloog****mei 2014**

De toets bestaat uit 4 vragen. Voor iedere vraag is aangegeven hoeveel punten voor die vraag gehaald kunnen worden. In totaal kunnen er 9 punten worden behaald. Je krijgt 15 minuten voor het maken van deze toets.

De membraanreactor

Als procestechnoloog ben je verantwoordelijk voor het operationeel krijgen en houden van chemische installaties in een fabriek. We focussen ons op een membraanreactor waarin zuurstofscheiding plaatsvindt en aan de permeatiekant ook partiële oxidatie van methaan.

- 2p **1** Teken het blokschema van het hierboven beschreven proces. Zet bij de stofstromen de naam (namen) of formule(s).

Na verschillende experimenten heb je bepaald dat de zuurstofpermeatie $1,0 \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^2$ is bij een bepaalde temperatuur en druk. Het membraan heeft een oppervlak van $1,5 \text{ cm}^2$. Aan de permeatiekant van het membraan is de aanvoer methaan $3,0 \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1}$.

- 4p **2** Teken de massabalans van bovenstaande membraanreactor met behulp van de gegeven data.

Reactieomstandigheden

De prestaties van een membraanreactor hangen van meerdere dingen af. Je kunt hierbij denken aan de reactieomstandigheden in de reactor maar ook aan de zuurstofpermeabiliteit van het membraan.

- 2p **3** Noem twee reactieomstandigheden waarvan de prestatie van de membraanreactor afhankelijk zijn.
- 1p **4** Wat bedoelen we met de zuurstofpermeatie door een membraan?

Toets expertgroepen 4 VWO**de materiaalkundige****mei 2014**

De toets bestaat uit 4 vragen. Voor iedere vraag is aangegeven hoeveel punten voor die vraag gehaald kunnen worden. In totaal kunnen er 9 punten worden behaald. Je krijgt 15 minuten voor het maken van deze toets.

Perovskiet kristalstructuur

Strontium ferrate (SFO) heeft de verhoudingsformule SrFeO_3 . Dit materiaal heeft een perovskiet kristal structuur.

- 3p **1** Als je uitgaat van SFO, leg met behulp van het tekenen van een kubus uit hoe we aan de verhoudingsformule SrFeO_3 komen.
- 2p **2** Wanneer we een materiaal hebben dat uit één kristal bestaat. Leg uit hoeveel pieken je verwacht te zien bij een XRD meting.

Poeder synthese

Je bent er uit! Je weet precies welk soort poeder je wilt gaan maken en wilt dit op grote schaal gaan doen en het liefst zo snel mogelijk. Voorwaarde is wel dat het een hoogwaardig poeder moet zijn dus met een hoge zuiverheid.

- 2p **3** Welke van de drie poederbereidingsmanieren ga je gebruiken en waarom juist deze?
- 2p **4** Zal het sinteren van het poeder makkelijker gaan wanneer de deeltjes klein of juist groot zijn? Leg uit waarom!

Toets expertgroepen 4 VWO**de chemisch analist****juni 2014**

De toets bestaat uit 4 vragen. Voor iedere vraag is aangegeven hoeveel punten voor die vraag gehaald kunnen worden. In totaal kunnen er 9 punten worden behaald. Je krijgt 15 minuten voor het maken van deze toets.

Verschillende niveaus van kijken

De chemisch analist doet belangrijk werk voor de materiaalkundige. De materiaalkundige wil graag weten hoe het gesynthetiseerde poeder er uit ziet op een micro- en mesoniveau. In de module heb je kennis gemaakt met verschillende technieken die je kunnen helpen om uitspraken te doen over je materiaal op micro- en mesoniveau. Deze technieken waren SEM, DLS en XRF.

- | | | |
|----|----------|---|
| 2p | 1 | Leg uit waarom het micro- en mesoniveau van belang zijn voor de materiaalkundige. |
| 3p | 2 | Welke techniek stel je voor om na te gaan wat de distributie van de deeltjesgrootte is in je poeder. Waarom is deze geschikt? |
| 1p | 3 | Waar staat de afkorting DLS voor? |
| 3p | 4 | Geef een korte beschrijving van de techniek achter DLS. Gebruik een tekening om je beschrijving te ondersteunen. |

9.3 Opdracht: Samenvatting maken

Samenvatting maken

Per expertgroep moet er een samenvatting ingeleverd worden. In de planner (zie module) kun je nagaan wanneer deze ingeleverd moet worden. De samenvatting moet, per expertgroep, per e-mail ingeleverd worden: s.f.p.tendonkelaar@utwente.nl. De begrippen die in de begrippenlijst van je expertise staan moeten in ieder geval goed en duidelijk beschreven staan in de samenvatting. Onthoud hierbij dat je de samenvatting voor je andere leden van je projectgroep schrijft. Gebruik de volgende tabel als hulpmiddel om je samenvatting te schrijven:

Checklist Samenvatting maken *	
1.	Een samenvatting (of uittreksel) schrijven is een verkorte weergave in je eigen woorden van de hoofdzaken van een tekst.
2.	Zorg dat je de stof waarover je samenvatting maakt heel goed begrijpt, anders zal het je niet lukken de kern goed samen te vatten.
3.	Probeer altijd tot de kern van de tekst te komen (vaak lees je die al in de eerste inleidende zinnen).
4.	Maak onderscheid tussen hoofdzaken en bijzaken en verwerk slechts de hoofdzaken in je samenvatting.
5.	Probeer je zelf vragen te stellen over de samen te vatten tekst (wie heeft de tekst met welk doel voor wie geschreven?).
6.	Lees de tekst eerst globaal of oriënterend en bepaal: - welk deel geeft de titel? - welk deel vormt de inleiding, middenstuk, slot en conclusie?
7.	Lees vervolgens de tekst intensief en bepaal en onderstreep de belangrijke onderdelen (of zet strepen in de kantlijn).
8.	Schrijf dan de samenvatting uit: - Geef eerst de titelbeschrijving, de tekst in een paar zinnen samengevat. - Formuleer vervolgens het onderwerp en de hoofdgedachte. - Voeg hoofdzaken toe als toelichting of argumentatie. - Maak er een vloeiend en zakelijk betoog in je eigen woorden van.
9.	Controleer je samenvatting: - is de samenvatting niet te lang? - kunnen er overbodige zinnen of delen weg? - ontbreken er nog belangrijke delen? - is formulering, spelling en interpunctie in orde? - kan een ander de tekst goed begrijpen?

* <http://www.checklistpagina.nl/checklist.php?cl=Samenvatting%20maken>

9.4 Opdracht: Concept map maken

Naam _____

Maak een concept map

Met de kennis die je op hebt gedaan in de module kun je, als een soort van samenvatting, een concept map maken. Met gegeven concepten (termen) kun je een logisch schema opstellen. Wanneer je de theorie uit module geleerd en begrepen is kun je dit schema snel en makkelijk opstellen, het is dus een soort van eigen check of je de hoofdlijnen van de theorie kent. In het voorbeeld zijn 6 termen genoemd met hieronder de bijbehorende concept map. Neem deze door en maak de opdracht **(uitwerken op pagina 3 en 4, niet in je schrift!)**

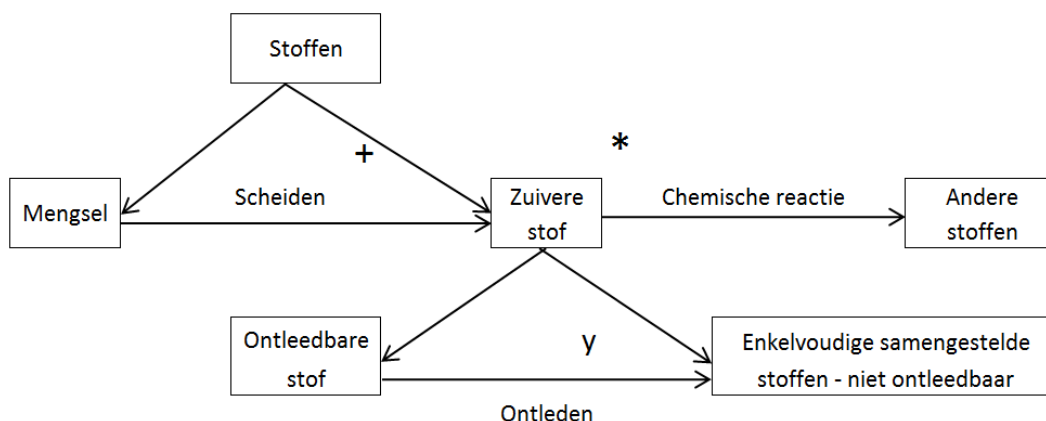
NB. In sommige gevallen is het nodig om het gaande proces op de pijl te schrijven, zie voorbeeld.

Voorbeeld

Termen

1. Stoffen
2. Mengsel
3. Zuivere stof
4. Ontleedbare stof
5. Niet ontleedbare stof
6. Andere stoffen

Concept map



-
- +) Gebruik maken van verschil in stoffeigenschappen (bijvoorbeeld destillatie).
 - *) Stoffeigenschappen blijven altijd hetzelfde.
 - y) Stoffeigenschappen veranderen.

Opdracht - maak een concept map

Aangezien er in het so over de expertise je eigen expertiseniveau al is getest gaat het er nu vooral om dat je inzichtelijk maakt dat andere expertises ook begrepen zijn. Je gaat 2 concept maps maken, je mag zelf kiezen welke, zolang het maar niet je eigen expertise is.

1. Begrippenlijst 'De procesontwerper'

Capaciteit
Kosten
Complexiteit
Fabrieksontwerp
Procescondities
Membraanmateriaal
Blok-schema
Investeringskosten

2. Begrippenlijst 'De materiaalkundige'

Materiaaleigenschappen
Citroenzuur/EDTA complexeringsreactie
Prestatie
Productie
Materiaalkunde
Kristalstructuur
Vaste stof reactie
Spray-pyrolyse

3. Begrippenlijst 'De procestechnoloog'

Chemische reactie
Membraanreactor
Reactoren
Poreuze membranen
Ionen geleiding
Membranen
Temperatuur
Dichte membranen

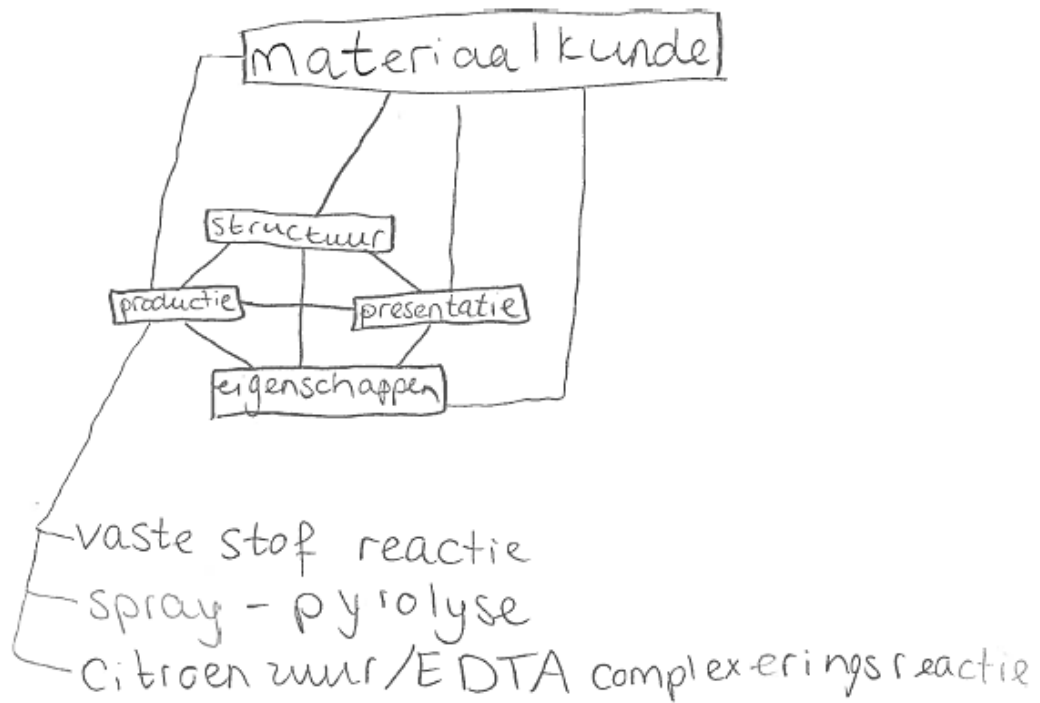
4. Begrippenlijst 'De chemisch analist'

analyse technieken
Dynamic light scattering (DLS)
Microniveau
Scanning electron microscopy (SEM)
X-ray fluorescence (XRD)
Mesoniveau
Elektrisch geleidend
Monochrome lichtbron

Resultaten concept map maken

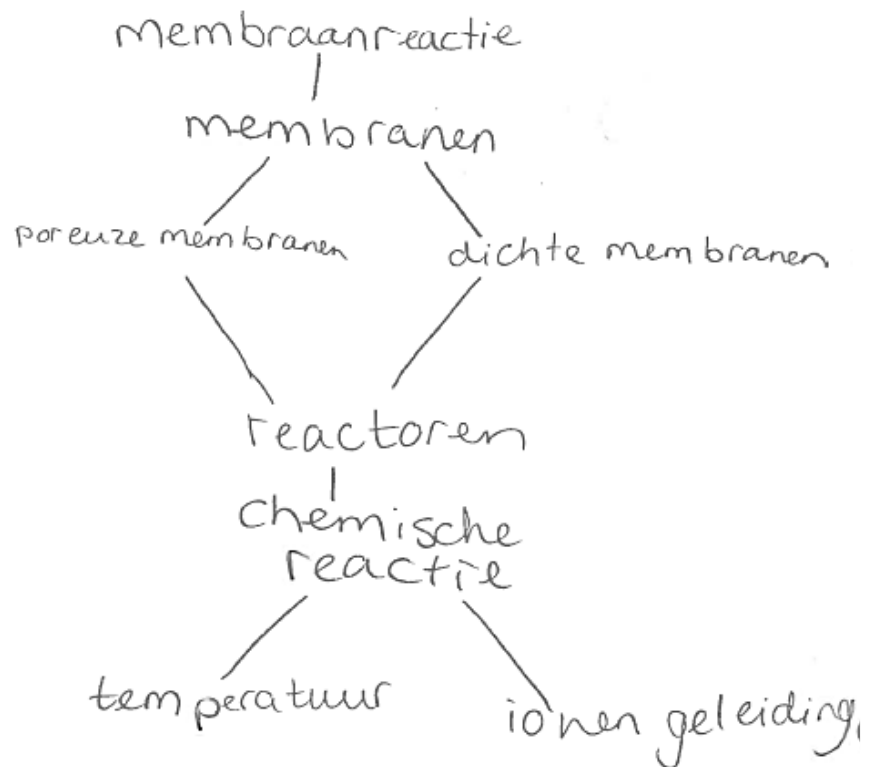
Leerling nummer 1, concept map 1

Concept map: De materiaal kundige



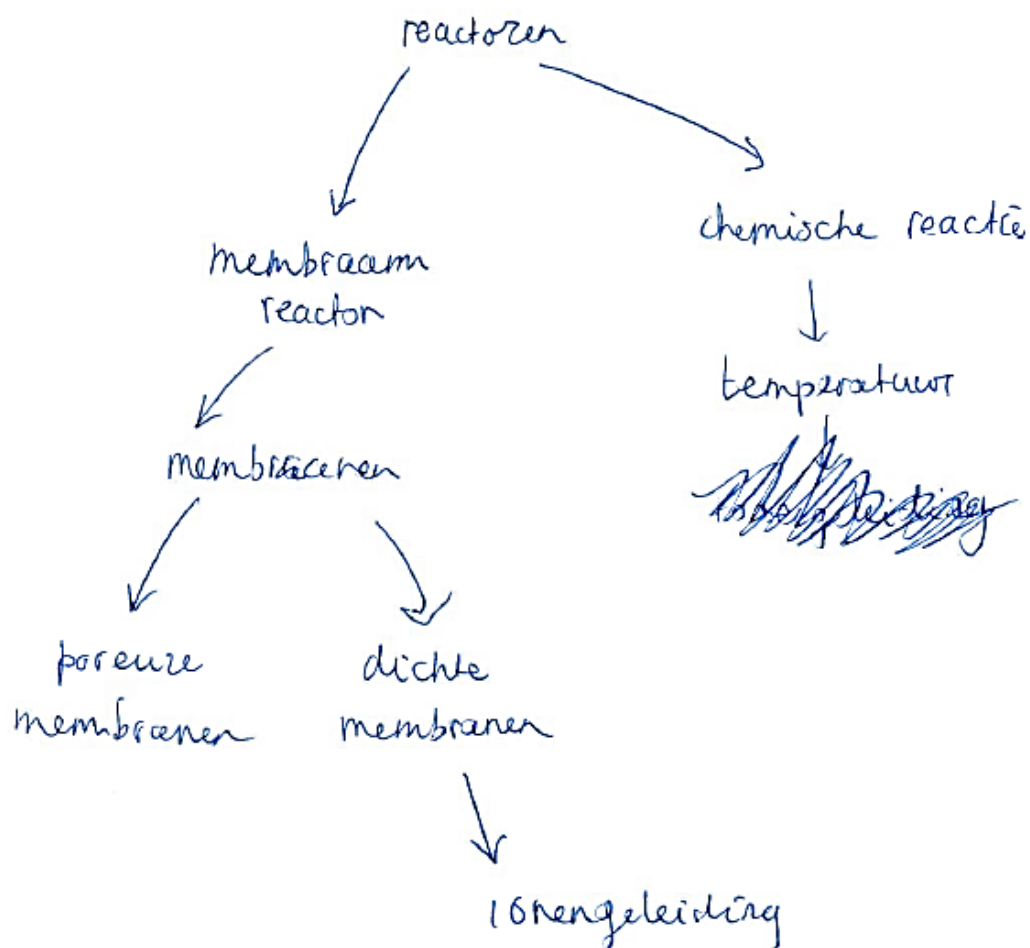
Leerling nummer 1, concept map 2

Concept map: De procestechnoloog



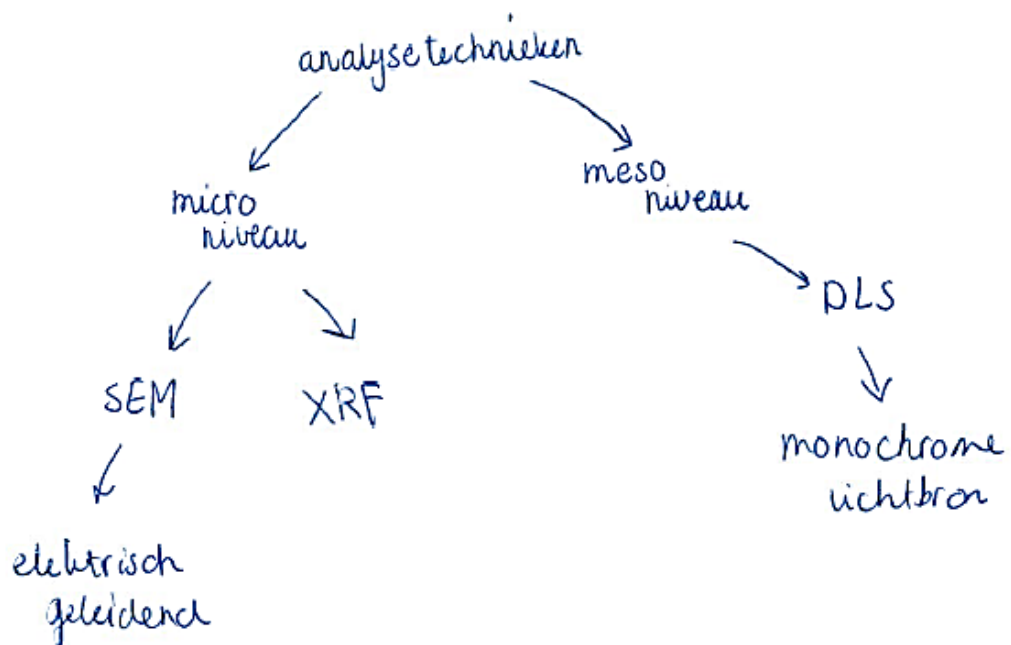
Leerling nummer 17, concept map 1

Concept map: de processtechnische technologie

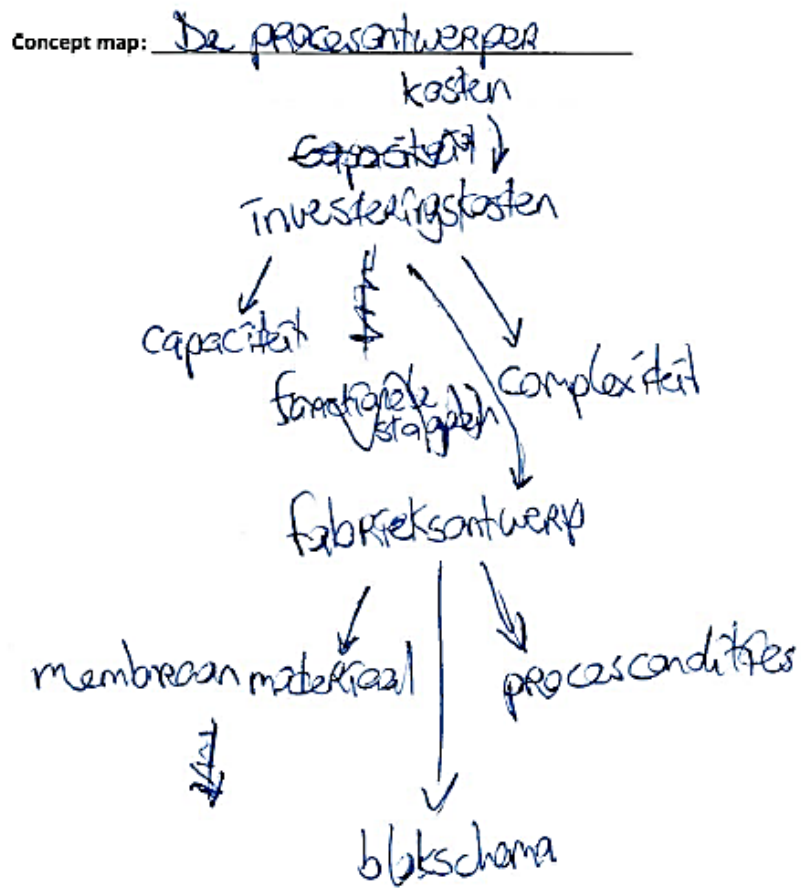


Leerling nummer 17, concept map 2

Concept map: chemisch analist



Leerling nummer 19, concept map 1



9.5 Vragenlijsten expertises en inhoud module

Module Brandstofproductie door membraantechnologie

juni 2014

1. Vragenlijst Uitleg Expertise

De onderstaande vragenlijsten hebben als doel om de uitleg van je collega experts in je projectgroep te beoordelen.

- Je moet 3 van de 4 vragenlijsten over de experts invullen.
- Het is van belang dat de naam van de door jou beoordeelde collega leerling op de vragenlijst vermeldt staat.
- 1 vragenlijst over de inhoud van de module.

De vragenlijst over de module heeft als doel om gebruikt te worden bij de reflectie op de module. Waar nodig kan de module aangepast worden aan gepaste opmerkingen

Het invullen van de vragenlijsten kost je ongeveer 10 minuten. Overal waar je 'zijn' of 'hij' leest wordt zijn/haar of hij/zij bedoeld.

Na het project worden de formulieren vernietigd en je naam zal absoluut niet gepubliceerd worden op welke manier dan ook. De vragenlijsten worden niet gebruikt om je te beoordelen.

1. Vragenlijst Uitleg Expertise

Naam expert: _____

Expertise: _____

1. Hoeveel kennis had de expert?

☐ veel ☐ redelijk veel ☐ voldoende ☐ onvoldoende

2. Was de expert gemotiveerd om uitleg te geven.

☐ altijd ☐ meestal wel ☐ meestal niet ☐ Nooit

3. Had de expert zin om vragen te beantwoorden over zijn expertisegebied?

☐ altijd ☐ meestal wel ☐ meestal niet ☐ Nooit

4. Kon de expert goed uitleggen?

☐ zeer goed ☐ goed ☐ voldoende ☐ onvoldoende

5. Kon de expert de uitleg ook in andere woorden uitleggen?

☐ altijd ☐ meestal wel ☐ meestal niet ☐ nooit

6. Hoe verliep de samenwerking met de expert?

☐ goed ☐ voldoende ☐ redelijk ☐ onvoldoende

7. Hoe beoordeel je het algemene functioneren van de expert, geef hierbij een score op een schaal van 1 – 10: _____

2. Vragenlijst Inhoud Module

Naam: _____

Eigen expertise: _____

	Helemaal mee eens	Eens	Helemaal mee oneens
1. Ik had voldoende voorkennis voor het het maken van deze module.	☐	☐	☐
2. Leren, zoals in deze module gedaan is, spreekt mij aan.	☐	☐	☐
3. De inhoud van de module vond ik interessant.	☐	☐	☐
4. De theorie was duidelijk en er waren goede opgaven beschikbaar.	☐	☐	☐
5. Het niveau van de opgaven was goed.	☐	☐	☐
6. Bij het maken van de opgaven werk ik graag samen met medeleerlingen.	☐	☐	☐
7. De samenwerking in onze projectgroep verliep goed.	☐	☐	☐

8. Hoeveel procent van de opgaven in de module heb je gemaakt?

☐ 0 – 20% ☐ 21 – 40% ☐ 41 – 60% ☐ 61 – 80% ☐ 81 – 100%

9.6 Samenvattingen expertises leerlingen

A - De Procesontwerper

In de tekst lees je wat een procesontwerper doet en wat procesontwerper zijn inhoud.

De taak van de procesontwerper is om een vaag of idee zo te schrijven dat het zal leiden tot een tevreden klant.

Het financieel aspect speelt hierbij een grote rol. Denk bijvoorbeeld aan de investeringskosten, fabriekskosten enz. dit zijn de investeringskosten.

Om een goede inschatting te maken van de kosten gebruikt de procesontwerper de formule

$$C = 8000 * N * Q^{0,615}.$$

Waarbij

C = totale investering in britse ponden

N = het aantal functionele stappen

Q = capaciteit van de fabriek

Dit is natuurlijk een grove schatting.

Als procesontwerper wil je een proces ontwerpen om synthesesgas te produceren door partiële oxidatie van methaan.

2 opties :

1. Uit lucht, zuurstof scheiden van stikstof door een destillatie techniek. En vervolgens die zuurstof in een reactor te laten reageren met methaan.

2. een membraanreactor gebruiken (lucht aanvoeren over het membraan → alleen zuurstof gaat door het membraan). Vervolgens zal de zuurstof reageren met het aangevoerde membraan.

De keuze is gevallen op optie 2. je stuit echter direct op een probleem (wat zou een geschikt membraan zijn etc.).

Een membraan moet een minimale zuurstof permeatie van $5,0 \text{ ml.min}^{-1}.\text{cm}^{-2}$ hebben om aantrekkelijk te zijn voor een commercieel productieproces. Dit betekent dat er per minuut, per cm^{-2} 5 ml zuurstof door het membraan gaat.

Je hebt de keuze uit verschillende poeders om je membraan van te maken. Bij het proces van partiële oxidatie zal ook wat CO_2 ontstaan (maakt het membraan kapot). Daarom worden CO_2 stabiliteitsmetingen gedaan. Dat houdt in dat je meerdere materialen hebt, als er één reageert met CO_2 zal de massa omhoog gaan door carbonaatformatie.

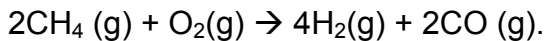
B - De Procestechnoloog

De taken van een procestechnoloog zijn, onder andere, de bediening en het ontwerpen van installaties in een fabriek. Alles in de fabriek moet zo optimaal mogelijk werken. Je bent als procestechnoloog geïnteresseerd in de prestaties van het membraan in de membraan-reactor, zowel naar de reactieomstandigheden en de permeabiliteit van het membraan.

Een membraan is een scheidingswand, waar bepaalde stoffen wel doorkunnen en andere niet. De prestaties van de membraanreactor kun je beïnvloeden met druk, temperatuur, hoeveelheden en chemische reacties. Hoe hoger de temperatuur, hoe meer druk. Dit is af te leiden uit de formule : $p \times V = nR \times T$.

Permeatie is de doorlaatbaarheid van het membraan. Je kan een blokschema maken van de reacties rond om het membraan, dit is een schematische tekening die laat zien wat erin gaat en wat eruit komt. Van een blokschema kun je vervolgens een massabalans maken, door de hoeveelheden van de stoffen erbij te zetten in mol/min. Je kunt de reactievergelijking gebruiken om de verhoudingen tussen de stoffen te berekenen en dus te weten hoeveel je van elke stof gebruikt. Conversie is de verhouding tussen de omgezette beginstof en de niet omgezette beginstof.

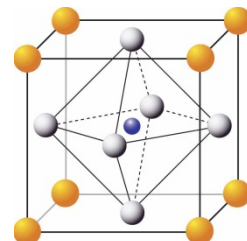
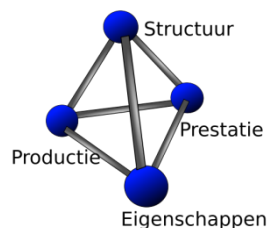
Omzetting van methaan naar CO en H₂ gaat als het volgt:



Deze reactie noemen we de partiële oxidatie van methaan.

C - De Materiaalkundige

Als materiaalkundige ga je te werk volgens de materiaalkunde tetraëder om de materiaaleigenschappen van dichte membranen te vinden. Dit klinkt heel moeilijk, maar dat is het eigenlijk niet. Een tetraëder is een piramidevorm alleen dan is het grondvlak een driehoek. Zie hieronder de afbeelding. Elk punt is één stap. Een materiaalkundige werkt dus met een vier stappenplan. Structuur, eigenschappen, prestatie en productie. Welke kristal structuur heeft het materiaal? Welke eigenschappen heeft het materiaal en is het geschikt als membraanmateriaal? En als laatste, hoe is het materiaal te maken?



De soorten materialen die van belang zijn zijn vaak oxides met een perovskiet structuur. Deze structuur schrijf je als ABO_3 . Hierbij zijn de A en B factoren niet stoffen, deze worden per stof ingevuld. Bijvoorbeeld bij SrTiO_3 (A=Sr B=Ti). De kubus heeft 8 strontium ionen (oranje) waarvan per ion 1/8 deel in de kubus zit. $8 \times 1/8 = 1$ Sr

(oftewel 1A). de 6 zuurstof ionen (wit) zitten per ion voor $\frac{1}{2}$ deel in de kubus, $6 \times \frac{1}{2} = 3$. er is één titaan ion (blauw/paars), dus 1 Ti (oftewel 1B). Soms zitten er fouten in een structuur. Je kan deze fouten gebruiken om een membraan te maken. Stel je voor dat de fouten in het rooster bestaan uit een tekort aan zuurstof ionen dan zullen er allemaal lege plekken in het rooster zijn waar deze ionen moeten zitten, de zogenaamde zuurstofvacatures. De zuurstofvacatures worden gebruikt om de ionen te transporteren, en daarom zal het membraan gasdicht moeten zijn, dus moleculair zuurstof en stikstof mogen niet door het membraan heen. Vandaar ook de naam, dicht membraan. Alleen zuurstof ionen kunnen door het membraan. Dit gaat als volgt: Een zuurstof molecuul hecht zich aan het membraan oppervlak, en splitst op in zuurstofatomen. Iedere zuurstofatoom neemt twee elektronen op, waardoor zuurstof ionen ontstaan. Deze zuurstof ionen kunnen via de zuurstofvacatures door het membraan heen.

Er zijn drie manieren om perovskiet poeder te maken, namelijk:

Vaste stof reactie:

Hierbij voeg je alle benodigde metaaloxides en metaalcarbonaten toe aan ethanol en meng je dit enkele uren. Na 48 uur wordt het ethanol verdampt, waardoor er een poeder ontstaat. Dit poeder zal een warmtebehandeling ondergaan, zodat het een perovskiet structuur krijgt. De zuiverheid van het perovskiet poeder is bij dit proces hoog, maar door de manier van mengen ontstaan er toch nog concentratieverschillen, waardoor de zuiverheid op hele kleine schaal niet maximaal kan zijn.

Spray-pyrolyse:

Hierbij worden metaalnitraten in de juiste verhoudingen opgelost in water. Vervolgens wordt de vloeistof in een oven "gesproeid", waardoor het water snel verdampt en er een poeder ontstaat met een zeer kleine korrel. De zuiverheid van het perovskiet poeder is bij dit proces zeer hoog en dit proces is zeer snel. Een nadeel is dat dit proces een vrij grote investering kent en dus alleen op grote schaal plaats kan vinden.

Citroenzuur/EDTA complexeringsreactie:

Hierbij wordt een oplossing van metaalnitraten in water gemaakt en hier wordt vervolgens EDTA (ethylenediaminetetra-azijnzuur) aan toegevoegd. De metaalionen vormen een complex met EDTA. M.a.w. ze worden hier aan gebonden. Bij verwarming tot het kookpunt zal er uiteindelijk alleen een substantie overblijven, waar de metaalionen zich in bevinden. Als de temperatuur hoog genoeg oploopt, zal er een spontane verbrandingsreactie plaatsvinden tussen het citroenzuur en de opgeloste nitraten. Hierdoor verbrandt het organische materiaal en blijft er een poeder over: het perovskiet poeder. Dit is een proces waarbij er eigenlijk geen concentratieverschillen zijn. Ook is het proces op zeer kleine schaal mogelijk, kent het geen hoge kosten en is het een redelijk snel proces.

Dichte membranen worden gemaakt door poeders met de perovskiet kristalstructuur in een vorm (bijvoorbeeld een schijfje) te laten persen en deze te sinteren. Sinteren is een warmtebehandeling om de poederdeeltjes samen te laten "smelten". Op die manier groeien de contactpunten van de poederdeeltjes naar elkaar toe, waardoor er een dicht materiaal kan ontstaan. Hoe makkelijk je iets kan sinteren hangt, onder anderen af van de grootte van de poederdeeltjes. Hoe kleiner de deeltjes hoe makkelijker en sneller het sinteren zal verlopen. Want hoe kleiner de deeltjes, hoe

hoger het contactoppervlak. Doordat er meer contact mogelijk is tussen de deeltjes is de sinteractiviteit hoger. Zonder het sinteren zullen deeltjes niet onderling gebonden zijn en kan de disk nooit gasdicht worden.

Je wilt graag weten of de kristalstructuur na het testen van je membraam hetzelfde gebleven is. Om dit te testen word gebruik gemaakt van Röntgendiffractie (XRD). Wanneer röntgenstraling op een (kristallijn)materiaal wordt geschoten dan zal deze straling afbuigen op het moment dat deze een kristal raakt. Door te kijken naar de verschillende hoeken kun je zien welk materiaal het is. de straling word opgevangen door een detector. bij een poeder heb je dus allemaal losse deeltjes en dus meer verstrooiing.

D - De Chemisch Analist

Wat is microniveau en mesoniveau?

We willen een dicht membraan van poeder met de perovskiet kristalstructuur hebben. De chemisch analist analyseert of het poeder daarvoor de juiste samenstelling en kristalstructuur heeft. Dat doet hij door te kijken naar de samenstelling op:

Microniveau: kijk je uit welke atomen/ionen het poeder bestaat en in de welke verhoudingen deze aanwezig zijn.

Mesoniveau: kijk je welke vorm de deeltjes van het poeder hebben.

Analyse technieken

De chemisch analist beantwoordt de vragen van de materiaalkundige. Hiervoor kan hij drie analyserende technieken gebruiken. Deze komen onder de volgende koppen aan bod.

Dynamic Light Scattering (DLS)

Waarvoor wordt DLS gebruikt?

DLS wordt gebruikt om de distributie (verdeling) van de grootte van de deeltjes in het poeder te analyseren.

Hoe werkt het?

Als eerste meng je het poeder met water totdat een suspensie ontstaat. Hier laat je een lichtbron doorheen schijnen. Hierbij wordt vaak een laser gebruikt, omdat deze een vaste golflengte heeft en dus een monochrome lichtbron is. Als je de lichtbron op de suspensie schijnt, zal het een deeltje raken en weerkaatsen. Wanneer het licht er aan de andere kant van de suspensie uit komt, zal het worden opgevangen door een detector. De intensiteit van het opgevangen licht verschilt met de tijd.

Als er kleine deeltjes in de suspensie zitten zal de kans groter zijn dat het licht een deeltje raakt dan wanneer er grote deeltjes in de suspensie zitten. Daarnaast is het belangrijk dat de suspensie een lage concentratie deeltjes heeft, omdat er bij veel deeltjes een grotere kans bestaat dat er meerdere deeltjes worden geraakt waardoor er belangrijke informatie verdwijnt.

Scanning Electron Microscope (SEM)**Waarvoor wordt SEM gebruikt?**

SEM wordt gebruikt om het oppervlak van een materiaal in beeld te brengen.

Hoe werkt het?

SEM (in het Nederlands rasterelektronenmicroscop) maakt gebruik van een elektronenbundel. Deze wordt op het materiaal uitgezonden. Hierbij worden elektronen op het materiaal afgeschoten. Daar reageren ze met de atomen van het materiaal. Hierdoor kunnen er twee dingen gebeuren: Er komen secundaire elektronen (SE) vrij uit de atomen. Deze kunnen dan in beeld worden gebracht door een detector. Ook kunnen de afgeschoten elektronen weer terugkaatsen. Dit zijn teruggestrooide elektronen (BSE). Met beide manieren kan een beeld worden gemaakt van het oppervlak van het materiaal. Het is wel belangrijk dat het materiaal elektrisch geleidend is. Als dit niet zo is, kan een goudlaagje op het materiaal worden aangebracht om het elektrisch geleidend te maken.

X-ray fluorescence (XRF)**Waarvoor wordt XRF gebruikt?**

XRF wordt gebruikt om de chemische elementen (en de hoeveelheden hiervan) in een materiaal te bepalen.

Hoe werkt het?

Er wordt röntgenstraling op het materiaal uitgezonden. Hierbij wordt een elektron in een lagere baan van een atoom weggeschoten uit het atoom. Daardoor is er een elektron in een hogere baan van het atoom dat een te hoog energieniveau heeft en daardoor terugzakt naar een lagere baan. Hierdoor komt er of een röntgen foton (straling) vrij of een zogenoemd Auger elektron. Voor elk soort atoom gebeurt of het één of het ander, maar voor XRF zijn alleen de fotonen van belang.

9.7 Eindtoets module

Proefwerk module 'Brandstofproductie door membraantechnologie 4 VWO juni 2014

De toets bestaat uit 11 vragen opgedeeld in 5 opgaven. Voor iedere vraag is aangegeven hoeveel punten voor die vraag gehaald kunnen worden. In totaal kunnen er 23 punten worden behaald. Je krijgt 45 minuten voor het maken van deze toets. Je mag gebruik maken van een rekenmachine en Binas.

Poederbereiding

Er zijn vele manieren van poederbereiding mogelijk. In de module worden 3 manieren van poederbereiding genoemd en de typische na- en voordelen per bereiding.

- 2p **1** Welke 2 manieren van poederbereiding zijn er naast de vaste stof reactie in de module beschreven?
- 2p **2** Geef een korte beschrijving van de poederbereiding via een vaste stof reactie.

Bij de poederbereiding wil je gebruik maken van, onder anderen, cerium(III) nitraat ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$). Je hebt 50 gram nodig, maar de leverancier kan dit alleen leveren als cerium(III) nitraat hexahydraat ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

- 3p **3** Bereken hoeveel gram cerium(III) nitraat hexahydraat je moet bestellen om uiteindelijk toch 50 gram cerium(III) nitraat over te houden?

Analyse technieken

In de module worden 4 analyse technieken genoemd om poeder te karakteriseren. Afhankelijk van het doel van de analyse bekijk je met deze technieken het poeder om micro- of meso schaal.

- 2p **4** Wat bedoelen we met de termen micro- en mesoniveau?
- 4p **5** Geef de namen (geen afkortingen!!!) van de 4 analysetechnieken en beschrijf, in enkele steekwoorden, wat je analyseert.

Je komt in discussie met iemand uit je projectgroep over SEM en DLS. Volgens je medeleerling meet je met beide technieken hetzelfde, alleen op een andere manier.

- 2p **6** Ben je dit met je medeleerling eens? Leg uit waarom je het er wel of niet mee eens bent.

De technicus heeft een Röntgendiffractie meting verricht op je poeder en wil het resultaat met je nabespreken. Je weet dat je bij dit type metingen eigenlijk niets anders doet dan het in kaart brengen van verschillende kanten (ook wel vlakken genoemd) van een kristalstructuur of kristalstructuren.

- 2p 7 Verwacht je bij je poeder één of meerdere pieken te zien en waarom verwacht je dit te zien?

Zuurstof door een gasdichte laag

Bij het scheiden van zuurstof uit lucht kan gebruik gemaakt worden van een gasdicht membraan. We kiezen ervoor om het membraan van poeder te maken met een perovskiet kristalstructuur.

- 3p 8 Beschrijf, met behulp van een tekening, het mechanisme van zuurstof transport door het gasdichte membraan.

CO₂ stabiliteit

Bij de partiële oxidatie van methaan komt geen koolstofdioxide vrij, maar als deze reactie niet helemaal goed verloopt dan kan dit wel het geval zijn (volledige oxidatie van methaan). Graag wil je nagaan wat er in dit geval gebeurt. Wanneer we uitgaan van het materiaal strontium(II)ferraat (SrFeO_3) en hier koolstofdioxide over heen laten stromen dan zal dit poeder reageren tot strontium(II)carbonaat en ijzer(III)oxide. Ook zal er bij deze reactie een gas ontstaan.

- 3p 9 Geef de reactievergelijking van de hierboven genoemde reactie.

Balansen

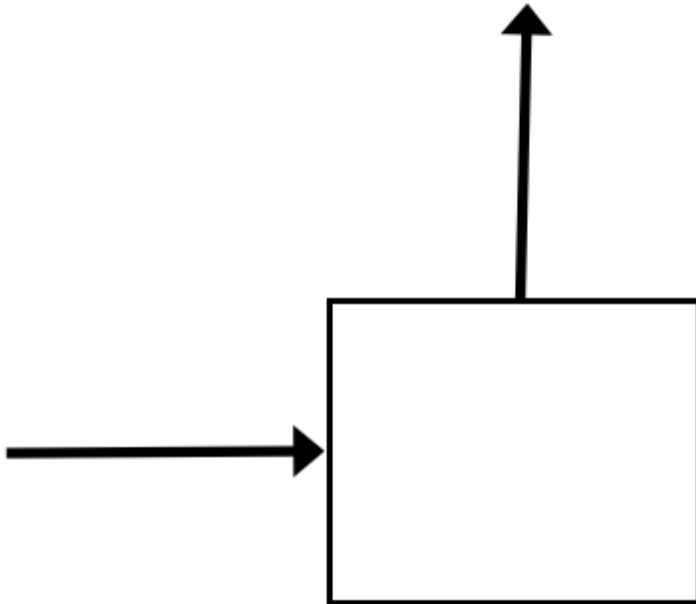
Uiteindelijk is er een membraan gemaakt met de juiste kristalstructuur en voldoende prestaties. Alles was tot nu toe nog op een laboratorium schaal maar je wilt nu echt verder naar een fabrieksontwerp. Bij het ontwerpen van een fabriek begin je met een blokschema van het proces. Hierbij vermeld je op de pijl de stroom van ieder component (in woorden of formules) en in het blok het aldaar verrichte proces.

- 2p 10 De partiële oxidatie van methaan is in een blokschema weer te geven. In de bijlage is dit blokschema gedeeltelijk weergegeven. Er ontbreken nog enkele pijlen en de namen/formules van de stoffen bij de pijlen. In de bijlage is dit blokschema nogmaals weergegeven. Maak het blokschema af door de juiste namen/formules bij de pijlen te plaatsen en ontbrekende pijlen toe te voegen.
- 2p 11 Stel, op basis van je blokschema, een massabalans op. De ingaande stroom methaan is hierbij 350 mol.uur^{-1} . Maak hierbij gebruik van het blokschema uit vraag 14 en het gedeeltelijk ingevulde blokschema in de bijlage.

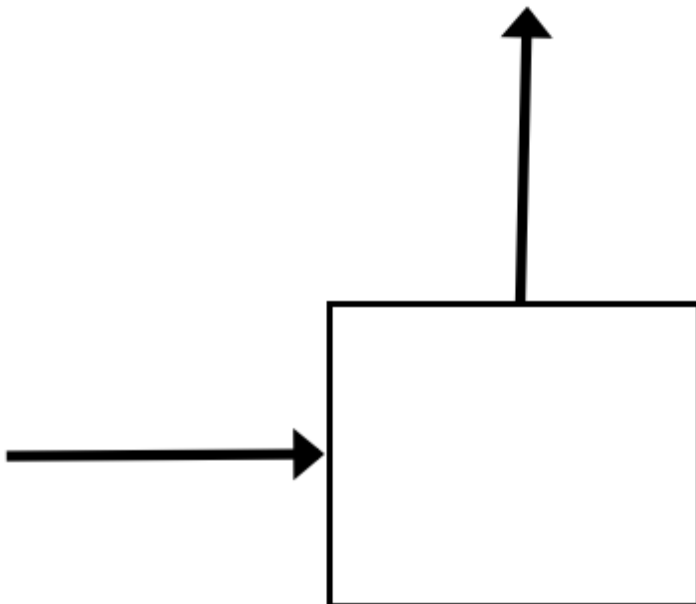
- Einde toets

Naam: _____

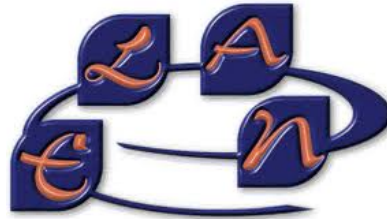
Vraag 14



Vraag 15



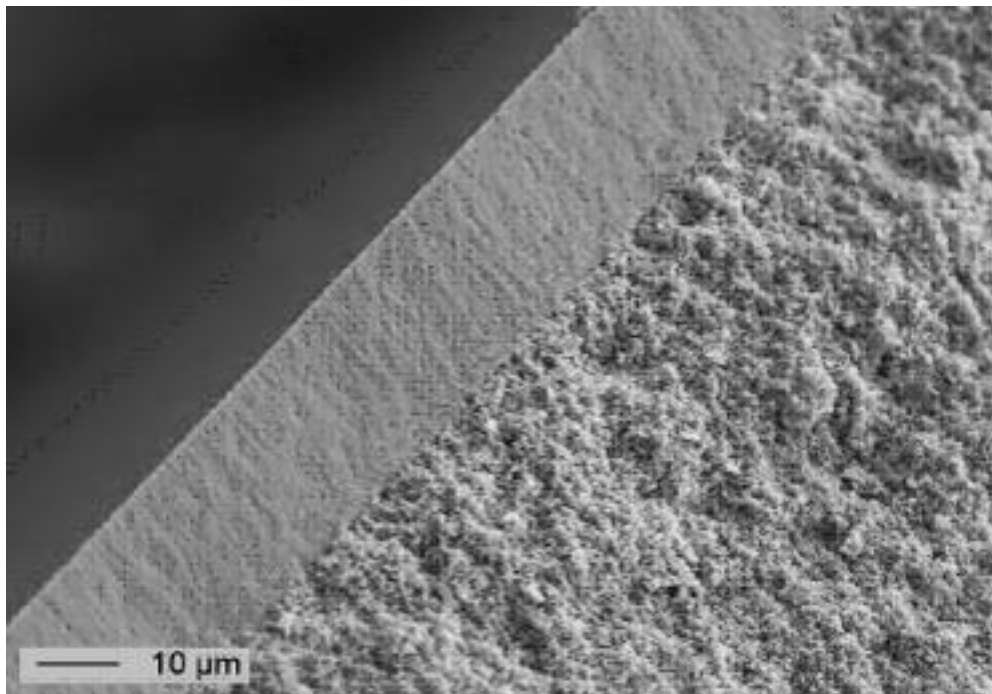
9.8 Module brandstofproductie door membraantechnologie



Module

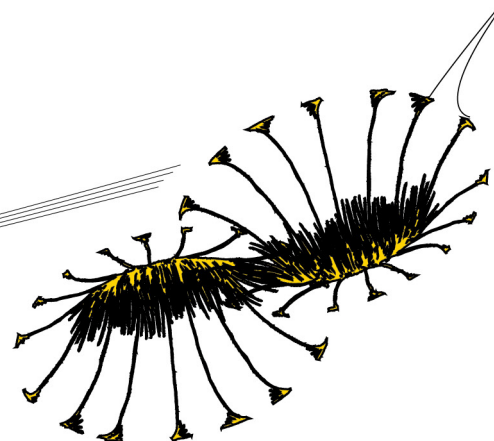
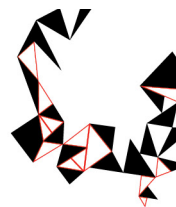
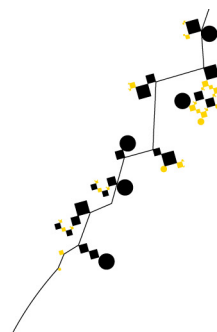
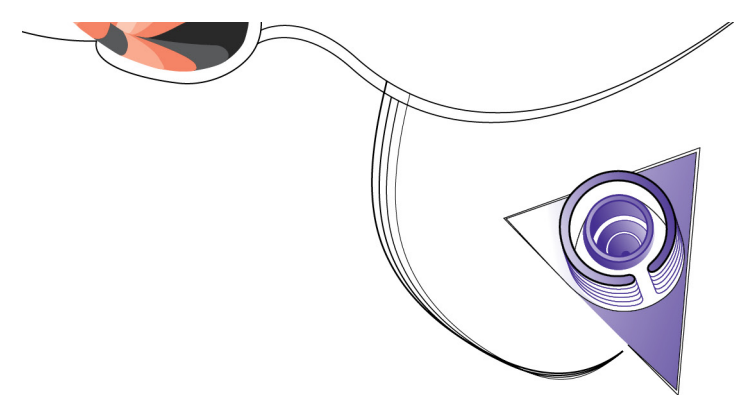
Brandstofproductie door membraantechnologie.

Zuurstof door een gasdichte laag.



Naam: _____

Klas: _____



Auteurs

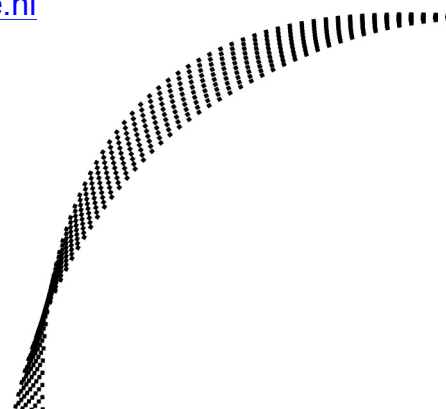
Ir. S.F.P. ten Donkelaar

s.f.p.tendonkelaar@utwente.nl

Dr. F.G.M. Coenders

Prof. Dr. A.J.A. Winnubst

Drs. W.J. Gradussen



Inhoudsopgave

PLANNING.....	59
INDELING PROJECTGROEPEN	60
OPZET MODULE.....	61
LEERDOELEN.....	62
PROCEDURE	62
TOETS MOMENTEN	62
1. INLEIDING	63
2. EXPERTGROEPEN.....	67
A. DE PROCESONTWERPER	68
B. DE PROCESTECHNOLOOG	72
C. DE MATERIAALKUNDIGE	76
D. DE CHEMISCH ANALIST.....	83
3. VRAGEN PROJECTGROEP	90
4. BIJLAGE(N)	96
A. KENNISKAART 1	97
B. KENNISKAART 2	99
C. CONCEPT MAP MEMBRAANTECHNOLOGIE	101

Planning

Lesnummer	Onderwerp van de les
1 woensdag 14/05/'14	- Inleiding module door de docent. - In de projectgroepen (waar je in begint) de inleiding uit de module doornemen met je groepsleden en de opgaven maken.
2 donderdag 15/05/'14	- Expertgroepen vormen en per expertise theorie uit de module behandelen en de hierbij behorende opgaven maken.
3 donderdag 22/05/'14	- Per expertise theorie uit de module behandelen en de hierbij behorende opgaven maken.
4 woensdag 28/05/'14	- Eerste 15 minuten: schriftelijke overhoring expertgroepen. - Overgebleven tijd: samenvatting maken en maandag 2/06/'14 per e-mail inleveren (1 per expertgroep).
5 woensdag 04/06/'14	- terugkeren naar je projectgroep en theorie en opgaven maken samen met de projectgroep.
6 donderdag 05/06/'14	- terugkeren naar je projectgroep en theorie en opgaven maken samen met de projectgroep.
7 woensdag 11/06/'14	- Afronden opgaven samen met de projectgroep - Laatste 15 minuten: concept map maken in tweetallen.
8 donderdag 12/06/'14	- Practicum dag Universiteit Twente
9 donderdag 19/06/'14	- Eindtoets module (Toetsweek)

Indeling projectgroepen

Indeling projectgroepen

Projectgroep 1

Projectgroep 2

Projectgroep 3

Projectgroep 4

Projectgroep 5

Projectgroep 6

Opzet module

Samenwerkend leren is een prima manier om zo goed mogelijk te leren in een bepaald tijdsbestek. Een bekend Afrikaans gezegde dat hierbij van toepassing is, is: *If you want to go fast go alone. If you want to go far, go together.*

In deze module werken we met projectgroepen. Het onderwerp van de module is vrij omvangrijk hierom delen we de module op in 4 sub onderwerpen. Iedereen in de projectgroep heeft een eigen onderwerp waar diegene zich op focust (een specialisatie). Het is de bedoeling dat iedere expert zijn eigen specialisatie overbrengt aan de andere groepsleden.

Fase 1 – Start in je eigen projectgroep.

1	2
3	4

1	2
3	4

1	2
3	4

1	2
3	4

Fase 2 – Vanuit de eigen projectgroep aan het werk in expertgroepen.

1	1
1	1

2	2
2	2

3	3
3	3

4	4
4	4

Fase 3 – Terugkeren naar je eigen projectgroep om je expertise te delen.

1	2
3	4

1	2
3	4

1	2
3	4

1	2
3	4

Fig. 1 – schematisch overzicht indeling projectgroepen

Zoals de titel van de module al doet vermoeden heeft het onderwerp te maken met membranen, om precies te zijn anorganische membranen. Het hoe en wat zal in de respectievelijke verdiepende hoofdstukken behandeld worden. Het onderwerp omvat concepten die je al bent tegengekomen in je scheikunde onderwijs. We gaan het hebben over toepassingen van membranen in de industrie en de weg hiernaar toe. Hierbij komen o.a. koolstofchemie, anorganische chemie, alternatieve brandstoffen en het nodige chemisch rekenen aan bod.

De verschillende experts in de groepen zijn:

- A. De procesontwerper
- B. De procestechnoloog
- C. De materiaalkundige
- D. De chemisch analist

Leerdoelen

Kennismaking met de materiaalkunde en procestechnologie door middel van het doorwerken van deze module waarbij samenwerking gestimuleerd en beloond wordt.

Procedure

Tijdens de eerste les moeten jullie zelf vaststellen wie welke expertise op zich gaat nemen. Als expert wordt er van je verwacht dat je weet waar je over praat. Je moet zorgen dat je zelf de stof goed begrijpt en ermee kunt werken, maar ook het geleerde aan je groepsgenoten doorgeven. Om vast te stellen of je de stof beheerst, als expert, zijn er enkele toets momenten voordat je terug gaat naar je projectgroep. Er is een schriftelijke overhoring over je expertise en je wordt beoordeeld op het maken van een samenvatting over je expertise voor je projectgroepsleden (zie begrippenlijst). Bij je terugkeer in je eigen projectgroep is er nog tussentijdse toets om de schriftelijk overhoring over de gehele module in de toetsweek te oefenen, deze noemen we in deze module een kenniskaart. Aan het einde van de module zal er een practicum dag zijn aan de Universiteit Twente. De vakgroep *Anorganische Membranen* zal hierbij een rondleiding en practica verzorgen om de module te versterken.

Toets momenten

Tijdens de module zijn er enkele momenten waarop je kennis getoetst zal worden, deze momenten zijn:

- Donderdag 22/05/2014 schriftelijke overhoring expertgroepen.
- Maandag 2/06/2014 samenvatting expertise, 1 per expertgroep.
- Woensdag 11/06/2014 concept map membraantechnologie
- Donderdag 19/06/2014 schriftelijke overhoring module

Het eindcijfer van de module is het gewogen gemiddelde van de twee schriftelijke overhoringen. Met de samenvatting en de concept map kan 1 bonuspunt behaald worden (0,5 punt per onderdeel). Bij twee of meerdere keren de module niet kunnen tonen in de les, 1 punt aftrek van het eindcijfer.

1. Inleiding

Begrippenlijst

Wat moet je kunnen en kennen na het doorwerken van deze paragraaf?

Je moet uitleg kunnen geven over.....

- wat synthesesgas is en wat de toepassingen zijn.
- wat een membraan is en de werking uit kunnen leggen met behulp van een tekening.
- welke, grofweg, twee type anorganische membranen we kunnen onderscheiden en waar de scheiding op berust.
- wat we met termen als voeding (feed), permeaat (permeate), permeabiliteit en selectiviteit bedoelen.

Membranen in de procestechnologie

In de procestechnologie wil men zo veel mogelijk produceren op een zo goedkoop mogelijke manier. De productie van synthesesgas (een mengsel van CO en H₂) is een van de vele voorbeelden van processen waarbij gekeken wordt naar goedkopere manieren van productie. Dit mengsel van CO en H₂ kan gebruikt worden om synthetische motorbrandstoffen mee te maken en in de ammoniaproductie. Vooral in gebieden waar men geen toegang tot oliebronnen heeft kan deze manier van brandstoffen produceren van belang zijn. Figuur 1.1 geeft enkele voorbeelden weer voor het gebruik van synthesesgas (noemen ze in de figuur synthesis gas).

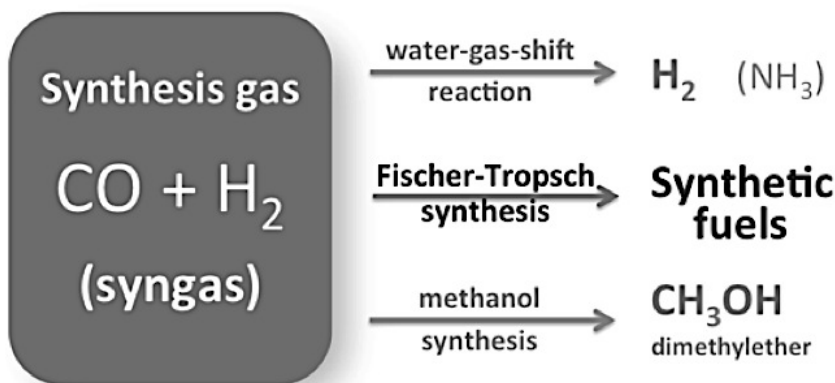


Fig. 1.1 - Enkele voorbeelden van het gebruik van synthesesgas

Synthese gas kan gemaakt worden door de partiële oxidatie van methaan. Hiervoor is pure zuurstof nodig die veelal via destillatie van lucht wordt verkregen. Bij dit synthese gas productieproces komen veel verschillende vakgebieden kijken, hierbij valt te denken aan materiaalkundigen en chemisch analisten die bepalen welke materialen gebruikt moeten worden en hoe maar ook in welke zuiverheid we deze moeten hebben. Op de grotere schaal zal er een procesontwerper en procestechnoloog aan te pas moeten komen die alles in goede banen kunnen opschalen (van een klein naar een groot proces).

Opgave 1.1: Voor welke toepassingen kun je synthesegas gebruiken?

Opgave 1.2: Je hebt al geleerd wat een oxidatie reactie is en hoe je hierbij een reactievergelijking op moeten stellen (denk aan de verbranding van aardgas). Hoe zal de reactievergelijking van de partiële oxidatie van methaan er uit zien? Ga dit na samen met je projectgroep.

Aangezien destillatie van lucht, om pure zuurstof te verkrijgen, hoge kosten met zich meebrengt is er veel onderzoek naar alternatieven voor het verkrijgen van pure zuurstof. Eén van de alternatieven is het gebruik van membranen waarbij alleen zuurstof door het membraan kan gaan.

Opgave 1.3: Membranen vinden hun toepassingen in het leven om je heen! Hoe zou je kort de werking van een membraan kunnen omschrijven? Noem enkele voorbeelden waarbij membranen worden toegepast.

De kans is groot dat het bij de genoemde voorbeelden in opdracht 1.3 om organische membranen gaat. Deze zijn, over het algemeen, goedkoop en gemakkelijk te produceren. Probleem hierbij is dat deze membranen slecht presteren bij een hoge druk en temperatuur. Zo slecht zelfs dat ze gelijk kapot gaan. Anorganische membranen hebben hierbij het voordeel dat ze veel sterker zijn en hierdoor onder hogere druk en temperatuur nog steeds gebruikt kunnen worden. Je kunt je vast voorstellen dat dit in de procestechnologie een groot voordeel kan zijn. Chemische reacties worden in deze branche vaak bij hoge temperaturen (hoger dan 500 °C) en hogere druk (meer dan 20 bar) uitgevoerd. De term membraan zal niet nieuw zijn maar om je kennis even weer op te halen: Een membraan is eigenlijk niets anders dan een “scheidingswand” tussen twee ruimtes waarbij bepaalde stoffen wel door deze

“scheidingswand” kunnen gaan en anderen niet. Je zou dit dus eigenlijk ook een hoogontwikkeld filter kunnen noemen. In de anorganische membraan technologie is, grofweg, een tweedeling te maken tussen de types membranen: **Poreuze membranen** en **dichte membranen**. Figuur 2 laat een voorbeeld van een poreus membraan zien. In deze tekening bedoelen we met **Feed** niet voeding in de letterlijke zin (wat we eten) maar het te scheiden mengsel (gassen, vloeistoffen, etc.), **Permeate** (permeaat) is hierbij de “schone” stroom materiaal (wat we eruit wilden “filteren”). Zoals te zien is in deze figuur, zal er altijd iets van de stof die je niet wilt hebben meegaan door het membraan. De hoeveelheid (per minuut en per membraanoppervlak) die er aan stof door het membraan gaat wordt de **permeabiliteit** genoemd. Wanneer we de permeabiliteit van stof A relateren aan de permeabiliteit van stof B dan kunnen we een uitspraak doen over de efficiëntie waarmee het membraan deze stoffen kan scheiden. In de membraantechnologie noemen we dit de **selectiviteit** van het membraan. Wanneer er 3 keer zoveel deeltjes A door het membraan gaan ten opzichte van de deeltjes B dan zeggen we dat de selectiviteit 3 is. De selectiviteit is afhankelijk van de samenstelling van het mengsel aan beide kanten van het membraan, een temperatuurverschil, een druk verschil, maar ook van het verschil in grootte tussen de deeltjes. Dit noemen we ook wel de **drijvende kracht**. Is er een groot verschil in deeltjes grootte tussen de stoffen dan kun je deze, over het algemeen, gemakkelijker scheiden dan wanneer deze dicht bij elkaar liggen. Wanneer we spreken over een verschil dan wordt vaak de Griekse (hoofd) letter delta, Δ , gebruikt. Waarom gebruiken we de term? Dit geeft, in ons geval, aan dat het over een verschil gaat tussen de beide kanten van het membraan. Gaan we, bijvoorbeeld, uit van een hoge delta druk (ΔP) dan geeft dit een drukverschil aan tussen de beide kanten van het membraan. Een hoge delta druk (ΔP) zal inhouden dat de deeltje veel meer het “gevoel” hebben dat ze door het membraan worden gedrukt.

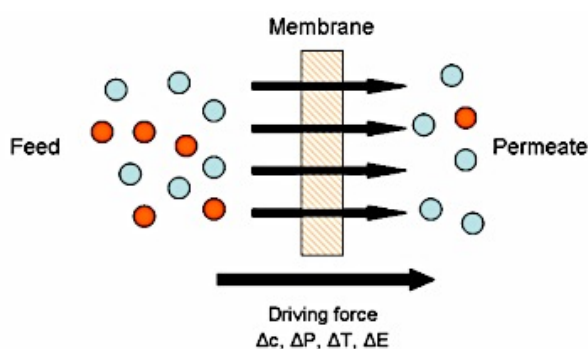


Fig. 2 – Poreus membraan

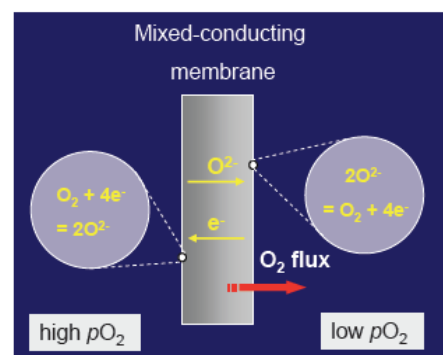


Fig. 3 – dicht membraan

Naast poreuze membranen zijn er ook dichte membranen. Dicht? Ja! Tot wel 100% dicht is mogelijk. In de praktijk is dit normaliter tussen de 95 en 100%. Dit zal tegen je gevoel in druisen want hoe kun je een 100% dicht materiaal gebruiken in de membraantechnologie? Dichte membranen vinden hun toepassing in gasscheidingen waarbij zuurstof of waterstof gescheiden moeten worden van andere gassen. Het

principe hierachter berust op elektrochemische reacties. Bij deze membranen is het alleen mogelijk dat of zuurstofionen of waterstofionen door het membraan gaan (afhankelijk van het type membraan). De scheiding berust dus niet op een verschil in deeltjesgrootte zoals bij poreuze membranen. In deze module gaan we verder in op de dichte membranen.

Opgave 1.4: Een membraan leverancier heeft een poreus membraan ontwikkeld waarvan hij beweert dat de H_2/CH_4 selectiviteit een waarde kan hebben van 1000 bij een temperatuur van 100 tot 350 °C. Aangezien jij al wat meer weet van membranen ben je onder de indruk van deze selectiviteit. Leg in één zin aan een leek uit wat de leverancier beweert, gebruik makend van de termen H_2 en CH_4 moleculen.

Opgave 1.5: Leg uit wat we met een drijvende kracht bedoelen in de membraan technologie.

Opgave 1.6: Graag willen we een dicht, zuurstof geleidend, membraan gebruiken om uit lucht zuurstof van stikstof te scheiden wat is de O_2/N_2 selectiviteit bij zo'n membraan?

2. Expertgroepen

A.	De procesontwerper		Blz. 13
B.	De procestechnoloog		Blz. 17
C.	De materiaalkundige		Blz. 21
D.	De chemisch analist		Blz. 28

A. De procesontwerper

Begrippenlijst

Wat moet je kunnen en kennen na het doorwerken van deze paragraaf?

Je moet uitleg kunnen geven over.....

- wat de taak van een procesontwerper is.
- wat investeringskosten zijn. Wat valt hier allemaal onder?
- hoe je investeringskosten kunt afschatten en dit toe kunnen lichten aan de hand van een voorbeeld.
- wat een blokschema is en hoe je dit moet toepassen.
- hoe je beslissing tot stand is gekomen bij de keuze van het te gebruiken membraan materiaal.
- Hoe je bepaalt hoeveel membraan oppervlak je nodig hebt voor een bepaalde membraan toepassing.

Als procesontwerper sta je aan het hart van het ontwikkelingsproces. Een idee begint en eindigt bij jou! In je projectgroep is het dan ook de meest logische keuze dat jij de voorzittersrol invult. Volgens Chaddock (1975) is het de taak van een procesontwerper om een “vaag” omschreven idee zo te herschrijven en te ontwikkelen dat dit zal leiden tot een tevreden klant. Je begint met het ontwikkelingsproces door na te gaan wat de relevante basiseisen zijn en welke gegevens je hier voor nodig hebt. Het financiële aspect speelt hierbij een grote rol; waarom iets veranderen of aanpassen als dit geen kostenbesparingen met zich mee brengen? Als procesontwerper moet je al vroeg in het ontwikkelingsproces de kosten in te kunnen schatten van het te ontwikkelen project. Om een gevoel van de kosten te krijgen is de ‘*step counting method*’ een goede manier om op een snelle manier een grove schatting te maken van de kosten voor het ontwikkelen en bouwen van een fabriek. Bij deze manier van werken gaan we er vanuit dat de **investeringskosten** vooral worden beïnvloed door essentiële factoren in het productieproces. Je kunt hierbij denken aan de complexiteit van het gehele proces, de capaciteit (hoeveel wil je produceren?), gebruikte materialen, de temperatuur en druk. Ingenieurs proberen zoveel mogelijk gebruik te maken van kerngetallen om snel afschattingen te kunnen maken van diverse dingen, dus ook bij de afschatting van de kosten om een fabriek te bouwen. Hierbij zal gelden, vergelijking 1.1:

$$C = 8000 * N * Q^{0.615}$$

verg. A.1

In deze vergelijking is C de totale investering, in Britse ponden. N en Q zijn, respectievelijk, het aantal functionele stappen (bijv. reactoren) en de capaciteit van de fabriek (productie in ton per jaar). Zoals je waarschijnlijk wel zult verwachten is deze manier van een kosteninschatting maken zeer grof, maar is vooral aan het begin van het ontwerpproces zeer waardevol wanneer je, bijvoorbeeld, een keuze moet maken uit meerdere processen waarbij hetzelfde geproduceerd kan worden. Naast het

bouwen van een fabriek komen ook kosten kijken die betrekking hebben op onderhoud van de fabriek, bedrijfsuren (uren die de fabriek “draait”), laboratorium kosten, managementkosten, afschrijving van de fabriek, belastingen en verzekeringen.

Als procesontwerper wil je graag een proces ontwikkelen om synthesegas ($\text{CO} + \text{H}_2$) te produceren door partiële oxidatie van methaan met zuurstof. Er zijn twee opties om dit te gaan doen: Optie 1) zuurstof scheiden van stikstof (uit lucht) door een destillatie techniek en deze zuurstof in een reactor te laten reageren met methaan. Optie 2 is om een membraanreactor te gebruiken; hierbij zal lucht aangevoerd worden over het membraan, alleen zuurstof zal door het membraan gaan (waarom? Overleg dit later in de module met de materiaalkundige van je projectgroep!). Aan de permeatie kant (Engels: permeate) van het membraan zal de zuurstof reageren met de aangevoerde methaan.

Opgave A.1: Zoals je in de derde klas al bent tegengekomen zijn de twee genoemde opties uit te werken in blokschema's. Maak samen met de leden van je expertgroep blokschema's van de twee opties; wat gaat er in en wat gaat er uit? Gebruik de lege bladzijde hiernaast voor het tekenen van je blokschema's.

Opgave A.2: Maak, op basis van vergelijking 1.1, een inschatting van de kosten van optie 1 en optie 2 voor het bouwen van een fabriek. Ga hierbij uit van een capaciteit van 100.000 ton per jaar ($\text{CO} + \text{H}_2$) en een wisselkoers van 1,00 Britse pond = 1,50 Euro.

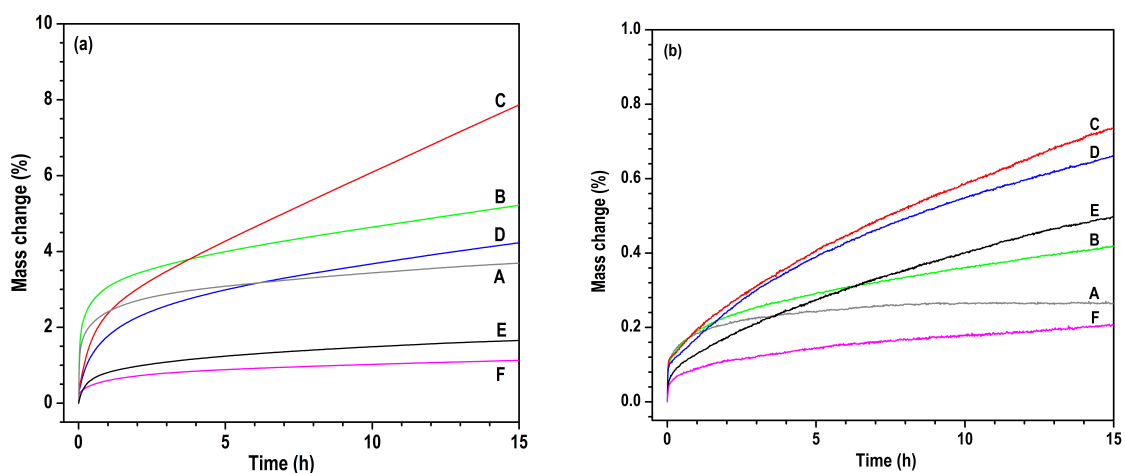
Opgave A.3: Noem naast de kosten voor het bouwen van de fabriek nog minimaal vier kostenposten die van belang zijn bij het productieproces.

Samen met de procestechnoloog is de keuze gevallen op optie 2: de membraanreactor. Je loopt gelijk al tegen een probleem aan, wat zou een geschikt membraan zijn voor zo'n membraanreactor? Hierbij moet je niet gelijk al gaan denken aan stofsysteemen (waar is het membraan van gemaakt?) maar aan de eigenschappen. Enkele eigenschappen van de te gebruiken membranen zijn: de zuurstofpermeatie, de te gebruiken temperatuur, de stabiliteit onder de gestelde omstandigheden, etc. Vanuit de literatuur ben je tegengekomen dat een membraan minimaal een zuurstof

permeatie van $5,0 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ moet hebben om aantrekkelijk te zijn voor een commercieel productieproces. Aangezien het gebruikte oppervlakte van je membraan, en dus van je reactor, ook de prijs van je product bepaalt wil je graag weten hoe groot je membraan zou moeten zijn bij een bepaalde gestelde capaciteit.

Opgave A.4: Wanneer we uitgaan van de partiële oxidatie van 100.000 ton per jaar methaan met een conversie van 100%, wat is dan het benodigde membraanoppervlak, in m^2 , in deze reactor? De reactie zal plaatsvinden bij 700°C , bij deze temperatuur heeft 1 mol gas een volume van 79,85 L.

Als procesontwerper heb je de keuze uit verschillende poeders, met een perovskiet kristalstructuur, waar je membranen van kan maken. Bij de partiële oxidatie van methaan zal ook een kleine hoeveelheid koolstofdioxide ontstaan (volledige oxidatie) die je membraan kapot maakt. Een weloverwogen keuze met betrekking tot het te gebruiken membraanmateriaal is essentieel. CO_2 stabiliteitsmetingen worden uitgevoerd met een super gevoelige weegschaal en een stroom CO_2 . Wanneer het materiaal reageert met CO_2 dan zal de massa van het te testen perovskiet omhoog gaan door carbonaatformatie. In de onderstaande grafieken staan de resultaten van deze metingen uitgezet voor 4 verschillende perovskiet poeders bij 6 verschillende temperaturen. Zoals je kunt zien zijn we hier uitgegaan van de algemene samenstelling strontium ferrate, $\text{SrFeO}_{3-\delta}$. Een klein deel van de strontiumionen of een klein deel van de ijzerionen hebben we vervangen door een ander metaal ion. Binnen de membraantechnologie noemen we dit een dotering op, respectievelijk, de A-plaats of de B-plaats van het perovskiet kristal. Een dotering kan er, onder anderen, aan bijdragen dat het perovskiet materiaal minder kwetsbaar wordt met betrekking tot carbonisatie.



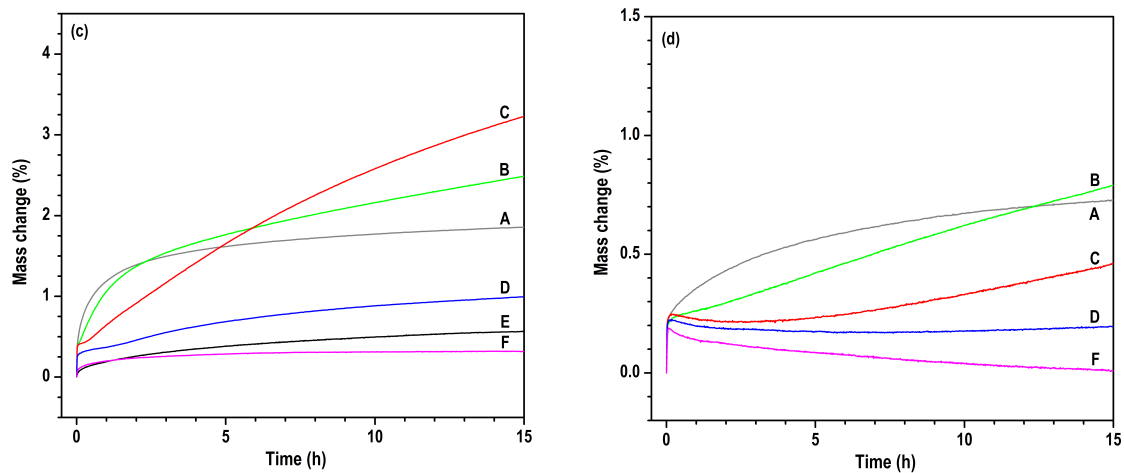


Fig. A.1. (a) $\text{SrFe}_{0.9}\text{Al}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$, (b) $\text{SrFe}_{0.9}\text{Ti}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$, (c) $\text{Sr}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{FeO}_{3-\delta}$, (d) $\text{Sr}_{0.9}\text{Ce}_{0.1}\text{FeO}_{3-\delta}$ in 25% CO_2 + 75% Ar bij verschillende temperaturen: (A) 600°C, (B) 650°C, (C) 700°C, (D) 750°C, (E) 800°C, (F) 850°C

Opgave A.5: Vanuit de literatuur is duidelijk geworden dat perovskiet membranen het beste presteren bij 800 °C. Stel, op basis van bovenstaande grafieken, twee materialen voor die geschikt zijn voor gebruik in de membraanreactor. Waarop heb je deze keuze gebaseerd?

Opgave A.6: Wanneer we uitgaan van het materiaal strontium ferraat en hier CO_2 gas over heen laten stromen dan zal dit poeder reageren tot strontium carbonaat en ijzer(III)oxide. Hoe zal de reactievergelijking er van deze reactie er uit zien? Hoe heet dit type reactie?

B. De procestechnoloog

Begrippenlijst

Wat moet je kunnen en kennen na het doorwerken van deze paragraaf?

Je moet uitleg kunnen geven over.....

- de taken van een procestechnoloog
- hoe je de prestaties van een membraanreactor kan beïnvloeden.
- hoe je een blokschema op moet stellen en hoe dit is uit te breiden tot een massabalans.
- drukopbouw in een reactor bij een veranderende temperatuur.

Als procestechnoloog ben jij verantwoordelijk voor het ontwerp en de bediening van chemische installaties in een fabriek. Eigenlijk ben je, op apparatuur niveau, een soort architect van een fabriek. Een verantwoordelijke baan waarbij je je geen fouten kan veroorloven. Jij bent, in jouw functie, vooral geïnteresseerd in de prestaties van het membraan in de membraanreactor. Dingen die jij graag wilt weten zijn onder anderen:

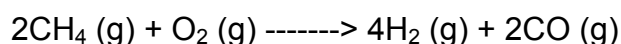
1. De reactieomstandigheden (chemische reacties, druk, temperatuur, hoeveelheden)
2. De permeabiliteit van het membraan



Fig. B.1 – voorbeeld chemische fabriek

Bij het goed uitvoeren van jouw werk komt het nodige chemische rekenen kijken. Ga maar na; hoe kunnen we bij een chemische reactie, bijvoorbeeld, bepalen of de druk omhoog gaat in een gesloten reactorvat? Of, hoeveel beginstof heb ik nodig voor een gewenste hoeveelheid product? Zo zou je nog enkele voorbeelden kunnen bedenken, maar voor nu kijken we naar het uitwerken van de punten 1 en 2. Je hebt met de manager van de fabriek gesproken en die laat weten dat hij graag synthesegas (een mengsel van CO en H_2) wil produceren. Synthegas is te gebruiken in het **Fischer-Tropsch proces**. In dit proces kunnen synthetische koolwaterstoffen worden gemaakt

en als alternatief voor het gebruik van aardolie bij het produceren van brandstoffen. Een andere toepassing is de **productie van ammonia**. De chemische reactie die bij omzetting van methaan naar CO en H₂ zal gelden is:

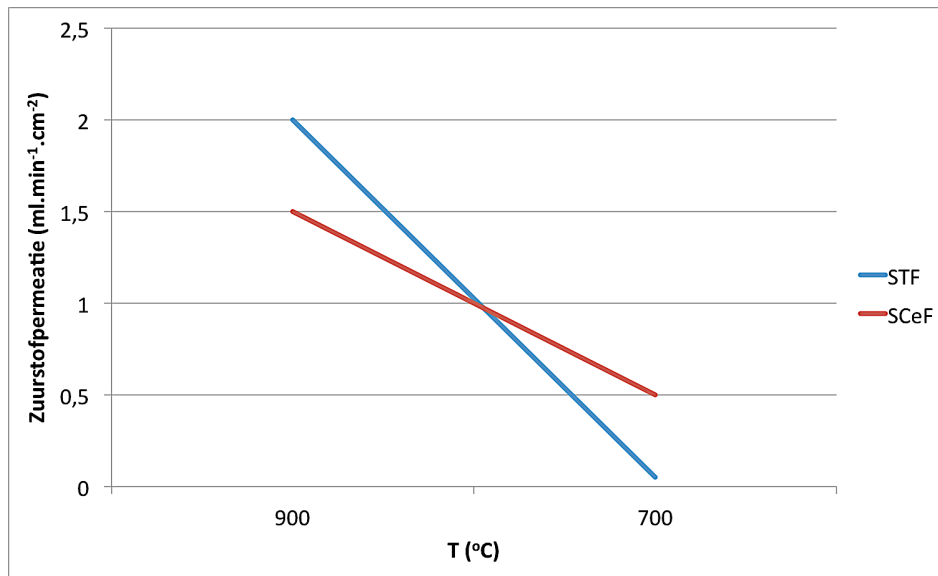


rv. B.1

Deze reactie noemen we de partiële oxidatie van methaan. Aangezien er pure zuurstof nodig is bij deze reactie wil je aan de permeatie kant van je membraan de chemische reactie plaats laten vinden. Doordat de membraanreactor een afgesloten vat is kun je aannemen dat het volume van dit “vat” hetzelfde blijft. Wanneer de temperatuur omhoog gaat dan zal een gas uitzetten (zie ook Binas tabel 7A). Onder aanname van de ideale gaswet (ga zelf na wat deze ook al weer was) kan aangenomen worden dat wanneer de temperatuur verandert, het product van de druk en volume ook verandert. Ook kun je zien in reactievergelijking B1 dat de hoeveelheid gasmoleculen verandert; je begint met 3 mol maar eindigt met 6 mol. Dit heeft ook invloed op het product van de druk en volume. Aangezien een volumeverandering niet mogelijk is in onze situatie zal de druk omhoog gaan, hierdoor is er een directe relatie tussen de temperatuur in het “vat” en de druk van de gassen.

Het komt in de chemische industrie maar weinig voor dat chemische reacties volledig verlopen. Niet alle beginstoffen zullen weg reageren. De verhouding tussen de omgezette beginstof en niet omgezette beginstof wordt de **conversie** genoemd. Bij bovenstaande reactie zijn conversies bekend van hoger dan 90%, ten opzichte van methaan.

De materiaalkundige in jouw projectgroep is van mening dat twee materialen van belang zijn bij de scheiding van zuurstof uit lucht, deze noemt hij STF en SCeF. Wat deze afkortingen precies inhouden is voor jouw taak minder van belang aangezien jij vooral geïnteresseerd bent in de prestaties van dit materiaal als membraan materiaal. Als verkennend onderzoek test je de prestaties van zowel STF als SCeF. De resultaten van je onderzoek staan in onderstaande grafiek. Overleg met de leden van je expertgroep wat deze grafiek weergeeft.



Grafiek B.1 – resultaten vooronderzoek

Opgave B.1: Zoals je in de derde klas al bent tegengekomen is de informatie op bladzijde 16 en 17 uit te werken in een blokschema. Maak samen met de leden van je expertgroep een blokschema van de membraan reactor; wat gaat er in en wat gaat er uit? Gebruik de lege bladzijde hiernaast voor het tekenen van je blokschema.

Opgave B.2: Het blokschema is uit te breiden tot een zogenaamde massabalans. Eigenlijk is dit niet anders dan chemische hoeveelheden, die voortkomen uit de reactievergelijking, invullen in je blokschema. Het onderstaande figuur geeft een voorbeeld van de vorming van water uit waterstofgas en zuurstof.

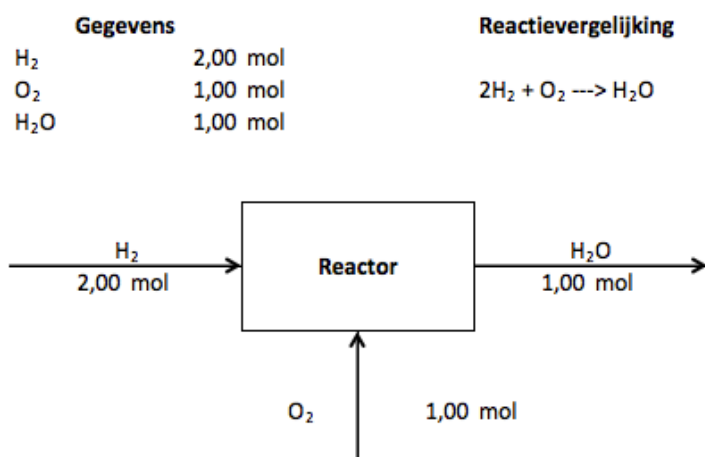


Fig. B.2 – voorbeeld massabalans

Maak op een zelfde manier een massabalans voor de partiële oxidatie van methaan bij 800 °C en een methaan conversie van, respectievelijk, 80% voor een STF membraan en 90% voor een SCeF membraan. Je mag hierbij aannemen dat het membraan een oppervlakte heeft van 100 cm². Welke van deze membranen heeft de hoogste productie synthesesgas? Welk membraan adviseren jullie en waarom?

Opgave B.3: Werk opgave B.2 ook uit met behulp van Excel, zie procedurekaart 1. Mail het Excel bestand door naar de docent voor woensdag 28/05/2014. Beschrijf hieronder hoe je te werk bent gegaan.

C. De Materiaalkundige

Begrippenlijst

Wat moet je kunnen en kennen na het doorwerken van deze paragraaf?

Je moet uitleg kunnen geven over.....

- wat we bedoelen met de materiaalkunde tetraëder.
- wat een perovskiet structuur is.
- Hoe zuurstof ionen door een dicht membraan gemaakt van perovskiet materiaal kan gaan.
- Sinteren van poeders.
- Verschillende methodes om perovskiet poeder te kunnen maken.
- Röntgen diffractie (XRD).

De materiaalkundige zal zich, na overleg met de belanghebbende partijen, vooral richten op de materiaaleigenschappen van de dichte membranen. Hierbij valt te denken aan, 1) welke (kristal)structuur heeft het materiaal, 2) welke eigenschappen heeft dit materiaal, 3) is het geschikt als membraanmateriaal (prestatie) en 4) hoe is het te maken (productie). Figuur C.1 vat dit samen in de zogenaamde **materiaalkunde tetraëder**.

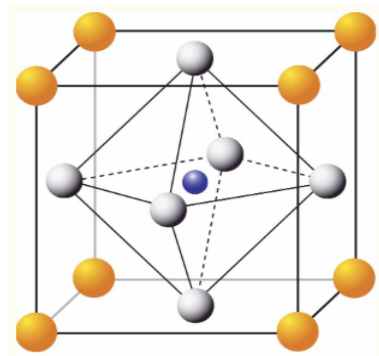
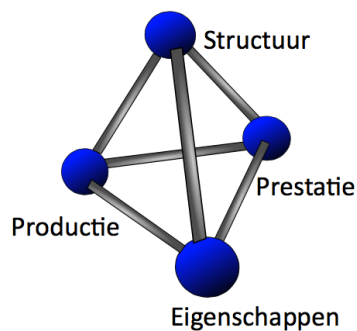


Fig C.1 – de materiaalkunde tetraëder

Fig. C.2 – perovskiet kristal structuur STO

De procesontwerper heeft je bijgepraat over welk soort materiaal van belang is. Het gaat hierbij om oxides met een zogenaamde **perovskiet structuur**. Figuur C.2 laat een voorbeeld zien van zo'n structuur van het materiaal SrTiO_3 (STO, spreek je uit als strontium titanate). Zoals je kunt zien in dit figuur gaat het hierbij om een kubische structuur. In één kubus bevinden zich, netto gezien, één strontium ion (oranje), één titaan ion (blauw) en drie zuurstof ionen (wit). Hiermee zal duidelijk geworden zijn dat een algemene schrijfwijze voor een perovskiet structuur, **ABO_3** kan zijn. Extra informatie over kristalstructuren is te vinden op: http://en.wikipedia.org/wiki/Cubic_crystal_system, zie ook kenniskaart 2.

Opgave C.1: Als je uitgaat van STO, leg met behulp van het tekenen van een kubus uit hoe we aan de algemene perovskiet structuur ABO_3 komen.

Waarom zouden we deze materialen willen gebruiken als membraan materiaal? Eén van de redenen is dat de structuur, van zichzelf, fouten kan bevatten. Is dat jammer? Zeer zeker niet! We gaan gebruik maken van deze fouten om een membraan te maken. Stel je voor dat de fouten in het rooster bestaan uit een tekort aan zuurstof ionen. Er zullen dus allemaal lege plekje in het rooster zijn waar zich eigenlijk zuurstofionen zouden moeten bevinden. Deze eigenschap is te gebruiken om als membraanmateriaal te dienen. Aangezien hierbij de lege plekjes, de zogenaamde **zuurstofvacatures**, gebruikt worden om ionen te transporteren zal het membraan gasdicht moeten zijn, m.a.w. moleculair zuurstof of stikstof mogen niet door het membraan gaan (om maar twee voorbeelden van gassen te noemen), vandaar ook de naam dichte membranen. Alleen zuurstof**ionen** kunnen door het membraan! Hoe gaat dit in z'n werk? Allereerst zal een zuurstof molecuul zich aan het membraan oppervlak gaan hechten en opsplitsen in zuurstofatomen. De volgende stap is dat ieder zuurstofatoom twee elektronen op zal nemen die door het membraan geleverd worden, hierdoor ontstaan er zuurstofionen. Deze zuurstofionen kunnen, via de zuurstofvacatures door het membraan getransporteerd worden. Figuur C.3 laat dit proces schematisch zien, waarbij $1/2\text{O}_2$ eigenlijk niets anders is dan een zuurstof atoom.

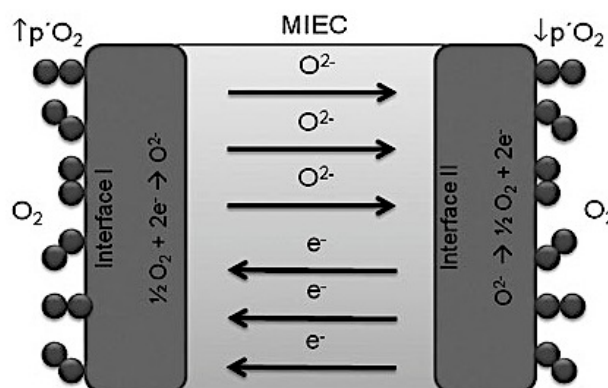


Fig. C.3 – Zuurstof transport door een dicht membraan

Opgave C.2: Overleg met je expertgroep wat er door het dichte membraan kan gaan en wat niet wanneer je het mengsel lucht wilt scheiden (aanname; lucht bestaat alleen maar uit stikstof en zuurstof). Waarom is dit zo? Beschrijf hierbij het voorgestelde mechanisme.

Hoe gaan we membranen maken? Dichte membranen worden gemaakt door poeders met de perovskiet kristalstructuur in een vorm (bijvoorbeeld een schijfje) te persen en deze te sinteren. Met **sinteren** wordt een warmtebehandeling bedoeld om de poederdeeltjes samen te laten “smelten”. Hoe makkelijk iets kan sinteren hangt, onder anderen, af van de grootte van de poederdeeltjes. Zonder het sinteren zullen deeltjes niet onderling gebonden zijn en kan de disk nooit gasdicht zijn. Figuur C.4 laat een voorbeeld van het sinteren zien. Van links naar rechts is te zien dat er langzamerhand één, dichtere, structuur wordt gevormd uit losse deeltjes.

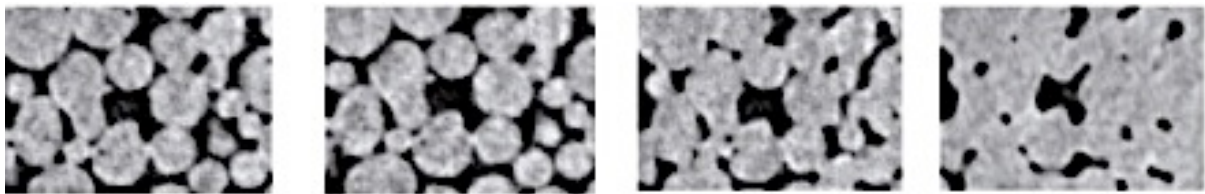


Fig. C.4 – sinteren van losse deeltjes tot één vorm

Opgave C.3: Zal het sinteren van het perovskiet poeder makkelijker gaan wanneer de deeltjes klein of juist groot zijn? Leg uit waarom!

We gaan nu drie mogelijke manieren behandelen om een perovskiet poeder te maken:

1. vaste stof reactie
2. spray-pyrolyse
3. Citroenzuur/EDTA complexeringsreactie

1. Vaste stof reactie

Bij een **vaste stof reactie** voeg je alle, van belang zijnde, metaaloxides (bijvoorbeeld ijzer(III)oxide) of metaal carbonaten (bijvoorbeeld strontiumcarbonaat) toe aan ethanol en gaat dit enkele uren mengen. Over het algemeen wordt dit gedaan door de suspensie in een fles te gieten en hier kleine keramische balletjes aan toe te voegen. De fles gaat op een draaibank, en door het rollen van de fles zullen de kleine balletjes er voor zorgen dat de beginstoffen goed gemengd worden. Na een bepaalde tijd (typisch 48 uur) zal de ethanol verdampt worden en zal het zo verkregen poeder een warmtebehandeling ondergaan om tot een perovskiet structuur te komen. Over het algemeen worden op deze manier massieve deeltjes verkregen met een groot volume (grootte diameter). Nadeel is dat er niet vanuit de natte fase gewerkt wordt en er dus concentratieverschillen kunnen zijn tussen de verschillende metaalionen elk poeder deeltje (je lost de metaaloxide.carbonaten niet op in de ethanol!). De zuiverheid van het perovskiet poeder is hoog maar door deze manier van mengen ontstaan er toch nog concentratieverschillen waardoor de zuiverheid, op moleculaire schaal, niet maximaal kan zijn.

2. Spray-pyrolyse

Bij **spray-pyrolyse** worden de metaalnitraten (bijvoorbeeld strontiumnitraat) in de juiste verhoudingen opgelost in water en zal deze vloeistof in een oven verneveld worden. Hierdoor wordt het water in zeer kleine druppeltjes snel verdampt en zal een poeder verkregen worden met een zeer kleine korrel. De deeltjes van het verkregen poeder zijn niet alleen zeer klein maar zijn door dit proces poreus. Doordat er vanuit de natte fase gewerkt wordt is de zuiverheid van het perovskiet poeder zeer hoog, bovendien is dit proces zeer snel (in een half uur is al 300 gram te maken). Voor het maken van poeder op deze manier is, over het algemeen, een grote investering nodig aangezien dit plaatsvindt in een grote buis-oven. Kleine hoeveelheden poeders produceren is bijna niet mogelijk in dit proces aangezien er een minimale hoeveelheid oplossing nodig is om in de oven te vernevelen.

3. Citroenzuur/EDTA complexeringsreactie

Een derde manier van poederbereiding is de **citroenzuur/EDTA complexeringsreactie**. In dit proces zal een oplossing van metaalnitraten in water gemaakt worden, hieraan zal ethylenediaminetetra-azijnzuur (deze stof noemen we vanaf nu EDTA) toegevoegd worden. EDTA kan een complex vormen met de metaalionen hierdoor is een oplossing “zonder” concentratieverschillen mogelijk, bovendien voorkomt EDTA eventueel verdere reacties tussen de ionen. Figuur C.5 en C.6 geven, respectievelijk, het EDTA molecuul weer en het EDTA/metaalion complex.

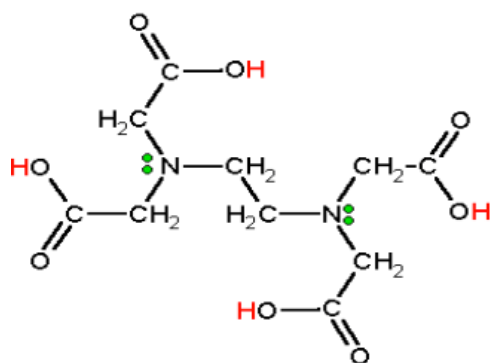


Fig. C.5 - EDTA molecuul

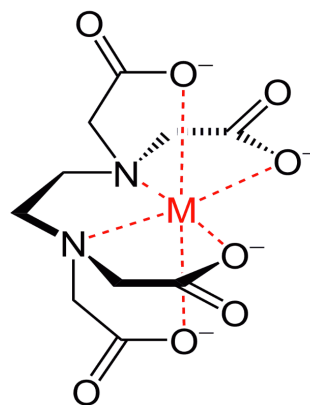
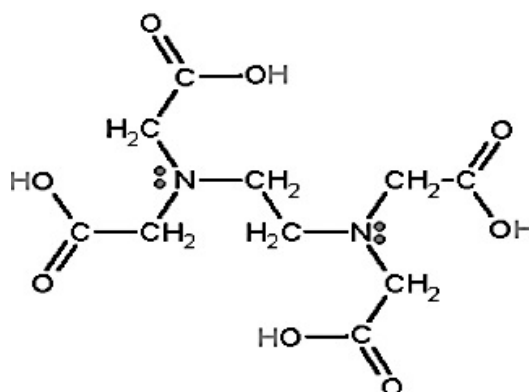


Fig. C.6 - EDTA/metaalion complex

Bij verwarming tot het kookpunt van water zal er uiteindelijk geen water meer aanwezig zijn, maar alleen een gelvormige substantie waarin de metaalionen zich bevinden. Wanneer citroenzuur aan het begin toegevoegd was zal er uiteindelijk, bij een voldoende hoge temperatuur, een spontane verbrandingsreactie plaatsvinden tussen het citroenzuur en de opgeloste nitraten (van de reactanten: metaalnitraten). Door deze “spontane” zelfontbranding zal al het organische materiaal verbranden en zal er een anorganisch poeder overblijven. Doordat deze manier van poedersynthese op zeer kleine schaal al mogelijk is, is dit een aantrekkelijke synthese om redelijk snel een kleine hoeveelheid poeder op labschaal te maken zonder hoge kosten te moeten maken. Doordat er grote hoeveelheden water verdampt moeten worden is dit de snelheidsbepalende stap.

Opgave C.4: Geef de molecuul formules van strontiumcarbonaat, strontiumnitraat en ijzer(III)oxide.

Opgave C.5: Geef in de onderstaande structuurformule van EDTA aan waar de zuurgroepen en aminegroepen zich bevinden. Omcirkel en benoem deze in onderstaande figuur.



Opgave C.6: Als materiaalkundige wil je graag snel kunnen testen welke materialen geschikt zijn als membraan materiaal, hiervoor ga je poeder maken met een perovskiet structuur die je tot een disk gaat persen zodat deze gemakkelijk als membraan gebruikt kan worden. Welke van de drie poederbereidingsmanieren ga je gebruiken in dit stadium van verkenning en waarom juist deze? Denk hierbij aan de zuiverheid van het poeder, de snelheid van productie en de kosten.

Wat maakt een membraan geschikt? Het meest logische, eerste antwoord is dat er natuurlijk zo veel mogelijk van de gewenste stof door heen moet kunnen gaan en zo min mogelijk van de niet gewenste stof! Als materiaalkundige heb je hier niet alleen mee te maken. Van belang is ook hoe stabiel het membraan is bij een bepaalde temperatuur en of het materiaal tegen alle aangeboden gassen kan. In de inleiding heb je kunnen lezen dat er grote interesse is naar de productie van synthesesegas ($\text{CO} + \text{H}_2$) in een membraanreactor. Synthesegas is het product van de partiële oxidatie van methaan. Maar, wat als er toch een klein beetje volledige oxidatie plaatvind?

Opgave C.7: a) Geef, samen met je expertgroep, de reactievergelijking van de volledige oxidatie van methaan. b) Ga na wat de reactie producten zijn wanneer er toch een klein beetje volledige oxidatie plaatsvindt naast de partiële oxidatie.

Uiteindelijk is gebleken dat de perovskiet materialen strontium titaan ferrate ($\text{SrTi}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}_{3-\delta}$) en strontium cerium ferrate ($\text{Sr}_{0.95}\text{Ce}_{0.05}\text{FeO}_{3-\delta}$) goed lijken te functioneren onder vereiste reactieomstandigheden, bovendien is de permeatie in beide gevallen vergelijkbaar en goed te noemen. In het voorgaande jaar heb je geleerd dat er geen breuken in verhoudingsformules voor mogen komen. In bovenstaande molecuulformules doen we dit wel aangezien het om een extra toevoeging op de A- of B-plek gaat en de som van de mol fracties op de A- en B- plek ieders weer 1 zijn. Het totaal is dus geen breuk meer.

Je wilt graag weten of de kristalstructuur na het testen van je membraan hetzelfde gebleven is. Een zeer bekende en alom gebruikte manier om dit na te gaan is door gebruik te maken van röntgendiffractie (**X-ray diffraction: XRD**). Wanneer röntgenstraling op een (kristallijn)materiaal wordt geschoten dan zal deze straling afbuigen op het moment dat deze een kristal "raakt". Hoe deze afbuiging is is afhankelijk van het materiaal en is een unieke eigenschap van dit materiaal. Door onder verschillende hoeken deze röntgenstraling op het materiaal te projecteren kunnen we precies nagaan uit welke kristalstructuur (of structuren) het materiaal bestaat. Wanneer we de afgebogen röntgenstraling opvangen met een speciale detector en dit zichtbaar maken als functie van de hoek, die de röntgenstraling met het materiaal maakt, krijgen we een uniek patroon. Bij een poeder heb je natuurlijk allemaal losse deeltjes, als je deze beschijnt met röntgenstraling en de reflectie opvangt met een detector dan zal je meerdere pieken zien doordat de verschillende deeltjes met dezelfde kristalstructuur niet mooi geordend tegen elkaar liggen maar door elkaar. Iedere piek is dus een kant van een kristalstructuur. Stel je een baksteen voor, een niet zo moeilijke vorm maar toch kun je hier op veel verschillende manieren naar kijken.

Opgave C.8: Stel dat we materiaal hebben die uit één kristal bestaat. Leg uit hoeveel pieken je verwacht te zien bij een XRD meting.

D. De chemisch analist

Begrippenlijst

Wat moet je kunnen en kennen na het doorwerken van deze paragraaf?

Je moet uitleg kunnen geven over.....

- wat we bedoelen met het micro- en mesoniveau.
- DLS, SEM, en XRD: Wat is het, wat gebeurt er en waar kun je het voor gebruiken?

Zoals je eerder hebt kunnen lezen in de inleiding is het doel, dichte membranen van poeder, met de perovskiet kristalstructuur, te maken. Als chemisch analist ben jij de aangewezen persoon om te analyseren of de poeders de gewenste samenstelling en kristalstructuur hebben. De samenstelling van de poeders is niet alleen op microniveau van belang maar ook op mesoniveau. Wat bedoelen we met deze twee niveaus? Als chemisch analist wil je graag weten wat de exacte samenstelling is van je poeder; bijvoorbeeld, uit welke ionen bestaan de moleculen en in welke verhoudingen zijn deze aanwezig? Of met behulp van het voorbeeld in de figuren D.1 en D.2, uit welke atomen bestaat suiker en in welke verhouding zijn deze in de suikermoleculen aanwezig? Dit noemen we hier het **microniveau**. Het **mesoniveau** is eigenlijk kijken naar een wat grotere schaal, je zou hierbij kunnen denken aan hoe zien de deeltjes er in het poeder er eigenlijk uit? Neem bijvoorbeeld, het hierboven gebruikte voorbeeld, kristalsuiker, de deeltjes zijn hierbij goed te zien en de vorm ook. Kijk je naar poedersuiker dan zijn de afzonderlijke deeltjes al heel wat moeilijker te zien. Uitspraken over de vorm van de deeltjes zijn in dit geval van poedersuiker dan ook bijna onmogelijk te doen.

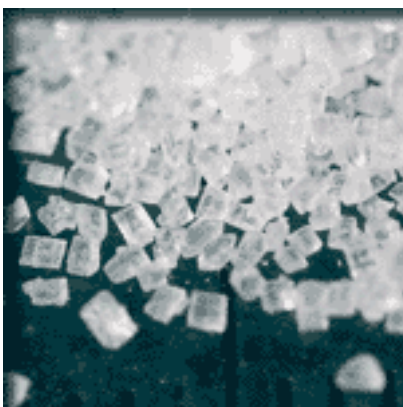


Fig. D.1 – kristalsuiker



Fig. D.2 – poedersuiker

Opgave D.1: Ga na, met je expertgroep, waarom de materiaalkundige graag wil weten hoe “zijn” poeder er op micro- en mesoniveau eruit ziet?

Van jou als, als chemisch analist, wordt verwacht dat je een gedegen kennis hebt van analyse technieken om de vragen van de materiaalkundige te beantwoorden. We gaan drie technieken behandelen waarmee we dit kunnen doen. De drie technieken worden aan de hand van enkele voorbeelden behandeld.

Van belang zijnde technieken zijn:

1. Dynamic light scattering (DLS)
2. Scanning electron microscope (SEM)
3. X-ray fluorescence (XRF)

Schrik niet bij het lezen van de moeilijke termen, we gaan de technieken stap voor stap behandelen.

1. Dynamic light scattering (DLS)

DLS is een veel gebruikte techniek om een uitspraak te kunnen doen over de distributie (de verdeling) van de grootte van de deeltjes in een poeder. Dit poeder vormt samen met water een suspensie die goed gemengd wordt. Wanneer we licht door deze suspensie laten schijnen zal het licht in alle richtingen wegkaatsen wanneer deze een deeltje raakt. Dit zal alleen gebeuren wanneer de golflengte van het licht klein genoeg is. Meestal gebruiken we hier laserlicht voor aangezien deze één kleur heeft (vaste golflengte), dit noemen we een **monochrome lichtbron**.

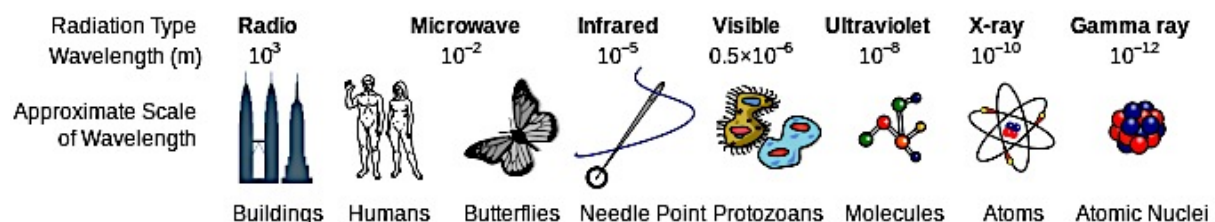


Fig. D.5 – schaalgrote in golflengtes

Wanneer we een laser (golflengte kleiner dan 250 nm) door de suspensie laten schijnen en aan de andere kant het licht met een detector opvangen dan zien we dat

de intensiteit van het opgevangen licht varieert in de tijd (als functie van de tijd). Figuur 3.6 geeft dit, op een schematische manier, weer.

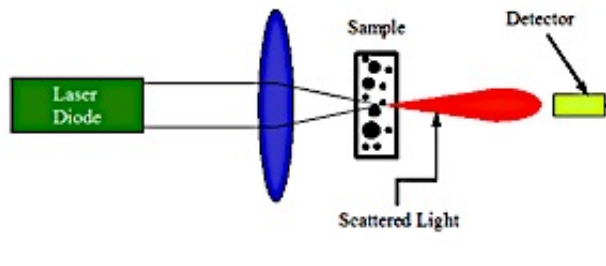


Fig. D.6 – Schematische weergave DLS

Wanneer we kleine deeltjes in de suspensie hebben dan zal er een grotere kans zijn dat het laserlicht tegen een deeltje “aanbotst” terwijl deze kans bij grotere deeltjes kleiner zal worden. Figuur D.7 laat dit schematisch zien. Op de x-as is de tijd uitgezet tegen de intensiteit van het opgevangen laser licht op de y-as. De data die je bij deze metingen verkrijgt zijn te fitten aan mathematische modellen. De modellen gaan te ver om hier te noemen. Wanneer je een suspensie gaat gebruiken waar heel veel deeltjes in zitten dan zal het afgeketste licht van het ene deeltje best nog eens een ander deeltje kunnen raken. Aangezien er op deze manier de nodige informatie verloren gaat is het beter om dit te voorkomen door een lage concentratie deeltjes te hebben.

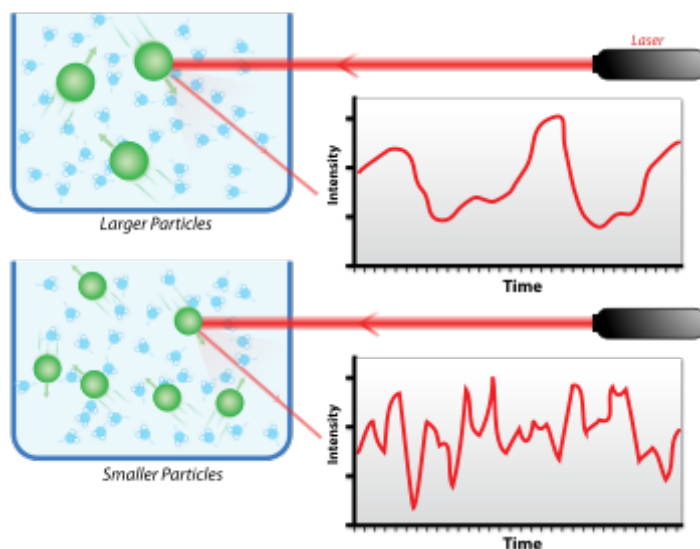


Fig. D.7 – Verschil in deeltjesgrootte in DLS

Opgave D.2: Laser licht heeft een golflengte kleiner dan 250 nanometer (nm). Welke soort straling heb je bij deze golflengte volgens figuur D.5?

2. Scanning electron microscope (SEM)

Dit type microscoop kan een oppervlak in kaart brengen door lijn voor lijn het oppervlak te scannen met een elektronenbundel. De meting wordt hierbij opgebouwd volgens een raster, vandaar ook de Nederlandse naam **rasterelektronenmicroscoop**. De geconcentreerde elektronenbundel heeft een diameter van enkele nanometers en bevat veel energie. Hierdoor is een hoge scherpstelling mogelijk waardoor je het idee krijgt dat je 3D opnames van het oppervlak maakt. Met een SEM zijn vergrotingen mogelijk van meer dan 100.000x (details zien die kleiner zijn dan 1 nm is mogelijk).

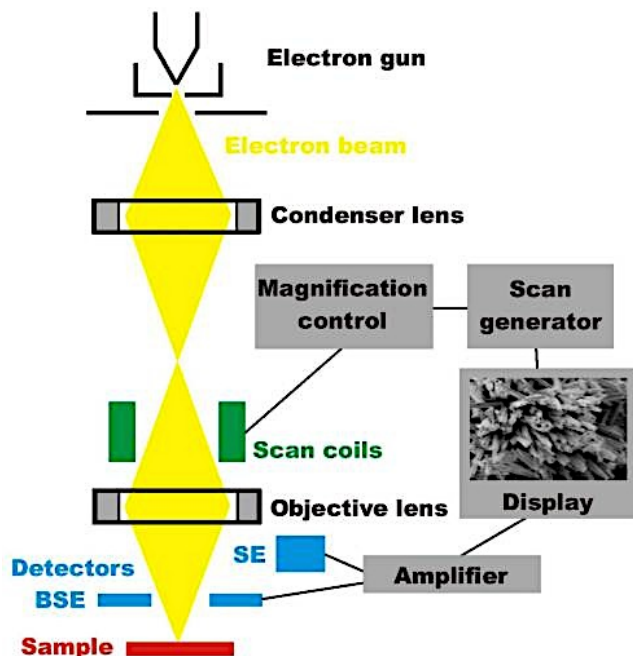


Fig. D.8 – Schematische weergave van een SEM

Eigenlijk kun je de techniek achter SEM het beste vergelijken met het bombarderen van een zeer kleine plek op het oppervlak met elektronen. Door al dit geweld zullen elektronen reageren met atomen in het te onderzoeken oppervlak. Hierbij komen signalen vrij die gebruikt kunnen worden voor de analyse. Dit zijn, bijvoorbeeld, andere elektronen uit de atomen van het materiaal, ook wel secundaire elektronen (SE) genoemd. Deze elektronen kunnen zichtbaar gemaakt worden met behulp van een

geschikte detector (amplifier). Ook kan het gebeuren dat de elektronen uit het elektronen “kanon” niet doordringen tot de atomen maar juist afketsen, dit noemen we teruggestrooide elektronen (BSE). Beide type elektronen kunnen van belang zijn om een beeld te vormen van het oppervlak van het materiaal. Voor hoge kwaliteit opnames moet het materiaal elektrisch geleidend zijn. Wanneer dit niet het geval is zullen elektronen zich in het materiaal ophopen en uiteindelijk nieuwe elektronen afstoten waardoor beeldvorming met een SEM niet mogelijk is. Om een niet elektrisch geleidend materiaal toch te kunnen gebruiken zal deze gecoat moeten worden met een dun laagje elektrisch geleidend materiaal, bijvoorbeeld goud. Zie figuur D.9 voor een voorbeeld. Een spin zal van zichzelf geen elektriciteit kunnen geleiden, met een dun laagje goud is toch het oppervlak in kaart te brengen (figuur D.10).



Fig. D.9 - Voor SEM geprepareerde spin



Fig. D.10 - SEM foto spin

Opgave D.3: Uit interesse zou je wel eens willen zien, op een nanoschaal, hoe het materiaal er uit ziet waar een Ping-Pong bal van is gemaakt, je wilt hierbij gebruik maken van een SEM. Beschrijf hoe je dit aan gaat pakken?

3. X-ray fluorescence (XRF)

XRF is een techniek waarbij röntgenstraling (Engels: X-rays) gebruikt wordt om de chemische elementen in een materiaal te bepalen. Hierbij kunnen niet alleen elementen bepaald worden maar ook in welke hoeveelheden deze aanwezig zijn. Bij deze techniek wordt röntgenstraling op een materiaal geschoten, waarbij een elektron uit een lagere schil “weg geschoten” worden. Hierdoor komt het atoom van het materiaal in een aangeslagen toestand. Het is hierbij zo dat een ander elektron van dit atoom wellicht in een hogere schil zit, met een hoger energieniveau, dan nodig is. Omdat dit, energetisch gezien, niet de meest prettige positie voor dit elektron is, zal deze terug kunnen “vallen” in een, energetisch, lagere positie. Hierbij wordt of een

röntgen foton (straling) uitgezonden of een elektron (een Auger elektron), beide zijn uniek voor een bepaald atoom en kunnen gebruikt worden om na te gaan om welk atoom het gaat. Bij XRF zijn het juist de röntgen fotonen die van belang zijn. Figuur 3.6 geeft dit proces met behulp van een simpel atoom model weer.

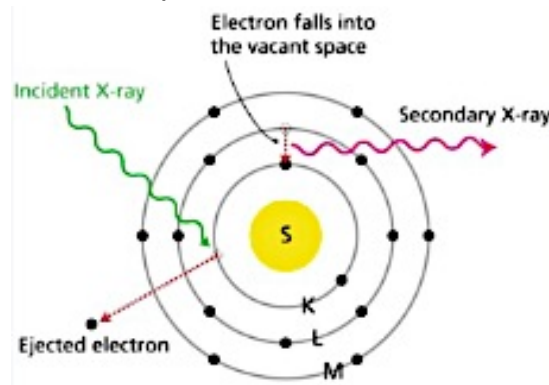


Fig. D.11 - versimpelde weergave van een atoom na bestraling met röntgenstraling.

Opgave D.4: Onderstaande grafiek, figuur D.12, geeft een typisch resultaat van een XRF meting weer. Zoals je kunt zien zijn alle pieken al geïdentificeerd, behalve één. Welk atoom is aangetoond met piek X, met een golflengte van $2,749 \cdot 10^{-10}$ m? Gebruik hierbij tabel D.1 op de volgende pagina.

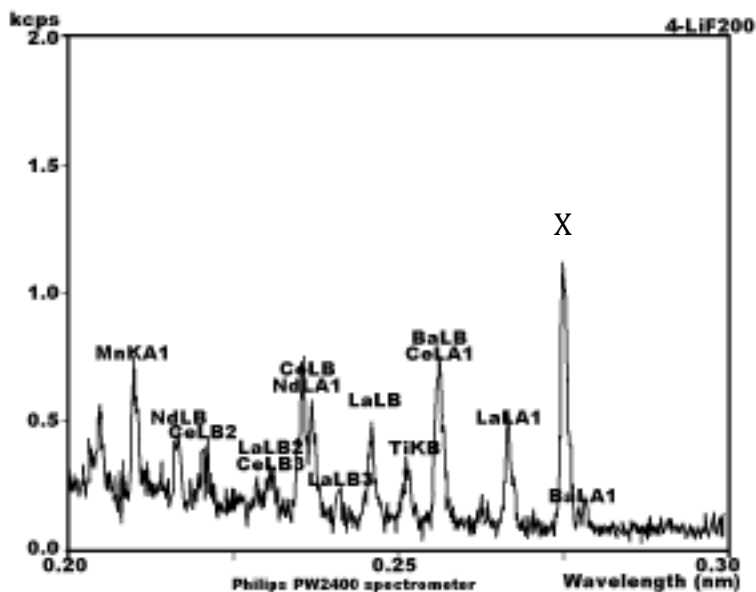


Fig. D.12 - Resultaten XRF analyse

Tabel D.1 - typische golflengte elementen

element	line	wavelength (nm)	element	line	wavelength (nm)	element	line	wavelength (nm)	element	line	wavelength (nm)
Li	K α	22.8	Ni	K α_1	0.1658	I	L α_1	0.3149	Pt	L α_1	0.1313
Be	K α	11.4	Cu	K α_1	0.1541	Xe	L α_1	0.3016	Au	L α_1	0.1276
B	K α	6.76	Zn	K α_1	0.1435	Cs	L α_1	0.2892	Hg	L α_1	0.1241
C	K α	4.47	Ga	K α_1	0.1340	Ba	L α_1	0.2776	Tl	L α_1	0.1207
N	K α	3.16	Ge	K α_1	0.1254	La	L α_1	0.2666	Pb	L α_1	0.1175
O	K α	2.362	As	K α_1	0.1176	Ce	L α_1	0.2562	Bi	L α_1	0.1144
F	K $\alpha_{1,2}$	1.832	Se	K α_1	0.1105	Pr	L α_1	0.2463	Po	L α_1	0.1114
Ne	K $\alpha_{1,2}$	1.461	Br	K α_1	0.1040	Nd	L α_1	0.2370	At	L α_1	0.1085
Na	K $\alpha_{1,2}$	1.191	Kr	K α_1	0.09801	Pm	L α_1	0.2282	Rn	L α_1	0.1057
Mg	K $\alpha_{1,2}$	0.989	Rb	K α_1	0.09256	Sm	L α_1	0.2200	Fr	L α_1	0.1031
Al	K $\alpha_{1,2}$	0.834	Sr	K α_1	0.08753	Eu	L α_1	0.2121	Ra	L α_1	0.1005
Si	K $\alpha_{1,2}$	0.7126	Y	K α_1	0.08288	Gd	L α_1	0.2047	Ac	L α_1	0.0980
P	K $\alpha_{1,2}$	0.6158	Zr	K α_1	0.07859	Tb	L α_1	0.1977	Th	L α_1	0.0956
S	K $\alpha_{1,2}$	0.5373	Nb	K α_1	0.07462	Dy	L α_1	0.1909	Pa	L α_1	0.0933
Cl	K $\alpha_{1,2}$	0.4729	Mo	K α_1	0.07094	Ho	L α_1	0.1845	U	L α_1	0.0911
Ar	K $\alpha_{1,2}$	0.4193	Tc	K α_1	0.06751	Er	L α_1	0.1784	Np	L α_1	0.0888
K	K $\alpha_{1,2}$	0.3742	Ru	K α_1	0.06433	Tm	L α_1	0.1727	Pu	L α_1	0.0868
Ca	K $\alpha_{1,2}$	0.3359	Rh	K α_1	0.06136	Yb	L α_1	0.1672	Am	L α_1	0.0847
Sc	K $\alpha_{1,2}$	0.3032	Pd	K α_1	0.05859	Lu	L α_1	0.1620	Cm	L α_1	0.0828
Ti	K $\alpha_{1,2}$	0.2749	Ag	K α_1	0.05599	Hf	L α_1	0.1570	Bk	L α_1	0.0809
V	K α_1	0.2504	Cd	K α_1	0.05357	Ta	L α_1	0.1522	Cf	L α_1	0.0791
Cr	K α_1	0.2290	In	L α_1	0.3772	W	L α_1	0.1476	Es	L α_1	0.0773
Mn	K α_1	0.2102	Sn	L α_1	0.3600	Re	L α_1	0.1433	Fm	L α_1	0.0756
Fe	K α_1	0.1936	Sb	L α_1	0.3439	Os	L α_1	0.1391	Md	L α_1	0.0740
Co	K α_1	0.1789	Te	L α_1	0.3289	Ir	L α_1	0.1351	No	L α_1	0.0724

3. Vragen Projectgroep

Na twee lessen gewerkt te hebben in een expertgroep ben je weer terug in je projectgroep. Ieder van jullie heeft zijn eigen expertise ontwikkeld en vastgelegd in een samenvatting voor de andere leden van de projectgroep. Neem deze samenvattingen als theoretische achtergrond voor het maken van de onderstaande vragen. Bij het maken van de vragen zullen waarschijnlijk onduidelijkheden ontstaan, ga in gesprek met de juiste expert en probeer deze onduidelijkheden op te helderen. Maak de vragen samen met je andere projectgroep leden maar vul wel ieder apart de module in! De vragen vormen, in deze volgorde, het proces van idee naar fabriek.

Opgave 3.1: In een vaste stof zijn de deeltjes regelmatig op elkaar gestapeld in een kristalrooster. Bij een perovskiet materiaal worden positieve deeltjes afgewisseld met negatieve ionen, hierdoor heet dit rooster een ionrooster

a) Wat is de algemene verhoudingsformule van een materiaal met een perovskiet structuur.

b) Geef een schematische weergave van strontium ferraat met een kubische perovskiet structuur. Geef hierbij aan welke ionen zich waar bevinden.

Opgave: Bij de synthese van strontium ferraat gebruiken we, onder anderen, ijzer(III)nitraat. Dit type metaal nitraat is erg hygroscopisch (trekt water aan), hierdoor zal na een tijdje ijzer(III)nitraat.nonahydraat ontstaan wanneer we het in de open lucht opslaan, zie figuur 3.1.

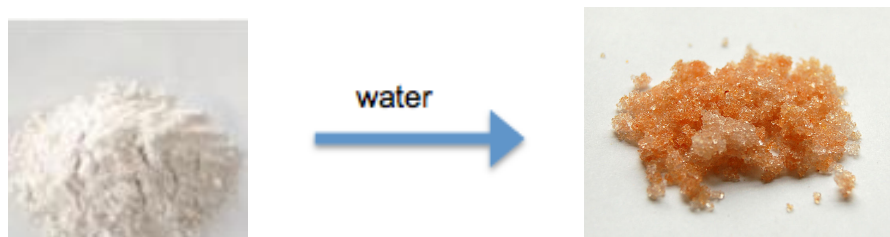


Fig. 3.1 - hydratatie ijzer(III)nitraat.

a) Noteer de reactievergelijking voor deze reactie.

b) Bij de bestelling van 500 gram ijzer(III)nitraat heeft de leverancier een fout gemaakt, hierdoor ontvang je de gehydrateerde vorm van ijzer(III)nitraat. Je wilt niet nogmaals op je bestelling wachten en verdampt het kristalwater in een oven. Hoeveel gram ijzer(III)nitraat blijft er na het verdampen van het kristalwater over.

Opgave 3.3: Het maken van een anorganisch (keramisch) membraan begint met het maken van een keramisch poeder. Voor een testmembraan is maar een kleine hoeveelheid poeder nodig. Aangezien het om wetenschappelijk onderzoek gaat wil je poeder van hoge zuiverheid. Welke synthese methode adviseer je en waarom? Beschrijf de synthese kort.

Opgave 3.4: Het begin is er! We hebben het keramische poeder waarmee we aan de slag kunnen gaan. Maar, is dat zo? Zo op het oog lijkt het poeder prima, maar hoe kunnen we nagaan of het inderdaad het gewenste poeder is? Hiervoor hebben we de nodige analysetechnieken.

a) Wat is een geschikte techniek om na te gaan of het hier inderdaad om een poeder gaat met een kubische perovskiet structuur? Wat maakt dit een geschikte techniek? Beschrijf deze techniek!

b) In de samenvattingen kun je 4 verschillende analysetechnieken teruglezen om je poeder te karakteriseren. Rangschik deze technieken van micro naar macro niveau en leg met enkele steekwoorden uit wat je met deze techniek analyseert.

c) De vorm van de poederdeeltjes kunnen we met een rasterelektronenmicroscoop (SEM) bekijken.

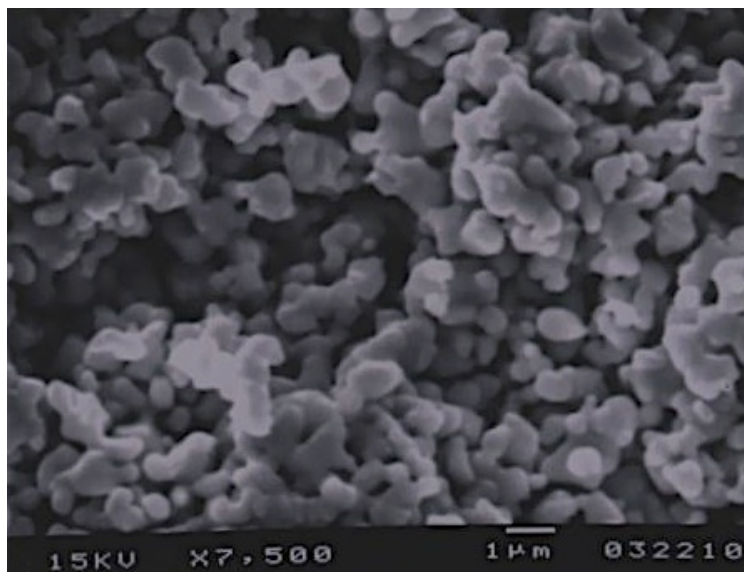


Fig. 3.2 – SEM opname van een keramisch poeder

Kunnen we ons poeder, met een perovskiet kristalstructuur, direct bekijken met een rasterelektronenmicroscop of moeten we het materiaal eerst voorbehandelen. Waarom is dit zo?

Opgave 3.4: Nadat je het poeder hebt geanalyseerd op structuur en samenstelling wil je hier graag een membraan van maken. Dit membraan moet de vorm van een schijf hebben welke we kunnen maken door poeder in een mal tot deze vorm te persen met een **uniaxiale** pers gevolgd door **isostatisch** persen. Nadat we deze schijf hebben verkregen gaan we de schijf sinteren tot een gasdicht perovskiet membraan.

a) Ondanks dat je de termen uniaxiaal en isostatisch nog nooit bent tegen gekomen; beredeneer met je projectgroep wat deze termen bij deze toepassingen in zouden kunnen houden.

b) Leg uit wat we met sinteren bedoelen en licht dit toe met twee tekeningen, voor én na het sinteren, op de lege pagina hiernaast.

c) Na het sinteren moet de schijf gasdicht zijn, in de praktijk betekend dit een relatieve dichtheid van $> 95\%$. Hier bedoelen we mee dat de dichtheid zeker meer dan 95% moet zijn van de maximaal haalbare dichtheid. Vanuit de literatuur weet je dat de maximaal haalbare dichtheid 5.27 g/cm^3 is. Je disk weegt 0,90 gram, heeft een diameter van 15 mm en een dikte van 1 mm. Laat met een berekening zien of je voldoet aan de eis dat de relatieve dichtheid hoger is dan 95%?

Opgave 3.5: Het perovskiet membraan is nu klaar om zuurstof permeatie metingen te verrichten. Ondanks dat het membraan gasdicht is kunnen we toch zuurstof uit lucht scheiden met dit type membraan.

a) Beschrijf het mechanisme van zuurstof transport door het perovskiet membraan. Licht je beschrijving toe met een schematische weergave.

b) Wanneer we een zelfde zuurstof druk (pO_2) aan beide kanten van het membraan hebben is transport van zuurstof door het membraan dan mogelijk? Waarom wel of niet?

Opgave 3.6: Bij de partiële oxidatie van methaan kan ook een klein beetje koolstof dioxide ontstaan door volledige oxidatie van het methaan.

a) Stel de reactievergelijkingen op van beide reactie.

b) Perovskiet materialen hebben de nare eigenschap dat ze kunnen reageren met koolstof dioxide (carbonisatie reactie). Stel een experiment voor hoe je na kunt gaan welk perovskiet materiaal het meest vatbaar is voor carbonisatie.

Opgave 3.7: Bij procesontwerp en procestechnologie maakt men vaak gebruik van massabalansen. Deze manier van werken schept veel duidelijkheid over de massastromen; waar gaat alles heen en wat komt er uit.

Maak massabalansen voor de partiële oxidatie van methaan bij 800 °C en een methaan conversie van, respectievelijk, 80% voor een STF membraan en 90% voor een SCeF membraan. Je mag hierbij aannemen dat het membraan, in beide gevallen, een oppervlakte heeft van 80 cm². Ga uit van een ingaande stroom methaan van 100 mol/uur. Gebruik de lege bladzijde hiernaast voor je massabalansen.

Opgave 3.8: Aangezien een deel van het methaan niet omgezet wordt is er een tweede reactor nodig om dit alsnog om te zetten. Dit doen we volgens het principe van 'dry reforming'. In dit proces voeden we, naast de stroom uit de reactor uit vraag a, koolstof dioxide waarbij deze zal reageren met het overgebleven methaan tot waterstof en koolstof dioxide (geen synthese gas!). De stroom vanuit deze reactor zal gevoed worden aan een derde reactor, een membraan reactor. In deze reactor zal men koolstof monoxide laten reageren met water tot koolstof dioxide en waterstof. Door gebruik te maken van een (ander type) membraan kan de koolstofdioxide en waterstof van elkaar gescheiden worden.

a) Vul je massabalansen uit vraag 3.7 aan met deze uitbreiding van het proces. Ga er hierbij vanuit dat de conversies in de additionele reactoren 100% is. Hoeveel mol waterstof gas hebben we aan het einde van het proces geproduceerd?

c) We hebben nu eigenlijk, op papier, een concept fabriek voor de productie van waterstofgas (geen synthese gas). Wat gaat ons deze fabriek ongeveer kosten wanneer we uitgaan van een productie van 500 ton per jaar? Ga er vanuit dat er een koers van 1 Engelse pond is 1,50 euro zal gelden. Noem andere uitgaven die van belang zijn maar die niet in deze kostenraming zijn opgenomen.

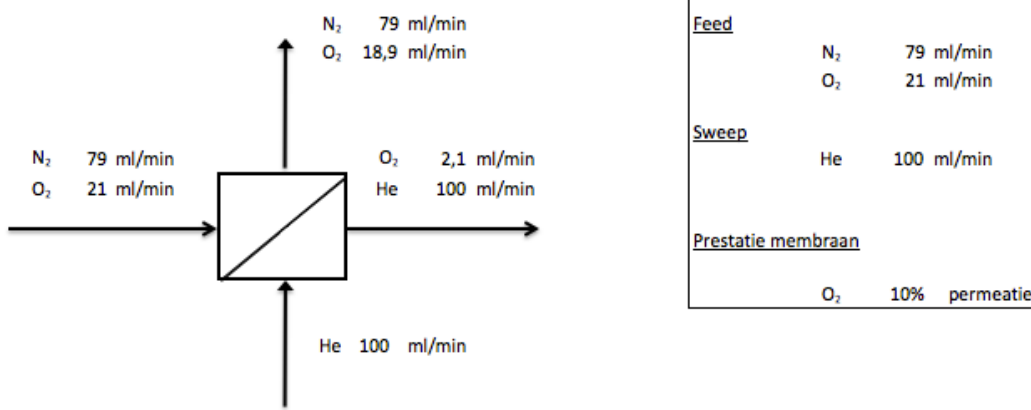
4. Bijlage(n)

1. Kenniskaart 1
2. Kenniskaart 2
3. Concept map maken

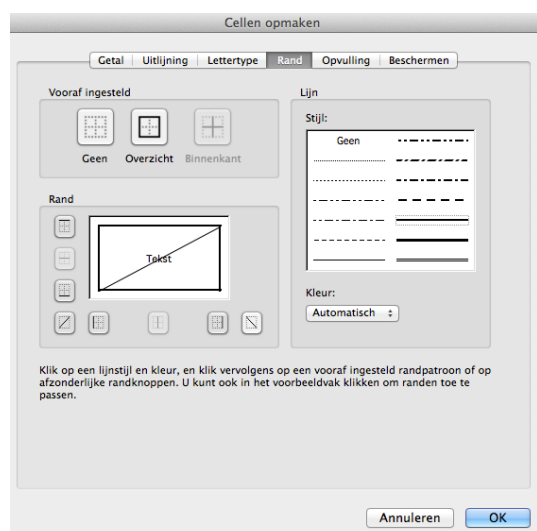
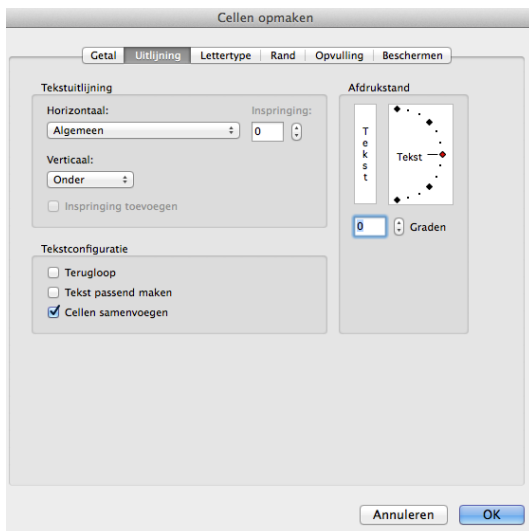
A. Kenniskaart 1

Bij het maken van massabalansen is het gebruik maken van Excel een prettig hulpmiddel. Met Excel kunnen we schematisch onze massabalansen weergeven en massastromen berekenen. In het onderstaande voorbeeld behandelen we een massabalans van een membraanreactor. We gebruiken hierbij Microsoft Excel 2011. Je eigen versie van Excel kan iets afwijken in uiterlijk maar zeker niet in functionaliteit.

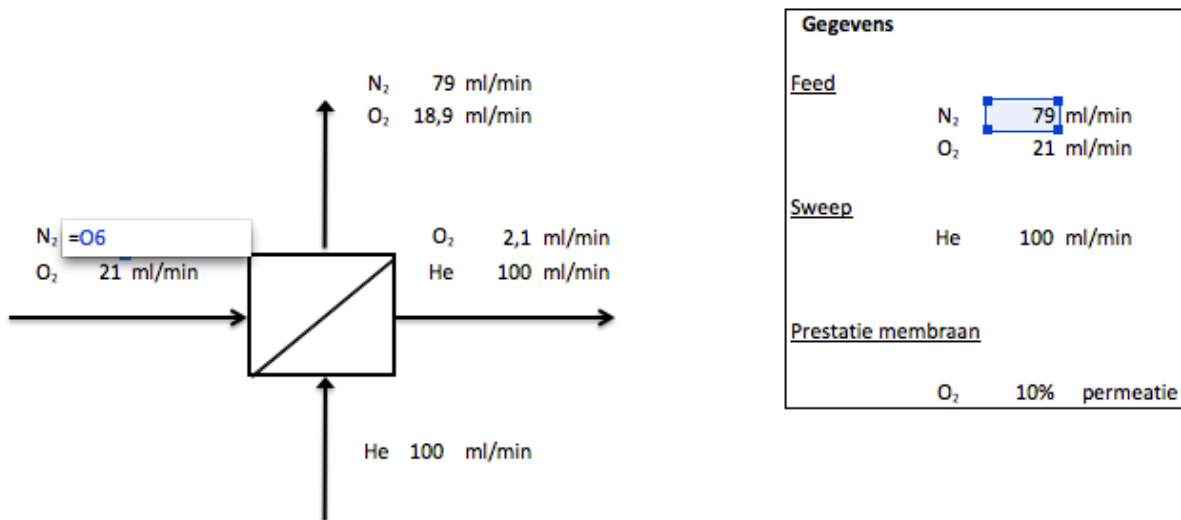
Zoals je in onderstaande figuur kan zien hebben we links een schematische weergave van het proces, waarbij centraal de membraanreactor. Recht hebben we alle gegevens. Ondanks dat dit een zeer versimpelde weergave van de realiteit is dit een mooie manier om Excel mee te leren kennen.



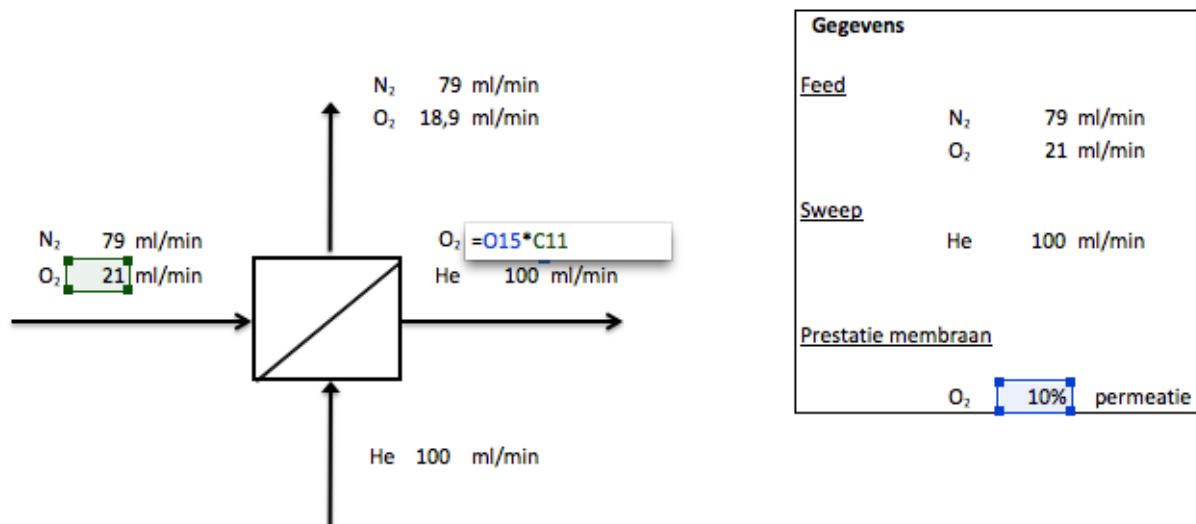
Hoe hebben we de schematische weergave gemaakt? Selecteer enkele cellen in het Excel tabblad en druk de rechter muisknop in. Je ziet dan 'cellen opmaken' in het lijstje staan. Klik deze aan. Voeg de cellen samen door het vinkje 'cellen samenvoegen' aan te klikken in het tabblad 'uitlijning'. De reactor kun je vormgeven door randen aan de samengevoegde cel toe te voegen in het tabblad 'rand'.



Ook al is dit vooral esthetisch, een duidelijke weergave van het proces voorkomt veel fouten! De volgende stap is om ergens ordelijk de gegevens te vermelden. In dit voorbeeld beginnen we met een reactor feed van 100 ml/min synthetische lucht en een sweep (voeding aan de andere kant van het membraan) van 100 ml/min. We weten, in dit voorbeeld, dat onder deze omstandigheden (aanname: constante temperatuur) de permeatie, 10 volume% van onze zuurstof aan de feed kant van het membraan is. Ook dit vullen we in onder de gegevens. We hebben nu een blokschema waar we een massabalans van willen maken. Dit kunnen we doen door op de pijlen de gegevens in te vullen. Zoals je in onderstaande figuur kunt zien typ je eerst '=' gevolgd door de cel waar je naar wilt verwijzen.



Je ziet dat de uitgaande stromen ook getekend zijn. Dit werk eigenlijk op dezelfde manier. Je weet tenslotte dat de zuurstof permeatie 10 volume % van de ingaande zuurstof stroom is. Je ziet dat we hier ook weer beginnen met '=' gevolgd door de berekening '10 volume % * 21 ml/min' (=O15*C11). Het voordeel van deze manier van werken is dat wanneer je iets aan moet passen je dit gemakkelijk onder 'gegevens' kan doen en de massabalans hier automatisch op aan wordt gepast.



B. Kenniskaart 2

Cubic crystal system

From Wikipedia, the free encyclopedia

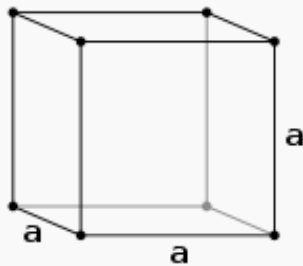
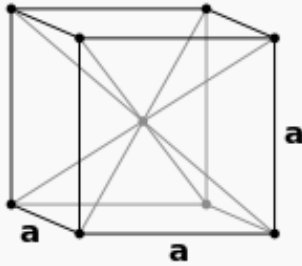
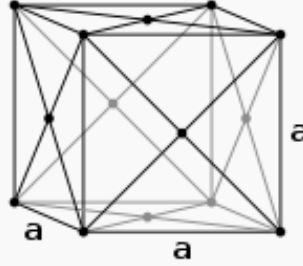
In crystallography, the **cubic** (or **isometric**) **crystal system** is a crystal system where the unit cell is in the shape of a cube. This is one of the most common and simplest shapes found in crystals and minerals.

There are three main varieties of these crystals:

- **Primitive cubic** (abbreviated **cP**[1] and alternatively called **simple cubic**)
- **Body-centered cubic** (abbreviated **cI**[1] or **bcc**),
- **Face-centered cubic** (abbreviated **cF**[1] or **fcc**, and alternatively called **cubic close-packed** or **ccp**)

Each is subdivided into other variants listed below. Note that although the *unit cell* in these crystals is conventionally taken to be a cube, the *primitive* unit cell often is not. This is related to the fact that in most cubic crystal systems, there is more than one atom per cubic unit cell.

The three lattices, which form cubic crystal systems, are:

Name	Primitive cubic	Body-centered cubic	Face-centered cubic
Pearson symbol	cP	cl	cF
Unit cell			

The **primitive cubic** system (cP) consists of one lattice point on each corner of the cube. Each atom at a lattice point is then shared equally between eight adjacent cubes, and the unit cell therefore contains in total one atom ($\frac{1}{8} \times 8$). The **body-centered cubic** system (cl) has one lattice point in the center of the unit cell in addition to the eight corner points. It has a net total of 2 lattice points per unit cell ($\frac{1}{8} \times 8 + 1$). The **face-centered cubic** system (cF) has lattice points on the faces of the cube, that each gives exactly one half contribution, in addition to the corner lattice points, giving a total of 4 lattice points per unit cell ($\frac{1}{8} \times 8$ from the corners plus $\frac{1}{2} \times 6$ from the faces).

The face-centered cubic system is closely related to the hexagonal close packed system, and the two systems differ only in the relative placements of their hexagonal layers. The [111] plane of a face-centered cubic system is a hexagonal grid.

Attempting to create a C-centered cubic crystal system (i.e., putting an extra lattice point in the center of each horizontal face) would result in a simple tetragonal Bravais lattice.

C. Concept map membraantechnologie

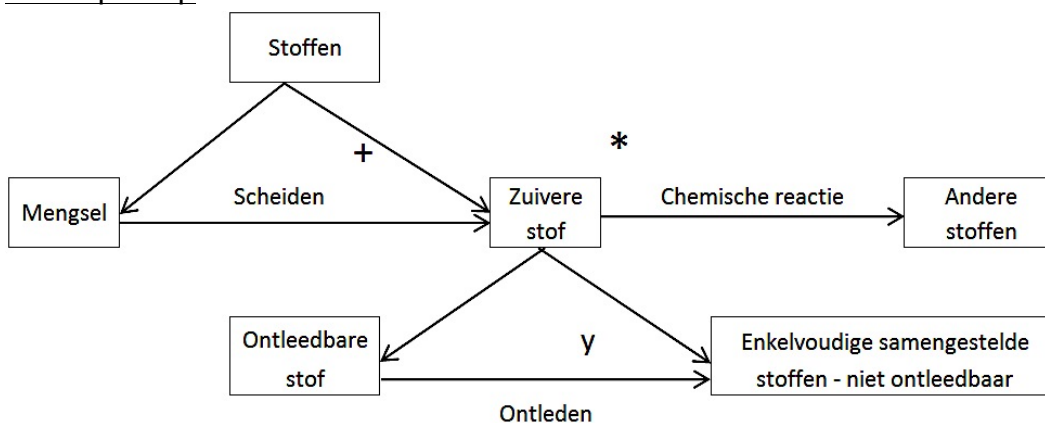
Met de kennis die je hebt opgedaan in deze module ga je, als een soort van samenvatting, een concept map maken. Met gegeven concepten (termen) kun je een logisch schema opstellen. Mits je de theorie in deze module geleerd en begrepen hebt kun je dit schema snel en makkelijk opstellen, het is dus een soort van eigen check of je de hoofdlijnen van de theorie kent. In het voorbeeld zijn 6 termen genoemd met hieronder de bijbehorende concept map. In sommige gevallen is het nodig om het gaande proces op de pijl te schrijven.

Voorbeeld

Termen

7. Stoffen
8. Mengsel
9. Zuivere stof
10. Ontleedbare stof
11. Niet ontleedbare stof
12. Andere stoffen

Concept map



- +) Gebruik maken van verschil in stofeigenschappen (bijvoorbeeld destillatie).
- *) Stofeigenschappen blijven altijd hetzelfde.
- y) Stofeigenschappen veranderen

Opdracht 1: De docent zal de concept map toelichten aan de hand van bovenstaande voorbeeld en een lijstje met concepten, per expertise, uitdelen. Kies een lijstje uit en maak de concept map. Hierbij is het de bedoeling dat je een andere expertise kiest dan je eigen.

Opdracht 2: Als projectgroep heb je, na het maken van opdracht 1, vier concept maps. Wat is de onderlinge relatie tussen deze concept maps. Leg deze in de juiste volgorde, plak de papier aan elkaar en geef de verbanden aan.

