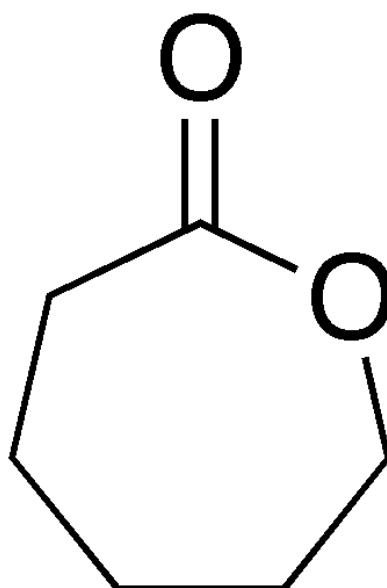


Onderzoek van Onderwijs (10 ECTS)

De ontwikkeling en het testen van een praktische module scheikunde

De synthese van een biologisch afbreekbaar plastic.

poly(ϵ -caprolacton) (PCL)



ϵ -Caprolacton

(Een ringopenings-polymerisatie.)

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie “De ontwikkeling en het testen van een praktische module scheikunde”. Deze scriptie is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de opleiding Science and Education aan de Universiteit Twente.

Ik ben in april 2013 aan deze klus begonnen. Na een lange weg van intense, zware maar ook leuke en mooie belevenissen is het dan eindelijk gereed.

Deze weg heb ik natuurlijk al die tijd niet alleen bewandeld. Het is dan ook niet meer dan logisch om langs deze weg een aantal mensen te bedanken.

Allereerst mijn lieve vrouw, Mariëlle, zonder wiens onvoorwaardelijke steun en liefde ik dit onderzoek nooit tot een goed einde had gebracht. En mijn zoon Biem, die mij vele momenten van intense vreugde heeft bezorgd die mij de energie gaven om door te gaan. Jeroen voor zijn scherpe blik als corrector. Ook moet ik de directie van het Christelijk Lyceum bedanken voor hun eindeloze geduld en vertrouwen. En als laatste natuurlijk Fer Coenders waarmee ik de afgelopen acht jaar altijd een zeer prettig contact heb gehad. Ook jij bedankt voor je geduld en al het meedenken.

Het zal wennen worden om komend schooljaar les te geven zonder iedere dag het woord studie in je hoofd te horen.

Ik wens u als lezer veel leesplezier toe,

Niels Hopman, Deventer, 10 augustus 2017

Samenvatting

Voor het vak Onderzoek van Onderwijs is een praktische module scheikunde, "De synthese van een biologisch afbreekbaar plastic. Poly(ϵ -caprolacton) (PCL)" ontwikkeld met als hoofddoel de leerlingen meer gemotiveerd te krijgen voor het vak scheikunde. Deze module is vervolgens in twee opeenvolgende schooljaren uitgevoerd door leerlingen uit vwo 5. Dit gebeurde naast de lessen uit de reguliere lesmethode. In beide schooljaren is er na uitvoering van de module bij de leerlingen een enquête afgenomen. De resultaten van deze enquêtes zijn gebruikt voor het bijstellen van de module. Daarnaast zijn de antwoorden van de leerlingen gebruikt om te onderzoeken hoe de leerlingen de module hebben ervaren. Hierbij is gekeken naar het niveau van de module en de motivatie van de leerlingen. Bovendien zijn de toetsresultaten van de leerlingen vergeleken met leerlingen uit een voorgaand schooljaar die alleen les hebben gehad volgens de reguliere lesmethode.

De volgende ontwerp- en onderzoeksvraag werden beantwoord:

Hoe ziet een geschikte praktische onderwijsmodule over polymeerchemie er uit, die 5 vwo-leerlingen meer motiveert?

Hoe ervaren de leerlingen de module "De synthese van een biologisch afbreekbaar plastic. Poly(ϵ -caprolacton) (PCL)"?

Het antwoord op de eerste vraag, in de vorm van de bijgewerkte module, is te vinden in bijlage 12.

De leerlingen hebben de module niet als makkelijk ervaren maar ook zeker niet als te moeilijk. De moeilijkheidsgraad werd gewaardeerd met een gemiddelde van 5,8. De module werd als zeer motiverend ervaren. Vijfendertig van de zesendertig leerlingen vinden dat de module in het lespakket moet blijven. In de toetsresultaten zat geen significant verschil.

Het is wenselijk de module verder aan te passen aan de criteria die vanuit de Stuurgroep Nieuwe Scheikunde zijn voorgesteld. Het verwerken van de viervlakschemie verdient hierbij prioriteit.

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1 Inleiding	6
Hoofdstuk 2 Theoretisch kader	7
2.1 De Nieuwe Scheikunde	7
2.1.1 Het ontstaan van het examenprogramma, Nieuwe Scheikunde	7
2.1.2 Curriculumvernieuwing: De representaties van Van den Akker	8
2.1.3 De context-en-concept-benadering	9
2.1.4 Viervlakschemie	11
2.1.5 Criteria waaraan een module Nieuwe Scheikunde moet voldoen	13
2.1.6 Het ontwerpen van een leerlijn	15
2.2 Ontwerp gericht onderzoek	16
Hoofdstuk 3 Ontwerp- en onderzoeksvragen	18
3.1 De ontwerp vraag	18
3.2 De onderzoeksvraag	18
Hoofdstuk 4 Methode	19
4.1 Ontwerpeisen aan de module	19
4.1.1 Veldprobleem	19
4.1.2 Literatuuronderzoek	19
4.1.3 Voorsteloplossing en case study	19
4.1.4 Evaluatie	19
4.1.5 Ontwerpstelling	20
4.2 Methode voor beantwoording van de onderzoeksvraag	20
4.2.1 Respondenten	20
4.2.2 Procedure	20
4.2.3 Instrumenten	21
4.2.4 Analyse	21
Hoofdstuk 5 Resultaten	22
5.1 De ontwikkeling van de module PCL	22
5.2 Het ervaren van de module PCL	24
5.2.1 Resultaten voor de beantwoording van deelvraag 1	24
5.2.2 Resultaten voor de beantwoording van deelvraag 2	24
5.2.3 Resultaten voor de beantwoording van deelvraag 3	25

Hoofdstuk 6 Conclusie en discussie	26
6.1 Conclusie en discussie ten aanzien van de ontwerpvrage	26
6.2 Conclusie en discussie ten aanzien van de onderzoeksvrage	27
6.2.1 Antwoord op deelvrage 1	27
6.2.2 Antwoord op deelvrage 2	27
6.2.3 Antwoord op deelvrage 3	28
6.3 Aanbevelingen.....	28
Literatuur / Referenties	30
Bijlagen.....	32
Bijlage 1: Doelstellingen van het nieuwe scheikundeonderwijs (Driessen,2003) ⁴ .	32
Bijlage 2: Geïntegreerde matrix voor het ontwerpen van een leerlijn en toetslijn (Driessen, 2006) ²¹	33
Bijlage 3: Enquête over de module PCL vwo 5	34
Bijlage 4: Verwerking enquête over de module PCL 2012-2013, vwo 5	36
Bijlage 5: Verwerking enquête over module PCL 2013-2014 vwo 5g	39
Bijlage 6: Verwerking enquête over module PCL 2013-2014 vwo 5i.....	43
Bijlage 7: Toetsresultaten H10 Macromoleculaire stoffen 2011-2012 vwo 5.....	47
Bijlage 8: Toetsresultaten H10 Macromoleculaire stoffen 2012-2013 vwo 5.....	48
Bijlage 9: Toetsresultaten H10 Macromoleculaire stoffen 2013-2014 vwo 5g.....	49
Bijlage 10: Toetsresultaten H10 Macromoleculaire stoffen 2013-2014 vwo 5i	50
Bijlage 11: Module PCL zoals gegeven in 2013-2014.....	51
Bijlage 12: Module PCL aangepast in 2017	63
Bijlage 13: Synthesis of poly(ϵ -caprolactone).....	75
Bijlage 14: Toets Vwo 5 Hoofdstuk 10 2013-2014	79

Hoofdstuk 1 Inleiding

In het schooljaar 2013-2014 is een nieuw examenprogramma Scheikunde voor zowel de havo als het vwo ingevoerd (nieuwescheikunde.nl). Dit programma is gebaseerd op de Context-Concept (CC) gedachte. Binnen CC wordt het onderwijs gestart vanuit een voor leerlingen aansprekende context.

Dit onderzoek, uitgevoerd in het kader van het vak Onderzoek van Onderwijs, is tweeledig. Ten eerste was het doel een praktische module te ontwikkelen ter verrijking van het hoofdstuk Macromoleculaire stoffen uit de lesmethode Curie. In navolging van de invoering van de Nieuwe Scheikunde moest deze module ontwikkeld worden rondom een actuele context. Het hoofddoel van deze module is het vergroten van de motivatie bij leerlingen voor het vak scheikunde. De module is vervolgens in de schooljaren 2012-2013 en 2013-2014 getest en vorm en inhoud zijn tussentijds bijgesteld.

Als tweede doel was gesteld te onderzoeken hoe de leerlingen de module, *"De synthese van een biologisch afbreekbaar plastic. Poly(ϵ -caprolacton) (PCL)"*, ervaren. Er werd gevraagd naar het niveau van de module en de motivatie van de leerlingen. Ook is er gekeken naar de toetsresultaten van de leerlingen die deze module gevolgd hebben in vergelijking met de leerlingen die alleen les volgens de reguliere methode hebben gehad (schooljaar 2011-2012).

Vanuit deze doelstellingen zijn de volgende twee hoofdvragen geformuleerd:

Hoe ziet een geschikte praktische onderwijsmodule over polymeerchemie er uit, die 5 vwo-leerlingen meer motiveert?

Hoe ervaren de leerlingen de module, "De synthese van een biologisch afbreekbaar plastic. Poly(ϵ -caprolacton) (PCL)"?

Het onderzoek is uitgevoerd op het Christelijk Lyceum Apeldoorn. In schooljaar 2012-2013 is de module uitgevoerd door één groep leerlingen uit vwo 5. In het schooljaar 2013-2014 ging het om twee groepen leerlingen uit vwo 5.

Hoofdstuk 2 Theoretisch kader

2.1 De Nieuwe Scheikunde

In het schooljaar 2013-2014 is een nieuw examenprogramma scheikunde voor zowel de havo als het vwo ingevoerd (nieuwescheikunde.nl). Deze paragraaf beschrijft het ontstaan van de Nieuwe Scheikunde, een korte uiteenzetting over curriculumvernieuwing, de context-en-concept benadering, de viervlaks-chemie, de criteria waaraan een module Nieuwe Scheikunde moet voldoen en het ontwerpen van een leerlijn.

2.1.1 *Het ontstaan van het examenprogramma, Nieuwe Scheikunde*

In 2002 werd in opdracht van het ministerie van OC&W de Verkenningcommissie Commissie Scheikunde in het leven geroepen om een inventarisatie te maken van de problematiek rond het vak scheikunde in het voortgezet onderwijs (van Koten, de Kruiff, Driessen, Kerkstra en Meinema, 2002)¹. Het toenmalige examenprogramma was sinds de invoering in 1985 weliswaar enigszins aangepast maar nooit echt ter discussie gesteld, gemoderniseerd of goed geëvalueerd (Apotheker et al., 2010)², al zijn er voor 2002 al wel enige studies verschenen over het examenprogramma. Zo stelde de Vos al in 1994 dat er een aanzienlijke discrepantie zit tussen de traditionele inhoud van het scheikundeonderwijs, waarbij men vooral aandacht besteedt aan de wetenschappelijke ontwikkelingen uit de 19^e eeuw, en het veel meer maatschappelijk georiënteerde doel van de moderne scheikunde op school (de Vos, van Berkel, Verdonk, 1994)³.

De verkenningcommissie werd geholpen door een groot aantal mensen die zowel direct als indirect betrokken waren bij het scheikunde-onderwijs. Het ging hier om o.a. docenten havo, vwo, hbo en wo, vakdidactici, auteurs van methodes, leerlingen maar ook bijvoorbeeld vertegenwoordigers van AOB, CEVO, KNAW, KNCV, NVON en VNCI en chemici en educatieve beleidsmedewerkers uit de industrie. Naar aanleiding van de gesprekken met deze diverse groep personen kon men een duidelijk overzicht maken van de problemen die op dat moment speelden binnen het scheikunde-onderwijs. Dit overzicht werd gepubliceerd in de blauwdruk, Bouwen aan scheikunde (van Koten et al., 2002)¹.

O.a. de volgende problemen kwamen hierin naar voren: Het beeld van de chemie bij het Nederlandse publiek is negatief. Het grote belang van de chemische industrie voor de Nederlandse economie is niet zichtbaar. En hoewel de chemische industrie zich zorgen maakte over de toekomst van het scheikunde-onderwijs toonden bedrijven weinig belangstelling voor docenten en leerlingen die wilden kennismaken met de chemie als beroepssector. Mede hierdoor was het imago van het schoolvak scheikunde in de loop van de jaren steeds slechter geworden en werd het steeds minder gekozen. Het feit dat het

examenprogramma al jaren nauwelijks vernieuwd was waardoor er een aanzienlijke kloof was ontstaan tussen het beeld dat de schoolscheikunde presenteerde van de moderne chemie en de stand van het vakgebied in de wetenschap en het bedrijfsleven, heeft hier ook flink aan bij gedragen. Daar bovenop komt dat de docentenopleiding van onvoldoende academisch niveau bleek te zijn en dat de docenten door de toegenomen werkdruk onvoldoende tijd over hielden voor structureel overleg met collega's, lerarenopleiders en vervolgoopleidingen. Ook vakinhoudelijke bijscholing en het opstarten van innovatieve projecten verdwenen door tijdgebrek naar de achtergrond waardoor veel docenten "slaaf" van de methode werden.

Er was dus alle reden voor de vorming van de Commissie Vernieuwing Scheikunde Havo en Vwo (Driessen & Meinema, 2003)⁴. Deze commissie Van Koten kwam in het najaar van 2003 met de volgende aanbevelingen op grond van de eerder genoemde probleeminventarisatie:

- In de onderbouw en in de profielen N&G en N&T moet de nadruk liggen op het leren begrijpen van de chemie achter producten en processen.
- Het nieuwe scheikundeprogramma moet aansluiten op vragen van nu en in de toekomst.
- Men pleit voor een examenprogramma op hoofdlijnen met ruimte voor nieuwe ontwikkelingen en eigen keuzes van docent of leerling.
- Er moet sprake zijn van een doorlopende leerlijn in het hele voortgezet onderwijs.
- Ga in het nieuwe scheikundeprogramma uit van de context-en-concept-benadering.

Met name deze context-en-concept-benadering, waarbij de contexten als brug fungeren tussen de werkelijkheid en de scheikundige concepten die aan het vak ten grondslag liggen, werd een belangrijk uitgangspunt bij de ontwikkeling van nieuw lesmateriaal.

2.1.2 Curriculumvernieuwing: De representaties van Van den Akker

De aanbevelingen van de commissie van Koten vragen om een ingrijpende verandering van het leerplan. Van den Akker (1998)⁵ maakt onderscheid tussen verschillende niveaus waarop curriculumvernieuwing speelt, bijvoorbeeld als het gaat om het maken van beleid en het ontwikkelen, implementeren en evalueren van de vernieuwing. Van den Akker maakt eerst een driedeling en splitst deze niveaus vervolgens weer op. Zo ontstaan de volgende zes verschijningsvormen:

Tabel 2.1: Verschijningsvormen van een curriculum (van den Akker, 1998)⁵

Bedoeld	Ideaal	In het hoofd van de bedenkers en in visiedocumenten
	Formeel (geschreven)	Zoals het op papier staat in methodes en handleidingen (vertaalslag visiedocument – onderwijsmethodes)
Geïmplementeerd	Opgevat	Zoals het geschrevene door docenten geïnterpreteerd wordt
	Operationeel	Zoals het in de klas wordt uitgevoerd
Bereikt	Ervaren	Het leerproces van de leerlingen
	Geleerd	Wat de leerlingen geleerd hebben, de leerresultaten

Het is goed om hierbij op te merken dat bij de ontwikkeling van de nieuwe scheikunde het formeel en opgevat curriculum door elkaar lopen aangezien veel docenten hun eigen lesmateriaal ontworpen hebben. Dit was een wens van de commissie van Korten met het oogpunt de kans op grote verschillen tussen beide verschijningsvormen, die vaak ontstaan als een curriculum “top down” wordt ontwikkeld, te beperken.

Door dit onderscheid in verschijningsvormen te maken wordt de communicatie over het proces van vernieuwing eenvoudiger. Verder levert het een positieve bijdrage aan de analyse van het proces en de uitkomsten van curriculumvernieuwingen in het algemeen (Schwartz, 2006⁶, Thijs & van den Akker, 2009⁷, van den Akker, Fasoglio, Mulder, 2008⁸).

Daarnaast is het bij de ontwikkeling van nieuw lesmateriaal interessant om te kijken naar de volgende verdeling in leerplanniveaus die Thijs en van den Akker (2009)⁷ maken.

Tabel 2.2: Leerplanniveaus en hun beschrijving (Thijs & van den Akker, 2009)⁷

Niveau	Beschrijving
Supra	Land overstijgend, internationaal
Macro	Systeem, nationaal
Meso	School, opleiding
Micro	Groep, docent
Nano	Leerling, individu

De ontwikkeling van bijvoorbeeld een leerplan op microniveau wordt sterk beïnvloed door opgelegde leerplannen van hogere niveaus. Maar ook lagere leerplanniveaus kunnen natuurlijk effect hebben op de ontwikkeling van lesmateriaal.

2.1.3 De context-en-concept-benadering

Vanaf ongeveer 1985 ontstonden er in veel landen steeds meer lesprogramma's waarbij de nadruk lag op contextrijk onderwijs. Een aantal voorbeelden zijn Industrial Chemistry in Israël (Hofstein, Kesner, 2006)⁹, Salters Advanced Chemistry in Engeland (Bennet, Lubben, 2006)¹⁰, Chemistry in Context in de VS (Schwartz, 2006)⁶ en Chemie im Kontext in Duitsland (Parchmann et al., 2006)¹¹.

Het idee achter het context-gebaseerde onderwijs is dat de interesse van de leerlingen gewekt wordt door hun leefwereld, d.m.v. geschikte contexten, beter

te betrekken bij het vak dat ze volgen. Gilbert (2006)¹² en Pilot en Bulte (2006a¹³, 2006b¹⁴) beschrijven welke problemen men wereldwijd bij het oude scheikundeprogramma tegenkwam en komen met mogelijke oplossingen. Het werken vanuit maatschappelijk relevante en op elkaar afgestemde contexten zou leerlingen beter in staat moeten stellen hun eigen “concept maps” te maken en ook de overdracht van concepten naar andere contexten vergemakkelijken. De docent blijft hierbij een belangrijke rol spelen. Vervolgens evalueert Gilbert (2006)¹² vier modellen voor het gebruik van contexten. Hij komt tot de conclusie dat de context als sociale omstandigheid, beter gezegd een maatschappelijke context, het meest succesvol zal zijn. Wanneer men het traditionele scheikunde-onderwijs gaat vergelijken met het context-gebaseerde onderwijs, blijkt dat leerlingen die het context-gebaseerde onderwijs volgen inderdaad de relevantie van scheikunde in hun dagelijks leven beter inzien, meer samenhang zien tussen de concepten en meer uitdaging vinden in practica (King, Bellochi, Ritchie, 2008)¹⁵. Voorwaarde blijft wel dat de docent de leerlingen goed begeleidt.

Apotheker (2006)¹⁶ haalt in zijn docentenhandleiding voor modules Nieuwe Scheikunde aan dat het rapport “Chemie tussen context en concept” (Driessen et al. 2003)⁴ deels is gebaseerd op “Chemie im Kontext (ChiK)” (Parchmann, 1998)¹⁷, een lesmethodiek voor scheikunde ontwikkeld aan het IPN in Kiel. Daarnaast komen ook andere methoden aan bod in het rapport, namelijk het eerder genoemde Salters (Hill, Holman, Lazonby, Raffan & Waddington, 1989)¹⁸ en 21st century science (Holman, Hunt & Millar, 2004)¹⁹. Alle methoden hebben gemeenschappelijk dat de leerling een belangrijkere rol krijgt bij het invullen van de lessen. De leerlingen ontwikkelen chemische vragen vanuit een context, die ze vervolgens zelf gaan onderzoeken.

De commissie van Koten (2003)⁴ heeft in deze context-en-concept-benadering gekozen voor twee centrale concepten:

- *Het molecuulconcept*: alle materie is opgebouwd uit moleculen, atomen dan wel ionen. Bij dit centrale concept horen concepten zoals: het ontwerpen van moleculen, het maken en breken van bindingen, de structuur en flexibiliteit van moleculen, van der Waalskrachten, waterstofbruggen, covalente bindingen, ion- of metaalbinding, atomen als bouwstenen, etc.
- *Het micro/macro concept*: het verband tussen de moleculaire en de macroscopische eigenschappen van stoffen. Hierbij horen concepten zoals: katalyse, het verband tussen structuur, reactiviteit en reactiesnelheid, het verband tussen de sterkte van bindingen in en tussen moleculen en de stabiliteit, het verband tussen de moleculaire samenstelling, de structuur en de eigenschappen, etc.

Deze twee centrale concepten vertegenwoordigen volgens de commissie de kern van het scheikundeprogramma, namelijk het leggen van verbanden tussen enerzijds de samenstelling, structuur en reactiviteit op moleculair niveau en anderzijds de eigenschappen van stoffen en de chemische processen in de macroscopische wereld. Deze twee concepten kunnen vervolgens worden uitgewerkt tot de begrippen die al in het curriculum stonden. In het nieuwe curriculum zijn de aan te leren concepten de leidraad voor de keuze van de contexten. Deze keuze is in principe oneindig groot en is geheel vrij aan de schrijver van het nieuwe lesmateriaal. Hiermee wil men de gewenste continue vernieuwing van het scheikundeprogramma bevorderen. De commissie verdeelt de contexten over vier groepen (zie ook 2.1.5): maatschappelijke, beroepsgerichte, theoretische en experimentele. Hiervan is, zoals Gilbert (2006)¹² al schetste, de maatschappelijke context het meest bruikbaar. De verschillende contexten fungeren als brug van de werkelijkheid naar de concepten (Driessen, 2003)⁴. De commissie komt in zijn rapport met 9 vakgerichte doelstellingen (Bijlage 1). Een groot deel van deze doelstellingen valt in hun ogen beter te realiseren met de context-en-concept-benadering. De laatste twee doelstellingen richten zich op de wens om in het nieuwe scheikundeprogramma meer aandacht te besteden aan practica zodat leerlingen betere experimentele, onderzoeks- en ontwerpvaardigheden ontwikkelen. Ook voor het behalen van de natuurwetenschappelijke doelstellingen lijkt de context-en-concept-benadering uitermate geschikt. Er werden ook kanttekeningen geplaatst bij het rapport van de commissie. Zo stelt Goedhart (2004)²⁰, hoewel hij de uitgangspunten van de commissie deelt, dat een uitgebreid traject van ontwikkeling en invoering van modules noodzakelijk is. Gevolgd door een zorgvuldige evaluatie van de behaalde doelstellingen.

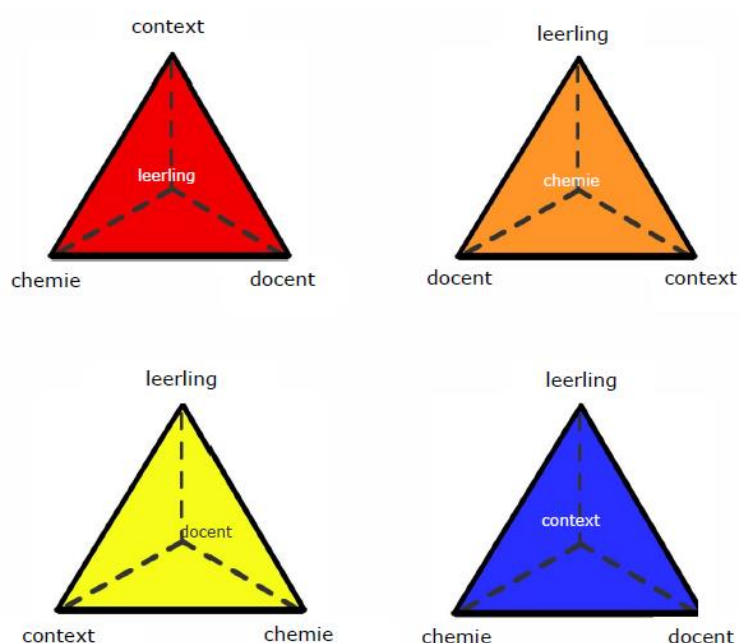
In navolging van de commissie van Korten komt in 2006 de Stuurgroep Nieuwe Scheikunde met het rapport: Ontwerp van een leerlijn en toetslijn Nieuwe Scheikunde, leerjaar 3 havo en vwo (Driessen, 2006)²¹. Hierin wordt ook het principe van de viervlakschemie toegepast. In de volgende paragrafen wordt hier uitgebreider op ingegaan.

2.1.4 Viervlakschemie

De lesmethodiek van Chemie im Kontext (ChiK)(Parchmann, 2006)¹¹ maakt in de modules gebruik van de zogenaamde viervlakschemie, een vorm van scheikundeonderwijs waarbij een viertal aspecten (chemie, context, docent en leerling) steeds een verschillende rol spelen. Ieder vlak beschrijft een fase in de ontwikkeling en uitvoering van de module (zie figuur 2.1). Veel van de ontwikkelde modules voor de Nieuwe Scheikunde zijn ook opgebouwd volgens de viervlakschemie (Apotheker, 2006)¹⁶.

Bij het ontwerp van de module, eigenlijk de nulfase, staat het vlak docent, chemie, context centraal (rood). In de introductiefase (het oranje vlak) staan

de leerling, de docent en de context centraal. In deze eerste fase wordt de context geïntroduceerd op een dusdanige wijze dat de leerlingen geïnteresseerd raken in het onderwerp en hun aanwezige voorkennis geactiveerd wordt. Vervolgens draait het tetraëder naar het gele vlak (leerling, context en chemie). Dit vlak vertegenwoordigt twee fasen. De nieuwsgierigheids- en planningsfase, waarin de leerlingen chemische vragen gaan formuleren en bedenken welk onderzoek ze kunnen gaan verrichten. In plaats van simpelweg te brainstormen kan het opstellen van een conceptmap een goed hulpmiddel zijn (White & Gunstone, 1992²², Yin, Vanides, Ruiz-Primo, Ayala & Shavelson, 2005²³, Odom & Kelly, 2001²⁴). De docent heeft in deze fase een louter begeleidende rol. Hoe meer de leerlingen zelf in de hand hebben, des te groter zal hun motivatie en enthousiasme zijn. De derde fase, de verwerkingsfase, valt ook onder het gele vlak. In deze fase voeren de leerlingen hun onderzoek uit. Vaak gaat het hier om practica, al dan niet zelf ontworpen, maar ook literatuuronderzoek of onderzoek op locatie behoren tot de mogelijkheden. Meestal wordt het project afgesloten met een presentatie. Vervolgens draait het blauwe vlak naar voren. Hierin staan de leerling, de chemie en de docent centraal. In deze vierde- en verdiepingsfase speelt de docent weer een actievere rol. Hij probeert de resultaten van de leerlingen te ordenen binnen de systematiek van de chemische kennis. De chemische begrippen worden uit de context gehaald en teruggebracht naar meer abstracte kennis. Men kan nu teruggaan naar het oranje vlak waar de leerlingen hun opgedane kennis moeten toepassen op een nieuwe context, het re-contextualiseren. Men noemt deze fase dan ook wel de verankeringsfase.



Figuur 2.1 Verbeelding van het viervlakschemie onderwijs (Apotheker, 2006)¹⁶.

2.1.5 Criteria waaraan een module Nieuwe Scheikunde moet voldoen

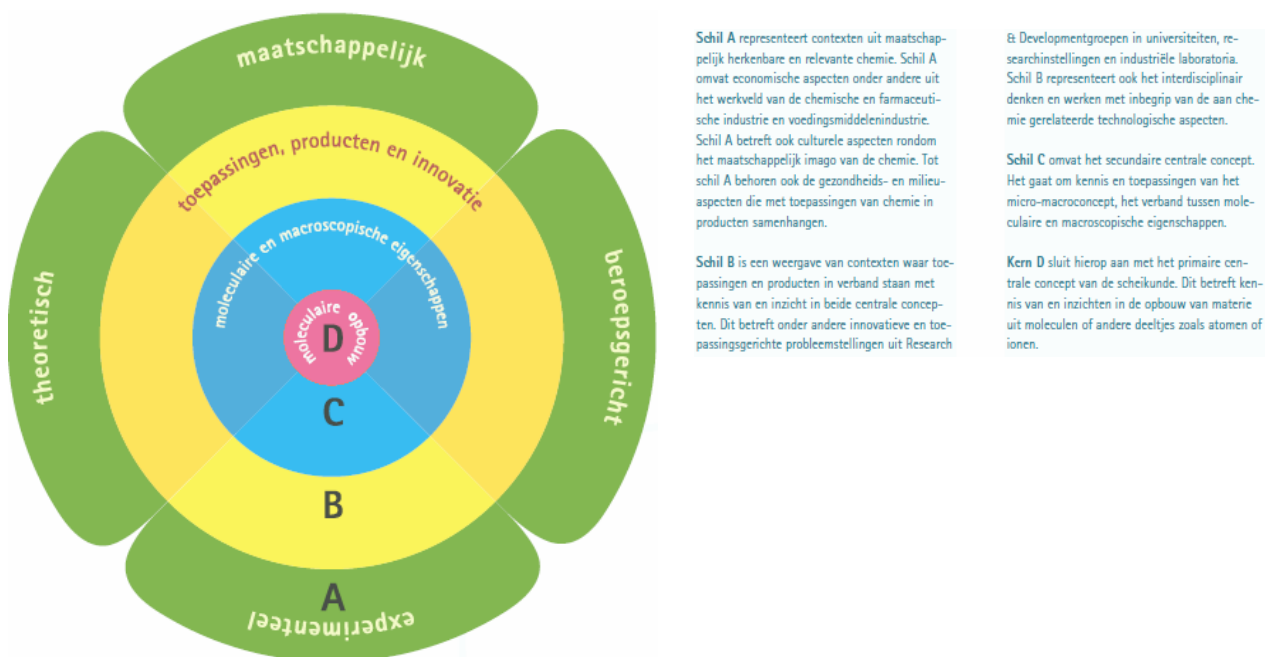
In 2010 komt de Stuurgroep Nieuwe Scheikunde met zijn eindrapport: Scheikunde in de dynamiek van de toekomst (Apotheker et al., 2010)². De commissie heeft de uitgangspunten uit het rapport, Chemie tussen context en concept (Driessen & Meinema, 2003)⁴, als volgt geconcretiseerd. Het leermateriaal moet:

- Bijdragen aan wetenschappelijke geletterdheid van leerlingen.
- Enthousiasmeren voor een vervolgstudie in bèta/techniek.
- Motivatie en prestatie verhogend zijn in gebruik binnen het N-profiel.
- Voorbeelden geven van wat chemici doen in hun beroepspraktijk.
- Aan alle leerlingen, ook de leerlingen die geen bètastudie kiezen, een goed beeld geven van het belang van de sector chemie in de Nederlandse samenleving.

De criteria waaraan een module Nieuwe Scheikunde moet voldoen zijn door de commissie niet uitgebreid geformuleerd. Zij streeft naar een *bottom up* ontwikkelproces, waarbij de slagingskansen in het veld vergroot kan worden door regelmatig docentenbijeenkomsten te organiseren over thema's die docenten inspireren, zoals:

- Welke voorbeelden van vernieuwing kunnen als inspiratie dienen?
- Hoe kan een context-conceptbenadering vorm krijgen?
- Welke buitenlandse voorbeelden bieden houvast voor een eigen voorbeeldmodule?

Men heeft van de geclusterde probleemvelden, die in het rapport "Chemie tussen context en concept" gekoppeld zijn aan vier uitwerkingsrichtingen, een visueel beeld gemaakt, het klaverblad van de Nieuwe Scheikunde (zie figuur 2.2).



Figuur 2.2 Het klaverblad van de Nieuwe Scheikunde (Driessen & Meinema, 2003)⁴

Met dit klaverblad werkt men van buiten naar binnen, waarbij contexten en producten de aanleiding zijn tot verkenning gevolgd door de verdieping van de vakconcepten. Dit klaverblad kunnen ontwikkelaars en docenten gebruiken als leidraad in de ontwikkeling van nieuw lesmateriaal. Wel stelt de commissie dat modules Nieuwe Scheikunde uit moeten gaan van een maatschappelijke, beroepsgerichte of vakinhoudelijke vraag. Als leerlingen zo'n centrale vraag uitwerken en zich daardoor in de context verdiepen, leidt dit tot kennis over de robuuste vakconcepten die ermee verbonden zijn. Hier ligt bovendien ook de mogelijkheid om de inhoud van modules te verbinden met modules van andere vakdisciplines doordat een contextgebied zich niet door grenzen van vakdisciplines laat inperken.

Uit ervaringen in het examenexperiment (2007-2010) dat in het artikel wordt besproken bleek dat leerlingen extra gemotiveerd kunnen raken als ze zien dat docenten uit verschillende vakken, samen en tegelijk, hetzelfde onderzoeksgebied in hun lessen door hen laten bestuderen.

Daarnaast heeft de stuurgroep de namen van de domeinen veranderd en de formulering van de eindtermen is aangepast waardoor deze laatste binnen een domein een duidelijker karakter krijgen en de relatie van de kernconcepten met de vier schillen van het klaverblad wordt scherper benoemd.

- *Theoretisch*: de eindtermen zijn meer gericht op ontwikkeling van kennis en vaardigheden van leerlingen.
- *Beroepsgericht*: de eindtermen brengen de relatie met de beroepspraktijk en beroepen in de chemie naar voren en zijn meer gericht op beeldvorming over het belang van chemie bij hun vervolgopleiding, studie en beroep.
- *Maatschappelijk*: een deel van de eindtermen richt zich op de maatschappelijke positie van de sector chemie in de Nederlandse samenleving en de wetenschappelijke geletterdheid (*scientific literacy*) van alle leerlingen met betrekking tot duurzaamheid in deze sector.
- *Experimenteel*: specifieke eindtermen leggen vast dat leerlingen scheikunde ervaren als een experimenteel natuurwetenschappelijk vak.

Ook wordt er een groter onderscheid voorgesteld tussen het centraal- en het schoolexamen. In het centraal examen wordt de nadruk gelegd op het toetsen van kennis van en inzicht in concepten, terwijl men bij het schoolexamen meer ingaat op de wisselwerking tussen contexten en concepten en experimentele vaardigheden. Zo biedt het schoolexamen ruimte voor vernieuwing van toetsvormen. Het is echter wel noodzakelijk dat er voor de kwaliteitsborging instrumenten worden ontwikkeld.

Als laatste benoemt men nog het belang van de ontwikkeling van een goede doorlopende leerlijn, aangezien in het oude programma een groot verschil bestond tussen de lesprogramma's voor scheikunde van klas 3 en 4.

2.1.6 Het ontwerpen van een leerlijn

Het docentenhandboek van de stuurgroep Nieuwe Scheikunde, Ontwerp van een leerlijn en toetslijn Nieuwe Scheikunde: Leerjaar 3 havo en vwo (Driessen, 2006)²¹, kan als leidraad worden gebruikt voor het ontwikkelen van een reeks aansluitende modules. Het nieuwe scheikundeprogramma onderscheidt vier competentievelden:

- a) Kennis ontwikkelen over de chemie.
- b) Communiceren over chemie.
- c) Gebruiken van chemiekennis.
- d) Beoordelen van chemie.

Ieder competentieveld wordt ingedeeld in vijf beheersingsniveaus. Niveau I beslaat het toepassen van bestaande kennis in eenvoudige situaties, om vervolgens te eindigen op niveau V waarbij de leerling bijvoorbeeld complexe onderzoeksmethoden selecteert en toe kan passen bij nieuwe, complexe probleemstellingen. Ook hier heeft men zich weer gebaseerd op de ontwikkelingen in het Duitse onderwijs (Duit, Häussler & Prenzel, 2001)²⁵. De stuurgroep heeft een geïntegreerde matrix voor het ontwerpen van een leerlijn en toetslijn opgesteld (Bijlage 2). Deze matrix is een synthese van de competentievelden voor het ontwerpen van onderwijs en die voor toetsing en

evaluatie. Er blijft echter genoeg ruimte over voor eigen voorkeuren van ontwikkelaars. Eén overweging kan bijvoorbeeld zijn om bij de havo een inperking aan te brengen tot vier niveaus. Er zijn voor havo en vwo aparte leerlijnen ontwikkeld die met name verschillen in de diepte waarin concepten worden uitgewerkt en de aard van de contexten. Met name de theoretische contexten worden vooral op het vwo gebruikt, terwijl de havo-leerling vaker te maken krijgt met maatschappelijke en toepassingsgerichte contexten.

2.2 Ontwerp gericht onderzoek

In het “Bronnenboek Onderzoekstrategieën” (de Bruïne, Everaert, Harinck, Riezenbosch-de Groot & van de Ven, 2011)²⁶ wordt ontwerpgericht onderzoek als volgt gedefinieerd:

“Ontwerpgericht onderzoek is de systematische studie van het ontwerp, de ontwikkeling en de evaluatie van onderwijskundige interventies (zoals programma’s, leer- en onderwijsmethodiek en onderwijsmaterialen, producten en systemen) als oplossingen voor complexe problemen in de onderwijspraktijk, die zich eveneens tot doel stelt om onze kennis over de kenmerken van deze interventies en de processen waarbinnen deze worden ontworpen en ontwikkeld te vergroten.”

(Deze definitie is een eigen vertaling van de Bruïne et al. (Plomp & Nieveen, 2010, p. 13)²⁷.)

Het eindresultaat van onderwijskundig ontwerpgericht onderzoek is dus tweeledig. Aan de ene kant wordt een praktisch bruikbare module ontwikkeld, de interventie, die in de klas kan worden ingezet als oplossing voor het veldprobleem. Aan de andere kant worden de karakteristieken van het ontwerpproces opgesteld.

De ontwikkeling van een nieuwe praktische module en het evalueren van deze module past goed in deze onderzoekstrategie.

Wang en Hannafin (2005)²⁸ en Van den Akker, Gravemeijer, McKenney en Nieveen (2006)²⁹ benoemen de volgende kenmerken van ontwerpgericht onderzoek. Het is:

- pragmatisch:
Doel is het oplossen van bestaande problemen uit de praktijk door het ontwerpen, ontwikkelen en uitvoeren van interventies evenals het uitbreiden van theorie en het verfijnen van ontwerp principes. Er is sprake van een wederzijdse en continue ontwikkeling van zowel ontwerp als theorie. De kwaliteit van de interventie wordt vastgesteld, waarbij de bruikbaarheid in de praktijk en effectiviteit belangrijke criteria zijn.
- contextueel:
Het ontwerp is gegrond in de context van de bestaande, authentieke praktijk met al haar complexiteit, dynamiek en beperkingen.

Onderzoeksresultaten zijn verbonden door zowel ontwerp als proces met de specifieke setting waar het onderzoek wordt uitgevoerd.

- theoriegericht:

Er wordt voortgebouwd op bestaand onderzoek binnen het domein waarin het type probleem zich voordoet en wil daar ook aan bijdragen. Door systematische evaluatie van opvolgende “prototypen” wordt kennis gegenereerd over de kenmerken en het oplossen van het type probleem dat wordt bestudeerd. Theorie is dus zowel een fundament als een resultaat.

- iteratief:

De ontwikkelfase bestaat uit een aantal cycli of iteraties van analyse, ontwerpen en ontwikkelen, beproeven, evalueren en reviseren. Het iteratieve karakter en de daaruit voortvloeiende verfijningen van het ontwerp vragen om meer flexibiliteit en tijdsinvestering dan traditionele, experimentele benaderingen.

- interactief:

Belangrijk is de samenwerking van onderzoekers en docenten om echte veranderingen te bewerkstelligen. Het alleen kijken naar input en output wordt vermeden. De focus ligt op het gezamenlijk begrijpen van het proces en het verbeteren van interventies.

- integratief:

Onderzoekers voegen afhankelijk van het onderzoek een mix van methoden en benaderingen uit zowel kwalitatieve als kwantitatieve onderzoekparadigma's samen.

Het “Handboek ontwerpgericht wetenschappelijk onderzoek” (van Aken & Andriessen, 2011)³⁰ benoemt de onderdelen die aan bod moeten komen bij het verrichten van een ontwerpgericht onderzoek:

- Veldprobleem (meestal de hoofdvraag in het onderzoek)
- Literatuuronderzoek
- Voorstel-oplossing en case study
- Evaluatie
- Ontwerpstelling

Ontwerpgericht onderzoek kent overeenkomst met evaluatieonderzoek: het vereist iteratieve verfijning van ontwerp en theorie. Dit leidt tot het opnemen van evaluatie als een van de belangrijkste onderzoeksmethoden (Van den Akker, 1999)³¹.

Deze onderdelen komen terug in het hoofdstuk Methode.

Hoofdstuk 3 Ontwerp- en onderzoeksvragen

3.1 De ontwerpvraag

Hoe ziet een geschikte praktische onderwijsmodule over polymeerchemie er uit, die 5 vwo-leerlingen meer motiveert?

De leerlingen volgen de reguliere onderwijsmethode Curie³². In hoofdstuk 10: Macromoleculaire stoffen staan slechts vier practica over het maken dan wel degraderen van polymeren. Daar komt nog bij dat twee van deze proeven een demonstratieproef zijn, uitgevoerd door de docent of TOA. Het doel was een contextrijke, praktische module te ontwikkelen, waarbij de leerlingen zelf een biologisch afbreekbaar plastic maken. Er is gekozen voor een biologisch afbreekbaar plastic omdat de ontwikkeling van dit soort plastics op dit moment zeer actueel is. Bovendien wordt op deze manier ook het onderwerp duurzaamheid besproken, een significant onderdeel in het nieuwe scheikundeprogramma. Verder leek het voor de leerlingen een interessante ervaring om een proef uit te voeren die over meerdere lessen verdeeld is.

De deelvragen

- 1) *Welke aanpassingen zijn gewenst na de eerste test van de module?*
- 2) *Welke aanpassingen zijn gewenst na de tweede test van de module?*

3.2 De onderzoeksvraag

Hoe ervaren de leerlingen de module, "De synthese van een biologisch afbreekbaar plastic. Poly(ϵ -caprolacton) (PCL)"?

Deze onderzoeksvraag is verder uitgewerkt tot drie deelvragen.

De deelvragen

- 1) *Wat vinden de leerlingen van het niveau van de module?*
- 2) *Hebben de leerlingen de module als motiverend ervaren?*
- 3) *Hoe scoren de leerlingen op de toets in vergelijking met leerlingen die de module niet gevolgd hebben?*

Hoofdstuk 4 Methode

Dit hoofdstuk bestaat uit twee delen. Het eerste deel heeft betrekking op de ontwikkeling van de module (de ontwerpvraag). Het tweede deel behandelt de methode die gevolgd is voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag.

4.1 Ontwerpeisen aan de module

In paragraaf 2.2 zijn de onderdelen benoemd die bij een ontwerpgericht onderzoek aan bod dienen te komen. Nu volgt de verdere uitwerking van deze onderdelen behorende bij de ontwikkeling van de module, "De synthese van een biologisch afbreekbaar plastic. Poly(ϵ -caprolacton) (PCL)" (module PCL).

4.1.1 *Veldprobleem*

De ontwerpvraag is het veldprobleem binnen het ontwerpgericht onderzoek. Hoe ziet een geschikte praktische onderwijsmodule over polymeerchemie er uit die 5 vwo-leerlingen meer motiveert?

4.1.2 *Literatuuronderzoek*

Er is een kort literatuuronderzoek naar ontwerpgericht onderzoek gedaan (zie paragraaf 2.2). Daarnaast is de literatuur bestudeerd om de inhoud van de module te kunnen realiseren. De basis voor de synthese van PCL is aangeleverd door D. Grijpma (zie bijlage 13). De mechanismes en verdere informatie komt uit het reviewartikel van Labet en Thielemans (2009)³³. Ook zijn er nog een drietal actuele artikelen over biodegradeerbare plastics toegevoegd. Deze artikelen zijn toegevoegd bij de tweede versie van de module die uitgevoerd is in schooljaar 2013-2014 met als doel de module van een rijkere context te voorzien.

4.1.3 *Voorsteloplossing en case study*

De module is ontwikkeld als een praktische module die wordt aangeboden naast de lessen uit de reguliere onderwijsmethode, Curie³³. Het hoofddoel is om de leerlingen meer gemotiveerd te krijgen door het aanbieden van een module met een actuele context en een andere opzet dan de leerlingen tot nu toe gewend waren.

4.1.4 *Evaluatie*

De ontwikkelde module is in twee opeenvolgende schooljaren getest. Na afloop is bij de leerlingen een enquête afgenomen. De resultaten van de enquête werden gebruikt voor het aanpassen van de module.

4.1.5 Ontwerpstelling

Uiteindelijk is als resultaat van het ontwerpgericht onderzoek de module opgesteld zoals weergegeven in bijlage 12. Hierin zijn diverse aanpassingen verwerkt die naar voren kwamen uit de enquêtes.

4.2 Methode voor beantwoording van de onderzoeksvraag

4.2.1 Respondenten

De module is uitgevoerd in schooljaar 2012-2013 en 2013-2014 in klas 5 van het vwo. In het schooljaar 2012-2013 ging het om een 5 vwo-groep van 24 leerlingen. Vier leerlingen hebben niet alle 5 de lessen kunnen volgen en twee leerlingen hebben de enquête niet serieus ingevuld. Uiteindelijk blijven er 18 respondenten over. Het ging hier om 9 jongens en 9 meisjes.

In het schooljaar 2013-2014 hebben twee 5 vwo-groepen de lessen van de module gevolgd.

Klas V5g bestond uit 25 leerlingen. 21 leerlingen hebben alle lessen kunnen volgen en de enquête ingevuld. Dit waren 9 jongens en 12 meisjes.

Klas V5i bestond uit 17 leerlingen waarvan 15 leerlingen de hele lessencyclus hebben gevolgd en de enquête ingevuld. Het betrof hier 6 jongens en 9 meisjes.

In het hoofdstuk Resultaten wordt ook gekeken naar een 5 vwo-groep uit het schooljaar 2011-2012, die de module niet heeft gevolgd, en dus alleen maar les uit de methode heeft gehad. Deze klas bestond uit 22 leerlingen waarvan 11 jongens en 11 meisjes.

4.2.2 Procedure

In het schooljaar 2012-2013 is de module, "De synthese van een biologisch afbreekbaar plastic. Poly(ϵ -caprolacton) (PCL)", ontwikkeld. De module is in de derde periode van het schooljaar getest op een groep vwo 5 leerlingen. Deze praktische module werd gebruikt naast de reguliere lesmethode (Curie, hoofdstuk 10: Macromoleculaire stoffen)³². De periode werd afgesloten met een toets. Het betrof hier dezelfde toets die in het schooljaar 2011-2012 is afgenomen. Daarnaast hebben de leerlingen na het afronden van de module een enquête ingevuld (bijlage 3). Het ging hier, zoals eerder vermeld, alleen om de leerlingen die alle lessen uit de module hebben kunnen volgen. De module is vervolgens op een aantal punten aangepast en in het schooljaar 2013-2014 wederom getest (bijlage 11). Ditmaal ging het om twee vwo 5 klassen. Ook deze klassen hebben de periode afgesloten met dezelfde toets, en alle leerlingen hebben de enquête ingevuld.

4.2.3 Instrumenten

In schooljaar 2012-2013 werd de eerste versie van de module PCL gebruikt. Dit was nog een zeer ruwe versie. De module bevatte nog geen actuele artikelen ter verrijking van de context en de verschillende mechanismes van de ringopenings-polymerisatie van ϵ -caprolacton waren nog niet toegevoegd. In schooljaar 2013-2014 werd de versie van de module PCL gebruikt zoals toegevoegd in bijlage 11. Nieuw aan deze versie is de toevoeging van drie actuele artikelen over biodegradeerbare plastics en de verschillende mechanismes van de ringopenings-polymerisatie van ϵ -caprolacton. Bovendien zijn er een aantal kleine aanpassingen aan de uitvoering van de synthese gedaan.

In beide schooljaren is er na afloop van de module een enquête afgenomen bij de leerlingen die alle lessen van de module gevolgd hadden. Deze enquête was voor beide jaren exact hetzelfde en staat vermeld in bijlage 3.

Als laatste instrument is er een toets afgenomen behorende bij hoofdstuk 10, macromoleculaire stoffen van de methode Curie³³. Ook deze toets was in beide schooljaren hetzelfde en is bovendien ook afgenomen in het schooljaar 2011-2012.

4.2.4 Analyse

Als eerste zijn alle antwoorden op de vragen van de enquête per groep verzameld en verwerkt. Hierbij zijn soortgelijke antwoorden zoveel mogelijk gebundeld in categorieën om een zo goed mogelijk overzicht te krijgen. Bij vraag zeven en acht is het gemiddelde berekend en daarnaast ook de modus en de mediaan.

Voor de beantwoording van deelvraag één is met name gekeken naar de antwoorden op de vragen zes en zeven maar relevante antwoorden op één van de andere vragen zijn meegenomen om tot een goed antwoord op de deelvraag te komen.

De beantwoording van deelvraag twee is tot stand gekomen door analyse van de vragen drie, vier, vijf, zes, negen en elf. Hierbij zijn de antwoorden indien mogelijk teruggebracht tot twee categorieën: een positief of negatief getint antwoord.

Deelvraag drie is beantwoord door analyse van de toetsresultaten van schooljaar 2011-2012 tot en met 2013-2014. Het gemiddelde, de variatie en de standaarddeviatie zijn berekend (bijlage 7 t/m 10).

Hoofdstuk 5 Resultaten

5.1 De ontwikkeling van de module PCL

De eerste versie van de module is ontwikkeld op basis van het door D. Grijpma aangeleverde practicum (bijlage 13). Bij het testen van de procedure bleek het minder eenvoudig om een goed polymeer te maken dan gedacht. Daarom werd besloten dat ieder groepje leerlingen (tweetallen) met een andere hoeveelheid ϵ -caprolacton zou werken maar met een gelijke hoeveelheid tinocroaat. Zo kan na het testen van de polymeren worden gekeken wat de beste verhouding is. Dit is voor de eerste test aangepast aan de module.

Na de eerste uitvoering in schooljaar 2012-2013 zijn de nodige aanpassingen aan de module gedaan. Deze aanpassingen werden gedaan na analyse van de resultaten van de enquête (bijlage 4). Er is besloten de theorie binnen de module uit te breiden. Bij vraag twee (Hoe vond je de verhouding tussen theorie en praktijk) in de enquête antwoorden weliswaar zes van de achttien leerlingen dat er al veel theorie in verhouding met de praktijk in de module zit maar daar staat tegenover dat zes leerlingen de verhouding wel prima vinden. Verder zijn er vier leerlingen die juist vinden dat er meer praktijk dan theorie in de module zit, en één leerling vindt de theorie veel moeilijker dan de praktijk. Daarnaast komt bij vraag zes (Hoe heb je deze module ervaren? Ga in op het theoretische gedeelte) naar voren dat een leerling de theorie onduidelijk vindt. Eén leerling vindt dat er meer theorie per les in mag en een drietal leerlingen zegt niet veel geleerd te hebben. Ook werd nog de opmerking gemaakt dat het theoretisch gedeelte langdradig was. Nog een extra reden om het theoretische gedeelte verder uit te breiden was, dat elf leerlingen op vraag vijf (Wat vond je minder leuk aan deze module?) antwoordden: Te weinig te doen, het wachten / tempo van de proef. Deze momenten waarop de leerlingen moeten wachten kunnen nu opgevuld worden met het behandelen van theorie. Overigens omcirkelden alle leerlingen bij vraag negen (Ik vond deze module:) het antwoord leuk en de vraag, "Vind je dat deze module volgend jaar ook in het lespakket moet blijven?" (vraag elf), werd unaniem met ja beantwoord.

Mede op basis van deze bevindingen is besloten een drietal actuele artikelen over biodegradeerbare plastics toe te voegen. Hiermee is de module meer contextrijk geworden. Daarnaast is het theoretische gedeelte uitgebreid met onder andere de verschillende mechanismes die plaats kunnen vinden bij de ringopenings-polymerisatie van ϵ -caprolacton. Deze tweede versie van de module is opgenomen in bijlage 11.

In het schooljaar 2013-2014 is de tweede versie van de module uitgevoerd. Dit keer in twee vwo 5 klassen. De verwerking van de enquêtes is opgenomen in bijlage 5 en 6. In de rest van deze paragraaf zijn de resultaten die worden genoemd een optelsom van de antwoorden van beide klassen. Het gaat hier dan om in totaal 36 respondenten. Als we nu kijken naar het theoretische gedeelte en de verhouding met de praktijk antwoorden 24 leerlingen dat de verhouding goed dan wel prima is. Op vraag zes antwoorden zestien leerlingen positief, negen negatief, vijf neutraal en zes gaven geen antwoord. Ondanks de aanpassingen antwoorden nog tien leerlingen op vraag vijf: Te weinig te doen, het wachten / tempo van de proef. Ook was bij tien leerlingen de polymerisatie niet goed verlopen. Een tweetal leerlingen kwam bij vraag tien met de aanbeveling om in de eerste les twee polymeren te maken zodat wanneer er één mislukt je nog een ander polymeer hebt. Als er gekeken wordt naar de keuze voor een practicum dat over meerdere lessen wordt uitgevoerd zien we bij de antwoorden op vraag drie (Hoe was het om vier lessen lang met één proef bezig te zijn?) dat vijf leerlingen een negatief getint antwoord geven en 31 leerlingen een positief antwoord. Met uitspraken als: Heel leuk, nieuwsgierig naar het eindproduct, fijn om een proces te volgen en er dieper op in te gaan, innovatief en uitdagender dan andere practica, leuk, aangezien het in het dagelijks leven ook niet van de één op de andere dag klaar is en leuk, omdat het echt je eigen ding is.

De module als geheel werd gewaardeerd met een gemiddeld cijfer: 7,3. Tweeëndertig leerlingen vonden de module leuk of superleuk (vraag negen) en 35 leerlingen antwoordden ja op de vraag of de module in het lespakket moest blijven (vraag elf).

Na de analyse van de enquêtes zijn er nog een aantal aanpassingen aan de module gedaan. Onder andere zijn de opdrachten nu in de tekst verwerkt en er zijn een aantal opdrachten toegevoegd. Door deze aanpassing wordt de eventuele wachttijd nog verder gereduceerd. Het eindresultaat is opgenomen in bijlage 12.

5.2 Het ervaren van de module PCL

Voor het beantwoorden van de deelvragen één en twee is alleen gekeken naar de resultaten van de enquêtes van het schooljaar 2013-2014 (bijlage 5 en 6).

5.2.1 Resultaten voor de beantwoording van deelvraag 1

Wat vinden de leerlingen van het niveau van de module?

Allereerst is gekeken naar de antwoorden op vraag zeven (Wat vind je van de moeilijkheidsgraad van de module? (1=makkelijk, 10=heel moeilijk)). Zowel klas V5g als klas V5i komt hier op een gemiddelde score van 5,5. Wel moet opgemerkt worden dat de modus voor beide klassen 7 was. In totaal gaven zestien leerlingen dit antwoord. Het gemiddelde valt vooral lager uit doordat één leerling een 1 gaf en twee leerlingen een 2. Als deze uitschieters naar beneden niet mee worden genomen wordt het totaal gemiddelde 5,8. Voor de rest van de vragen zijn wederom de antwoorden van beide groepen als één geheel bekeken.

Op vraag zes (Hoe heb je deze module ervaren? Ga in op het theoretische gedeelte) gaven zeventien leerlingen een antwoord dat past in de categorie niet moeilijk. Negen leerlingen vonden de theorie wel moeilijk. Zes leerlingen hebben de vraag niet beantwoord en de overige vier gaven een antwoord dat niet in één van deze twee categorieën te plaatsen valt.

Bij vraag tien (Wat zou jij veranderen aan deze module?) gaf geen enkele leerling een antwoord dat aangaf dat het niveau naar boven of beneden moet worden aangepast. Wel maakten twee leerlingen de opmerking dat het practicumgedeelte moeilijker mag.

5.2.2 Resultaten voor de beantwoording van deelvraag 2

Hebben de leerlingen de module als motiverend ervaren?

Op vraag drie (Hoe was het om vier lessen lang met één proef bezig te zijn?) gaven vijf leerlingen een negatief antwoord. Eenendertig leerlingen gaven een positief antwoord zoals, heel leuk, nieuwsgierig naar het eindproduct, fijn om een proces te volgen en er dieper op in te gaan.

Bij vraag vier (Wat vond je leuk aan deze module?) kwamen de leerlingen met antwoorden als:

- De praktijk, het zelf doen en onderzoeken.
- Heel anders dan de practica uit het boek.
- Om de theorie in de praktijk te brengen.
- Dat je met iets bezig bent en daarmee verder gaat.

Vraag zes (het praktische gedeelte) leverde 29 positieve en twee negatieve antwoorden op. Vijf leerlingen gaven geen antwoord.

Vraag zes over de module als geheel leverde 30 positieve en twee negatieve antwoorden op. Vier leerlingen gaven geen antwoord.

De module als geheel werd gewaardeerd met als gemiddeld cijfer een 7,3.

Tweeëndertig leerlingen vonden de module leuk of superleuk. Drie leerlingen antwoordden neutraal en één leerling gaf aan de module niet leuk te vinden (vraag negen).

Op vraag elf (moet de module blijven?) antwoordde één leerling: “Nee, het ging nu wat chaotisch en snel, dus van mij zou dat niet hoeven”. De andere vijfendertig leerlingen antwoordden ja.

5.2.3 Resultaten voor de beantwoording van deelvraag 3

Hoe scoren de leerlingen op de toets in vergelijking met leerlingen die de module niet gevolgd hebben?

In onderstaande tabel zijn de resultaten van de toets over hoofdstuk 10, Macromoleculaire stoffen, (Curie³³) weergegeven met daarbij de variatie en de standaarddeviatie. De cijfers van alle leerlingen zijn opgenomen in bijlage 7 t/m 10.

Schooljaar (+klas)	Gemiddelde	Variatie	Standaard-deviatie	Marge
2011-2012	7,0	1,95	1,40	4,2-9,8
2012-2013	7,4	0,45	0,67	6,1-8,3
2013-2014 V5g	7,3	1,74	1,32	4,7-9,9
2013-2014 V5i	6,4	1,35	1,16	4,1-8,6

1: Toetsresultaten hoofdstuk 10, Macromoleculaire stoffen

Toelichting marge: Binnen de statistiek stelt men dat ieder waarnemingsgetal dat binnen twee keer de standaarddeviatie van het gemiddelde ligt niet uitzonderlijk is (www.wiskunst.nl/wiskunde/wiskunde6.htm).

Hoofdstuk 6 Conclusie en discussie

6.1 Conclusie en discussie ten aanzien van de ontwerpvrage

De ontwerpvrage binnen dit onderzoek was:

Hoe ziet een geschikte praktische onderwijsmodule over polymeerchemie er uit, die 5 vwo-leerlingen meer motiveert?

Het antwoord op deze vraag is de module zoals opgenomen in bijlage 12. In de resultaten is al in gegaan op de aanpassingen zoals genoemd in de deelvragen. Deze worden hier dan ook niet herhaald.

Het is overduidelijk dat de leerlingen meer gemotiveerd met het onderwerp polymeerchemie zijn bezig geweest door het werken met de module (zie 5.2.2). Enige discussie over de ontwikkeling van de module is echter wel op zijn plaats. In paragraaf 2.1.5 werden de volgende uitgangspunten genoemd waaraan leermateriaal moet voldoen:

- Bijdragen aan wetenschappelijke geletterdheid van leerlingen.
- Enthousiasmeren voor een vervolgstudie in bèta/techniek.
- Motivatie en prestatie verhogend zijn in gebruik binnen het N-profiel.
- Voorbeelden geven van wat chemici doen in hun beroepspraktijk.
- Aan alle leerlingen, ook de leerlingen die geen bètastudie kiezen, een goed beeld geven van het belang van de sector chemie in de Nederlandse samenleving.

Punt vijf komt in deze module niet echt naar voren.

Bovendien is in het theoretisch kader opgemerkt dat de meeste modules Nieuwe Scheikunde opgebouwd zijn volgens het principe van de viervlakschemie. De module PCL is dit zeker niet.

De module voldoet tot op zekere hoogte wel aan de context-en-concept-benadering. De inleiding van de module waarin onder andere de drie actuele artikelen worden aangehaald, heeft een rijke context die de leerlingen bovendien aanspreekt.

6.2 Conclusie en discussie ten aanzien van de onderzoeksvraag

De onderzoeksvraag binnen dit onderzoek was:

Hoe ervaren de leerlingen de module "De synthese van een biologisch afbreekbaar plastic. Poly(ϵ -caprolacton) (PCL)"?

Deze onderzoeksvraag is verder uitgewerkt tot drie deelvragen.

De deelvragen:

- 1) *Wat vinden de leerlingen van het niveau van de module?*
- 2) *Hebben de leerlingen de module als motiverend ervaren?*
- 3) *Hoe scoren de leerlingen op de toets in vergelijking met leerlingen die de module niet gevolgd hebben?*

De antwoorden op de deelvragen vormen tezamen het antwoord op de onderzoeksvraag.

6.2.1 Antwoord op deelvraag 1

Zoals in de resultaten vermeld waarderen de leerlingen de moeilijkheidsgraad van de module gemiddeld op een 5,8 (na het uitsluiten van drie uitzonderlijke antwoorden). De module wordt dus niet als makkelijk ervaren maar is ook zeker niet te moeilijk. Dit blijkt ook uit de antwoorden op vraag zes. Zeventien leerlingen tegenover negen vonden de theorie niet moeilijk. Ook belangrijk is dat geen enkele leerling bij vraag tien aangaf dat het niveau naar boven of beneden moet worden aangepast. Slechts twee leerlingen maken de opmerking dat het niveau van het practicumgedeelte wel hoger mag.

6.2.2 Antwoord op deelvraag 2

Het antwoord op deze vraag is een volmondig JA! Bij alle vragen in de enquête die iets zeggen over de motivatie van de leerlingen geeft een ruime meerderheid een positief antwoord (zie 5.2.2). Met name de antwoorden op vraag elf zijn in dit opzicht interessant. Vijfendertig van de zesendertig leerlingen vinden dat de module in het lespakket moet blijven. De leerlingen komen met antwoorden als:

- Ja, het was leuk en heel leerzaam.
- Ja, past goed bij de stof en het is leuk eens een ander soort practicum te doen.
- Ja, want de theorie wordt goed uitgelegd en dat levert een goed cijfer op.

Ik hecht veel waarde aan deze antwoorden omdat het mijn ervaring is dat mijn leerlingen over het algemeen erg kritisch zijn op de lesstof. Als ze iets niet leuk vinden zijn ze daar erg duidelijk over.

6.2.3 Antwoord op deelvraag 3

In tabel 5.1 is te zien dat de leerlingen in schooljaar 2012-2013 gemiddeld 0,4 punt hoger scoren op de toets dan de leerlingen uit schooljaar 2011-2012. In het schooljaar 2013-2014 scoort V5g gemiddeld 0,3 punt hoger, maar V5i 0,6 punt lager. Bovendien als de standaarddeviatie wordt meegenomen is dit verschil in geen enkel geval significant. Er kan dus niet een eenduidig antwoord gegeven worden op deze deelvraag behalve dan dat de leerlingen niet significant hoger of lager scoren als ze naast de reguliere methode ook de module hebben gevolgd. Wel goed om te noemen is dat in klas V5i drie jongens zaten die al wisten dat ze naar havo 5 zouden gaan. Deze jongens hebben twee punten lager gescoord dan hun gemiddelde. Dit haalde het gemiddelde van de klas wel naar beneden.

Daarnaast moet ook kritisch gekeken worden naar de inhoud van de toets (bijlage 14). Er konden in totaal 44 punten worden gehaald op de toets. Van alle vragen kunnen alleen vraag 2c, 5b en 5c, enigszins gerelateerd worden aan de module. Deze vragen gaan namelijk over polycondensaties. Het totaal aantal punten in deze vragen is zeven, wat neerkomt op 1,4 punten in het cijfer. Er zijn geen specifieke vragen over de ringopenings-polymerisatie opgenomen in de toets. Het is dus niet vreemd dat er geen significant verschil in het gemiddelde cijfer van de groepen zit.

Verder wil ik nog opmerken dat het voor mij veel zwaarder weegt dat de leerlingen met veel meer motivatie gewerkt hebben en dat de lesstof beter werd opgenomen.

6.3 Aanbevelingen

Om te beginnen wil ik collega's die besluiten de ontwikkelde module te gaan gebruiken adviseren om te zorgen dat men een aantal goed gepolymeriseerde producten op voorhand klaar heeft liggen. Het is bij de uitvoering bij een aanzienlijk aantal leerlingen voorgekomen dat de polymerisatie niet succesvol was. Het probleem is dan dat de leerlingen niet verder kunnen met het practicum. De laatste les gaan de leerlingen onder andere de rekproef uitvoeren. Juist dit onderdeel werd door veel leerlingen als de kers op de taart gezien. Sommige leerlingen noemden dit ook expliciet in de enquête. De leerlingen die geen goed product hadden verkregen noemden dit ook allemaal bij vraag vijf (Wat vond je minder leuk aan deze module).

Nu de invoering van de Nieuwe Scheikunde een aantal jaren een feit is, zou het goed zijn de module te herontwerpen. Er kan gekeken worden op wat voor manier de viervlakschemie kan worden verwerkt in de module. Een aantal leerlingen benoemde in de enquête namelijk dat ze meer zelf zouden willen doen. Een interessante aanpassing kan zijn om de leerling in eerste instantie zelf een werkplan te laten schrijven.

Verder is het belangrijk om de huidige artikelen in de module te vernieuwen; de ontwikkeling in biodegradeerbare plastics is op dit moment in volle gang. Om de context voor leerlingen dus zo aansprekend mogelijk te houden, dient men mijns inziens ieder schooljaar te kijken hoe de recente ontwikkelingen zijn en de theorie hier op aan te passen.

Als ik kijk naar de door mij samengestelde enquête dan valt daar ook nog wel het een en ander aan te verbeteren. Ook al heb ik natuurlijk heel bewust nagedacht over de formulering van de vragen, achteraf gezien bleek dat de vraagstelling niet altijd even handig was; dit maakte het soms moeilijk de antwoorden te analyseren. Het is denk ik beter om meer met Likert-type stellingen te werken en de vragen minder open te stellen. Op deze manier kan men ook de nodige statistische parameters gebruiken.

Rest mij nog te zeggen dat het door mij gevolgde tijdspad bij het tot stand komen van dit Onderzoek van Onderwijs verre van ideaal was. Ik heb de module voor het laatst uitgevoerd in schooljaar 2013-2014. Sinds die tijd heeft alles door omstandigheden tot juni 2017 op de plank gelegen. Het kostte mij daardoor uiteindelijk veel meer tijd om tot een gewenst eindresultaat te komen. De ontwerp- en onderzoeksvraag moesten toen nog geformuleerd worden. Mede daardoor liep ik regelmatig tegen zaken aan die ik bij de ontwikkeling en uitvoering van de module beter anders had kunnen doen.

Literatuur / Referenties

-
- ¹ Van Koten, G., de Kruiff, B., Driessen, H.P.W., Kerkstra, A., Meinema, H.A. (2002). Bouwen aan scheikunde. Enschede: SLO.
- ² Apotheker, J., Bulte, A., de Kleijn, E., van Koten, G., Meinema, H., Seller, F. (2010). Scheikunde in de dynamiek van de toekomst. Enschede: SLO.
- ³ De Vos, W., van Berkel, B., Verdonk, A. (1994). A Coherent Conceptual Structure of the Chemistry Curriculum. *Journal of Chemical Education*, 71(9), 743-746.
- ⁴ Driessen, H.P.W., Meinema, H.A. (2003). Chemie tussen context en concept. Enschede: SLO.
- ⁵ Van den Akker, J. (1998). The science curriculum: Between ideals and outcomes. In Fraser, B., & Tobin, K., (Eds.) *International handbook of science education*, 421-447. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- ⁶ Schwartz, A.T. (2006). Contextualized Chemistry Education: The American experience. *International Journal of Science Education*, 28(9), 977-998.
- ⁷ Thijs, A., van den Akker, J., (2009). Leerplan in ontwikkeling. Enschede: SLO.
- ⁸ Van den Akker, J., Fasoglio, D., Mulder, H. (2008). A curriculum perspective on plurilingual education. Enschede: SLO.
- ⁹ Hofstein, A., Kesner, M. (2006). Industrial Chemistry and School Chemistry: Making chemistry studies more relevant. *International Journal of Science Education*, 28(9), 1017-1039.
- ¹⁰ Bennet, J., Lubben, F. (2006). Context-based chemistry: The Salters' approach. *International Journal of Science Education*, 28(9), 999-1015.
- ¹¹ Parchmann, I., Gräsel, C., Baer, A., Nentwig, P., Demuth, R., Ralle, B. (2006). Chemie im Kontext: A symbiotic implementation of a context-based teaching and learning approach. *International Journal of Science Education*, 28(9), 1041-1062.
- ¹² Gilbert, J.K. (2006). On the Nature of "Context" in Chemical Education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957-976.
- ¹³ Pilot, A., Bulte, A.M.W. (2006a). Why do you "Need-to-know"? Context-based education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 953-956.
- ¹⁴ Pilot, A., Bulte, A.M.W. (2006b). The use of "Contexts" as a Challenge for the Chemistry Curriculum: Its successes and the need for further development and understanding. *International Journal of Science Education*, 28(9), 1087-1112.
- ¹⁵ King, D., Bellochi, A., Ritchie, S.M. (2008). Making Connections: Learning and teaching Chemistry in Context. *Research in Science Education*, 38, 365-384.
- ¹⁶ Apotheker, J., Keij, M. (2006). Docentenhandleiding modules nieuwe scheikunde. Rijksuniversiteit Groningen: Studiestijgers, 34-59.
- ¹⁷ Parchmann, I. (1998). Chemie im Kontext – ein Konzept zur verbesserung der Akzeptanz von Chemieunterricht? In A. Kometz (Ed.), *Chemieunterricht im Spannungsfeld Gesellschaft – Chemie – Umwelt* (pp. 12). Berlin: Cornelsen Verlag.
- ¹⁸ Hill, G., Holman, J., Lazonby, J., Raffan, J., Waddington, D. (1989). *Chemistry, The Salters' approach*. Oxford: Heinemann Educational Books Ltd.
- ¹⁹ Holman, J., Hunt, A., Millar, R. (2004). 21st century science (4-6). Oxford: Oxford University Press.
- ²⁰ Goedhart, M. (2004). Contexten en concepten: een nadere analyse. Enschede: SLO.
- ²¹ Driessen, H.P.W. (2006). Ontwerp van een leerlijn en toetslijn nieuwe scheikunde, leerjaar 3 havo en vwo. Enschede: SLO.
- ²² White, R., Gunstone, R. (1992). *Probing Understanding*. Chapter 2: Concept Mapping. New York, NY: Routledge.
- ²³ Yin, Y., Vanides, J., Ruiz-Primo, M.A., Ayala, C.C., Shavelson, R.J. (2005). Comparison of Two Concept-Mapping Techniques: Implications for scoring, Interpretation, and Use. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(2), 166-184.
- ²⁴ Odom, A.L., Kelly, P.V. (2001). Integrating concept mapping and the learning cycle to teach diffusion and osmosis concepts to high school biology students. *Science Education*, 85(6), 615-635.
- ²⁵ Duit, R., Häussler, P., Prenzel, M. (2001). Schulleistungen im Bereich der naturwissenschaftlichen Bildung. In F.E. Weinert (Ed.), *Leistungsmessungen in Schulen*, 169-185. Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- ²⁶ De Bruïne, E., Everaert, H., Harinck, F., Riezenbosch-de Groot, A., van de Ven, A. (2011). *Bronnenboek Onderzoekstrategieën*. Tilburg, Utrecht, Zwolle: LEOZ.

-
- ²⁷ Plomp, T., Nieveen, N.M. (Eds.) (2010). An introduction to educational design research: Proceedings of the seminar conducted at the East China Normal University, Shanghai (PR China), November 23-26, 2007. (3e print ed.) Enschede:SLO.
- ²⁸ Wang, F., Hannafin, M.J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 53(4), 5-23.
- ²⁹ Van den Akker, J., Gravemeijer, K., McKenney, S., Nieveen, N.M. (red.). (2006). *Educational design research*. Londen, New York: Routledge.
- ³⁰ Van Aken, J., Andriessen, D. (2011). *Handboek ontwerpgericht wetenschappelijk onderzoek*. Den Haag: Boom Lemma Uitgevers.
- ³¹ Van den Akker, J. (1999). Principles and methods of development research. In: van den Akker, J., Branch, R., Gustafson, K., Nieveen, N.M., Plomp, T. (red.), *Design approaches and tools in education and training*, 1-14. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- ³² Curie: Scheikunde voor de tweede fase. (2004).(59-82). Utrecht, Zutphen: ThiemeMeulenhoff.
- ³³ Labet, M., Thielemans, W. (2009). Synthesis of polycaprolactone: a review. *The Royal Society of Chemistry*, 38, 3484-3504.

Bijlagen

Bijlage 1: Doelstellingen van het nieuwe scheikundeonderwijs (Driessen,2003)⁴

Vakgerichte doelstellingen

1. Leerlingen ontwikkelen belangstelling voor en plezier in het vak scheikunde en behouden dit in de latere leerjaren.
2. Leerlingen vormen zich een realistisch beeld van het belang, de impact en relevantie van scheikundige processen in de levende en de niet-levende natuur, de industrie en in de samenleving.
3. Leerlingen leggen verband tussen scheikundige verschijnselen in hun omgeving en de achterliggende concepten voor het begrijpen, verklaren of voorspellen van die verschijnselen.
4. Leerlingen bouwen basiskennis op van chemische begrippen die van belang zijn voor de ontwikkeling van de concepten.
5. Leerlingen leren scheikundige concepten en begrippen hanteren in verband met voor hen nog onbekende scheikundige verschijnselen.
6. Leerlingen leren scheikundige concepten gebruiken als middel om verschijnselen uit de werkelijkheid te leren hanteren.
7. Leerlingen leren omgaan met modellen om natuurwetenschappelijke verschijnselen te beschrijven en voorspellingen te doen.
8. Leerlingen ontwikkelen scheikundige experimentele vaardigheden.
9. Leerlingen leren veilig omgaan met stoffen en apparaten en leren een risico-inventarisatie op te stellen en te evalueren.

Natuurwetenschappelijke doelstellingen

1. Leerlingen doen ervaring op met de werkwijze van natuurwetenschappelijk onderzoekers.
2. Leerlingen verwerven onderzoeks- en ontwerpvaardigheden en maken daarbij gebruik van natuurwetenschappelijke modellen, begrippen en concepten.
3. Leerlingen leggen verband tussen de resultaten van natuurwetenschappelijk onderzoek, producten of productiemethoden en duurzame ontwikkeling.
4. Leerlingen ontwikkelen een onderzoekende houding en leren vragen stellen bij natuurwetenschappelijke verschijnselen en resultaten van onderzoek.
5. Leerlingen verwerven een beeld van het carrièreperspectief in beroepssectoren in de natuurwetenschappelijke sector en brengen dit in verband met de eigen belangstelling en capaciteiten.

Bijlage 2: Geïntegreerde matrix voor het ontwerpen van een leerlijn en toetslijn (Driessen, 2006)²¹

Niveau	Vakmethoden voor kennisontwikkeling	Communiceren	Vakkennis en vakinzicht	Reflecteren en oordelen
I	eenvoudige onderzoeksmethoden en modellen beschrijven en toepassen in een standaard probleemstelling	standaard informatie in verschillende binnen de vakgemeenschap gebruikelijke vormen herkennen en weergeven.	voorkennis over waarnemingen en chemische begrippen ordenen naar aanleiding van een verschijnsel	aangeven welke chemische kennis en inzichten verband houden met een bewering over een stof, materiaal, proces of toepassing van chemie
II	zelf een standaard onderzoeksmethode of model selecteren en toepassen bij eenvoudige probleemstellingen	selecteren van informatie en verwerven van vakkennis uit vakgerelateerde bronnen en deze schriftelijk en/of mondeling presenteren aan 'peers'	concepten en daaraan gerelateerde vakbegrippen kunnen weergeven en toepassen in standaard probleemstellingen	toepassen van chemische kennis en inzichten bij het analyseren en op een objectieve wijze oordelen over een bewering over een stof, materiaal of productieproces
III	zelf een onderzoeksmethode of model selecteren en toepassen bij een meer complexe, nieuwe probleemstellingen	selecteren van informatie en verwerven van vakkennis uit meerdere zelf te kiezen bronnen en de resultaten presenteren aan anderen	concepten en daaraan gerelateerde vakbegrippen met elkaar in verband brengen en toepassen.	met chemische kennis en inzichten argumenten over de juistheid van een meer complexe bewering onderbouwen of weerleggen De bewering betreft een toepassing van chemie
IV	complexe onderzoeksmethoden en analysemodellen op praktisch en theoretisch niveau beschrijven en toepassen bij hiervoor gebruikelijke	doelgericht en kritisch informatie uit publieke bronnen beoordelen op relevantie voor de op te lossen probleemstelling, deze gebruiken voor de eigen chemisch logische argumentatie en	toepassen van concepten en vakbegrippen bij het ontwerpen van producten en materialen	de gehele keten van het effect van het gebruik van stoffen en productieprocessen op duurzame ontwikkeling analyseren en hierover onderbouwde

	probleemstellingen	resultaten presenteren aan een specifieke doelgroep.		uitspraken doen.
V	planmatig en doelmatig complexe onderzoeksmethoden en/of modellen selecteren op basis van eigen vakkennis van kernconcepten en deze toepassen bij nieuwe, complexe probleemstellingen.	complexe informatie, ook op theoretisch niveau, uit vakgerelateerde bronnen selecteren, deze toepassen bij het doen van onderzoek en onderzoeksproces en conclusies presenteren aan vakdeskundigen.	toepassen van concepten en vakbegrippen bij het doen van onderzoek naar meer complexe probleemstellingen	argumenten voor en tegen een bewering vanuit verschillende perspectieven beoordelen en interdisciplinaire besluitvormingsprocessen analyseren

Bijlage 3: Enquête over de module PCL vwo 5

1. Wat is het belangrijkste dat je hebt geleerd tijdens deze module?

.....
.....

2. Hoe vond je de verhouding tussen theorie en praktijk?

.....
.....

3. Hoe was het om vier lessen lang met één proef bezig te zijn?

.....
.....

4. Wat vond je leuk aan deze module?

.....
.....

5. Wat vond je minder leuk aan deze module?

.....
.....

6. Hoe heb je deze module ervaren? Ga in op:

- het theoretische gedeelte

.....
.....

- het praktische gedeelte

.....
.....

- de module als geheel

.....
.....

7. Wat vind je van de moeilijkheidsgraad van deze module?

(1 = makkelijk, 10 = heel moeilijk)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

8. Wat voor een cijfer zou je aan deze module als geheel geven?

(10 is het beste cijfer)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

9. Ik vond deze module:

Omcirkel de juiste emotie (om te huilen, niet leuk, neutraal, leuk, super leuk)



10. Wat zou jij veranderen aan deze module? (wees zo specifiek mogelijk)

.....
.....

11. Vind je dat deze module volgend jaar ook in het lespakket moet blijven?
(vertel waarom)

.....
.....

12. Heb je verder nog op- of aanmerkingen?

.....
.....

Schijf onderstaand je e-mailadres als ik je mag benaderen voor eventuele vragen om deze module te verbeteren en te evalueren.

.....@.....

Bedankt voor het invullen van deze enquête en alvast een fijne vakantie gewenst!!

Bijlage 4: Verwerking enquête over de module PCL 2012-2013, vwo 5

Aantal respondenten: 18 (geen onderscheid gemaakt in geslacht).

Antwoorden zijn samengevoegd in categorieën.

Vraag 1: Wat is het belangrijkste dat je hebt geleerd tijdens deze module?

Hoe je een polymeer/ plastic maakt	8x
Polymeren maken is niet gemakkelijk	2x
Verhoudingen: verschillende verhouding is verschillende stof dus de juiste verhouding is erg belangrijk	2x
Dat plastic erg sterk kan zijn	2x
Een proces leren i.p.v. kleine handelingen	2x
Geen antwoord	2x

Vraag 2: Hoe vond je de verhouding tussen theorie en praktijk?

Veel theorie, weinig praktijk (dat vinden de leerlingen jammer)	6x
Goed/ prima, sluit goed op elkaar aan, afwisseling werkt goed	6x
Meer praktijk dan theorie is leerzaam, fijn en leuk	4x
De theorie is veel moeilijker dan de praktijk	1x
De praktijk is niet zo moeilijk, de lessen niet heel boeiend, de laatste les was wel erg leuk	1x

Vraag 3: Hoe was het om vier lessen lang met één proef bezig te zijn?

Heel leuk, nieuwsgierig naar het eindproduct, fijn om een proces te volgen en er dieper op in te gaan	9x
Vernieuwend, maar weinig per les en snel klaar	4x
Wat afwisseling in de lengte van de proeven is goed	2x
Fijn om te weten wat er de volgende les gaat komen en om de vorderingen te zien	2x
Leuk, wel lang wachten op het resultaat, was het wachten waard!	1x

Vraag 4: Wat vond je leuk aan deze module?

De praktijk, het zelf doen en onderzoeken	6x
Het resultaat	5x
Het testen van de kracht van je polyester (en erover op kunnen scheppen)	2x
Hoe theorie en praktijk samengaan	2x
Meerdere lessen	2x
Heel anders dan de practica uit het boek	1x

Vraag 5: Wat vond je minder leuk aan deze module?

Te weinig te doen, het wachten/ het tempo van de proef	11x
Sommige dingen onduidelijk/ te weinig uitleg aan het begin/betere organisatie	3x
Sommige tussenstappen waren minder leuk/saai	2x
Weinig geleerd	1x
Geen antwoord	1x

Vraag 6: Hoe heb je deze module ervaren? Ga in op:

- het theoretische gedeelte

Interessant, leerzaam, sluit goed aan	7x
Veel	3x
Niet veel geleerd, niet boeiend	3x
Beetje onduidelijk	1x
Niet teveel, niet te weinig	1x
Niet noodzakelijk kan beter verwerkt worden in de proef	1x
Goed mag meer per les	1x
Langdradig	1x

- Het praktische gedeelte

Leuk, interessant, veel zelf doen	8x
Mag meer per les, weinig praktijk	6x
Leuk, soms pittig	1x
Leuk, maar kan beter	1x
Meer leerzaam omdat je eerst de theorie hebt gehoord	1x
Geen antwoord	1x

- De module als geheel

Interessant, leuk, voor herhaling vatbaar, wel nog meer zelf doen	8x
Goed in balans, theorie en praktijk samen	2x
Teveel theorie, liever meer praktijk maar het is leuk	2x
Leuk concept	1x
Groot verschil tussen theorie en praktijk	1x
Zit goed in elkaar maar merkbaar de eerste keer	1x
Geen antwoord	3x

Vraag 7: Wat vind je van de moeilijkheidsgraad van de module?

(1=makkelijk, 10=heel moeilijk)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		3x	4x	4x	3x	4x			

Modus: 4,5 en 7 komen allen 4 keer voor.

Mediaan: 5

Gemiddelde: 5,1

Vraag 8: Wat voor een cijfer zou je aan deze module als geheel geven?

(10 is het beste cijfer)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
					3x	4x	11x		

Modus: 8

Mediaan: 8

Gemiddelde: 7,4

Vraag 9: Ik vond deze module:

Omcirkel de juiste emotie (om te huilen, niet leuk, neutraal, leuk, super leuk)

Unaniem is er gekozen voor leuk!

Vraag 10: Wat zou jij veranderen aan deze module? (wees zo specifiek mogelijk)

Meer zelf doen/ zelf puzzelen	6x
-------------------------------	----

Meer opvulling in de les d.m.v. extra theorie en practicum	2x
Niets	1x
Meer theorie	1x
Meer praktijk	1x
En mooie aanbevelingen zoals een gaatje in het plastic maken met een heet stokje i.p.v. met perforator, het 2 ^e en 3 ^e practicum samenvoegen in één les, iedereen dezelfde hoeveelheid geven die sterke resultaten blijkt te geven, een extra moeilijkheidsgraad toevoegen, meer weten over 'achter de schermen', wachttijd verkorten door het gebruik van bijvoorbeeld twee magnetrons en de tip om deze les pas te geven als hij ook echt af is.	

Vraag 11: Vind je dat deze module volgend jaar ook in het lespakket moet blijven?

JA! Zegt iedereen.

Aanvullingen:

Ja, interessant, sluit goed aan, vernieuwend, leuk, nuttig leerzaam, zo kun je een goed beeld vormen van de stof	14x
Ja, door de praktijk leer je nu meer dan alleen met theorie	3x
Ja, je leert niet veel maar het is wel een leuk practicum	1x

Vraag 12: Heb je verder nog op- of aanmerkingen?

Moet worden verfijnd	1x
Bij het meten van de sterkte van het polymeer een betere oplossing zoeken voor de gewichtjes	1x
Meer zelf doen	1x
Geen antwoord	15x

Bijlage 5: Verwerking enquête over module PCL 2013-2014 vwo 5g

Aantal respondenten: 21

Antwoorden zijn samengevoegd in categorieën.

Vraag 1: Wat is het belangrijkste dat je hebt geleerd tijdens deze module?

Hoe je een polymeer/ plastic maakt	7x
Hoe je theorie in de praktijk kan brengen	6x
Plastic is best moeilijk om te maken	3x
Dat er veel regels en risico's zitten aan het maken van plastics	1x
Verschillende hardheid	1x
Geduld is een schone zaak	1x
Voorzichtig zijn	1x
Geen antwoord	1x

Vraag 2: Hoe vond je de verhouding tussen theorie en praktijk?

Goed/ prima, sluit goed op elkaar aan, afwisseling werkt goed	12x
Meer praktijk dan theorie is leerzaam, fijn en leuk	6x
De theorie is veel moeilijker dan de praktijk	2x
Theorie kan ik me niet echt herinneren	1x

Vraag 3: Hoe was het om vier lessen lang met één proef bezig te zijn?

Heel leuk, nieuwsgierig naar het eindproduct, fijn om een proces te volgen en er dieper op in te gaan	10x
Als dingen niet helemaal goed gaan loop je daar de volgende les tegenaan dus dan wordt het minder leuk, kun je niet zoveel doen	3x
Het werkt goed, maar voelde af en toe als tijdverspilling doordat het niet volledige lessen waren	2x
Leuk, wel lang wachten op het resultaat, was het wachten waard!	2x
Moeten we vaker doen!	2x
Innovatief en uitdagender dan andere practica	1x
Saaï	1x

Vraag 4: Wat vond je leuk aan deze module?

De praktijk, het zelf doen en onderzoeken	4x
Om plastic te maken	3x
Het reageerbuisje kapot slaan ;)	3x
Heel anders dan de practica uit het boek	3x
Meerdere lessen	2x
Dingen leren over bioplastics	1x
Iets maken wat je dagelijks gebruikt	1x
Zien dat iets wat eerst moeilijk lijkt, ik nu kan dankzij de nieuw geleerde stof	1x
Zien wat je er mee kan	1x
Hoe theorie en praktijk samengaan	1x
Geen antwoord	1x

Vraag 5: Wat vond je minder leuk aan deze module?

Te weinig te doen, het wachten/ het tempo van de proef	7x
Dat ons plastic zo snel kapot was	4x
Het is bij ons mislukt en daardoor konden we niet meedoen met de rest	4x
Vieze handen	1x
Dat ons plastic niet is getest	1x
De theorie was te uitgebreid	1x
Geen antwoord	3x

Vraag 6: Hoe heb je deze module ervaren? Ga in op:

- het theoretische gedeelte

Moeilijk	3x
Goed	3x
Ik snapte er niet veel van	2x
Vereiste voorkennis over polymeren	2x
Saaï	1x
Veel, niet moeilijk	1x
Weinig theorie	1x
Niet duidelijk aanwezig	1x
Duidelijk maar te uitgebreid	1x
Kort en bondig waardoor het interessant bleef	1x
Geen antwoord	5x

- Het praktische gedeelte

Leuk, interessant, veel zelf doen	8x
Vernieuwend	2x
Was moeilijk te begrijpen, ik wist niet altijd wat ik deed	2x
Goed uit te voeren	1x
TOP! Alleen verbinding met theorie niet duidelijk	1x
Interessant, wel beetje onduidelijk	1x
Makkelijk	1x
Verliep goed en was goed toe te passen door theorie	1x
Leuk om zelf iets herkenbaars uit het dagelijks leven te maken	1x
Vrij weinig kunnen doen	1x
Geen antwoord	3x

- De module als geheel

Interessant, leuk, voor herhaling vatbaar, wel nog meer zelf doen	7x
Prima, leuk idee	4x
Leerzaam	2x
Beetje langdradig	1x
Niet heel leuk door les gemist en omdat het practicum al stopte	1x
Was een geheel nieuwe kijk op scheikunde	1x
Interessant en anders dan de proeven uit het boek	1x
Innovatief	1x
Geen antwoord	3x

Vraag 7: Wat vind je van de moeilijkheidsgraad van de module?
(1=makkelijk, 10=heel moeilijk)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2x		5x	1x	5x	8x			

Modus: 7

Mediaan: 6

Gemiddelde: 5,5

Vraag 8: Wat voor een cijfer zou je aan deze module als geheel geven?
(10 is het beste cijfer)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				1x	2x	11x	7x		

Modus: 7

Mediaan: 7

Gemiddelde: 7,1

Vraag 9: Ik vond deze module:

Omcirkel de juiste emotie (om te huilen, niet leuk, neutraal, leuk, super leuk)

Niemand vond deze module om te huilen.

Niet leuk is 1x gekozen.

Neutraal is 2x gekozen.

Leuk is 14x gekozen

Super leuk is 4x gekozen

Vraag 10: Wat zou jij veranderen aan deze module? (wees zo specifiek mogelijk)

Minder kapotte plastics, misschien kan het testen anders? 4x

Meer theorie 2x

In de eerste les misschien twee polymeren maken zodat wanneer ze mislukken, je nog een ander polymeer hebt 2x

Van tevoren samenvatting van het stappenplan doornemen, zodat de leerling overzicht heeft 2x

Minder fouten met het stollen van de plastics 1x

Tijdsplanning zodat we aan de rekproef toekomen 1x

Sneller, maar dat kan niet, het heeft tijd nodig 1x

Meer theorie en meer buisjes om kapot te slaan 1x

Verbinding met theorie duidelijk maken, uitleggen wat we doen 1x

Duidelijker eindproduct 1x

Beknopter maken en rustiger uitleggen, nu chaos en snel 1x

Betere voorbereiding 1x

Practicum gedeelte kan moeilijker 1x

Tijdens de proef, theorie erbij vertellen 1x

Zorgen dat iedereen een polymeer heeft zodat iedereen iets te doen heeft 1x

Vraag 11: Vind je dat deze module volgend jaar ook in het lespakket moet blijven?

Ja, past goed bij de stof en het is leuk eens een ander soort practicum te doen 7x

Ja, leerzaam 3x

Ja, omdat het wel leuk is om te doen 3x

Ja 2x

Ja, plastic maken is interessant	1x
Ja, maar wel zorgen dat het practicum beter gaat	1x
Ja, geeft een idee hoe experimenteren in het echt is	1x
Ja! Plastic maken is echt stoer om te doen	1x
Ja, het is leuk om iets te maken dat je in het dagelijks leven veel tegenkomt	1x
Nee, het ging nu wat chaotisch en snel, dus van mij zou dat niet zo hoeven	1x

JA! Zegt iedereen behalve 1 persoon.

Vraag 12: Heb je verder nog op- of aanmerkingen?

Het testen moet beter	1x
Tijdens praktijk én van tevoren theorie behandelen, blijft beter hangen	1x
Iets bedenken op de scherven van het reageerbuisje (het kapot slaan)	1x
Geen antwoord/ nee	18x

Bijlage 6: Verwerking enquête over module PCL 2013-2014 vwo 5i

Aantal respondenten: 15

Antwoorden zijn samengevoegd in categorieën.

Vraag 1: Wat is het belangrijkste dat je hebt geleerd tijdens deze module?

Hoe je een polymeer/ plastic maakt, biologisch afbreekbaar	6x
Polymerisatie	3x
De stof voor de toetsweek in de praktijk brengen	1x
De benodigde stappen voor de synthese	1x
Dat polymeren uit monomeren bestaan en dat sommige plastics biodegradabel zijn	1x
Ringopeningspolymerisatie	1x
Dat het behoorlijke moeilijk is een goed kunststof te maken	1x
Geen antwoord	1x

Vraag 2: Hoe vond je de verhouding tussen theorie en praktijk?

Goed/ prima, sluit goed op elkaar aan, afwisseling werkt goed	9x
Beetje weinig theorie	3x
Goed, maar ik vond het lastig om de theorie te herkennen in de praktijk	1x
De verhouding was goed, het werd niet saai	1x
De verhouding was prima, genoeg praktijk	1x

Vraag 3: Hoe was het om vier lessen lang met één proef bezig te zijn?

Leuk, je werkt aan een grotere proef	3x
Best leuk	3x
Leuk, maar jammer dat je per les maar zo kort bezig was met de proef	1x
Omdat onze proef niet gelukt is hebben we een aantal lessen niets kunnen doen	1x
Dat was goed te doen, het waren wel kleinere proefjes die je apart kan doen	1x
Interessant en leerzaam doordat je er meer over te weten komt	1x
Leuk, aangezien het in het dagelijks leven ook niet van de één op de andere dag klaar is	1x
Leuk, omdat het echt je eigen ding is	1x
Aangezien die van ons mislukt is was het niet super	1x
Leuk, en een welkome variatie op de standaard practica	1x
Beter dan verwacht, je keek er echt naar uit	1x

Vraag 4: Wat vond je leuk aan deze module?

Om de theorie in de praktijk te brengen	3x
Dat je het zelf mocht maken	2x
Dat je met iets bezig bent en daarmee verder gaat	2x
Meer leren over bioafbreekbare plastics	1x
Dat het met z'n tweeën mocht	1x
De rekproef	1x
Leuk om te weten hoe je een polymeer maakt en zelf doen	1x
De brekingssterktes berekenen door het kapot te trekken	1x
Om veel te doen en om te kijken hoe jouw plastic zich houdt	1x
Geen antwoord	2x

Vraag 5: Wat vond je minder leuk aan deze module?

Te weinig te doen, het wachten/ het tempo van de proef	3x
We hebben de rekproef niet kunnen uitvoeren	2x
De tijd die tussen de lessen zat	2x
Dat we niet verder konden en een aantal lessen niets hebben gedaan	1x
Dat ik niet heel goed snapte wat we nou eigenlijk aan het doen waren	1x
Dat het af en toe best kort was (praktijk) en dat mensen ons practicum hebben gejat	1x
De gevaarlijke stoffen	1x
Het feit dat het moeilijk met z'n tweeën te doen is	1x
Niets	1x
Geen antwoord	2x

Vraag 6: Hoe heb je deze module ervaren? Ga in op:

- het theoretische gedeelte

Goed en begrijpelijk uitgelegd	5x
Goed, precies genoeg theorie	1x
Duidelijk	1x
Prima	1x
Niet geweldig	1x
Saaï	1x
Veel geleerd op 1 specifiek onderwerp	1x
Leuk	1x
Lastig te begrijpen	1x
Weinig, niet heel lastig	1x
Geen antwoord	1x

- Het praktische gedeelte

Leuk, interessant, veel zelf doen	9x
Leuk om langer met een proef bezig te zijn	2x
Goed te doen	1x
Goed	1x
Geen antwoord	2x

- De module als geheel

Leuk	6x
Goed	2x
Prima	2x
Voor herhaling vatbaar	1x
Duidelijk en daardoor leuk	1x
Leuker dan standaard lessen	1x
Goede module, zeer interessant	1x
Geen antwoord	1x

Vraag 7: Wat vind je van de moeilijkheidsgraad van de module?
(1=makkelijk, 10=heel moeilijk)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1x			4x	1x	3x	6x			

Modus: 7

Mediaan: 6

Gemiddelde: 5,5

Vraag 8: Wat voor een cijfer zou je aan deze module als geheel geven?
(10 is het beste cijfer)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
						8x	6x	1x	

Modus: 7

Mediaan: 7

Gemiddelde: 7,5

Vraag 9: Ik vond deze module:

Omcirkel de juiste emotie (om te huilen, niet leuk, neutraal, leuk, super leuk)

Niemand vond deze module om te huilen of niet leuk.

Neutraal is 1x gekozen.

Leuk is 11x gekozen

Super leuk is 3x gekozen

Vraag 10: Wat zou jij veranderen aan deze module? (wees zo specifiek mogelijk)

Niets/ niks	6x
-------------	----

Tijd tussen de lessen	2x
-----------------------	----

We wisten dat er bij de één meer katalysator was toegevoegd dan bij de ander. Ook had iedereen een andere hoeveelheid stof. Er werd alleen niet gezegd wat daarvan de gevolgen waren voor de sterkte.	1x
---	----

Theorie meer aansluiten op boek	1x
---------------------------------	----

Iets meer uitdaging, practicum mag moeilijker	1x
---	----

Meer theorie	1x
--------------	----

Zorgen dat iedereen aan het werk kan	1x
--------------------------------------	----

Beter van tevoren uitleggen wat er gebeurt in de reactie	1x
--	----

Beter te meten resultaten	1x
---------------------------	----

Vraag 11: Vind je dat deze module volgend jaar ook in het lespakket moet blijven?

Ja, het is leuk en vooral heel leerzaam	3x
Ja, het was leuk	2x
Ja, het is wel leerzaam	2x
Ja, door de module onderbreek je de 'standaard' les	1x
Ja, het was leuk en niet te saai	1x
Ja, het is goed om de theorie in de praktijk te brengen	1x
Ja, want de theorie wordt goed uitgelegd en dat levert een goed cijfer op	1x
Ja, omdat het een stuk beter is dan de practica die maar 1 les duren	1x
Ja, je ziet wat je leert	1x
Ja, was leuk, eens een keer iets anders	1x
Ja, leuk en interessant	1x
JA! Zegt iedereen.	

Vraag 12: Heb je verder nog op- of aanmerkingen?

Geen antwoord/ nee	15x
--------------------	-----

Bijlage 7: Toetsresultaten H10 Macromoleculaire stoffen 2011-2012 vwo 5

2011-2012 VWO 5	Cijfer	Gemiddelde	Afwijking	Gekwadrateerde afwijking
Leerling 1	7,3	7,0	0,3	0,09
Leerling 2	6,1	7,0	-0,9	0,81
Leerling 3	7,5	7,0	0,5	0,25
Leerling 4	8,4	7,0	1,4	1,96
Leerling 5	4,3	7,0	-2,7	7,29
Leerling 6	5	7,0	-2,0	4,00
Leerling 7	5,5	7,0	-1,5	2,25
Leerling 8	7,9	7,0	0,9	0,81
Leerling 9	7,6	7,0	0,6	0,36
Leerling 10	6,1	7,0	-0,9	0,81
Leerling 11	9	7,0	2,0	4,00
Leerling 12	5,8	7,0	-1,2	1,44
Leerling 13	4,2	7,0	-2,8	7,84
Leerling 14	6,3	7,0	-0,7	0,49
Leerling 15	8,7	7,0	1,7	2,89
Leerling 16	7,4	7,0	0,4	0,16
Leerling 17	7,3	7,0	0,3	0,09
Leerling 18	9	7,0	2,0	4,00
Leerling 19	6,1	7,0	-0,9	0,81
Leerling 20	7,6	7,0	0,6	0,36
Leerling 21	7,9	7,0	0,9	0,81
Leerling 22	8,2	7,0	1,2	1,44
Totaal:	153,2			42,96
Variatie =		1,95		
Standaarddeviatie =		1,40		

Bijlage 8: Toetsresultaten H10 Macromoleculaire stoffen 2012-2013 vwo 5

2012-2013 VWO 5	Cijfer	Gemiddelde	Afwijking	Gekwadrateerde afwijking
Leerling 1	7,5	7,4	0,1	0,01
Leerling 2	7,1	7,4	-0,3	0,09
Leerling 3	6,9	7,4	-0,5	0,25
Leerling 4	7,3	7,4	-0,1	0,01
Leerling 5	7,7	7,4	0,3	0,09
Leerling 6	9	7,4	1,6	2,56
Leerling 7	7	7,4	-0,4	0,16
Leerling 8	8	7,4	0,6	0,36
Leerling 9	7	7,4	-0,4	0,16
Leerling 10	7,1	7,4	-0,3	0,09
Leerling 11	7,3	7,4	-0,1	0,01
Leerling 12	7,7	7,4	0,3	0,09
Leerling 13	6,9	7,4	-0,5	0,25
Leerling 14	7,4	7,4	0,0	0,00
Leerling 15	6,2	7,4	-1,2	1,44
Leerling 16	8,8	7,4	1,4	1,96
Leerling 17	6,7	7,4	-0,7	0,49
Leerling 18	7,5	7,4	0,1	0,01
Totaal:	133,1			8,03
Variatie =		0,45		
Standaarddeviatie =		0,67		

Bijlage 9: Toetsresultaten H10 Macromoleculaire stoffen 2013-2014 vwo 5g

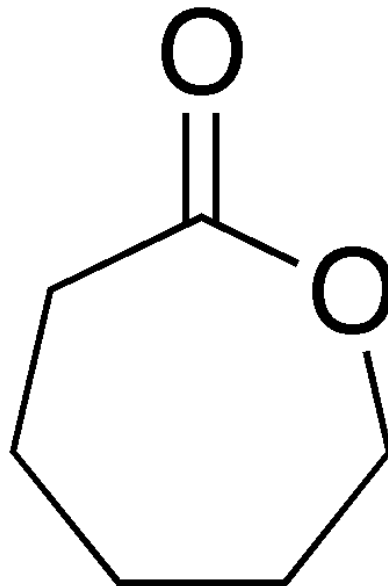
2013-2014 VWO 5g	Cijfer	Gemiddelde	Afwijking	Gekwadrateerde afwijking
Leerling 1	5,4	7,3	-1,9	3,61
Leerling 2	6	7,3	-1,3	1,69
Leerling 3	9,4	7,3	2,1	4,41
Leerling 4	7	7,3	-0,3	0,09
Leerling 5	8,7	7,3	1,4	1,96
Leerling 6	8,6	7,3	1,3	1,69
Leerling 7	7,3	7,3	0,0	0,00
Leerling 8	6,2	7,3	-1,1	1,21
Leerling 9	8	7,3	0,7	0,49
Leerling 10	6,6	7,3	-0,7	0,49
Leerling 11	5,3	7,3	-2,0	4,00
Leerling 12	5,9	7,3	-1,4	1,96
Leerling 13	8,3	7,3	1,0	1,00
Leerling 14	5,6	7,3	-1,7	2,89
Leerling 15	8,1	7,3	0,8	0,64
Leerling 16	8,3	7,3	1,0	1,00
Leerling 17	6,2	7,3	-1,1	1,21
Leerling 18	9,2	7,3	1,9	3,61
Leerling 19	6,7	7,3	-0,6	0,36
Leerling 20	8,8	7,3	1,5	2,25
Leerling 21	8,7	7,3	1,4	1,96
Totaal:	154,3			36,52
Variatie =		1,74		
Standaarddeviatie =		1,32		

Bijlage 10: Toetsresultaten H10 Macromoleculaire stoffen 2013-2014 vwo 5i

2013-2014 VWO 5i	Cijfer	Gemiddelde	Afwijking	Gekwadrateerde afwijking
Leerling 1	6,2	6,4	-0,2	0,04
Leerling 2	6,4	6,4	0,0	0,00
Leerling 3	4,3	6,4	-2,1	4,41
Leerling 4	6,1	6,4	-0,3	0,09
Leerling 5	5,7	6,4	-0,7	0,49
Leerling 6	6,2	6,4	-0,2	0,04
Leerling 7	5,6	6,4	-0,8	0,64
Leerling 8	6,8	6,4	0,4	0,16
Leerling 9	8,6	6,4	2,2	4,84
Leerling 10	7,2	6,4	0,8	0,64
Leerling 11	6,7	6,4	0,3	0,09
Leerling 12	5,5	6,4	-0,9	0,81
Leerling 13	8,1	6,4	1,7	2,89
Leerling 14	4,8	6,4	-1,6	2,56
Leerling 15	8	6,4	1,6	2,56
Totaal:	96,2			20,26
Variatie =		1,35		
Standaarddeviatie =		1,16		

De synthese van een biologisch afbreekbaar plastic.

poly(ϵ -caprolacton) (PCL)



ϵ -Caprolacton

(Een ringopenings-
polymerisatie.)

april 2014
N.Hopman

Inleiding

Rond 1820 werd het eerste plastic ontdekt: polystyreen. Daarna volgde er snel meer soorten. Tussen 1920 en 1930 kreeg men door hoe men ook uit aardolie plastics kon maken. Sinds die jaren zijn er talloze soorten kunststoffen gesynthetiseerd.

Het gebruik van plastic heeft een flink aantal voordelen:

- Het is erg goedkoop in vergelijking met de meeste materialen.
- Het is erg licht en daardoor makkelijk te hanteren.
- Het is in vrijwel iedere gewenste vorm te maken.
- Je kan plastic makkelijk kleuren en het behoudt zijn kleur ook lang.

Maar helaas zitten er ook de nodige nadelen aan het gebruik van plastics.

- Het verteringsproces duurt heel erg lang.
- Plastics zijn vaak niet makkelijk te recyclen.
- Bij de verbranding kunnen schadelijke stoffen ontstaan.
- Het veroorzaakt ernstige vervuiling van de oceanen.

Vanwege deze nadelen is men de laatste jaren intensief bezig met de ontwikkeling van biologisch afbreekbare plastics. Deze hebben wel de voordelen maar niet de nadelen van de conventionele plastics.

De noodzaak voor het gebruik van biologisch afbreekbare polymeren is inmiddels ook tot de tweede kamer doorgedrongen zoals jullie kunnen lezen in het artikel uit De Volkskrant van 11 juni 2013 (zie bijlage 1).

Bovendien rondt de tweede kamer in april 2014 een onderzoek af naar het gebruik van biologisch afbreekbare plastic tasjes (zie bijlage 2).

Verder verschijnen er in de media regelmatig artikelen over de laatste ontwikkelingen op dit gebied. Bijvoorbeeld dit artikel op www.joop.nl van 25 februari 2014 (zie bijlage 3). Dit is ook een mooi voorbeeld van hoe belangrijke ontdekkingen soms per toeval worden gedaan.

Er bestaan vele toepassingsmogelijkheden voor zowel biologisch afbreekbare als niet afbreekbare plastics. Een heel belangrijk toepassingsgebied voor beide soorten is de medische wereld.

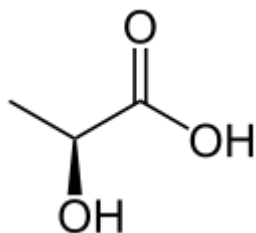
Synthetische polymeren worden op een zeer gevarieerde manier gebruikt voor medische toepassingen. Ze worden bijvoorbeeld gebruikt als microbolletjes voor het gecontroleerd afgeven en bezorgen van medicijnen, medisch gereedschap voor het fixeren van botbreuken, kunstmatige bloedvaten, huid en nog veel meer.

Medische polymeren kunnen permanent maar ook biologisch afbreekbaar en oplosbaar zijn. De keuze van het polymeer hangt natuurlijk af van de toepassing die men heeft voor het polymeer.

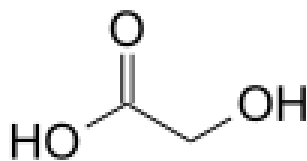
De chemische structuur van oplosbare polymeren kan als volgt opgebouwd zijn: polyesters, poly(aminozuren) of poly(anhydrides).

Maar ook polymeren die opgebouwd zijn uit verschillende soorten monomeren (copolymeren) kunnen oplosbaar zijn. Bijvoorbeeld poly (ether-esters) of poly(urethanen).

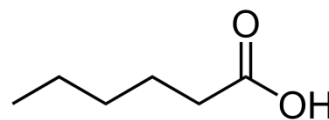
Van alle zojuist genoemde polymeren is er veel aandacht geschonken aan de polyesters en copolyesters afgeleid van capronzuur, melkzuur en glycol zuur.



Figuur 1 melkzuur



Figuur 2 glycolzuur



Figuur 3 capronzuur

Deze polyesters worden afgebroken door (enzymatische) hydrolyse **in vivo**. Ze vallen dan uiteen in niet-giftige stoffen die dan wel van nature in het menselijk lichaam voorkomen of uitgescheiden kunnen worden.

De homopolymeren van deze groep poly(melkzuur), poly(glycolzuur) en poly(capronzuur) zijn semi-kristallijne polymeren. Dit betekent dat een deel van de ketens zeer geordend is uitgekristalliseerd en een ander deel een ongeordende (amorf) structuur heeft. Door copolymerisatie met verschillende monomeren kan men de eigenschappen van de polymeren sturen.

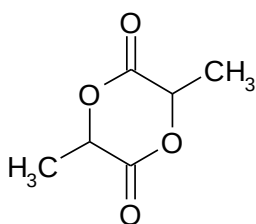
Copolymerisatie met glycolzuur leidt tot een toename van de degradeerbaarheid van het polymeer. Dit komt doordat glycolzuur het meest hydrofiel is van de monomeren. Zo kan men door copolymerisatie met capronzuur een flexibel rubberachtig polymeer maken.

In alle gevallen verlaagt copolymerisatie de kristallijneiteit van het polymeer.

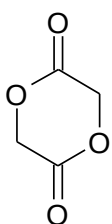
Polyesters door ring openings polymerisatie (ROP).

Sinds het begin van de vorige eeuw worden cyclische esters gebruikt als startmateriaal in plaats van de hydroxyzuren. Het voordeel is dat men dan makkelijker polyesters met een hoog moleculair gewicht kan krijgen.

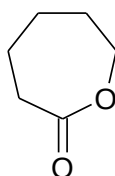
Hieronder zie je een aantal voorbeelden van cyclische esters. De eerste drie zijn te vergelijken met de bovenstaande stoffen in figuur 1 t/m 3.



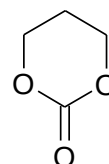
Lactide



Glycolide



ϵ -Caprolactone

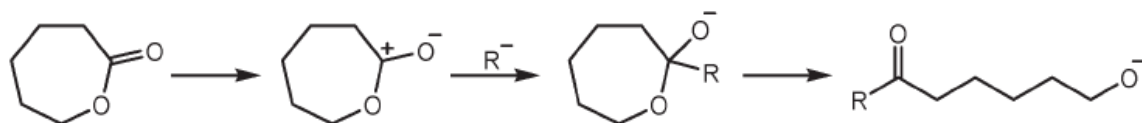


Trimethylene carbonate

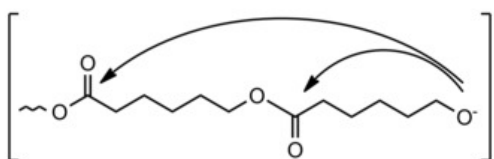
Figuur 4 Diverse cyclische (di)esters

Er zijn verschillende methodes voor de ROP. Hieronder zie je een viertal verschillende mechanismen voor de eerste stap van de ROP van ϵ -caprolacton.

De anionische ROP:

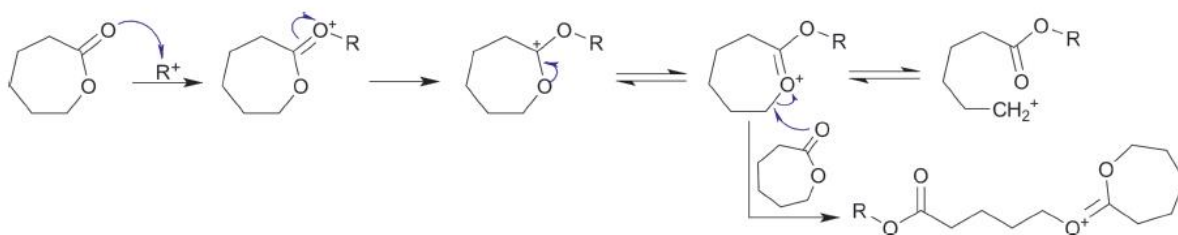


Hierbij reageert een negatief deeltje met de carbonylgroep. Het monomeer opent zich en het ontstane alkoxide reageert met een volgend monomeer. Het nadeel van deze methode is dat er een grote kans is op een intramoleculaire reactie.



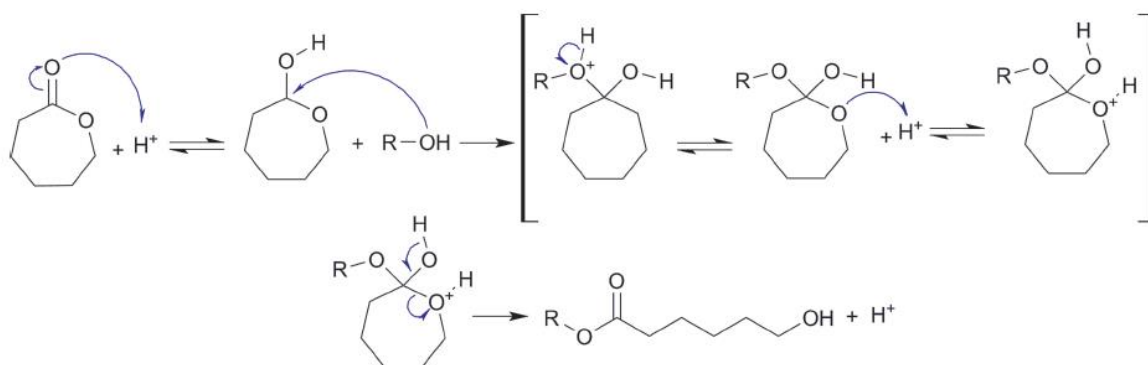
Hierdoor ontstaan cyclische polymeren. Of men moet op tijd stoppen met de polymerisatie maar hierdoor krijg je weer een polymeer met een erg laag moleculair gewicht.

De kationische ROP:



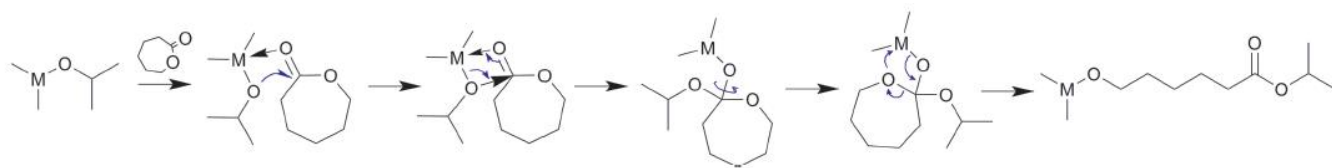
Een positief deeltje reageert met de zuurstof van de carbonylgroep. Vervolgens reageert een tweede monomeer.

De monomeer- geactiveerde ROP:



Een monomeer wordt geactiveerd door een katalysator.

De gecoördineerde insertie ROP:



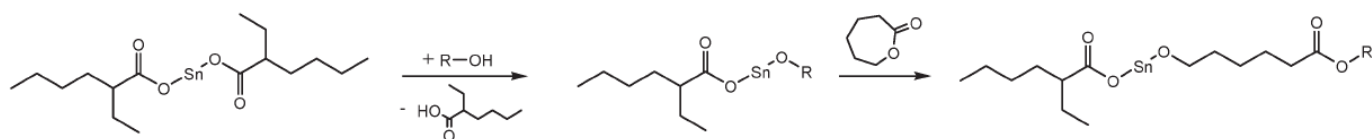
Dit is de meest voorkomende methode van ROP. Hij lijkt een beetje op de anionische ROP. De polymerisatie begint met de coördinatie van het monomeer met de katalysator. Gevolgd door insertie van het monomeer onder vorming van een metaal-oxide binding.

Dit is ook de methode die wij gaan gebruiken.

Het moleculair gewicht van het gesynthetiseerde polymeer kan gecontroleerd worden door de mate van zuiverheid van het monomeer en door het toevoegen van een stof die een hydroxide-groep bevat.

Tin octoaat, $\text{Sn}(\text{oct})_2$, is een veel gebruikte katalysator bij dit soort reacties. Dit is ook de katalysator die jullie gaan gebruiken.

De reactievergelijking van de eerste stap van de ROP wordt dan:



Julie gaan nu zelf het polymeer maken.

Vanaf pagina 9 staat de uitvoering van de synthese van het polycaprolacton (PCL).

Bijlage 1:

Kamer wil snel afbreekbare plastics

Bewerkt door: redactie

11-6-13 - 19:19 bron: ANP Plastic fles © ANP.



Voedsel- en frisdrankfabrikanten en de verpakkingsindustrie moeten snel meer gebruik gaan maken van biologisch afbreekbaar plastic. Dat besloot de Tweede Kamer dinsdag op voorspraak van de SP.

'Nu is nog maar 1 procent van al het plastic biologisch afbreekbaar', aldus SP-Kamerlid Henk van Gerven. 'Dat moet heel snel meer worden. Daarom moet staatssecretaris Wilma Mansveld harde afspraken gaan maken met de industrie.'

Volgens Van Gerven is het al heel goed mogelijk om biologisch afbreekbaar plastic in te zetten. 'Het is niet zo dat een flesje frisdrank al binnen twee dagen is opgelost. Er zijn hier inmiddels zeer goede oplossingen voor. Zeker in Wageningen zijn ze daar al heel ver mee.'

Plastic is steeds vaker onderwerp van gesprek in de Tweede Kamer. Politici maken zich zorgen over de milieuvervuiling die het materiaal oplevert. Zo zorgt plastic voor een groot probleem op stranden en in zee. Het goedje breekt langzaam in zeer kleine stukjes en is daarna onmogelijk nog op te ruimen.

Biologisch afbreekbaar plastic wordt echter door de natuur opgeruimd en vormt daardoor een veel minder groot milieuprobleem.

De Persgroep Digital. Alle rechten voorbehouden.

Bron:

<http://www.volkskrant.nl/vk/nl/2686/Binnenland/article/detail/3456966/2013/06/11/Kamer-wil-snel-afbreekbare-plastics.dhtml>

Bijlage 2:

Tweede Kamer der Staten-Generaal Vergaderjaar 2013–2014

33 041 Duurzaamheidsagenda Nr. 8

BRIEF VAN DE MINISTER VAN ECONOMISCHE ZAKEN

Aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal Den Haag, 13 februari 2014 Tijdens het AO Bedrijfslevenbeleid van 19 november 2013 (Kamerstuk 32 637, nr. 104) heb ik toegezegd om binnen drie maanden een haalbaarheidsstudie gereed te hebben over de mogelijkheid om biologisch afbreekbare plastics te gebruiken als grondstof voor plastic tasjes in Nederland. Hierbij wil ik u informeren dat deze haalbaarheidsstudie niet binnen deze termijn kan worden afgerond. De reden van de vertraging is dat het lastig is gebleken om op dit specifieke onderwerp onderzoekspartners te vinden die zowel de kennis van de technologie als de economie hebben. Daarnaast is de doorlooptijd van het onderzoek langer dan eerder gedacht. Ik verwacht dat de studie in april gereed zal zijn.

De Minister van Economische Zaken, H.G.J. Kamp

kst-33041-8 2 ISSN 0921 - 7371 's-Gravenhage 2014 Tweede Kamer, vergaderjaar 2013–2014, 33 041, nr. 8

Bron: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/dossier/33041/kst-33041-8?resultIndex=1&sorttype=1&sortorder=4>

Bijlage 3:

UvA-bioplastic biedt groene hoop in bange dagen

Glycix - bestaande uit citroenzuur en glycerol - lost op in water en is makkelijk te mengen met conventionele plasticsoorten

Chemici aan de Universiteit van Amsterdam hebben een soort bioplastic uitgevonden waarmee milieuverontreiniging voorkomen kan worden. De uitvinding werd al in 2011 bekend gemaakt door UvA-chemici Albert Alberts en Gadi Rothenberg, maar nu het patent voor Glycix geregistreerd is mag de wereld eindelijk weten dat het bioplastic bestaat uit citroenzuur en glycerol.

Glycix is biologisch afbreekbaar en kan problemen als de beruchte plasticsoep - drijvende vuilnisbelten in de Stille Oceaan die zeedieren vergiftigen - in de toekomst voorkomen. Het bioplastic zou simpelweg oplossen in water en uiteenvallen in plantaardige bestanddelen.

De groene uitvinding kwam bij toeval tot stand. In hun zoektocht naar een nieuwe biobrandstof, struikelden Rothenberg en Alberts over een briljante ingeving voor een biologisch afbreekbare kunststof die na hooguit enkele jaren vergaat. Vrijwel alle bekende plasticsoorten op oliebasis lossen pas na honderden jaren op.



Nu de theorie zich bewezen heeft is de grote vraag is vooral waarvoor het materiaal in de praktijk geschikt is. Rothenberg en Alberts veronderstellen dat Glycix al over twee jaar breed toepasbaar kan zijn voor harde constructiematerialen, gegoten zachte plastic onderdelen en verpakkingsmateriaal. Gevreesd wordt echter dat de conservatieve industrie het nieuwe bioplastic niet zomaar in productie zal nemen.

Alberts hoopt dat Glycix toch deels onderdeel van het productieproces wordt, omdat het zich gemakkelijk laat mengen met andere plasticsoorten en geen kostbare aanpassingen vereist. Nieuw plastic zal daardoor ten minste voor 20 procent oplossen in water en afbreekbaar worden:

"Alle bestaande plastics kunnen we zo voor twintig procent groen maken. Er is bijvoorbeeld geen nieuwe spuitgietapparatuur nodig. In de machines kan alles bij het oude blijven."

cc-foto: [Edinburgh Greens](#)

Bron: <http://www.joop.nl/groen/detail/artikel/25672/> 25 februari 2014

Uitvoering van de synthese van PCL.

Les 1:

- Neem een hittebestendige reageerbuis.
- Verwarm deze ongeveer 30 seconden in een **zacht** ruisende vlam (voorzichtig met de houten reageerbuis houder!)
- Laat de buis afkoelen (na korte tijd eventueel voorzichtig onder de kraan.)
- Druppel ongeveer de opgegeven hoeveelheid ϵ -caprolacton in de reageerbuis.
Groep 1 en 2: 3 gram
Groep 3 en 4: 4 gram
Groep 5 en 6: 5 gram
Groep 7 en 8: 6 gram
Groep 9 en 10: 7 gram
Groep 11 en 12: 8 gram
- Noteer nauwkeurig het aantal gram toegevoegde ϵ -caprolacton .
- Laat nu de docent/TOA een druppel $\text{Sn}(\text{Oct})_2$ toevoegen.
- Homogeniseer de inhoud van je reageerbuis en plaats de buis in het reageerbuisrekje naast de oven.
- **Zorg dat het nummer van je groepje duidelijk op de reageerbuis staat!**
- De docent/TOA zal zorgen dat jullie mengsel lang genoeg in de oven staat.

Les 2:

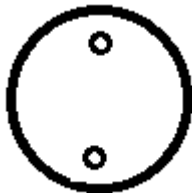
- Haal de buis uit het reageerbuisrekje naast de oven.
- Leg de buis tussen 2 stukjes papier.
- Tik de buis **voorzichtig** kapot met de hamer.
- Doe de stukjes polymeer in een erlenmeyer van 100 mL. Verwijder zo veel mogelijk de glassplinters met een pincet!
- Voeg 25 mL chloroform toe **(in de zuurkast!)**
- Dek je erlenmeyer af met een stukje parafilm (waarom?)
- Zorg dat het nummer van je groepje duidelijk op de erlenmeyer staat!

Les 3:

- **Je werkt met de oplossing alleen in de zuurkast!**
- Controleer of je polymeer goed opgelost is.
- Smeer de bodem van een petrischaaltje in met silikonenpasta
- Decanteer de oplossing voorzichtig in het petrischaaltje (zorg dat er geen glassplinters meekomen!)
- Plaats een trechter over het petrischaaltje.
- We laten nu alle chloroform verdampen.

Les 4:

- Zet de microscoop klaar.
- Bekijk van alle groepen hun stukje polymeer
Let goed op de verschillen bij iedereen.
Waar kan dit aan liggen?
- Maak een preparaat met een klein stukje van je polymeer
- Bekijk het onder de microscoop
Teken op een vel papier wat je ziet!
- Verwarm voorzichtig enkele seconden je polymeer in de magnetron (zuurkast)
- Maak een preparaat met een druppel van je polymeer en bekijk het stollingsproces onder de microscoop
- De rest van het polymeer giet je over in een kleinere petrischaal (ingevet met silikonenpasta!)
- Als de rest van je polymeer volledig afgekoeld en gestold is ga je een rekproef doen. Hiervoor smelt je eerst twee gaatjes in je schijfje.



- Voor de rekproef gebruiken we de Spark meetapparatuur.
(de docent/toa helpt je hierbij). Meet wel eerst met een schuifmaat de dikte van je polymeer op!

Opdrachten bij de synthese van PCL

1. Geef de systematische namen van melkzuur, glycolzuur en capronzuur.
2. Waarom is het moleculair gewicht van de polymeren gemaakt d.m.v. een ringopenings-polymerisatie meestal hoger dan bij een gewone polycondensatie reactie?
3. Wat is de structuurformule van $\text{Sn}(\text{oct})_2$? (Zie eerder in de module)
4. Waarom hebben wij eigenlijk geen extra stof toegevoegd met daarin een hydroxide-groep?
5. Vergelijk de grafieken van de rekproeven van je eigen groepje met de anderen. Welk polymeer was het sterkst? En waaraan zou dit liggen?

Uitwerkingen van de opdrachten bij de synthese van PCL

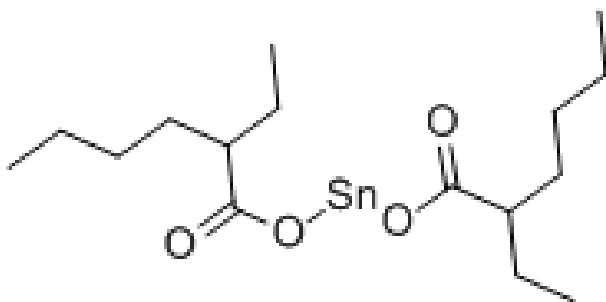
1. Geef de systematische namen van melkzuur, glycolzuur en capronzuur.

2-hydroxypropaanzuur, hydroxyethaanzuur, hexaanzuur.

2. Waarom is het moleculair gewicht van de polymeren gemaakt d.m.v. een ringopenings-polymerisatie meestal hoger dan bij een gewone polycondensatie reactie?

Er kunnen minder ketens tegelijk gaan groeien en dus wordt de gemiddelde ketenlengte langer en je moleculair gewicht groter.

3. Wat is de structuurformule van $\text{Sn}(\text{oct})_2$? (gebruik internet!)

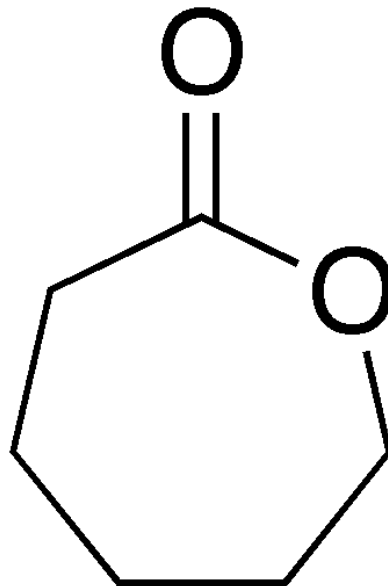


4. Waarom hebben wij eigenlijk geen extra stof toegevoegd met daarin een hydroxide-groep?

De polymerisatie wordt al geïnitieerd door de vervuilingen in de uitgangsstof en de katalysator. Bijvoorbeeld water.

De synthese van een biologisch afbreekbaar plastic.

poly(ϵ -caprolacton) (PCL)



ϵ -Caprolacton

(Een ringopenings-
polymerisatie.)

juli 2017
N.Hopman

Inleiding

Rond 1820 werd het eerste plastic ontdekt: polystyreen. Zoals jullie weten uit de vorige lessen wordt het gemaakt d.m.v. een additiepolymerisatie. Omdat polystyreen een hele hoge lichtdoorlaatbaarheid heeft, wordt het veel gebruikt als beglazingsmateriaal voor fotolijsten en als verpakkingsmateriaal. Maar er zijn nog vele andere toepassingen.

Daarna volgde er snel meer soorten. Tussen 1920 en 1930 kreeg men door hoe men ook uit aardolie plastics kon maken. Sinds die jaren zijn er talloze soorten kunststoffen gesynthetiseerd.

Het gebruik van plastic heeft een flink aantal voordelen:

- Het is erg goedkoop in vergelijking met de meeste materialen.
- Het is erg licht en daardoor makkelijk te hanteren.
- Het is in vrijwel iedere gewenste vorm te maken.
- Je kan plastic makkelijk kleuren en het behoudt zijn kleur ook lang.

Maar helaas zitten er ook de nodige nadelen aan het gebruik van plastics:

- Plastics zijn breekbaar vergeleken met bijvoorbeeld metalen.
- De treksterkte is erg afhankelijk van het soort plastic.
- Het verteringsproces duurt heel erg lang.
- Plastics zijn vaak niet makkelijk te recyclen.
- Bij de verbranding kunnen schadelijke stoffen ontstaan.
- Het veroorzaakt ernstige vervuiling van de oceanen.

Met name vanwege de vier laatstgenoemde nadelen is men de laatste jaren intensief bezig met de ontwikkeling van biologisch afbreekbare plastics. Deze hebben wel de voordelen maar niet de nadelen van de conventionele plastics.

De noodzaak voor het gebruik van biologisch afbreekbare polymeren is inmiddels ook tot de Tweede Kamer doorgedrongen zoals jullie kunnen lezen in het artikel uit De Volkskrant van 11 juni 2013 (zie bijlage 1).

Bovendien heeft de Tweede Kamer in april 2014 een onderzoek afgerond naar het gebruik van biologisch afbreekbare plastic tasjes (zie bijlage 2).

Verder verschijnen er in de media regelmatig artikelen over de laatste ontwikkelingen op dit gebied. Bijvoorbeeld dit artikel op www.joop.nl van 25 februari 2014 (zie bijlage 3). Dit is ook een mooi voorbeeld van hoe belangrijke ontdekkingen soms per toeval worden gedaan.

Er bestaan vele toepassingsmogelijkheden voor zowel biologisch afbreekbare als niet afbreekbare plastics. Een heel belangrijk toepassingsgebied voor beide soorten is de medische wereld.

Synthetische polymeren worden op een zeer gevarieerde manier gebruikt voor medische toepassingen. Ze worden bijvoorbeeld gebruikt als microbolletjes voor het gecontroleerd afgeven en bezorgen van medicijnen, medisch gereedschap voor het fixeren van botbreuken, kunstmatige bloedvaten, huid en nog veel meer.

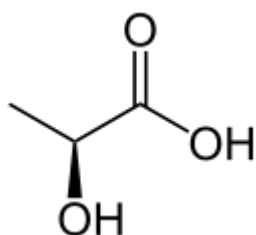
Medische polymeren kunnen permanent maar ook biologisch afbreekbaar. Daarnaast is het verschil in oplosbaarheid van polymeren erg groot. De keuze van het polymeer hangt natuurlijk af van de toepassing die men heeft voor het polymeer.

De chemische structuur van oplosbare polymeren kan als volgt opgebouwd zijn: polyesters, poly(aminozuren) of poly(anhydrides).

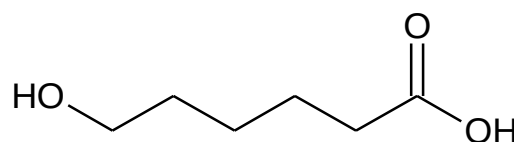
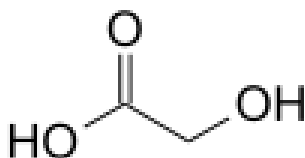
Maar ook polymeren die opgebouwd zijn uit verschillende soorten monomeren (copolymeren) kunnen oplosbaar zijn. Bijvoorbeeld poly(ether-esters) of poly(urethanen).

Opdracht 1: Zoek de structuren van een aantal van deze oplosbare polymeren op en verklaar op *microniveau* waarom ze goed oplossen.

Van alle zojuist genoemde polymeren is er veel aandacht geschonken aan de polyesters en copolyesters afgeleid van melkzuur, glycolzuur en capronzuur.



Figuur 1 melkzuur



Figuur 2 glycolFiguur 3 6-hydroxycapronzuur

Opdracht 2: Geef de systematische namen van melkzuur, glycolzuur en 6-hydroxycapronzuur.

Deze polyesters worden afgebroken door (enzymatische) hydrolyse **in vivo**. Ze vallen dan uiteen in niet-giftige stoffen die dan wel van nature in het menselijk lichaam voorkomen of uitgescheiden kunnen worden.

De homopolymeren van deze groep poly(melkzuur), poly(glycolzuur) en poly(6-hydroxycapronzuur) zijn semi-kristallijne polymeren. Dit betekent dat een deel van de ketens zeer geordend is uitgekristalliseerd en een ander deel een ongeordende (amorfe) structuur heeft. Door copolymerisatie met verschillende monomeren kan men de eigenschappen van de polymeren sturen.

Copolymerisatie van bijvoorbeeld 6-hydroxycapronzuur met glycolzuur leidt tot een toename van de degradeerbaarheid van het polymeer doordat glycolzuur relatief gezien het meest hydrofiel is van de monomeren. Zo wordt het makkelijker het polymeer te hydrolyseren. Op deze manier kan men door copolymerisatie met 6-hydroxycapronzuur een flexibel rubberachtig polymeer maken.

In alle gevallen verlaagt copolymerisatie de kristallijneiteit van het polymeer.

Opdracht 3: Waarom verlaagt copolymerisatie de kristallijneiteit van het polymeer?

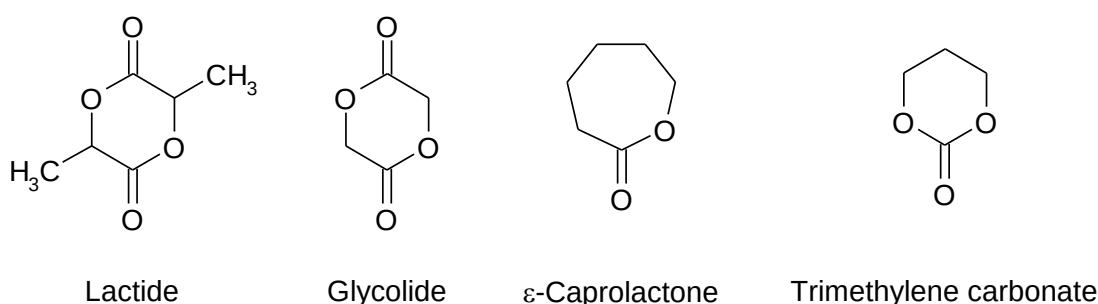
Op de volgende pagina's gaan we kijken naar een specifieke vorm van polymerisatie: de ringopenings polymerisatie (ROP).

Polyesters door ringopenings polymerisatie (ROP).

Sinds het begin van de vorige eeuw worden cyclische esters gebruikt als startmateriaal in plaats van de hydroxizuren. Het voordeel is dat men dan makkelijker polyesters met een hoog moleculair gewicht kan krijgen.

Opdracht 4: Waarom is het moleculair gewicht van de polymeren gemaakt d.m.v. een ringopenings-polymerisatie meestal hoger dan bij een gewone polycondensatie reactie?

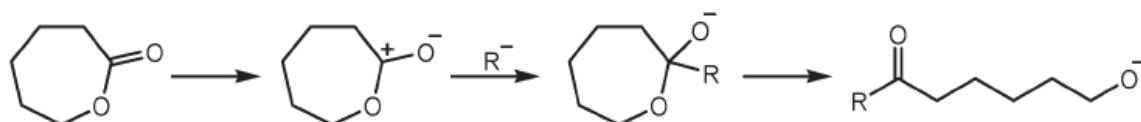
Hieronder zie een aantal voorbeelden van cyclische esters. De eerste drie zijn te vergelijken met de bovenstaande stoffen in figuur 1 t/m 3.



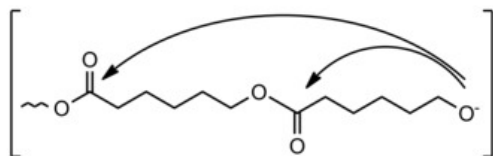
Figuur 4 Diverse cyclische (di)esters

Er zijn verschillende methodes voor de ROP. Hieronder zie je een viertal verschillende mechanismen voor de eerste stap van de ROP van ε-caprolacton.

De anionische ROP:



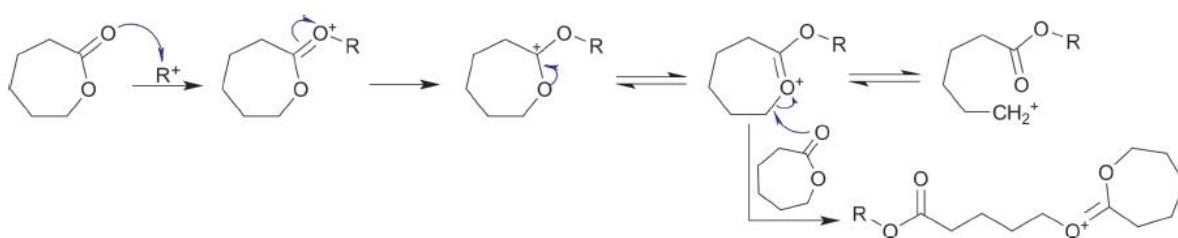
Hierbij reageert een negatief deeltje met de carbonylgroep. Het monomeer opent zich en het ontstane alkoxide reageert met een volgend monomeer. Het nadeel van deze methode is dat er een grote kans is op een intramoleculaire reactie.



Opdracht 5: Wat verstaat men onder een intramoleculaire reactie?

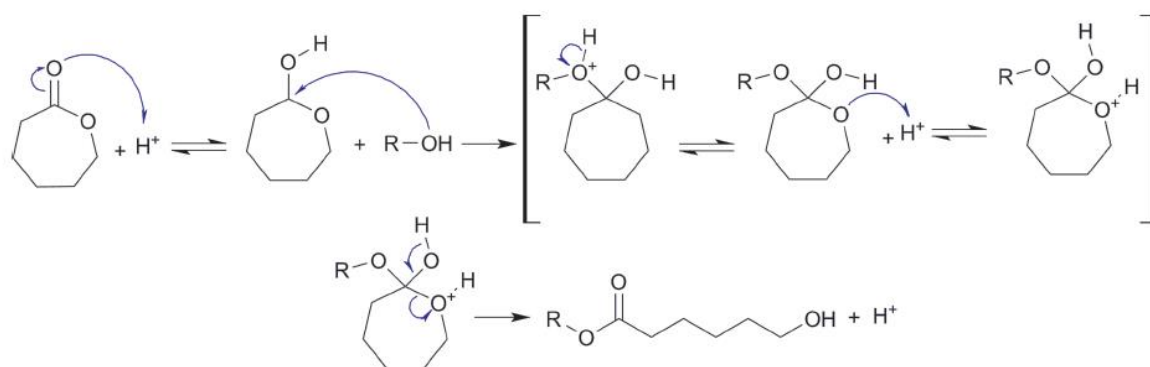
Hierdoor ontstaan cyclische “polymeren”. Of men moet op tijd stoppen met de polymerisatie maar hierdoor krijg je weer een polymeer met een erg laag moleculair gewicht.

De kationische ROP:



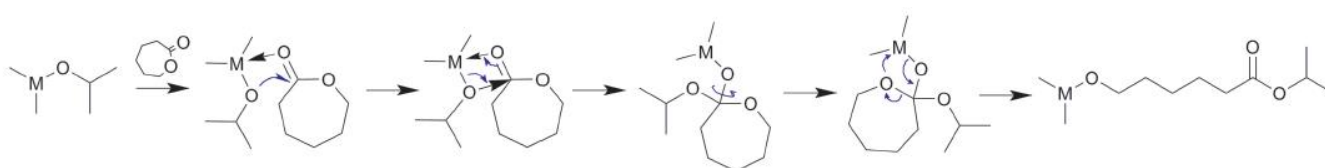
Een positief deeltje reageert met de zuurstof van de carbonylgroep. Vervolgens reageert een tweede monomeer.

De monomeer- geactiveerde ROP:



Een monomeer wordt geactiveerd door een katalysator.

De gecoördineerde insertie ROP:



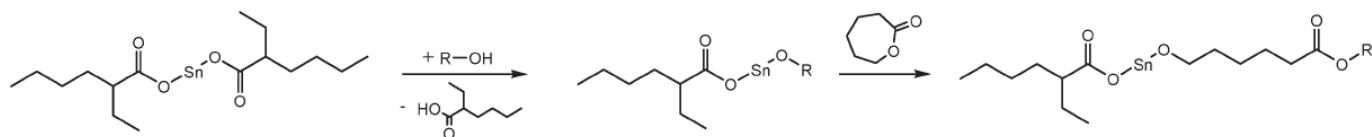
Dit is de meest voorkomende methode van ROP. Hij lijkt een beetje op de anionische ROP. De polymerisatie begint met de coördinatie van het monomeer met de katalysator. Gevolgd door insertie van het monomeer onder vorming van een metaal-oxide binding.

Dit is ook de methode die wij gaan gebruiken.

Het moleculair gewicht van het gesynthetiseerde polymeer kan gecontroleerd worden door de mate van zuiverheid van het monomeer en door het toevoegen van een stof die een hydroxide-groep bevat.

Tin octoaat, $\text{Sn}(\text{oct})_2$, is een veel gebruikte katalysator bij dit soort reacties. Dit is ook de katalysator die wij gaan gebruiken.

De reactievergelijking van de eerste stap van de ROP wordt dan:



Opdracht 6: Geef de reactievergelijking (in structuurformules) van de volgende stap (de propagatie).

Jullie gaan nu zelf het polymeer maken.

Vanaf pagina 10 staat de uitvoering van de synthese van het polycaprolacton (PCL).

Bijlage 1:

Kamer wil snel afbreekbare plastics

Bewerkt door: redactie

11-6-13 - 19:19 bron: ANP Plastic fles © ANP.



Voedsel- en frisdrankfabrikanten en de verpakkingsindustrie moeten snel meer gebruik gaan maken van biologisch afbreekbaar plastic. Dat besloot de Tweede Kamer dinsdag op voorspraak van de SP.

'Nu is nog maar 1 procent van al het plastic biologisch afbreekbaar', aldus SP-Kamerlid Henk van Gerven. 'Dat moet heel snel meer worden. Daarom moet staatssecretaris Wilma Mansveld harde afspraken gaan maken met de industrie.'

Volgens Van Gerven is het al heel goed mogelijk om biologisch afbreekbaar plastic in te zetten. 'Het is niet zo dat een flesje frisdrank al binnen twee dagen is opgelost. Er zijn hier inmiddels zeer goede oplossingen voor. Zeker in Wageningen zijn ze daar al heel ver mee.'

Plastic is steeds vaker onderwerp van gesprek in de Tweede Kamer. Politici maken zich zorgen over de milieuvervuiling die het materiaal oplevert. Zo zorgt plastic voor een groot probleem op stranden en in zee. Het goedje breekt langzaam in zeer kleine stukjes en is daarna onmogelijk nog op te ruimen.

Biologisch afbreekbaar plastic wordt echter door de natuur opgeruimd en vormt daardoor een veel minder groot milieuprobleem.

De Persgroep Digital. Alle rechten voorbehouden.

Bron:

<http://www.volkskrant.nl/vk/nl/2686/Binnenland/article/detail/3456966/2013/06/11/Kamer-wil-snel-afbreekbare-plastics.dhtml>

Bijlage 2:

Tweede Kamer der Staten-Generaal Vergaderjaar 2013–2014

33 041 Duurzaamheidsagenda Nr. 8

BRIEF VAN DE MINISTER VAN ECONOMISCHE ZAKEN

Aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal Den Haag, 13 februari 2014 Tijdens het AO Bedrijfslevenbeleid van 19 november 2013 (Kamerstuk 32 637, nr. 104) heb ik toegezegd om binnen drie maanden een haalbaarheidsstudie gereed te hebben over de mogelijkheid om biologisch afbreekbare plastics te gebruiken als grondstof voor plastic tasjes in Nederland. Hierbij wil ik u informeren dat deze haalbaarheidsstudie niet binnen deze termijn kan worden afgerond. De reden van de vertraging is dat het lastig is gebleken om op dit specifieke onderwerp onderzoekspartners te vinden die zowel de kennis van de technologie als de economie hebben. Daarnaast is de doorlooptijd van het onderzoek langer dan eerder gedacht. Ik verwacht dat de studie in april gereed zal zijn.

De Minister van Economische Zaken, H.G.J. Kamp

kst-33041-8 2 ISSN 0921 - 7371 's-Gravenhage 2014 Tweede Kamer, vergaderjaar 2013–2014, 33 041, nr. 8

Bron: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/dossier/33041/kst-33041-8?resultIndex=1&sorttype=1&sortorder=4>

Bijlage 3:

UvA-bioplastic biedt groene hoop in bange dagen

Glycix - bestaande uit citroenzuur en glycerol - lost op in water en is makkelijk te mengen met conventionele plasticsoorten

Chemici aan de Universiteit van Amsterdam hebben een soort bioplastic uitgevonden waarmee milieuverontreiniging voorkomen kan worden. De uitvinding werd al in 2011 bekend gemaakt door UvA-chemici Albert Alberts en Gadi Rothenberg, maar nu het patent voor Glycix geregistreerd is mag de wereld eindelijk weten dat het bioplastic bestaat uit citroenzuur en glycerol.

Glycix is biologisch afbreekbaar en kan problemen als de beruchte plasticsoep - drijvende vuilnisbelten in de Stille Oceaan die zeedieren vergiftigen - in de toekomst voorkomen. Het bioplastic zou simpelweg oplossen in water en uiteenvallen in plantaardige bestanddelen.

De groene uitvinding kwam bij toeval tot stand. In hun zoektocht naar een nieuwe biobrandstof, struikelden Rothenberg en Alberts over een briljante ingeving voor een biologisch afbreekbare kunststof die na hooguit enkele jaren vergaat. Vrijwel alle bekende plasticsoorten op oliebasis lossen pas na honderden jaren op.



Nu de theorie zich bewezen heeft is de grote vraag is vooral waarvoor het materiaal in de praktijk geschikt is. Rothenberg en Alberts veronderstellen dat Glycix al over twee jaar breed toepasbaar kan zijn voor harde constructiematerialen, gegoten zachte plastic onderdelen en verpakkingsmateriaal. Gevreesd wordt echter dat de conservatieve industrie het nieuwe bioplastic niet zomaar in productie zal nemen.

Alberts hoopt dat Glycix toch deels onderdeel van het productieproces wordt, omdat het zich gemakkelijk laat mengen met andere plasticsoorten en geen kostbare aanpassingen vereist. Nieuw plastic zal daardoor ten minste voor 20 procent oplossen in water en afbreekbaar worden:

"Alle bestaande plastics kunnen we zo voor twintig procent groen maken. Er is bijvoorbeeld geen nieuwe spuitgietapparatuur nodig. In de machines kan alles bij het oude blijven."

cc-foto: [Edinburgh Greens](#)

Bron: <http://www.joop.nl/groen/detail/artikel/25672/> 25 februari 2014

Uitvoering van de synthese van PCL.

Les 1:

- Neem een hittebestendige reageerbuis.
- Verwarm deze ongeveer 30 seconden in een **zacht** ruisende vlam (voorzichtig met de houten reageerbuis houder!)
- Laat de buis afkoelen (na korte tijd eventueel voorzichtig onder de kraan.)

Opdracht 7: Wat is de reden voor dit “uitstoken” van de reageerbuis?

- Druppel ongeveer de opgegeven hoeveelheid ϵ -caprolacton in de reageerbuis.
Groep 1 en 2: 3 gram
Groep 3 en 4: 4 gram
Groep 5 en 6: 5 gram
Groep 7 en 8: 6 gram
Groep 9 en 10: 7 gram
Groep 11 en 12: 8 gram
- Noteer nauwkeurig het aantal gram toegevoegde ϵ -caprolacton.
- Laat nu de docent/TOA een druppel $\text{Sn}(\text{oct})_2$ toevoegen.

Opdracht 8: Waarom voegen we eigenlijk geen extra stof toe met daarin een hydroxide-groep? (lees het stukje over De gecoördineerde insertie ROP nog eens goed.)

- Homogeniseer de inhoud van je reageerbuis en plaats de buis in het reageerbuisrekje naast de oven.
- **Zorg dat het nummer van je groepje duidelijk op de reageerbuis staat!**
- De docent/TOA zal zorgen dat jullie mengsel lang genoeg in de oven staat.

Les 2:

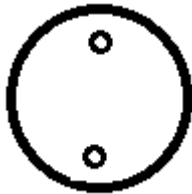
- Haal de buis uit het reageerbuisrekje naast de oven.
- Leg de buis tussen 2 stukjes papier.
- Tik de buis **voorzichtig** kapot met de hamer.
- Doe de stukjes polymeer in een erlenmeyer van 100 mL. Verwijder zo veel mogelijk de glassplinters met een pincet!
- Voeg 25 mL chloroform toe (**in de zuurkast!**)
- Dek je erlenmeyer af met een stukje parafilm (waarom?)
- Zorg dat het nummer van je groepje duidelijk op de erlenmeyer staat!

Les 3:

- **Je werkt met de oplossing alleen in de zuurkast!**
- Controleer of je polymeer goed opgelost is.
- Smeer de bodem van een petrischaaltje in met silikonenpasta.
- Decanteer de oplossing voorzichtig in het petrischaaltje (zorg dat er geen glassplinters meekomen!)
- Plaats een trechter over het petrischaaltje.
- We laten nu alle chloroform verdampen.

Les 4:

- Zet de microscoop klaar.
- Bekijk van alle groepen hun stukje polymeer.
Let goed op de verschillen bij iedereen.
Waar kan dit aan liggen?
- Maak een preparaat met een klein stukje van je polymeer.
- Bekijk het onder de microscoop.
Teken op een vel papier wat je ziet!
- Verwarm voorzichtig enkele seconden je polymeer in de magnetron (zuurkast).
- Maak een preparaat met een druppel van je polymeer en bekijk het stollingsproces onder de microscoop.
- De rest van het polymeer giet je over in een kleinere petrischaal (ingevet met silikonenpasta!)
- Als de rest van je polymeer volledig afgekoeld en gestold is ga je een rekproef doen. Hiervoor smelt je eerst twee gaatjes in je schijfje.



- Voor de rekproef gebruiken we de Spark meetapparatuur.
(de docent/toa helpt je hierbij). Meet wel eerst met een schuifmaat de dikte van je polymeer op!

Opdracht 9: Vergelijk de grafieken van de rekproeven van je eigen groepje met de anderen. Welk polymeer was het sterkst? En waaraan zou dit liggen?

Uitwerkingen van de opdrachten bij de synthese van PCL

5. Zoek de structuren van een aantal van deze oplosbare polymeren op en verklaar op *microniveau* waarom ze goed oplossen.
Ter beoordeling van de docent. Termen als OH en/of NH-groepen, H-bruggen.
6. Geef de systematische namen van melkzuur, glycolzuur en capronzuur
2-hydroxypropaanzuur, hydroxyethaanzuur, hexaanzuur.
7. Waarom verlaagt copolymerisatie de kristallijneiteit van het polymeer?
Door de inbouw van verschillende soorten monomeren worden de ketens van het polymeer minder regelmatig opgebouwd. Hierdoor kunnen de ketens zich minder goed ordenen t.o.v. elkaar. Dit verlaagt de kristallijneiteit.
8. Waarom is het molecuulair gewicht van de polymeren gemaakt d.m.v. een ringopenings-polymerisatie meestal hoger dan bij een gewone polycondensatie reactie?
Er kunnen minderketens tegelijk gaan groeien en dus wordt de gemiddelde ketenlengte langer en je molecuulair gewicht groter.
9. Wat verstaat men onder een intramoleculaire reactie?
Een intramoleculaire reactie is een reactie waarbij het molecuul met zichzelf reageert. Een OH-groep kan bijvoorbeeld met een zuurgroep reageren binnen hetzelfde molecuul. Zo ontstaat een cyclisch ester.
10. Geef de reactievergelijking (in structuurformules) van de volgende stap (de propagatie).
Het volgende molecuul caprolacton wordt geopend en gekoppeld. De R-groep staat weer aan het eind. Dit is overigens vrijwel altijd een H doordat H₂O vaak de onzuiverheid in het monomeer is.
11. Wat is de reden voor dit “uitstoken” van de reageerbuis?
Er mag geen water meer in de reageerbuis zitten. Dit werkt als initiator en beïnvloedt zo de polymerisatie.
12. Waarom hebben we eigenlijk geen extra stof toegevoegd met daarin een hydroxide-groep?
De polymerisatie wordt al geïnitieerd door de vervuilingen in de uitgangsstof en de katalysator. Bijvoorbeeld water.
13. Vergelijk de grafieken van de rekproeven van je eigen groepje met de anderen. Welk polymeer was het sterkst? En waaraan zou dit liggen?
Ter beoordeling van de docent.

Bijlage 13: Synthesis of poly(ϵ -caprolactone)

Synthesis of poly(ϵ -caprolactone)

Introduction

Synthetic polymers have found a variety of uses in medical applications. These polymers are in use as resorbable sutures, microspheres for the controlled delivery of pharmaceutically active compounds and as medical devices for bone fracture fixation devices artificial blood vessels, skins etc. Medical polymers comprise biodegradable polymers, as well as biodegradable and resorbable polymers. The choice of polymer is determined by the intended application.

The chemical structure of resorbable polymers include polyesters, poly(amino acids), poly(anhydrides) and copolymers as segmented poly(ether esters) and poly(urethanes). Of the above, much attention has been paid to polyesters and copolyesters derived from caproic acid, lactic acid and glycolic acid. These polyesters degrade through (enzymatic) hydrolysis *in vivo* into non-toxic compounds that occur naturally in humans or can be excreted from the body.

The homopolymers of this group, poly(lactic acid), poly(caproic acid) and poly(glycolic acid) are semi-crystalline polymers. By copolymerising the different monomers it is possible to tune the polymer properties. Copolymerisation with glycolic acid leads to an increase in the polymer degradation rate, since glycolic acid is the most hydrophilic compound. Copolymerization with caproic acid allows the preparation of flexible and rubbery polymers as the polymer has a very low glass transition temperature of approximately -65°C . In all cases copolymerisation reduces the crystallinity of the copolymer.

Polyesters by ring opening polymerisation

Since the start of the previous century cyclic esters have been used instead of the hydroxy-acid compounds as starting materials for the preparation of high molecular weight aliphatic polyesters. Examples of these cyclic esters are ϵ -caprolactone, lactide, glycolide, trimethylene carbonate and their derivatives. See Figure 1.

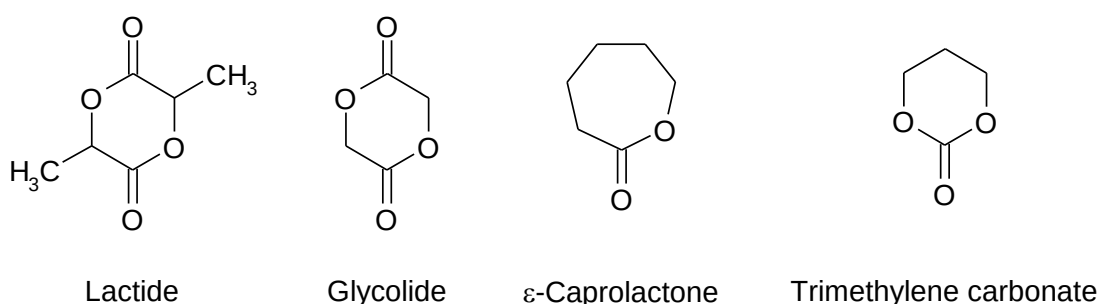


Figure 1. Chemical structures of cyclic esters.

A hydroxy compound (water or another impurity) initiates the polymerisation by opening the cyclic ester, this yields another hydroxy compound which can open a following cyclic ester. The molecular weight of the synthesized polymer can be controlled by regulating the purity of the monomers and by adding hydroxy group containing compounds to the monomer. These ring opening polymerisation reactions are often considered living polymerisation systems in which transesterification reactions increase the molecular weight distribution to values of

approximately 2. Stannous octoate, $\text{Sn}(\text{Oct})_2$, is a much used transesterification catalyst in these polymerisation reactions.

Experimental

A specimen of poly(ϵ -caprolactone) (PCL) is prepared by ring opening polymerisation with stannous octoate as catalyst. The obtained polymer is characterized in terms of its melting temperature, the monomer to polymer conversion by NMR and the content of high polymer is determined gravimetrically after precipitation in a non-solvent.

Chemicals needed:

ϵ -caprolactone MW= 114.1 g/mol; density is 1.03 g/ml

$\text{Sn}(\text{Oct})$ MW= 405.1 g/mol; 95 % pure

Chloroform

Ethanol

Serva solution

Synthesis of PCL

Silanize the reaction vessel with Serva solution, rinse and dry in the oven at 135 °C. Cool the freshly silanized and dried reaction vessel to room temperature. Transfer an accurately weighed amount of approximately 7.5 g ϵ -caprolactone into the reaction vessel. Determine the mass of 1 drop of $\text{Sn}(\text{Oct})_2$ by measuring the weight of 10 drops. Add 1 drop of $\text{Sn}(\text{Oct})_2$ with a pasteur pipet and homogenize. Carry out the polymerization in the stoppered reaction vessel at 180 °C for a period of 2 to 3 hours. Make sure that during heating the stopper is either removed or loose as the volume will expand!

After the required polymerization time, remove the vessel from the oil bath and clean the external surface with a paper towel. Let cool until the polymer has crystallized. To remove the glass from the polymer, the glass vessel wrapped in paper is broken with a hammer and cooled in liquid nitrogen in a plastic dewar. Remove remaining traces of glass on the polymer carefully.

Preparation of polymer solutions

For the high polymer content determination by precipitation, a 2.5 g per 50 ml chloroform solution is prepared in a 100 ml erlenmeyer. Of this solution a drop will be placed on a microscope objective glass for the melting temperature determination. After evaporation of the solvent a polymer film is obtained.

For the NMR conversion experiments prepare 1 ml of a 15 mg/ml solution of the synthesized polymer in deuterated chloroform. The NMR measurement will be carried out for you. An NMR spectrum of the ϵ -caprolactone monomer will be available. *Determine the monomer conversion.*

Precipitation of the PCL solution

The PCL solution is brought into a 100 ml dropping funnel through a P1 glass filter. Then it is precipitated drop wise into a rapidly stirred excess of ethanol (500 ml ethanol in a 1 l beaker). The precipitate is recovered on a (weighed) Petri dish and let to dry.

Calculate the amount recovered and from this the polymer yield. Does it differ from the NMR determinations? Explain.

Determination of the PCL melting temperature

For this the PCL film on the microscope objective glass is heated at a rate of 5 °C per minute on a hot stage mounted on the microscope. The melting temperature is the temperature where the spherulitic structures of the crystalline PCL film have disappeared, and a transparent film is obtained. *Determine the melting temperature of the PCL.*

Other questions

- 1) Why is the molecular weight of polymers obtained by polycondensation normally lower than the molecular weight of the ones obtained by ring opening polymerisation?
- 2) What is the chemical formula of stannous octoate?
- 3) What is the catalyst to monomer ratio on a weight per weight basis? And what is this ratio on a mol per mol basis?
- 4) Give the initiation step in the ring opening of the cyclic ester with water.
- 5) Assign the peaks in the ¹H-NMR spectrum of the obtained PCL.

References

- 1) A. Schindler, Y.M. Hibionada, C.G. Pitt, *Journal of Polymer Science Polymer Chemistry Edition*, **20**, 319 (1982)
- 2) K.R. Gorda, D.G. Peiffer, R.D. Lundberg, A. Gutierrez, *Polymer Communications*, **32**, 25 (1991)
- 3) A.J. Nijenhuis, D.W. Grijpma, A.J. Pennings, *Macromolecules*, **25**, 6419 (1992)

Example of a PCL synthesis

Day 1:

7.4783 g ϵ -caprolactone is weighed into a silanized reaction vessel. To this 1 drop of stannous octoate was added and homogenized. 10 drops of $\text{Sn}(\text{Oct})_2$ weigh 0.0895 g. Total time approximately $\frac{1}{2}$ hour.

Polymerization for a period of 3 hours at 175 °C. After removing the oil, the vessel was cooled and the polymer could be seen to crystallize; the transparent melt turns opaque and white. Glass is removed with hammer and liquid nitrogen. Time needed: 3 hours + $\frac{1}{2}$ hour.

Solutions for NMR and the precipitation were prepared. The precipitation solution 2.0993 g PCL in 50 ml (or 75 g) chloroform, was prepared in a 100 ml erlenmeyer. Time needed: 10 min.

Polymer solutions need to be prepared at this moment!

Day 2:

A drop of solution for the film for the melting temperature determinations was placed on an objective glass and allowed to evaporate.

The solution was then poured through a P1 filter and precipitated dropwise into 500 ml of stirred ethanol in a 1 l beaker. The precipitate was recovered by decantation and weighed 1.36 g after drying. Yield: $1.36 \text{ g} / 2.0993 \text{ g} = 64.8 \%$. Time needed: 1 hour.

NMR showed complete conversion of monomer. Differences come from the fact that low molecular weight fractions remain as a colloidal suspension in the non-solvent and are not recovered during decantation.

The melting temperature determined at a heating rate of 5 °C per min was found to be 57.5 °C during the heating experiment. During cooling from 60 °C, the polymer crystallized at 41.3 °C. Time needed: 10 min.

Bijlage 14: Toets Vwo 5 Hoofdstuk 10 2013-2014

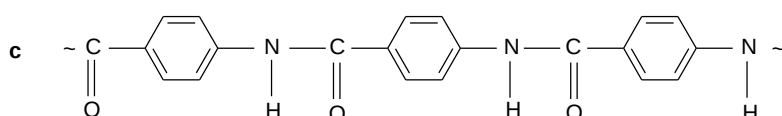
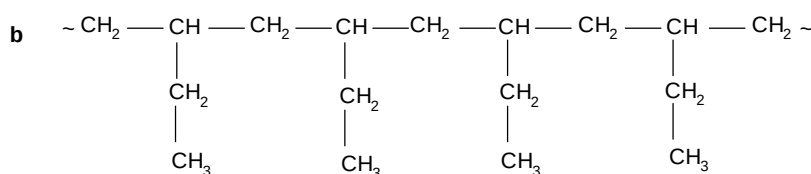
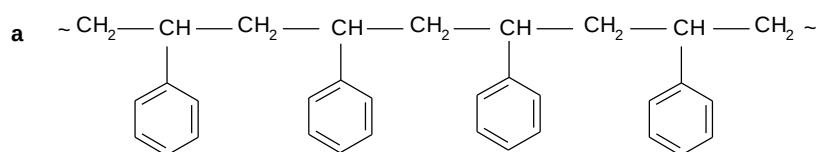
Toets VWO5 schk H10 2013-2014 44 punten

Gebruik Binas toegestaan.

Denk aan je berekeningen en motivatie!

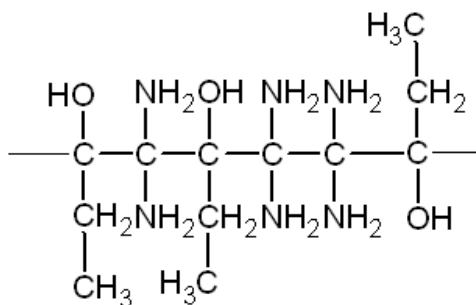
Opgave 1. (3p) Welke drie soorten macromoleculaire stoffen kunnen we onderscheiden? Geef van elke soort een voorbeeld.

Opgave 2. (9p) Geef de structuurformule en de naam van de monomeren waaruit de volgende polymeren zijn opgebouwd:

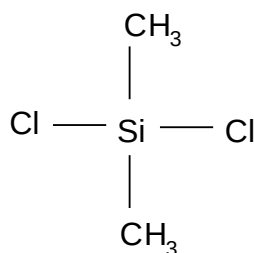


Opgave 3. (2p)

Geef de systematische naam van het onderstaande polymeer.



Opgave 4. (6p) “Siliconen” worden vaak voor borstprothesen en borstvergroting gebruikt. Deze “siliconen” ontstaan uit *dichloordimethylsilaan*. De structuurformule hiervan is hier links weergegeven.



Deze stof reageert met *water* tot *dihydroxydimethylsilaan*.

a) Geef van deze reactie de vergelijking in structuurformules.

Dihydroxydimethylsilaan reageert via condensatiepolymerisatie tot het “silicoon” PDMS (*polydimethylsiloxaan*).

b) Geef de reactievergelijking van deze polymerisatie in structuurformules.

Z.O.Z!

Opgave 5. (8p) Teken structuurformules van de (co)polymeren die gemaakt kunnen worden met de hieronder genoemde monomeren. Geef steeds aan of het (co)polymeer via een additie- of een condensatiepolymerisatie is gemaakt. (minimaal 3 eenheden tekenen)

- 1-hydroxymethylpropeen
- 4-hydroxybenzeencarbonzuur
- 1,6-diaminoheptaan en 3-hydroxypentaandizuur
- 3-chloor-2-penteen en 3-methyl-2-buteen-1-ol

Opgave 6. (4p)

In de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw heeft men geprobeerd om fresco's te beschermen door een doorzichtige beschermende polymeerlaag op het fresco aan te brengen. Een van de polymeren die werd gebruikt, is het copolymeer acryloid B72.

Dit polymeer is ontstaan uit de volgende twee monomeren:

- ☐ de ester van ethanol en 2-methylpropeenzuur
- ☐ de ester van methanol en 2-methylpropeenzuur.

De vorming van dit copolymeer vindt plaats via additiepolymerisatie.

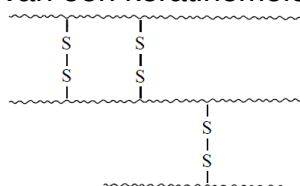
Teken de structuurformule van een deel uit het midden van de keten van het copolymeer acryloid B72. Verwerk in deze structuurformule van beide monomeren twee eenheden.

Opgave 7. Haarverzorging (6p)

In haar is het eiwit keratine aanwezig. In een molecuul keratine komt het volgende fragment voor: ~ Ser – Pro – Cys ~.

- Geef het fragment ~ Ser – Pro – Cys ~ in een structuurformule weer.

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



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

- Bereken het aantal zwavelbruggen dat in deze keratinesoort per molecuul keratine aanwezig is. Ga er bij de berekening van uit dat:

- ☐ - alle cysteïne-eenheden zwavelbruggen hebben gevormd;
- ☐ - geen eindstandige cysteïne-eenheden voorkomen.

VOLGENDE BLAD!

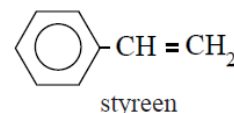
Opgave 8. Styreen. (6p)

Hiernaast is de structuurformule van styreen afgebeeld.

Styreen is de grondstof voor een aantal kunststoffen.

Eén van die kunststoffen is ABS

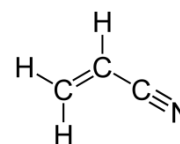
(Acrylonitril-Butadieen-Styreen).



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

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

Hiernaast is de structuurformule van acrylonitril afgebeeld.



- a) Geef van het hierboven beschreven polybutadieen een gedeelte uit het midden van een polymeermolecuul in structuurformule weer. Dit gedeelte dient te zijn opgebouwd uit twee monomeereenheden.
- b) Geef de structuurformule van een fragment van een molecuul ABS. Dit fragment moet bestaan uit één polybutadieen-eenheid, één acrylonitril-eenheid en één styreen-eenheid. Geef hierbij de CN groep van acrylonitril als -CN weer.

EINDE!

FOKKE & SUKKE
MOETEN NOG EVEN WENNEN



Bijna dan!