

Chemische veiligheid in middelbaar onderwijs: ondersteunende tools voor de chemieleerkracht

Nick De Wolf

Masterproef

Ingediend tot het bekomen van de graad
Master in de chemie

Faculteit wetenschappen
Departement chemie

Promotor:
Prof. Dr. Vera Meynen

Co-promotor:
Bert De Beuckeleer

Dankwoord

Als eerste zou ik graag mijn promotor Prof. Dr. Vera Meynen willen bedanken om de uitvoering van deze thesis mogelijk te maken. Haar constructieve feedback heeft een betere wetenschapper van mij gemaakt.

KOGEKA, in het bijzonder Bert De Beuckeleer, voor het aanbieden van een stageplaats dewelke aanleiding heeft gegeven tot de uitwerking van deze thesis.

Vier andere belangrijke personen die hebben bijgedragen tot de uitwerking van deze thesis zijn Dr. Sofie Slaets, Greet Lembregts, Dr. Veerle Smout en Elke Martin. Zij hebben het mogelijk gemaakt om enkele practica in de praktijk te testen.

Ten slotte hecht ik eraan mijn ouders en vriendin, Danya, te bedanken voor hun altijd aanwezige steun.

Juni 2019

Nick De Wolf

Wetenschapspopulariserende abstract: Verbetering van de chemische veiligheid in het secundair onderwijs

In de laatste decennia heeft de chemische sector fors geïnvesteerd in veiligheid. Het grote belang dat de industrie hecht aan het veiligheidsbewustzijn van zijn werknemers en werkgevers toont aan dat veiligheid en veiligheidscultuur ook in het onderwijs prioriteit moet zijn. Het reeds op jonge leeftijd creëren van een veiligheidscultuur kan een enorme vooruitgang zijn om de veiligheid in zowel de chemische sector als het dagelijks leven te garanderen.

De leerstof die de leerlingen verwerken, wordt grotendeels bepaald door de eindtermen die opgesteld worden door de overheid. Hierin zijn veiligheidsaspecten terug te vinden, maar er is nog ruimte voor verbetering. Om leerkrachten te ondersteunen bij de invoering van betere veiligheidsaspecten in hun lessen en meer specifiek in hun practica, zijn er hulpmiddelen uitgewerkt die leerkrachten bijstaat bij het begrijpen van de geldige wetgeving omtrent het gebruik van chemische producten in een onderwijscontext en het zoeken van veiligere alternatieven.

Door gebruik te maken van deze hulpmiddelen zal de veiligheidscultuur van de school, en bijgevolg het veiligheidsbewustzijn van de leerlingen, verbeterd worden. Hierdoor kunnen deze scholen beter inspelen op het welbevinden van leerlingen en leerkrachten tijdens chemische practica en hen optimaal voorbereiden op de normen en beroepshouding die verwacht wordt op de arbeidsmarkt.

Nederlandstalige samenvatting

Door de structuur van onderwijs bloot te leggen, zijn er verschillende zaken gevonden die het verhogen van de veiligheid kunnen ondersteunen en een veiligheidscultuur kunnen creëren bij jongeren. Het reeds op jonge leeftijd creëren van een veiligheidscultuur kan een enorme vooruitgang zijn om de veiligheid in zowel de chemische sector als het dagelijks leven verder te verhogen.

Veiligheidsaspecten worden reeds vermeld in de eindtermen, maar deze kunnen nog explicieter vermeld worden. De eindtermen van de eerste graad zijn onlangs herzien, maar deze van de tweede en derde graad dienen nog herzien te worden. Deze nog uit te voeren herzieningen zijn het ideale moment om veiligheid sterker te implementeren in deze eindtermen.

In het tijdsbestek van deze thesis zijn er verschillende veiligheidsaspecten uitgewerkt gaande van beleid en mogelijkheden om jongeren een veiligheidscultuur aan te leren tot een praktisch hulpmiddel dat leerkrachten bijstaat bij het begrijpen van de vigerende wetgeving omtrent het gebruik van chemische producten in een onderwijscontext en het zoeken van veiligere alternatieven. Op basis van de notities van 36 practica, die worden uitgevoerd in de derde graad TSO technisch scheikunde, is met behulp van het ontwikkeld hulpmiddel nagegaan of er volgens de vigerende wetgeving verboden producten worden gehanteerd tijdens de uitvoering van chemische practica. Op basis van deze analyse zijn er verschillende alternatieven uitgewerkt zodat de uitvoering van de practica conform de wetgeving kan gebeuren. Vooral het uitvoeren van organische practica conform deze wetgeving is een uitdaging omdat o.a. het gebruik van geconcentreerde zuren verboden is. De verschillende alternatieven zijn uitgewerkt in een schema dat leerkrachten als bijkomend hulpmiddel kunnen gebruiken bij de uitwerkingen van veiligere practica die conform de wetgeving zijn.

Door gebruik te maken van zowel het hulpmiddel dat nagaat of een product al dan niet verboden is evenals het schema met verschillende alternatieven, wordt de veiligheidscultuur van de school verbeterd. Hierdoor wordt eveneens het veiligheidsbewustzijn van de leerlingen verhoogd.

Engelstalige samenvatting

By exposing the structure of education, various things have been found that can be used to support safety enhancement and thus create a safety culture amongst youngsters. Creating this safety culture is important to provide the right skills and competences to the working generation of tomorrow and ensure safety in both the chemical sector and (end-)users of chemicals but also in daily life.

Safety aspects are already mentioned in the attainment targets, but these can be stated more explicitly. The attainment targets of the first years in high school have recently been revised, but those of the senior years still need revision. These revisions are the ideal time to implement safety more explicitly in these attainment targets.

In the timeframe of this thesis, various safety aspects have been discussed, ranging from policy and the ability to teach pupils a safety culture to a practical tool that assists teachers in understanding the current legislation on the use of chemical products in an educational context as well as their replacement with safer alternatives. Based on the notes of 36 practical lessons, which are carried out in the senior years, a developed tool has been used to check whether products prohibited under the applicable legislation are being used in practical experiments. Throughout this analysis various safe alternatives have been searched for and provided so that the various practical experiments can be carried out in accordance with legislation. Carrying out practical experiments related to organic chemistry in accordance with this legislation is particularly challenging since the use of, for example, highly concentrated acids is prohibited. The various alternatives are presented in a scheme that teachers can use as an additional tool to create safer practical experiments that comply with legislation.

By using the tool that checks whether or not a product is prohibited as well as the scheme with different alternatives, the safety culture of the school will improve and at the same time increases the safety awareness of the pupils.

Disclaimer

Hoewel aan de totstandkoming van dit werk de uiterste zorg is besteed, kan voor de aanwezigheid van eventuele (druk)fouten en onvolledigheden niet worden ingestaan en aanvaardt de auteur(s) en universiteit deswege geen aansprakelijkheid voor de gevolgen van eventueel voorkomende fouten en onvolledigheden.

Iedereen die dit document gebruikt dient zich te baseren op een eigen onafhankelijke oordeelsvorming of het advies van een competent persoon bij de uitoefening van voldoende zorg en bekwaamheid in alle mogelijke omstandigheden. De inhoud van deze thesis ontslaat de gebruiker in geen geval van de algemeen geldende wetgeving of reglementeringen.

1. ONDERWIJS IN VLAANDEREN, EEN COMPLEXE SAMENSTELLING	1
1.1. DOELSTELLINGEN EN EINDTERMEN IN HET ONDERWIJS	1
1.2. LEERPLANNEN	5
1.3. CHEMISCHE VEILIGHEID IN ONDERWIJS	9
1.4. LEERPLAN DERDE GRAAD ASO WETENSCHAPPEN WISKUNDE EN TSO TOEGEPASTE CHEMIE VAN HET KATHOLIEK ONDERWIJS	11
1.5. COS-BROCHURE	15
1.6. ALGEMENE DOELSTELLINGEN OMTRENT VEILIGHEID IN BEIDE LEERPLANNEN VAN DE DERDE GRAAD	19
1.7. ALGEMENE CONCLUSIE VAN DIT HOOFDSTUK	21
2. DOELSTELLINGEN	23
3. EEN EFFICIËNT VEILIGHEIDSBELEID	25
3.1. BELEID EN BELEIDSVOEREND VERMOGEN VAN SCHOLEN	25
3.2. ACHT DRAGERS VAN BELEIDSVOEREND VERMOGEN	28
3.3. HET PUBEREND BREIN	29
3.4. UITBOUWEN VAN EEN PREVENTIEBELEID IN HET SCHOOLLABO	33
4. HULPMIDDEL OMTRENT PRODUCTVEILIGHEID (HOPV): CHEMISCHE PRACTICA	35
4.1. TABBLAD: INGEVEN DATA	36
4.2. TABBLAD: OMGEVINGSFACTOREN	38
4.3. TABBLAD: ANALYSE PRODUCTEN	40
5. ANALYSE VAN VERSCHILLENDE PRACTICUMNOTA'S	42
5.1. HET VERBODEN PRODUCT IS EEN INDICATOR	43
5.2. CONCENTRATIE GERELATEERDE VERBODSBEPALINGEN	49
5.3. ARGENTOMETRIE	51
5.4. SPECIFIEKE PRACTICA DIE AANDACHT VEREISEN	54
5.5. SCHEMA TER ONDERSTEUNING VOOR HET VINDEN VAN EEN ALTERNATIEVE PRACTICUM UITWERKING	66
6. CONCLUSIE	68
7. VERVOLGONDERZOEK	69
8. BIJLAGE	70
9. REFERENTIES	93

Abstract

Om de veiligheid van leerlingen te waarborgen heeft de overheid een wetgeving opgesteld die het gebruik van bepaalde chemische producten verbiedt of het gebruik ervan enkel toelaat onder strikte voorwaarden. Door tal van practicumnota's te analyseren is duidelijk geworden dat er vele producten gebruikt worden in de practica die door deze wetgeving verboden zijn.

Aangezien leerkrachten geen juristen zijn, is er een hulpmiddel ontwikkeld dat hen in staat stelt om na te gaan of het gebruik van een chemisch product al dan niet verboden is of de nodige voorzorgsmaatregelen vereist. Dit wordt toegepast op de onderwijscontext. Indien het gebruik van een product verboden is, geeft het hulpmiddel de specifieke reden van het verbod aan op basis van de H-zin, zoals ook omschreven in de *Codex over het welzijn op het werk Boek X- Werkorganisatie en bijzondere werknemerscategorieën Titel 3– Jongeren op het werk*. Indien het product op de verbodlijst staat, kan de leerkracht een schema raadplegen dat een veiliger alternatief voorstelt voor verschillende verboden producten. De uitwerking van dit schema is gebaseerd op het leerplan dat leerkrachten raadplegen tijdens het opstellen van hun lesvoorbereiding. Door de gelijkenissen tussen de onderwerpen van de chemische practica in de leerplannen van zowel het TSO als het ASO, kan dit schema in beide onderwijsvormen gehanteerd worden.

Gebruik maken van het hulpmiddel omtrent productveiligheid en het schema met de alternatieve uitwerkingen, zorgt ervoor dat de veiligheidscultuur van de school wordt verbeterd. Hierdoor kunnen deze scholen beter inspelen op het welbevinden van leerlingen en leerkrachten tijdens chemische practica.

Beide hulpmiddelen kunnen deel uitmaken van de eerste stap in een risicoanalyse. Zaken zoals de compatibiliteit van de producten onderling, het aantal leerlingen, gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen,... dienen nog verder uitgewerkt te worden om een volledige risicoanalyse te bekomen.

Het grote belang dat de industrie hecht aan het veiligheidsbewustzijn van zijn werknemers en werkgevers toont aan dat veiligheid en veiligheidscultuur ook in het onderwijs een prioriteit moet zijn. Om leerlingen te wapenen voor de arbeidsmarkt is het van belang dat zij door middel van hun opleiding gewoon worden aan de veiligheidscultuur die speelt in het hoger onderwijs en op de arbeidsmarkt.

1. Onderwijs in Vlaanderen, een complexe samenstelling

De overheid bepaalt aan de hand van eindtermen wat de minimumdoelen zijn die een bepaalde leerlingenpopulatie zou moeten behalen¹. Deze eindtermen worden verwerkt in leerplannen die worden gebruikt door leerkrachten bij de opstelling van hun jaarplan. Er zijn verschillende leerplannen terug te vinden en de inhoud kan onderling sterk verschillen¹. Op het vlak van veiligheid wordt er in de leerplannen van het Katholiek Onderwijs steeds verwezen naar de COS (Chemicaliën Op School) brochure, wat bepaalde problemen teweegbrengt aangezien deze brochure het gebruik van producten toelaat die verboden zijn volgens de wetgeving *Codex over het welzijn op het werk Boek X- Werkorganisatie en bijzondere werknemerscategorieën Titel 3– Jongeren op het werk*^{2,3}. Het is niet duidelijk of deze wet voor alle leerlingen geldig is omdat dit afhangt van het type activiteit dat uitgevoerd wordt, maar vanuit productveiligheid is het logisch om alle jongeren op dezelfde manier te beschermen tegen hetzelfde product, de risico's zijn immers hetzelfde, enkel hoeveelheden, concentraties en gebruik kan mogelijk verschillen. Verdere analyse van de leerplannen toont aan dat er ruimte is voor een verbetering van de veiligheidscultuur in scholen.

1.1. Doelstellingen en eindtermen in het onderwijs

De Vlaamse overheid heeft onderwijs in haar bevoegdheidspakket en besteedt hieraan bijna 30% van haar totale jaarbudget¹. Als hoofdfinancierder van het onderwijs, lijkt het legitiem dat een aantal belangrijke beslissingen over de doelstellingen van onderwijs worden genomen door de Vlaamse overheid. Op onderwijsniveau worden deze doelstellingen eindtermen en ontwikkelingsdoelen genoemd¹. Het zijn minimumdoelen op vlak van kennis, inzicht, vaardigheden en attitudes waarmee de onderwijsoverheid de minimumkwaliteit van het onderwijs vastlegt.

Eindtermen zijn minimumdoelen die de overheid als noodzakelijk en bereikbaar acht voor een bepaalde leerlingenpopulatie¹. In het secundair onderwijs zijn er vakgebonden (1), specifieke (2) en vakoverschrijdende (3) eindtermen.

- (1) De vakgebonden eindtermen gelden voor de basisvorming. Deze bestaat uit de vakken die alle leerlingen moeten volgen, bijvoorbeeld Nederlands en wiskunde. Voor het gewoon secundair onderwijs worden ze vastgelegd per graad en per onderwijsvorm (ASO, TSO, KSO, BSO)¹.
- (2) Voor het specifieke gedeelte van een opleiding in het ASO gelden de specifieke eindtermen. Deze worden geordend per pool waarbij elke pool verbonden is aan een

studieprofiel, bijvoorbeeld economie, humane wetenschappen, moderne talen of wetenschappen wiskunde¹.

- (3) De vakoverschrijdende eindtermen zijn de minimumdoelen die niet behoren tot een vakgebied, maar die aan bod komen door onderwijsprojecten en door andere activiteiten worden nagestreefd¹.

Alle scholen zijn verplicht deze eindtermen na te streven en worden hierop gecontroleerd door de overheid. De school toont daarvoor bij een doorlichting door de onderwijsinspectie aan dat ze met een eigen planning aan de eindtermen werkt⁴.

De ontwikkelingsdoelen zijn minimumdoelen op het vlak van kennis, inzicht, vaardigheden en attitudes die de onderwijsoverheid wenselijk acht voor een bepaalde leerlingenpopulatie¹. Met deze doelen wordt er gewerkt in het buitengewoon onderwijs, het kleuteronderwijs en de B-stroom in het gewoon secundair onderwijs. In de B-stroom komt een groep leerlingen terecht die de overstap van het lager onderwijs naar het secundair onderwijs maakt zonder de eindtermen van het lager onderwijs te hebben behaald¹.

Bovenstaande gegevens geven een algemene blik op de verschillende eindtermen en doelen die aanwezig zijn in het onderwijs. Aangezien het secundair onderwijs verschillende onderwijsvormen heeft en meestal wordt opgedeeld in drie graden, wordt hieronder een algemeen overzicht gegeven van de structuur van het secundair onderwijs⁵:

- De **eerste** graad bestaat uit een A- en B-stroom. Zoals hierboven vermeld, werkt de A-stroom met eindtermen terwijl de B-stroom werkt met ontwikkelingsdoelen. Vanaf 1 september 2019 zullen zowel de A- als de B-stroom met eindtermen werken⁵.
- In de **tweede en derde graad** zijn er 4 onderwijsvormen: ASO, BSO, KSO en TSO. Per graad zijn er 4 sets van eindtermen, namelijk één voor elke onderwijsvorm. Deze eindtermen zijn vakgebonden en worden nagestreefd door de school. Voor de derde graad ASO en TSO topsport zijn er specifieke eindtermen die gericht zijn op de doorstroom naar hoger onderwijs⁵.
- Het **buitengewoon secundair onderwijs** werkt met ontwikkelingsdoelen per onderwijsvorm. Een schoolteam selecteert de doelen die het voor een leerling of leerlingengroep wil nastreven. Deze selectie vormt een belangrijke stap in de opmaak van een handelingsplan⁵.

In het belang van de leerlingen bevatten de vernieuwde eindtermen van de eerste graad (2019) ook elementen over veiligheid hetgeen niet volledig tot uiting kwam in de oude eindtermen⁶.

In de onderwijsdoelen van de eerste graad worden in het kader van veiligheid volgende zaken teruggevonden (de nummering komt overeen met de desbetreffende eindterm)⁵:

- Competenties op het vlak van lichamelijk, geestelijk en emotioneel bewustzijn/gezondheid
 - *“1.1 De leerlingen verklaren het belang van een gezonde levensstijl. Op vlak van kennis dienen de leerlingen risicofactoren en preventieve maatregelen m.b.t. hygiëne, voeding en actieve levensstijl te kennen.”*
 - *“1.4 De leerlingen lichten de technieken voor de eerste hulp bij ongevallen en noodsituaties toe.”*
 - *“1.5 De leerlingen passen technieken voor de eerste hulp bij ongevallen in een gesimuleerde leeromgeving toe. Verzorging van brandwonden komt hier specifiek aan bod.”*
 - *“1.14 De leerlingen handelen veilig in een schoolse context. Met inbegrip van kennis worden veiligheidsvoorschriften en –procedures, risicofactoren en strategieën om veilig te handelen in een schoolse context, zoals het veilig gebruik van materialen en gereedschappen, bedoeld.”*

De risicoanalyses en veiligheidsvoorschriften van een practicum en de gebruikte chemicaliën inclusief het gebruik van persoonlijke en collectieve beschermingsmiddelen kunnen in de geest van veiligheidsvoorschriften en –procedures als risicofactoren beschouwd worden.
- Competenties inzake wiskunde, exacte wetenschappen en technologie
 - *“6.37 De leerlingen gebruiken courante technische systemen duurzaam, veilig en ergonomisch. Dit houdt in dat leerlingen het doel van hulpmiddelen kennen en dat ze technische informatie zoals veiligheidsinstructiekaarten, pictogrammen, symbolen, onderhoudsvoorschriften en handleidingen kunnen gebruiken.”*
- Leercompetenties met inbegrip van onderzoekscompetenties, innovatief denken, creativiteit, probleemoplossend en kritisch denken, systeemdenken, informatieverwerking en samenwerken
 - *“13.3 De leerlingen hanteren een geschikte zoekstrategie uit een aantal aangereikte bronnen bij het selecteren van digitale en niet-digitale bronnen en informatie om een aangereikte informatievraag te beantwoorden.”*

- *“13.5 De leerlingen beoordelen aan de hand van aangereikte richtvragen de geselecteerde digitale en niet-digitale bronnen en informatie op bruikbaarheid, correctheid en betrouwbaarheid.”*

Deze laatste twee eindtermen (13.3 en 13.5) kunnen gebruikt worden om leerlingen veiligheidsinformatie te laten opzoeken en hierover kritisch te laten nadenken. Rekening houdend met het feit dat deze eindtermen zijn bedoeld voor de eerste graad is het belangrijk dat de informatie die leerlingen dienen op te zoeken niet te gecompliceerd is. Indien mogelijk wordt deze informatie best toegepast op de thuissituatie waar ook chemicaliën gebruikt worden en pictogrammen terug te vinden zijn (bv. wasproducten, kuisproducten, enz.) om zo een directe link met de leefwereld van de leerlingen te leggen. Zaken zoals informatie filteren uit een veiligheidsinformatieblad zijn niet geschikt voor deze leeftijdscategorie, maar wel voor de tweede of derde graad. Er zouden informatieopdrachten kunnen gemaakt worden die handelen over pictogrammen en symbolen, wat zou samenhangen met eindterm 6.37, maar ook over de H- en P-zinnen.

Er zijn dus verschillende eindtermen die handelen over veiligheid, waardoor leerlingen een bepaald veiligheidsbewustzijn verkrijgen. Niet alle eindtermen gaan expliciet over veiligheid (bv. 13.3 en 13.5), maar kunnen wel gebruikt worden om het veiligheidsbewustzijn van leerlingen te verhogen. Dit houdt niet in dat leerlingen hun opdrachten zuiver over veiligheid dienen te gaan, hoewel dat ook wel mogelijk is, maar de leerkrachten zouden tijdens de uitwerking van bepaalde zoekopdrachten wel het aspect veiligheid hierin kunnen verwerken. Deze eindtermen bieden dus kansen om veiligheid op een zéér effectieve manier te introduceren bij leerlingen. Deze kansen moeten leerkrachten grijpen om het veiligheidsbewustzijn bij leerlingen te verhogen aangezien er nog steeds ongevallen gebeuren met chemicaliën door foutief gebruik⁷.

Volgende eindterm, terug te vinden onder ‘*Competenties inzake wiskunde, exacte wetenschappen en technologie*’, biedt opnieuw een kans aan om veiligheid zeer effectief te introduceren bij leerlingen.

“6.47 De leerlingen passen stapsgewijs de wetenschappelijke methode toe om een probleem te onderzoeken.”

Volgens deze eindterm bestaat de wetenschappelijke methode uit: onderzoeksvraag opstellen, hypothese formuleren, plan opstellen, methode/plan uitvoeren, waarnemingen/data, concluderen. Er staat dus nergens uitdrukkelijk vermeld om na te gaan welke zaken er eventueel

een risicofactor zijn en wat de preventiemaatregelen kunnen zijn, hetgeen toch vermeld wordt in eindterm 1.14 (zie hierboven). Deze wetenschappelijke methode wordt gebruikt in elke graad van het secundair onderwijs. Ook al staat veiligheid niet expliciet vermeld in deze eindterm, toch kan het aan bod komen in het gedeelte “*Methode/plan uitvoeren*”. Het opstellen van een plan kan opgevat worden als het stilstaan bij de mogelijke gevaren waarover extra informatie kan worden opgezocht. De vraag is echter of elke leerkracht dit op deze manier zal interpreteren waardoor het expliciet toevoegen van veiligheidsaspecten in de onderzoeksmethode nuttig zou kunnen zijn.

Door het uitvoeren van een kleine aanpassing van deze eindterm, met de expliciete vermelding van een veiligheids gedeelte, zouden leerlingen bij elk te onderzoeken probleem dienen stil te staan bij de risicofactoren en de preventiemaatregelen, hetgeen het veiligheidsbewustzijn enkel ten goede kan komen.

1.2. Leerplannen

De vrijheid van onderwijs in Vlaanderen bepaalt dat elke inrichtende macht voor elk van haar instellingen over de vrijheid beschikt leerplannen vast te stellen⁸. De bevoegdheid om leerplannen te schrijven, ligt dus op het niveau van de scholen. Deze leerplannen moeten weliswaar voldoen aan de eindtermen geformuleerd door de overheid hetgeen gecontroleerd wordt door de onderwijsinspectie^{1,4}. Scholen kunnen dus elk apart een leerplan uitschrijven, maar dit wordt meestal gedelegeerd naar de onderwijskoepels die de leerplannen uitwerken in samenspraak met leraren en pedagogisch begeleiders. Preventieadviseurs worden niet betrokken bij de opmaak van de leerplannen. Er bestaan acht onderwijskoepels waarbinnen scholen zich organiseren, verdeeld over drie onderwijsnetten⁹, zoals hieronder weergegeven. Elke onderwijskoepel legt zijn accenten op andere onderwerpen waardoor de leerplannen onderling sterk kunnen afwijken¹.

Officieel onderwijs / gemeenschapsonderwijs

- 1) GO! Onderwijs van de Vlaamse gemeenschap

Gesubsidieerd Officieel Onderwijs

- 2) Onderwijssecretariaat van de Steden en Gemeenten van de Vlaamse gemeenschap
- 3) Provinciaal Onderwijs Vlaanderen

Gesubsidieerd Vrij Onderwijs

- 4) Katholiek Onderwijs Vlaanderen

- 5) Raad van Inrichtende machten van het Protestants-Christelijk Onderwijs
- 6) Federatie van Onafhankelijke Pluralistische Emancipatorische Methodescholen
- 7) Federatie Steinerschool
- 8) Vlaams Onderwijs Overleg Platform

Het belangrijkste bestanddeel van de leerplannen is de opsomming van de verschillende eindtermen op een duidelijke en haalbare manier. De eindtermen zijn gebonden aan de verschillende graden in het secundair onderwijs, en moeten dus over een termijn van twee jaar behaald worden aangezien een graad in het secundair onderwijs meestal handelt over een tijdsperiode van twee jaar. De eindtermen zijn meestal logisch opgebouwd zodat de leerlingen een continu leerproces volgen.

De leerplannen van de verschillende onderwijskoepels kunnen onderling sterk verschillen, zowel in volume als concreetheid¹. Er zijn vrij gesloten leerplannen, die de doelstellingen zeer gedetailleerd vastleggen alsook de leerinhoud en de indicatie van het aantal lestijden dat idealiter besteed kan worden aan een bepaald onderwerp (bijvoorbeeld 7 lestijden aan het onderwerp ‘chemisch evenwicht’³). Er zijn echter ook meer open leerplannen waarin de leerkracht een grotere vrijheidskeuze wordt gegeven en zelf kan bepalen hoeveel lestijden er besteed worden aan een onderwerp. Verder verschillen de leerplannen sterk in de mate waarin ze pedagogische informatie en didactische werkvormen meegeven¹.

Het voordeel van de gesloten en gedetailleerde leerplannen is dat de leerkracht beschikt over zeer veel bruikbare informatie die hij/zij, indien gewenst, letterlijk kan overnemen. Het voordeel van de open en algemene leerplannen is dat de leerkracht veel meer vrijheid heeft om zijn/haar lessen in te vullen. Beginnende leraren hechten zéér veel waarde aan de gesloten en gedetailleerde leerplannen omdat dit een houvast geeft, terwijl de meer ervaren leerkracht vooral eigen accenten wil leggen die gebaseerd kunnen zijn op o.a. eigen ervaringen.

Voorbeeld omzetting nieuwe eindtermen naar leerplannen

De hierboven vernoemde eindtermen moeten dus verwerkt worden in de leerplannen die al dan niet een bepaalde vrijheid geven. Als voorbeeld wordt eindterm 6.37 genomen; *“De leerlingen gebruiken courante technische systemen duurzaam, veilig en ergonomisch.”* Deze eindterm is in het ontwerp leerplan van het katholiek onderwijs terug te vinden onder *“Procedurele doelen”* als leerplandoel 13 waarbij er optie is tot verdieping¹⁰ (zie figuur 1). In deze verdieping *“beoordelen de leerlingen een bestaand systeem/product op gebruiksvriendelijkheid, functionaliteit, veiligheid, efficiëntie, effecten op natuur en samenleving.”*

leerplandoel 13

De leerlingen gebruiken en onderhouden courante systemen duurzaam, doelgericht, veilig en ergonomisch al dan niet aan de hand van technische informatie.

Afbakening

- Monteren en demonteren in functie van preventief onderhoud
- Gebruik van technische informatie zoals veiligheidsinstructiekaarten, pictogrammen, symbolen, onderhoudsvorschriften, handleidingen en (werk)tekeningen.

Beheersingsniveau Bloom: Toepassen

Verdieping

De leerlingen beoordelen een bestaand systeem/product op gebruiksvriendelijkheid, functionaliteit, veiligheid, efficiëntie, effecten op natuur en samenleving.

Figuur 1: Extract van het leerplandoel 13 van het vakgebied Techniek zoals het terug te vinden is in het ontwerpleerplan van het katholiek onderwijs¹⁰.

De verdieping is belangrijk voor leerlingen aangezien er een hedendaags systeem wordt gehanteerd i.p.v. een schoolvoorbeeld waardoor er wordt ingespeeld op latere arbeidsnoden (herkennen van bijvoorbeeld potentiële gevaren). Voor de leerkracht is het belangrijk dat hij/zij een veiligheidsbewustzijn heeft om de noodzaak van de verdieping te herkennen voor het werkveld en ook op te nemen in zijn/haar curriculum. Indien de leerkracht onvoldoende voeling heeft met het onderwerp, zal deze zich mogelijk ongemakkelijk voelen met de verdieping en deze overslaan of minder sterk onder de aandacht brengen, hetgeen het veiligheidsbewustzijn en de beroepshouding van de leerling niet ten goede komt.

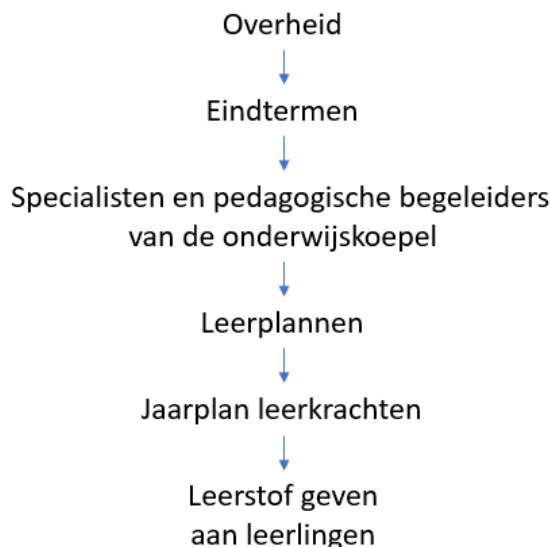
De vertaling van de verschillende eindtermen naar correcte leerplandoelen voor de verschillende vakgebieden zijn terug te vinden in het hoofdstuk *Concordantie* van het desbetreffende ontwerpleerplan. Hierin staat zeer duidelijk weergegeven welk leerplandoel met welke eindterm overeenkomt (zie tabel 1). Zo worden al de verschillende eindtermen gelinkt aan leerplandoelen.

Tabel 1: Vertaling van de eindtermen in concrete leerplandoelen voor het vakgebied Techniek¹⁰. Belangrijk om op te merken is dat de nummering van de eindtermen in het ontwerpleerplan van het Katholiek Onderwijs niet overeenkomen met de nummering van de eindtermen die terug te vinden zijn op de website van de Vlaamse overheid.

Leerplandoel	Eindterm(en)
1	ET 1.9 - ET 9.47
2	ET 1.10 - ET 9.47
3	ET 1.11 - ET 9.47
4	ET 1.12 - ET 7.14 - ET 9.43
5	ET 1.6
6	ET 9.45
7	ET 1.13 - ET 9.47
8	ET 1.13 - ET 9.47
9	ET 9.38
10	ET 9.39
11	ET 3.1 - ET 3.2 - ET 9.40
12	ET 3.3 - ET 9.41
13	ET 9.36 - 9.37

Aangezien de eindtermen zijn weergegeven als een opsomming van doelstellingen en deze niet overzichtelijk zijn, werken leerkrachten nauwelijks met de eindtermen¹. Ze werken eerder met leerplannen die voldoen aan de eindtermen. Aan de hand van deze leerplannen wordt een jaarplan opgesteld waarbij de uitvoering van het leerplan op een verantwoorde manier wordt gespreid over een volledig schooljaar¹.

De leerstof die gezien wordt door de leerlingen is dus afhankelijk van de leerkracht die een jaarplan opstelt dat gebaseerd is op de leerplannen die verschillen al naargelang de onderwijskoepel. De volledige structuur van onderwijs is weergegeven in figuur 2.



Figuur 2: Overzicht van wie bepaalt welke leerstof de leerlingen te zien krijgen en waar de zwaartepunten liggen. De verdieping bij bepaalde onderwerpen wordt door de onderwijskoepels bepaald.

1.3. Chemische veiligheid in onderwijs

Er zijn enkele eindtermen terug te vinden die reeds handelen over veiligheid of kunnen gebruikt worden om veiligheidsaspecten duidelijk te maken (zie hoofdstuk 1.1. *Doelstellingen en eindtermen in het onderwijs*), hetgeen een goede zaak is voor het dagelijks leven van de leerlingen en voor de latere arbeidsmarkt. Bij verschillende onderwerpen is verdieping mogelijk, die al dan niet gegeven wordt door de leerkracht naargelang zijn/haar voeling met het onderwerp. Hierdoor is het mogelijk dat niet alle leerlingen hetzelfde veiligheidsbewustzijn hebben op het einde van hun middelbare schoolcarrière.

Om dus daadwerkelijk het veiligheidsbewustzijn van alle leerlingen te verbeteren moeten er eindtermen zijn die specifiek tot doel hebben (chemische) veiligheid als competentie te verwerven. Aangezien de eindtermen worden vertaald in leerplannen, zullen alle leerlingen, ongeacht de onderwijskoepel, hierover dan leerstof te zien krijgen. Hierdoor wordt de veiligheid tijdens chemie lessen verbeterd en dient de leerkracht beter op de hoogte te zijn van verschillende veiligheidsaspecten. Om leerkrachten op de hoogte te stellen van de verschillende veiligheidsaspecten dient veiligheid duidelijk naar voor te komen in hun opleiding¹¹. Hierdoor kunnen zij de veiligheidsaspecten beter overbrengen aan hun leerlingen wat alleen maar positief is voor hun dagelijks en professioneel leven.

De huidige eindtermen zijn reeds 20 jaar oud en dateren van een tijd waar er amper sprake was van internet of gsm⁶. Doorheen de jaren zijn er verschillende maatregelen genomen om chemische labo's en chemie in het algemeen veiliger te maken, maar ondanks deze maatregelen

gebeuren en nog ongevallen met soms dodelijke slachtoffers^{12,13}. Uit deze ongelukken worden lessen getrokken hetgeen de constante evolutie op het vlak van veiligheid aantoont in de chemische sector¹⁴. Om leerlingen stevig in de samenleving van de 21ste eeuw te kunnen laten staan, worden de eindtermen geactualiseerd en geëvalueerd. Zeven ontwikkelcommissies zijn aan de slag gegaan om de nieuwe eindtermen te maken⁶. Hierbij werden leerkrachten, experts (pedagogen,...), vertegenwoordigers van de onderwijskoepels en –netten en de administratie samengebracht. Aangezien er nieuwe eindtermen zijn, moeten ook de leerplannen herbekeken worden. Op 22 november 2018 heeft de commissie Onderwijs in het Vlaams Parlement het licht op groen gezet voor de nieuwe eindtermen van de eerste graad⁶.

Vlaams minister van Onderwijs Hilde Crevits⁶: *“Met de nieuwe eindtermen willen we onze jongeren de noodzakelijke rugzak meegeven om met kennis sterk, kritisch en weerbaar in de samenleving te staan. Om zich persoonlijk te ontwikkelen en om gewapend te zijn voor het hoger onderwijs of de arbeidsmarkt. Vandaar de expliciete aandacht voor bv. digitale geletterdheid maar ook burgerschap. De nieuwe eindtermen zijn ambitieuze doelen, concreet en duidelijk geformuleerd. Ze vormen een samenhangend geheel en zijn een houvast voor leerkrachten. Zo bereiden we ons onderwijs voor op de uitdagingen voor de toekomst.”*

Volgens Essenscia (koepelorganisatie die de chemie, kunststoffen en life sciences vertegenwoordigt) is het sensibiliseren van jongeren voor wetenschappen in het algemeen een belangrijke missie¹⁵. *“De kennis en vaardigheden die vandaag in een chemisch of life science bedrijf gevraagd worden, blijken steeds complexer. Enkel door een doorgedreven samenwerking met het onderwijsveld, de vormingscentra en de diverse actoren op de arbeidsmarkt kan er gewaakt worden dat, ook in de toekomst, de sector blijft beschikken over voldoende en goed opgeleide nieuwe werknemers. Werken in de chemische en life sciences industrie staat gelijk met levenslang leren en blijvend aan competentie-ontwikkeling doen.”*

Specifiek op het vlak van veiligheid laat Essenscia weten dat veiligheid in het DNA van de chemie- en farma-industrie zit¹⁵. Sectorbedrijven investeren fors in de veiligheid van hun procesinstallaties, maar de gezondheid en het welzijn van de ruim 90.000 werknemers in België is evident ook een topprioriteit. Met resultaat, want het aantal arbeidsongevallen in de sector is de voorbije tien jaar stelselmatig afgenomen¹⁶.

Yves Verschuere, gedelegeerd bestuurder Essenscia¹⁶. *“Specifieke wetgevingen zoals REACH en CLP hebben het veilig en verantwoord gebruik van chemische stoffen al fors*

verhoogd, maar in het belang van zowel werknemers als werkgevers moeten we blijven streven naar een continue verbetering. Zo engageert de sector zich om op zoek te gaan naar veilige alternatieven voor stoffen die als zorgwekkend worden gecatalogeerd.”

Het grote belang dat de industrie hecht aan het veiligheidsbewustzijn van zijn werknemers en werkgevers toont aan dat veiligheid en veiligheidscultuur ook in het onderwijs prioriteit moet zijn. Om leerlingen te wapenen voor de arbeidsmarkt is het van belang dat zij door middel van hun opleiding gewoon worden aan de veiligheidscultuur die speelt in het hoger onderwijs en op de arbeidsmarkt. Om te garanderen dat er veilig kan gewerkt worden in de chemische sector is niet enkel de opleiding die de werknemers krijgen in een bepaald bedrijf van belang, maar ook de schoolopleiding van potentiële werknemers, die de basis leggen van deze competenties en veiligheid als beroepshouding aanleren. Het reeds op jonge leeftijd creëren van een veiligheidscultuur kan een enorme vooruitgang zijn om de veiligheid in zowel de chemische sector als het dagelijks leven verder te verhogen.

1.4. Leerplan derde graad ASO wetenschappen wiskunde en TSO toegepaste chemie van het Katholiek Onderwijs

Uit het bovenstaande is duidelijk af te leiden dat onderwijs een complexe structuur heeft. Om daadwerkelijk alle leerlingen te bereiken is het belangrijk dat de eindtermen op een zorgvuldige manier worden ingebed, herbekeken en aangepast worden waar nodig. De herziening van de eindtermen van de eerste graad, zoals beschreven in het bovenstaande, is een stap in de goede richting om de evolutie in het werkveld te volgen. Desondanks is het een gemiste kans dat veiligheid niet expliciet vermeld wordt in *de wetenschappelijke methode* die wordt gehanteerd in het secundair onderwijs (zie hoofdstuk 1.1. *Doelstellingen en eindtermen in het onderwijs*).

Het is echter, momenteel, nog onduidelijk hoe deze eindtermen daadwerkelijk zullen verwerkt worden in de leerplannen en hoe de leerkrachten hun leerstof hierrond zullen opbouwen, om na te gaan of het veiligheidsbewustzijn van de leerlingen in de eerste graad verhoogd wordt via de nieuwe eindtermen.

De herziening van de eindtermen van de hogere graden zijn tot op heden nog niet uitgevoerd. Hierdoor zijn er nog geen nieuwe leerplannen beschikbaar voor de tweede en derde graad. Vooronderzoek heeft aangetoond dat vooral in de derde graad veiligheid een belangrijk aspect speelt tijdens de uitvoering van chemische practica aangezien er in deze graad producten worden gehanteerd met een hogere gevaarindex in vergelijking met de eerste en tweede graad zoals sterke zuren en basen¹⁷. Om veiligheid te kunnen evalueren in de derde graad wordt er in

deze thesis gebruik gemaakt van de leerplannen van het katholiek onderwijs in twee verschillende richtingen: ASO wetenschappen wiskunde en TSO technisch scheikunde. Er wordt specifiek gekozen voor de leerplannen van het katholiek onderwijs aangezien dit de grootse koepel is binnen het gesubsidieerd vrij onderwijs, hetgeen het grootse onderwijsnet is (70,4%) binnen het gewoon secundair onderwijs¹⁸. Deze leerplannen worden enkel geanalyseerd op het vlak van veiligheid.

Algemene zaken omtrent veiligheid terug te vinden in de beide leerplannen

Onder *beginsituatie* van het ASO leerplan wordt er specifiek vermeld hoeveel lessen er dienen gespendeerd te worden aan practica, namelijk 7 u per leerjaar in de richting wetenschappen wiskunde¹⁹.

Tijdens de uitvoering van de practica moeten verschillende deelaspecten van de onderzoekscompetentie op een geïntegreerde manier aan bod komen voor zowel ASO als TSO richtingen^{3,19}. De onderzoekscompetentie bevat de volgende zaken¹⁹:

- Onderzoeksvraag: Een natuurwetenschappelijk probleem herformuleren tot een onderzoeksvraag en indien mogelijk een hypothese over deze vraag formuleren.
- Informer: Op een systematische wijze informatie verzamelen en ordenen voor deze onderzoeksvraag. Dit wil zeggen dat er in de voorbereiding van het onderzoek doelgericht wordt gezocht naar ontbrekende kennis en mogelijke onderzoekstechnieken of werkwijzen.
- Uitvoeren: Met een methode een antwoord zoeken op de onderzoeksvraag
- Reflecteren over een waarnemingsopdracht/experiment/onderzoek en het resultaat.
- Rapporteren over een waarnemingsopdracht/experiment/onderzoek en het resultaat.

Zaken omtrent veiligheid worden niet expliciet vermeld, maar kunnen wel worden opgenomen onder het gedeelte "*informer*".

De leerinhouden zijn in beide leerplannen gedetailleerd uitgewerkt. Eerst wordt er een algemene doelstelling gegeven die slaat op de brede, natuurwetenschappelijke vorming. Vervolgens worden pedagogisch-didactische wenken uitgewerkt. Dit zijn niet-bindende adviezen waarmee de leerkracht rekening kan houden om het chemieonderwijs doelgericht, boeiend en efficiënt uit te bouwen¹⁹. Mogelijke practica en demo-experimenten bieden een reeks suggesties van experimenten, waaruit de leerkracht een oordeelkundige keuze kan maken^{3,19}.

Bij deze wenken wordt soms een link gelegd met de eerste en tweede graad. Hiermee wordt duidelijk gemaakt wat de leerlingen reeds geleerd hebben in de voorgaande graden. Het is belangrijk om deze voorkennis mee te nemen bij het uitwerken van concrete lessen^{3,19}.

Het leerplan meldt dat ICT algemeen doorgedrongen is in de maatschappij en het dagelijks leven van de leerlingen. Sommige toepassingen kunnen, daar waar zinvol, geïntegreerd worden in de lessen chemie^{3,19}. Er worden enkele voorbeelden gegeven over deze integratie, maar geen enkel voorbeeld handelt over het gebruik van ICT-middelen voor opzoekingen in verband met veiligheid^{3,19}. Dit is nochtans een uitgelezen kans om leerlingen de online beschikbare veiligheidsinformatie van producten te laten opzoeken.

Onder *minimale materiële vereisten* wordt een opsomming gegeven van zaken die vanzelfsprekend aanwezig worden beschouwd en zaken waarmee rekening dient gehouden te worden^{3,19}.

Algemeen

- Bij het uitvoeren van de practica is het belangrijk dat de klasgroep tot maximaal 22 leerlingen wordt beperkt om¹⁹:
 - o De algemene doelstellingen m.b.t. onderzoekend leren in voldoende mate te bereiken
 - o De veiligheid van iedereen te garanderen

In het TSO leerplan wordt vermeld om maximum met 16 leerlingen te werken³. Er wordt echter niet vermeld waarom dit aantal lager ligt dan in het ASO.

Infrastructuur

- Een chemielokaal met een demonstratietafel waar zowel water, elektriciteit als gas voorhanden zijn, is een must.
- Om onderzoekend leren en regelmatig practica te kunnen organiseren is een degelijk uitgerust practicumlokaal met de nodige opbergruimte noodzakelijk. Hierbij moeten voorzieningen aanwezig zijn voor afvoer van schadelijke dampen en gassen.
- Het lokaal dient te voldoen aan de vigerende wetgeving en normen rond veiligheid, gezondheid en hygiëne.

Basismateriaal (maatbekers, statieven, spatels, reageerbuizen,...) en **toestellen** (thermometer, spanningsbron, materiaal om pH-metingen uit te voeren,...)

Chemicaliën

- Verzameling van de voornaamste anorganische en organische stoffen
- Zuur-base indicatoren
- Een aantal bufferoplossingen
- Een aantal kunststoffen

Veiligheid en milieu

- Voorziening voor correct afvalbeheer
- Afsluitbare kasten geschikt voor de veilige opslag van chemicaliën
- EHBO-set
- Brandbeveiliging: brandblusser, branddeken, emmer zand
- Wettelijke etikettering van chemicaliën
- Persoonlijke bescherming: labojassen, veiligheidsbrillen, handschoenen, oogdouche of oogspoelflessen
- Recentste versie van brochure “Chemicaliën op school” (COS)
- Lijst met H- en P-zinnen
- Lijst met gevarenpictogrammen

Uit veiligheidsstandpunt zijn er bij bovenstaande opsomming reeds een paar bedenkingen. De klasgroep mag maximaal bestaan uit 22 (ASO) of 16 (TSO) leerlingen. De vraag kan gesteld worden of één leerkracht in staat is om dit aantal leerlingen continu in het oog te houden. Het antwoord op deze vraag hangt samen met de maturiteit van de leerlingen en hun veiligheidsbewustzijn. Als er reeds vanaf de eerste graad gewerkt wordt rond veiligheid, dan zullen deze leerlingen, ook zelfstandig, veiliger werken. Indien dit niet van toepassing is, is het interessant om deze klasgroep op te splitsen in kleinere groepen. Zo is het mogelijk om een deel van de klasgroep individueel oefeningen te laten maken terwijl met het ander deel aan het practicum wordt gewerkt. De volgende les kunnen de groepen dan wisselen.

Het is inderdaad belangrijk dat er een voorziening aanwezig is voor de afvoer van schadelijke dampen en gassen, maar het louter aanwezig zijn is niet voldoende. De leerkracht en leerlingen dienen deze effectief te gebruiken op de voorgeschreven manier en deze dient ook correct te werken. Indien de afzuiging niet op de voorgeschreven manier wordt gehanteerd of deze niet correct werkt, dan kan de veiligheid van de leerlingen en leerkracht in het gedrang komen.

Het louter en algemeen omschrijven van “verzameling van de voornaamste anorganische en organische stoffen” is onduidelijk. Het opnemen van een lijst met specifieke anorganische en organische stoffen in het leerplan zorgt voor een concretere en dus duidelijkere omschrijving.

Welke handschoenen er tijdens een practicum dienen gebruikt te worden is vaak niet duidelijk. Een universeel paar handschoenen voor elke proef bestaat niet aangezien handschoenen van verschillende leveranciers verschillende doorbraaktijden hebben door het verschil in samenstelling²⁰. Er dienen dus handschoenen aangekocht te worden die daadwerkelijke bescherming bieden tegen de gebruikte chemicaliën wat dus zeker niet altijd overeenkomt met het goedkoopste paar.

Onder veiligheid en milieu wordt er geen vermelding gemaakt van de aanwezigheid van een recente SDS (Safety Data Sheet) van de verschillende producten. Echter staat er hierin toch informatie die van cruciaal belang is bij de uitwerking van een risicoanalyse zoals de compatibiliteit met andere producten waardoor de opslag ervan een meerwaarde kan zijn voor de veiligheidscultuur.

1.5. COS-brochure

wetgeving

Onder *veiligheid en milieu* wordt verwezen naar het aanwezig zijn van de recentste versie van de COS-brochure. De recentste versie die terug te vinden is op de website van KVCV (Koninklijke Vlaamse Chemische Vereniging) dateert van 2014². Aangezien veiligheid in constante evolutie is en SDS'en en veiligheidsinformatie regelmatig aangepast worden naar nieuwe inzichten en normen, zou deze brochure regelmatig (minstens tweemaal per jaar, bij voorkeur nog frequenter) herbekeken moeten worden. Nieuwe onderzoeken kunnen aantonen dat bepaalde producten een herclassificering dienen te krijgen wat mogelijk extra veiligheidsmaatregelen met zich meebrengt²¹. Verder kan ook de wetgeving wijzigen, hetgeen gevolgen kan impliceren naar veiligheid²¹. Dit laatste is ook terug te vinden op de website van KVCV (<https://www.kvcv.be/index.php/nl/secties/sectie-onderwijs-opleidingen>) waar ze duidelijk vermelden dat de COS-brochure niet 100% conform is aan de wetgeving die op dit moment van kracht is en dat ze werken aan een update (zie figuur 3). Zo wordt er in de COS-brochure vermeld dat de R- en S-zinnen nog steeds gebruikt mogen worden.

“Aangezien de oude gevarenpictogrammen, R- en S-zinnen nog steeds van toepassing zijn in de huidige overgangsregeling...”

Echter, liep deze overgangperiode tot 2015 en mogen op heden geen R- en S-zinnen meer gebruikt worden²².



Figuur 3: Informatie omtrent de COS-brochure zoals ze terug te vinden is op de website van KVCV 13/2/2019

COS formuleert duidelijk in hun brochure dat het gebruik van producten steeds geverifieerd moet worden met up-to-date informatie:

“Het volgen van de aanbevelingen in deze brochure ontslaat de school niet van het opvolgen van de regelgeving in verband met het omgaan met chemicaliën zoals weergegeven in de wetgeving.”

Deze mededeling is niet overgenomen in het leerplan waardoor de waarschuwing minder expliciet zichtbaar is. Bovendien wordt er in de brochure enkel algemene informatie gegeven en wordt er geen rekening gehouden met de specifieke samenstelling van chemische producten die van leverancier tot leverancier kunnen verschillen wat een invloed kan hebben op de veiligheid van het product. Als voorbeeld hiervoor kan azijnzuuranhydride worden genomen: In het veiligheidsinformatieblad van Sigma-Aldrich is *H330 dodelijk bij inademing* op het product van toepassingen terwijl dit niet het geval is in het veiligheidsinformatieblad van Carl Roth^{23,24}. Leerkrachten dienen dus steeds zelf op de hoogte te zijn van de wetgeving omtrent het uitvoeren van practica en mogen dus niet blindelings vertrouwen op de brochure.

Hier blijkt echter een lacune te zijn in ondersteuning voor de leerkracht. Er is dus nood aan didactische hulpmiddelen die conform zijn aan de wetgeving en het gebruik van up-to-date, leverancier specifieke SDS gegevens mee integreren. Hierdoor zullen leerkrachten beter in staat zijn om een veiligere voorbereiding op te stellen die conform de wetgeving is.

Veiligheid

Buiten het feit dat de COS-brochure niet 100% conform is aan de wetgeving, zijn er toch zaken in aanwezig die gebruikt kunnen worden om een betere veiligheidscultuur uit te werken. Volgens de COS-brochure is veiligheid een belangrijk aspect in onze samenleving en ligt de sleutel van een succesvol veiligheidsbeleid in de motivatie van leerlingen, leerkrachten en directie². In het kader van hun opleiding dienen leerlingen te leren om op een veilige en verantwoorde manier om te gaan met gevaarlijke stoffen. Om dit goed te realiseren moeten leerlingen betrokken worden bij de risicopreventie in het schoollabo².

Hieronder worden enkele zaken uitgewerkt op 3 niveaus, die hierin een belangrijke rol kunnen spelen en terug te vinden zijn in de COS-brochure aangevuld met didactische literatuur.

1. Beleid

Het is de school als geheel die een preventiebeleid dient uit te werken dat van toepassing is bij elke richting waar veiligheid primeert. Hierbij is het belangrijk dat leerlingen, leerkrachten en directie gemotiveerd zijn om dit beleid toe te passen. Hiervoor kan beroep gedaan worden op de acht dragers van beleidsvoerend vermogen, waarover later meer (zie hoofdstuk 3.2. *Acht dragers van beleidsvoerend vermogen*)²⁵. In het belang van de leerlingen moet dit beleid tot op leerlingenniveau worden uitgewerkt.

Tijdens de lessen dient er aandacht te zijn voor dit preventiebeleid en worden leerlingen op de navolging hiervan geëvalueerd. De evaluatie kan gebeuren aan de hand van procesevaluatie. Procesevaluatie verwijst naar het intentioneel en systematisch inwinnen van informatie over de verschillende aspecten van het onderwijsleerproces²⁶. Om een beoordeling te kunnen toekennen, is er een referentienorm nodig waarmee de prestaties van leerlingen vergeleken worden. Deze wordt opgesteld door de leerkracht die de evaluatie koppelt aan de doelstellingen van zijn/haar gegeven leerstof. Er zijn vier kwaliteitseisen die de evaluatie in een goede baan leiden²⁶: 1) transparantie, 2) gunstige evaluatieomstandigheden, 3) congruentie tussen doelen en 4) evaluatie en correctheid van de beoordeling. Meer informatie over deze kwaliteitseisen is terug te vinden in bijlage 1 achteraan de thesis.

2. Mensen

Het effectief aanpakken van de menselijke factoren is een aspect dat maar een beperkte aandacht krijgt in methodieken voor risico-inventarisatie en analyse²⁷. Duurzaam resultaat wordt slechts bekomen wanneer iedereen overtuigd is van het belang van zijn/haar bijdrage aan de veiligheid²⁵. Het is slechts wanneer mensen iets doen waar ze

zelf in geloven dat hun gedrag blijvend wijzigt. De leerling/leerkracht moet dus zelf overtuigd zijn van het belang van zijn/haar bijdrage aan veiligheid. In dat verband is het belangrijk dat leerlingen inzien dat hun bijdrage zinvol is (door linken te leggen met hun leefwereld) en dat ze, waar mogelijk, meedenken en mee beslissen over veiligheid. Dit kan terug gebracht worden naar een topic van regels en procedures in een school²⁸. Regels zijn gedragscodes en geven aan wat hoort en wat niet hoort. Hiermee wordt het gewenste gedrag in een klas duidelijk gemaakt. Deze regels dienen steeds zo positief mogelijk opgesteld te worden zodat de leerling weet wat van hem verwacht wordt, in plaats van te wijzen op gedrag dat niet gewenst is²⁸. Procedures zijn vaste handelingsstructuren of scenario's voor terugkerende handelingen bij de leerling. Wanneer deze automatisch in werking treden en leerlingen ze uit zichzelf opstarten als aan bepaalde situatievereisten is voldaan, spreekt men van routines²⁸. Gedragsregels en procedures kunnen eenzijdig door de leerkracht aan leerlingen worden opgelegd of samen worden afgesproken. Regels en procedures worden meer geaccepteerd door leerlingen wanneer ze het nut ervan inzien voor een goede klasorde. Een regel of procedure waar de leerkracht zichzelf niet aan kan houden, is gedoemd om te mislukken²⁸.

Om ervoor te zorgen dat de regels gerespecteerd worden en dat de leerlingen het nut inzien van deze regels, worden ze best klassikaal besproken. De regel *“De leerlingen dragen een lange broek tijdens de uitvoering van een practicum”* wordt beter begrepen door duidelijk te maken wat er kan gebeuren als bijvoorbeeld zuur op blote benen terecht komt doordat leerlingen een short/rok dragen.

3. Producten

Werken met chemische producten brengt soms gevaren met zich mee voor de veiligheid en gezondheid van de mensen die ermee werken. Preventiemaatregelen aan de bron (een alternatief voor het gevaarlijke product) zijn te verkiezen boven collectieve en persoonlijke beschermingsmiddelen. Vooraleer over te schakelen naar een vervangend product moet de gebruiker wel controleren of deze oplossing technisch haalbaar is en of het product in kwestie effectief minder gevaren inhoudt, in het geheel van het experiment. Een vergelijkende risicoanalyse kan hierop antwoord bieden.

1.6. Algemene doelstellingen omtrent veiligheid in beide leerplannen van de derde graad

Naast algemene zaken omtrent veiligheid in de leerplannen zoals hierboven besproken (zie hoofdstuk 1.4. *Leerplan derde graad ASO wetenschappen wiskunde en TSO toegepaste chemie van het Katholiek Onderwijs*) zijn er ook algemene doelstellingen beschreven. Onder de “Algemene doelstellingen” is het gedeelte *Wetenschap en samenleving* terug te vinden. Hierin wordt de visie van het katholiek onderwijs omtrent beide termen kort geschetst^{3,19}.

Ons onderwijs streeft de vorming van de totale persoon na, waarbij het christelijk mensbeeld een inspiratiebron kan zijn om o.a. de algemene doelstellingen m.b.t. ‘Wetenschap en samenleving’ vorm te geven. Deze algemene doelstellingen, die ook al in de tweede graad aan bod kwamen, zullen in toenemende mate van zelfstandigheid als referentiekader gehanteerd worden. Enkele voorbeelden die vanuit een christelijk perspectief kunnen bekeken worden:

- *de relatie tussen wetenschappelijke ontwikkelingen en het ethisch denken;*
- *duurzaamheidsaspecten zoals solidariteit met huidige en toekomstige generaties, zorg voor milieu en leven;*
- *respectvol omgaan met ‘eigen lichaam’ (seksualiteit, gezondheid, sport);*
- *respectvol omgaan met het ‘anders zijn’: anders gelovigen, niet-gelovigen, genderverschillen.*

Het onderwerp *Wetenschap en samenleving* wordt verder opgesplitst in^{3,19}:

- **Maatschappij:** De wisselwerking tussen chemie en maatschappij op ecologisch, ethisch, technisch, socio-economisch en filosofisch vlak illustreren.
In de tweede graad kwamen al ecologische, ethische en technische aspecten aan bod. Het is zinvol om ook in de derde graad deze aspecten te blijven benadrukken. Het is dus belangrijk dat de leerlingen in de derde graad de ethische en technische aspecten blijven illustreren, hetgeen overeenkomt met veilig werken.
- **Cultuur:** Illustreren dat chemie behoort tot de culturele ontwikkeling van de mensheid. Men kan dit illustreren door te verduidelijken dat natuurwetenschappelijke opvattingen behoren tot cultuur als ze worden gedeeld door vele personen en overgedragen aan toekomstige generaties zoals: opvattingen over veiligheid: gebruik van (persoonlijke) beschermingsmiddelen, verbod op gebruik van bepaalde stoffen, risicoanalyse.

- **Duurzaamheid:** Bij het verduidelijken van en het zoeken naar oplossingen voor duurzaamheidsvraagstukken wetenschappelijke principes hanteren die betrekking hebben op grondstoffenverbruik, energieverbruik en het leefmilieu.

Verder is er onder “Algemene doelstellingen” de topic *Omgaan met stoffen* terug te vinden. In deze topic zijn twee doelstellingen terug te vinden:

- **Etiketten:** Productetiketten interpreteren
Enkel in het leerplan van chemie in de derde graad ASO worden volgende zaken verduidelijkt¹⁹:
Deze doelstelling zal vooral aan bod komen tijdens demonstratieproeven en practica:
 - o Veiligheidszinnen gebruiken conform de recentste versie van de COS-brochure (zie opmerkingen hierrond bij hoofdstuk 1.5. *COS-brochure*)
Voor het raadplegen van H- en P-zinnen zou er beter verwezen worden naar de SDS van het product
 - o Speciale gevaren herkennen aan de hand van gevaarsymbolen
 - o Informatie op huishoudproducten en handelsverpakkingen raadplegen
- **Veiligheid:** Veilig en verantwoord omgaan met stoffen
In beide leerplannen wordt vermeld dat deze doelstelling vooral aan bod zal komen tijdens demonstratieproeven en practica^{3,19}. Bij het werken met chemicaliën houdt men rekening met de richtlijnen zoals weergegeven in de COS-brochure.

In de leerplannen van de derde graad van zowel TSO als ASO zijn dit de enige zaken die aan bod komen omtrent het onderwerp (chemische) veiligheid. Het feit dat deze niet verwerkt zijn in leerplandoelstellingen (wat de leerkrachten voornamelijk gebruiken voor het opstellen van hun jaarplan¹), maar in de algemene doelstellingen komt de veiligheidscultuur niet ten goede. Verder wordt er herhaaldelijk verwezen naar de COS-brochure in beide leerplannen. Er werd reeds aangehaald dat deze niet conform de huidige wetgeving is en niet specifiek voor een leverancier is. Dit houdt in dat er bepaalde producten volgens deze brochure toegelaten zijn voor practica/demoproeven terwijl dit in strijd is met wat terug te vinden is in de *Codex over het welzijn op het werk Boek X.- Werkorganisatie en bijzondere werknemerscategorieën Titel 3.– Jongeren op het werk*.

Veiligheid is een algemeen doel en bekommernis van het Katholiek Onderwijs. Het is echter niet verder geconcretiseerd, wat het inbedden van een veiligheidscultuur bij leerkrachten en leerlingen zou kunnen versterken. Immers wordt er omtrent (chemische) veiligheid dus slechts

zeer geringe informatie teruggevonden in beide leerplannen. Als veiligheid al wordt vermeld in de leerplannen, is het zo dat de doelstellingen hierrond voornamelijk worden bereikt tijdens demoproeven en practica. Omtrent het opnemen van veiligheid bij het opstellen van practica en het uitvoeren van demoproeven is niets terug te vinden op de website van de overheid, noch in de leerplannen. Dit houdt in dat de leerkracht beslist welke zaken leerlingen dienen te doen tijdens een practica en hoe een demoproef wordt uitgevoerd. De leerkracht met een hoog veiligheidsbewustzijn zal het belang inzien aangaande veiligheid en hieraan meer aandacht spenderen tijdens de uitwerking van de practica en demoproeven hetgeen de veiligheidscultuur van de leerlingen zal verhogen. Echter, kan een lager veiligheidsbewustzijn van de leerkracht ervoor zorgen dat de veiligheidscultuur van de leerlingen minder ontwikkeld wordt, wat kan leiden tot ongevallen.

1.7. Algemene conclusie van dit hoofdstuk

De uiteenzetting van dit hoofdstuk toont de complexiteit aan van het onderwijs in Vlaanderen. De leerkracht is de uiteindelijke persoon die bepaalt welke leerstof er gegeven wordt tijdens zijn/haar lessen. Echter wordt deze leerstof beïnvloed door verschillende organisaties. Het is de overheid die eindtermen en doelstellingen oplegt, welke vervolgens herwerkt worden naar leerplannen door de verschillende onderwijskoepels, dewelke onderling sterk kunnen verschillen. Deze leerplannen worden gebruikt door de leerkrachten om hun jaarplan op te stellen waarmee zij uiteindelijk bepalen hoe en wanneer ze de leerstof geven aan hun leerlingen.

Door de leerplannen van zowel de derde graad chemie ASO als die van toegepaste chemie TSO te doorgronden kan er geconcludeerd worden dat veiligheid niet expliciet is opgenomen in de leerplandoelstellingen. Enkel in de algemene doelstellingen wordt dit in beperkte mate omschreven. Veiligheid komt dus slechts in zeer geringe mate expliciet aan bod in de derde graad van het secundair onderwijs van zowel de ASO als TSO onderwijsvorm. Naast het algemene belang van veiligheid, is de arbeidsmarkt ook grote voorstander voor het verbeteren van de veiligheidscultuur van leerlingen¹⁵.

Om een betere veiligheidscultuur te bereiken in scholen zou het daarom nuttig kunnen zijn dat er meer eindtermen bepaald worden omtrent veiligheid zowel in het algemeen als specifiek voor chemische veiligheid. De eindtermen dienen door alle onderwijskoepels gerespecteerd te worden, waardoor de onderwijskoepels dan verplicht zouden worden om deze nieuwe eindtermen in hun leerplannen te verwerken. Hierdoor worden alle leerlingen bereikt van het secundair onderwijs, wat de veiligheidscultuur van alle leerlingen ten goede komt. Dit kan

gerealiseerd worden op lange termijn, maar is zeker niet iets voor op korte termijn doordat het goedkeuren van nieuwe eindtermen en de omzetting naar leerplannen verschillende jaren kan duren²⁹.

De leerplannen dienen niet tot op de letter te worden nageleefd door de leerkracht, dus er is zeker ook nu al ruimte en lestijd beschikbaar om veiligheid in de lessen te introduceren. Zo is er de mogelijkheid tot verdieping bij bepaalde lesonderwerpen. Hierbij speelt echter de kennis van de leerkracht een belangrijke rol. Als deze het belang inziet van de verdieping zal hierop sneller worden ingegaan dan iemand die het belang van de verdieping niet inziet. De opleiding, achtergrond, ervaring en voeling met het werkveld van de leerkracht speelt dus een essentiële rol.

Naast het hebben van leerkrachten die een hoog veiligheidsbewustzijn hebben, is het uitwerken van een veiligheidsbeleid ook van groot belang. Hoe groter het draagvlak omtrent veiligheid, hoe eenvoudiger het te introduceren is in de schoolomgeving³⁰.

Het hulpmiddel dat door de leerplannen wordt aangereikt omtrent veiligheid, de COS-brochure, is gedateerd en niet conform de huidige wetgeving. Aangezien leerkrachten geen juristen zijn is een hulpmiddel, dat hen ondersteunt op het vlak van wetgeving, noodzakelijk.

Om in te spelen op de huidige problematiek zijn er in het tijdsbestek van deze thesis hulpmiddelen uitgewerkt die de leerkracht ondersteunen op het vlak van de vigerende wetgeving en met de opstelling van een veiligheidsbeleid. Deze hulpmiddelen zullen ervoor zorgen dat de veiligheidscultuur van de school verbeterd wordt.

2. Doelstellingen

Het algemene lange termijn doel waarin deze thesis kadert, is om de veiligheid in middelbare scholen te verbeteren met de nadruk op chemische veiligheid. Er werd reeds aangehaald dat om alle leerlingen op een effectieve manier te bereiken, het nuttig zou zijn om dit sterker in de eindtermen en leerplannen te verankeren door specifiek handelen over veiligheid meer te integreren. Aangezien dit niet realiseerbaar is op korte termijn en dit andere stakeholders zijn (overheid en onderwijskoepels) wordt er gekozen om op het schoolniveau in te spelen.

De school dient steeds een veilige omgeving te zijn waardoor de uitwerking van een veiligheidsbeleid belangrijk is. De uitwerking van een beleid dat voor alle scholen geldig is, is onmogelijk. Elke school heeft immers een andere manier van werken waarop haar beleid dient afgestemd te worden. Hierdoor wordt de uitwerking van het beleid beperkt tot het beschrijven van algemene principes die essentieel zijn als basis voor een veiligheidsbeleid toegepast op de context van een middelbare school.

Op leerkrachtniveau wordt een hulpmiddel uitgewerkt dat leerkrachten moet ondersteunen om na te gaan of de gebruikte chemicaliën conform de *Codex over het welzijn op het werk Boek X.- Werkorganisatie en bijzondere werknemerscategorieën Titel 3.– Jongeren op het werk* zijn. Aangezien het veel tijd vraagt om de wetgeving na te gaan die speelt op het gebruik van chemische producten in een schoolomgeving en de veranderingen hierin, is dit hulpmiddel een enorme meerwaarde voor leerkrachten. Dit hulpmiddel maakt duidelijk wanneer er een verbod optreedt voor bepaalde producten en omwille van welk risico (H-zin). Het is zo opgebouwd dat leerkrachten moeten stilstaan bij de eventuele gevaren (alle H-zinnen) die verbonden zijn aan het desbetreffende product. Als zij de gevaren beter kennen en herkennen, kunnen zij de experimenten niet alleen verbeteren naar veiligheid waar mogelijk, maar deze informatie ook overbrengen aan de leerlingen, hetgeen de veiligheidscultuur alleen maar ten goede komt. Door gebruik te maken van het hulpmiddel wordt een eerste stap gezet bij het opstellen van een risicoanalyse (SDS raadplegen en H-zinnen implementeren). Het hulpmiddel op zich kan niet gebruikt worden als een volwaardige risicoanalyse.

Op leerlingenniveau worden de practicumnota's van de derde graad geanalyseerd. Met behulp van het uitgewerkte hulpmiddel worden de gebruikte chemische producten nagekeken. Indien de uitvoering van een practicum verboden wordt door een bepaald product dan wordt er getracht een alternatief te zoeken, zodat het practicum toch op een veilige manier en conform de wetgeving kan worden uitgevoerd. Hierbij is het belangrijk dat met de alternatieve uitwerking

dezelfde doelstelling behaald wordt. De verschillende alternatieven worden uitgewerkt in een gebruiksvriendelijk en overzichtelijk schema. Een selectie van deze alternatieven wordt uitgetest in de praktijk om na te gaan of deze ook didactisch uitvoerbaar zijn en voldoen aan de leerdoelen.

De uiteenzetting van de algemene principes die essentieel zijn als basis voor een veiligheidsbeleid, het hulpmiddel voor leerkrachten omtrent chemische producten en de uitwerking van verschillende alternatieven inclusief het testen van enkele alternatieven worden achtereenvolgens besproken in deze thesis.

3. Een efficiënt veiligheidsbeleid

Werken aan welzijn en welbevinden in de onderwijsinstelling loont. Het heeft namelijk een positief effect op de gezondheid en het zelfvertrouwen van zowel personeel als leerlingen en op lange termijn de maatschappij³¹. Als instellingsbestuurder ben je ook werkgever en dus wettelijk verplicht om het welzijn van alle personeelsleden te bevorderen³¹.

Ondanks de aanwezigheid van een veiligheidsbeleid in scholen gebeuren er toch nog ongevallen in middelbare scholen^{32,33}. Deze ongevallen kunnen onschuldig zijn (verbranden aan een vlam), maar kunnen ook drastisch uitdraaien met ernstige gevolgen voor de leerlingen (permanente schade)³⁴. Het is belangrijk om uit deze ongevallen te leren en zo het veiligheidsbeleid te verbeteren. Er zijn verschillende aanbevelingen terug te vinden die advies geven over een veiligheidsbeleid op scholen^{14,35}.

In het belang van zowel leerkrachten als leerlingen is een sterk veiligheidsbeleid en een aangeleerde veiligheidscultuur van groot belang om veilig te kunnen werken in zowel de school als op de latere arbeidsmarkt en ook in het dagelijkse leven. Aangezien leerlingen in het secundair onderwijs anders reageren dan een volwassen werknemer (zie hoofdstuk 3.3. *Het puberend brein*) is het van belang om een veiligheidscultuur te creëren op leerlingenniveau en de factor mens maximaal in rekening te brengen³⁶. In dit hoofdstuk wordt een korte visie gegeven hoe een doeltreffend veiligheidsbeleid tot stand kan komen.

3.1. Beleid en beleidsvoerend vermogen van scholen

Een goed begrip van de term beleid is noodzakelijk om te kunnen meedenken over het beleid in scholen³⁷.

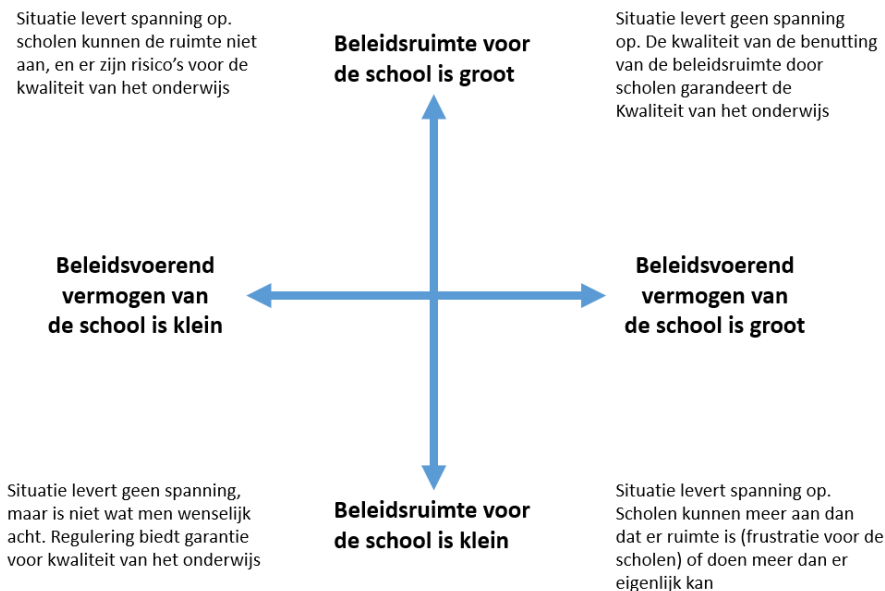
Beleid is het gezamenlijk realiseren van geselecteerde doelen door het (in de tijd) doordacht inzetten van middelen en dit op basis van een gedeelde visie.

Het beleidsvoerend vermogen, het vermogen van scholen om beleid te voeren, wordt gedefinieerd als³⁸:

De mate waarin een school de haar beschikbare beleidsruimte (1) succesvol aanwendt om te komen tot (2) een voortdurend proces van behouden of veranderen van haar functioneren (3) met als doel het verbeteren van haar onderwijskwaliteit en het bereiken van de haar opgelegde en eigen doelen (4).

Elk van deze 4 componenten spelen een belangrijke rol

(1) Verantwoordelijkheid betreffende onderwijs lag vroeger voornamelijk bij de overheid⁸. Stapsgewijs zijn onderwijsoverheden ruimte gaan geven aan scholen om een eigen schoolbeleid te voeren hetgeen duidelijk wordt in het *Decreet betreffende de kwaliteit van het onderwijs* van 8 mei 2009. Het decreet in kwestie gaat uit van de kracht en het beleidsvoerende vermogen van onderwijsinstellingen om zelf in te staan voor kwaliteitsvol onderwijs. Er wordt dus van scholen verwacht dat ze mee de verantwoordelijkheid dragen voor de onderwijskwaliteit³⁸. Hierdoor kunnen scholen hun eigen accenten leggen en kan het beleid enorm verschillen tussen scholen onderling. Echter, is er ook een keerzijde aan deze autonomie. Schoolleiders en hun teams ervaren de intenties vanwege de overheid betreffende decentralisatie, deregulering en autonomievergroting niet altijd als bevrijdend³⁸. Scholen worden door deze zaken meer geconfronteerd met talrijke, niet meteen onderwijsgebonden, voorschriften zoals milieu, veiligheid en juridisering, hetgeen dikwijls als problematisch wordt beschouwd³⁸. Dit spanningsveld tussen de groeiende verantwoordelijkheid van scholen om deze kwaliteit te onderhouden en het beleidsvoerend vermogen van scholen, wordt verduidelijkt in figuur 4.



Figuur 4: De relatie tussen de beschikbare beleidsruimte en de mogelijkheid tot benutting van die beleidsruimte³⁸

(2) De mate waarin scholen over een beleidsvoerend vermogen beschikken, bepaalt in sterke mate het succes waarmee scholen hun beleidsruimte aanwenden. Omtrent dit succesvol aanwenden zijn er enkele indicatoren (zie ook hoofdstuk 3.2 *Acht dragers van beleidsvoerend vermogen*) die duiden of een school al dan niet succesvol is³⁸:

- a. De school communiceert doeltreffend
 - b. De school streeft naar ondersteunende relaties en samenwerking
 - c. De school streeft door middel van gedeeld leiderschap naar betrokkenheid
 - d. De school streeft naar gezamenlijke doelgerichtheid
 - e. De school is responsief ten aanzien van interne en externe verwachtingen
 - f. De school durft afstand te nemen van het traditionele en creëert openingen voor vernieuwingen
 - g. De school integreert de verschillende beleidsinitiatieven die ze neemt
 - h. De school is bereid systematisch te reflecteren
- (3) Het nagaan of een bepaalde maatregel behouden of aangepast moet worden kan bereikt worden door de PDCA-cyclus: Plannen, Doen, Controleren en Aanpassen³⁸.
- (4) De laatste component van bovenstaande definitie verwijst expliciet naar het doel van de beleidsvoering in scholen. Het is aan de school en haar leerkrachten om een inhoudelijke invulling te voorzien van wat kwaliteitsvol onderwijs en kwaliteitsvol beleid is³⁸. Omdat de overheid echter wel bepaalde zaken vastlegt, wordt er in de definitie verwezen naar zowel opgelegde als eigen doelen.

Kwaliteit is in deze thesis een centraal onderwerp en daarom is het van belang om dit begrip in te vullen³⁸.

Kwaliteitsvol onderwijs betekent het op een gepaste manier realiseren van de verwachtingen die belanghebbende delen

Deze verwachtingen kunnen worden opgesplitst in drie categorieën³⁸. Voor elk van de drie categorieën zal een voorbeeld gegeven worden wat dit in de context van veiligheid in een chemie labo betekent.

1. **Decretale verwachtingen** zijn de verwachtingen die de overheid (in naam van de samenleving) aan scholen oplegt en die afgedwongen kunnen worden. Voorbeelden hiervan zijn het realiseren van de eindtermen en het toepassen van de vigerende wetgeving omtrent veiligheid en chemische producten. De eindtermen zorgen er immers voor dat de *“jongeren de noodzakelijke rugzak meekrijgen om met kennis sterk, kritisch en weerbaar in de samenleving te staan.”* -Vlaams minister van Onderwijs Hilde Crevits⁶.
2. **Niet-decretale verwachtingen** zijn afkomstig van belanghebbenden, bijvoorbeeld Essenscia, waarvan de verwachtingen niet in een juridisch kader zijn vastgelegd. Deze belanghebbenden doen beroep op scholen om jongeren te sensibiliseren voor

wetenschap. *Enkel door een doorgedreven samenwerking met het onderwijsveld, de vormingscentra en de diverse actoren op de arbeidsmarkt kan er gewaakt worden dat, ook in de toekomst, de sector blijft beschikken over voldoende en goed opgeleide nieuwe werknemers*¹⁵.

3. **Schoolinterne verwachtingen** handelen over de eigen accenten die scholen bovenop de minimumeisen van de overheid leggen. De verantwoordelijkheid die de school draagt bij ongevallen kan een intrinsieke stimulans zijn om veiliger te gaan werken.

3.2. Acht dragers van beleidsvoerend vermogen

In dit gedeelte worden acht dragers van beleidsvoerend vermogen kort besproken en toegepast op veiligheid (de dragers zijn aangeduid in het vet). Diepere uitwerking van deze acht dragers is terug te vinden in het boek *Doeltreffend schoolbeleid* van Vanhoof, J.; Van Petegem, P²⁵.

Doeltreffende communicatie is van cruciaal belang bij de uiteenzetting van een veiligheidsbeleid^{31,39}. Zowel de risico's, regels en de verschillende noodprocedures om deze te beperken moeten duidelijk gecommuniceerd worden met de leerkrachten en leerlingen. Net zoals het een gewoonte is om het lokaal te verlaten bij een brandalarm moeten de leerlingen weten wat er van hen verlangd wordt als er bijvoorbeeld een hoeveelheid zuur gemorst wordt. Naast het communiceren van deze regels is ook het trainen in de uitvoering van de procedures van belang⁴⁰.

Een verbetering van de veiligheid in schoollabo's kan bekomen worden door **samenwerking en de nodige ondersteuning** te voorzien. Door samen te werken is het eenvoudiger om verschillende richtlijnen uit te werken die de veiligheidscultuur kunnen bevorderen⁴¹. Voorlaleer een groep leerkrachten actief zal deelnemen aan het veiligheidsbeleid, dient er de nodige draagkracht te zijn⁴². Deze draagkracht komt tot stand als er voldoende ondersteuning en samenwerking is. Om leerkrachten te ondersteunen bij de vigerende wetgeving is er een hulpmiddel ontwikkeld dat duidelijk maakt of het gebruik van een product al dan niet verboden is in een onderwijscontext en zijn er verschillende veilige alternatieven uitgewerkt, waarover later meer (zie hoofdstuk 4. *Hulpmiddel omtrent productveiligheid (HOPV): chemische practica* en 5.5. *Schema ter ondersteuning voor het vinden van een alternatieve practicum uitwerking*)

De directie speelt een onmiskenbare rol bij de uiteenzetting van een (veiligheids)beleid⁴³. Effectieve leiders zijn zich bewust van de noodzaak om te investeren in mensen, om zo de

school te leiden. **Gedeeld leiderschap** is dus cruciaal bij een veiligheidsbeleid. De wenselijkheid van participatie van leerkrachten in het veiligheidsbeleid is afhankelijk van drie zaken⁴³: leerkrachten dienen enkel bij de besluitvorming betrokken te worden 1) als er een persoonlijk belang aanwezig is en/of 2) als zij over voldoende kennis over het onderwerp beschikken en 3) als ze bereid zijn om te participeren. Dit maakt duidelijk dat er voortdurende inspanningen moeten geleverd worden om de expertise van leerkrachten verder te ontwikkelen via opleidingsmogelijkheden.

Door het samenwerken en bespreken van het veiligheidsbeleid wordt er een **geïntegreerd beleid** met een **gezamenlijke doelgerichtheid** bekomen⁴⁴. Leerkrachten hebben doorgaans een duidelijke visie van wat een school zou moeten realiseren, maar deze visies kunnen onderling sterk verschillen door de gevolgde opleiding, voeling met bepaalde onderwerpen of ervaring⁴⁴. Door deze visies gezamenlijk in overeenstemming te brengen, ontstaat er een vorm van betrokkenheid.

Het **responsief vermogen** van een school bepaalt hoe deze reageert op de noden van de omgeving⁴⁵. Ouders verwachten dat hun kinderen veilig zijn op scholen, hetgeen duidelijk maakt dat er geïnvesteerd moet worden in een effectief veiligheidsbeleid.

Het **innovatief vermogen** van een school weerspiegelt de mate waarin ze in staat is om vernieuwingen op een succesvolle manier te implementeren en zich openstelt voor nieuwe ideeën⁴⁶. Veiligheid is in constante evolutie en nieuwe onderzoeken kunnen aantonen dat bepaalde producten een herclassificering dienen te krijgen wat mogelijk extra veiligheidsmaatregelen met zich meebrengt²¹. Het is belangrijk om op te merken dat niet iedereen verandering ontvangt als een positieve evolutie waardoor er verzet kan optreden⁴⁶. Hierdoor is het hebben van een gezamenlijk doelgerichtheid van groot belang bij de implementatie van vernieuwingen.

Het **reflectief vermogen** van een veiligheidsbeleid doet beroep op de persoonlijke bereidwilligheid om het eigen handelen in vraag te stellen en te verbeteren⁴⁷. Het is steeds mogelijk dat er een ongeval plaatsvindt, maar hierover communiceren is van essentiële aard bij een effectief veiligheidsbeleid³⁵. Hieruit kunnen immers nieuwe maatregelen bepaald worden zodat ongevallen in de toekomst worden vermeden¹⁴.

3.3. Het puberend brein

Er werd reeds aangehaald dat het uitwerken van een veiligheidsbeleid op leerlingenniveau gerealiseerd dient te worden. Leerlingen van het secundair onderwijs zitten immers in een

unieke periode in hun leven, de adolescentieperiode. Deze wordt het best omschreven als de overgangperiode van de kindertijd naar volwassenheid⁴⁸. De leeftijden die worden gehanteerd voor het beschrijven van deze periode zijn verschillend per cultuur, maar over het algemeen neemt deze periode plaats tussen de leeftijd van tien tot tweeëntwintig jaar. Gedurende deze periode maken de hersenen een belangrijke groeispurt hetgeen zorgt voor grote veranderingen in de organisatie ervan⁴⁸. Pubertijd en adolescentie worden vaak door elkaar gehaald, maar handelen niet over hetzelfde. De pubertijd is terug te vinden rond de leeftijd van tien tot veertien jaar en neemt dus plaats gedurende de adolescentieperiode⁴⁸. Deze periode wordt gekenmerkt door een focus op zichzelf, een drang om risico's te nemen, flexibiliteit en creativiteit, een tijd waarin de jongere loskomt van zijn ouders en opvoeders. Deze drang om risico's te nemen brengt een duidelijk veiligheidsrisico met zich mee waarmee zeker rekening dient gehouden te worden. Om deze reden wordt er best inherent veilig gewerkt, dit houdt in dat er geen risicovolle producten worden gebruikt. Indien dit niet mogelijk is en er gebruik wordt gemaakt van collectieve of persoonlijke beschermingsmiddelen, dan ontstaat er door de werking van het puberend brein een extra risicofactor waarmee rekening dient gehouden te worden. Het gebruik van deze beschermingsmiddelen wekt mogelijk nieuwsgierigheid op en de leerlingen zijn zelf verantwoordelijk voor het correct gebruiken van deze beschermingsmiddelen. Het gebruik van collectieve en persoonlijke beschermingsmiddelen is dus mogelijk minder efficiënt dan bij volwassen gebruikers van chemicaliën. De reden hiervoor is omdat 1) de kennis en het inzicht om het belang ervan in te zien minder/niet aanwezig is en 2) doordat het puberend brein ervoor zorgt dat er meer risico's worden genomen.

Adolescenten hebben vier essentiële vaardigheden die dienen te ontwikkelen, namelijk cognitieve, emotionele, sociale en creatieve vaardigheden. Het onderzoek van Crone toont aan dat deze vaardigheden door verschillende hersengebieden worden gestuurd en dat deze gebieden zich niet even snel ontwikkelen⁴⁸.

Het lerend gebied^{48,49}: Dit gedeelte van het brein verwijst naar de vaardigheden die nodig zijn om te kunnen leren. Gedurende de volledige schoolperiode wordt er van leerlingen verwacht dat ze, onder andere, iets kunnen onthouden, informatie filteren, relaties kunnen leggen, zich kunnen concentreren en hun leermethode kunnen aanpassen. Veel cognitieve taken zijn erg complex en doen beroep op verschillende deelgebieden van de hersenen. Deze cognitieve vermogens worden gestuurd door de frontale cortex, de buitenste gekronkelde laag van de grote hersenen, die volledig ontwikkeld is rond de leeftijd van 25 jaar.

Het emotionele gebied^{48,49}: Veel mensen zijn gedurende hun adolescentieperiode overgevoelig en kunnen een erg kort lontje hebben, m.a.w. het emotionele brein is vaak overactief. Emoties worden vaak beschreven als de beleving van een gevoel en gedurende de adolescentieperiode wisselen deze emoties sneller en lijken ze vaker extremer te zijn. In het hersenonderzoek wordt er een onderscheid gemaakt tussen twee types emoties, namelijk de primaire en de secundaire⁴⁸. Primaire emoties zijn een directe reactie op iets uit de omgeving, zoals angst die men voelt in een gevaarlijke situatie. Secundaire emoties zijn aangeleerde emoties. Op basis van eerdere ervaringen wordt er bepaald of iets prettig is of men het eerder wil vermijden. Aangezien deze emoties zijn aangeleerd, zijn ze voor iedereen verschillend.

Bij complexe emotionele beslissingen zijn er drie concurrerende gebieden: het gebied dat zorgt voor rationele afwegingen, het gebied dat geactiveerd wordt vanuit intuïtie en zorgt voor een lichamelijke prikkeling en het pleziercentrum dat overactief wordt met het vooruitzicht op een beloning. Uit onderzoek blijkt dat het eerste gebied nog niet volledig ontwikkeld is bij adolescenten⁴⁸. Hierdoor wint de korte termijn bevrediging het vaak van het langetermijndenken en wordt er dus niet stilgestaan bij de latere gevolgen van een reactie. Ook de lichamelijke reacties ontbreken bij adolescenten. Ze zijn heel gevoelig aan beloningen omdat hierbij dopamine aangemaakt wordt wat zeer verslavend werkt⁴⁸. Er worden vaak risico's genomen omdat ze niet dezelfde lichaamswaarschuwingen ervaren als volwassenen en de nodige intuïtie missen. Reden te meer om tijdens het opstellen van een veiligheidsbeleid hiermee rekening te houden.

Het sociale gebied^{48,49}: Adolescenten stimuleren elkaar om bijvoorbeeld de kick te beleven van de *chocking game*. Het verstikkingsspel, waarbij jongeren zich laten verstikken om in een roes te geraken. Dit heeft wereldwijd al diverse dodelijke slachtoffers gemaakt⁵⁰. Dit impliceert dat sociale druk het kan winnen van gezond verstand of morele waarden. Leeftijdsgenoten spelen dus ook een enorm belangrijke rol in de adolescentieperiode. Vanaf de leeftijd van 12 à 14 jaar wordt omgaan met leeftijdsgenoten veel belangrijker dan het vertrouwelijke contact met de ouders. Morele keuzes worden dan ook meestal met het oog op aanvaarding door leeftijdsgenoten gemaakt⁴⁸. Rond deze leeftijd komt het besef ook dat sociale regels en wetten nodig zijn en ontwikkelt een toenemend vermogen om zich in anderen in te leven.

Om leerlingen dus te beschermen dient er met bovenstaande gegevens rekening gehouden te worden bij een risicoanalyse en de uitwerking van het veiligheidsbeleid op leerlingenniveau.

Doordat leerlingen in het secundair onderwijs zoveel belang hechten aan medeleertijdsgenoten, mede door de werking van het sociale brein, zal een effectief veiligheidsbeleid niet enkel voor leerlingen zijn, maar ook door leerlingen worden uitgevoerd. Als het overgrote deel van de leerlingen inziet waarom veiligheid zo belangrijk is dan zullen ze medeleerlingen sneller aanspreken op onveilige handelingen. Doordat leerlingen veiliger werken is de kans op ongevallen ook kleiner, waardoor er dan weer minder kans is op een slechte ervaring in bijvoorbeeld een chemisch practicum. Anderzijds worden de risico's ook groter wanneer leerlingen elkaar aanzetten tot onveilig gedrag, hiermee dient rekening te worden gehouden bij risicoanalyses. Bovendien zal een eventuele slechte ervaring door een ongeval ook een mogelijke invloed hebben op de secundaire emoties van de leerlingen, waardoor ze interesse in het vak chemie kunnen verliezen. Dit heeft dan weer gevolgen voor hun studiekeuze, de arbeidsmarkt en hun latere maatschappelijke perceptie over chemie als sector en chemicaliën.

Leraren en directie gaan er vaak onterecht vanuit dat leerlingen in het secundair onderwijs over bepaalde vaardigheden beschikken⁴⁹. Er wordt verwacht dat leerlingen gericht doelen kunnen stellen, plannen kunnen maken voor de uitvoering ervan en deze plannen op een effectieve wijze kunnen uitvoeren om ten slotte te leren uit eventuele mislukkingen. Al deze vaardigheden doen beroep op verschillende delen van het brein, waarvan geweten is dat ze niet allemaal op hetzelfde tempo ontwikkelen⁴⁸. Onderzoek toont aan dat complexe manipulatie-taken pas goed verlopen vanaf een leeftijd van 15 jaar. Bij het opstellen van een veiligheidsbeleid dient ook hiermee rekening gehouden te worden.

Het onderzoek van Crone toont aan dat tieners effectiever reageren op positieve dan op negatieve feedback. Ze zijn gevoeliger voor beloningen en lijken haast immuun te zijn voor straffen. De hersengebieden die hun emoties regelen zijn immers sneller gevormd dan de gebieden die instaan voor het nadenken. Dit ligt anders bij volwassenen, die meestal eerst nadenken vooraleer ze iets doen⁴⁹. De hersenen van de leerlingen kunnen daarentegen getraind worden en dit op een effectievere manier dan die van volwassenen. Door het adequaat reageren of anticiperen op het gedrag kan er immers veel worden bijgeleerd. Om hersenen te trainen is het belangrijk dat de leerkracht voortdurend reageert op ongewenst gedrag totdat het gewenste gedrag een automatisme wordt. Herhaling is hierbij het belangrijke sleutelwoord⁴⁹. Dit geeft aan dat er opportuniteiten zijn om een chemische veiligheidscultuur op een efficiënte manier aan te leren, hetgeen een positieve bijdrage heeft naar arbeidsveiligheid en naar een algemeen veiligheidsbewustzijn wat chemicaliën betreft, ook thuis.

3.4. Uitbouwen van een preventiebeleid in het schoollabo

Ook al is de COS-brochure niet 100% conform de wetgeving, toch kan ze gebruikt worden als basis bij de uitwerking van een veiligheidsbeleid. Zo zijn er in deze brochure vijf stappen uitgewerkt voor het uitbouwen van een preventiebeleid in het schoollabo². Deze vijf stappen worden aangevuld met inzichten die in de vorige hoofdstukken zijn aangehaald.

- 1) **Veiligheidsstandaarden vastleggen in school- en laboreglement:** De vakgroep wetenschappen werkt in samenspraak met alle betrokken leerkrachten een laboreglement uit als aanvulling op het schoolreglement. Bij de start van elk schooljaar worden de leerlingen en ouders hierover geïnformeerd. Bij aanvang van het eerste labo worden de leerlingen best nogmaals attent gemaakt op de regels beschreven in het laboreglement²⁸. In het laboreglement dienen volgende zaken zeker te worden opgenomen: de veiligheidsprocedures, de procedures voor het voorkomen en verwijderen van afval, het algemene stappenplan voor het werken in het labo, het correct gebruik van collectieve en persoonlijke beschermingsmiddelen. Om de veiligheid van de leerlingen te garanderen wordt er best inherent veilig gewerkt zoals reeds is aangehaald in hoofdstuk 3.3. *Het puberend brein*
- 2) **Veiligheidsopleiding en kwalificatietest:** Voordat leerlingen in staat zijn om op een veilige manier in het labo te werken, moeten zij een specifieke veiligheidsopleiding krijgen die aangepast is aan het niveau van hun opleiding en de risico's. Na deze opleiding kunnen de leerlingen hierover getest worden om te bepalen of ze mogen werken in het labo. Indien een leerling niet slaagt voor deze test, dan kan de leerling gesanctioneerd worden en niet toegelaten worden tot het practicum, maar andere sancties kunnen ook bepaald worden in overleg met de vakgroep. Deze sancties worden eveneens opgenomen in het laboreglement. In plaats van uit te schrijven welke zaken leiden tot sancties wordt beter het gewenste gedrag uitgeschreven in het laboreglement met een opmerking wat er gebeurt indien het gewenste gedrag niet wordt nageleefd²⁸. In hoofdstuk 3.3. *Het puberend brein* is duidelijk geworden dat leerlingen gevoelig zijn aan beloningen. Leerlingen ervaren een practicum als beloning (geen theorieles) en zullen daardoor beter hun best doen om hieraan deel te mogen nemen, wat impliceert dat de laboregels dienen nageleefd te worden⁵¹.
- 3) **Controle en evaluatie:** Elk practicum is gebonden aan doelstellingen waarbij volgens het leerplan de verschillende veiligheidsaspecten aan bod dienen te komen (zie hoofdstuk 1.6. *Algemene doelstellingen omtrent veiligheid in beide leerplannen van de*

derde graad). Leerlingen kunnen de gevaren, risico's en basiskennis voorzorgsmaatregelen voor de gebruikte chemicaliën opzoeken in veiligheidsinformatiebladen (bv. SDS en/of veiligheidsinstructiekaarten en de procedure van het experiment). Hoe leerlingen dit op een correcte manier doen, kan hen worden aangeleerd tijdens de veiligheidslessen. Tijdens het uitvoeren van de proeven worden de leerlingen geobserveerd. Het is belangrijk dat de leerlingen vooraf weten waarop ze beoordeeld worden tijdens de uitvoering van het practicum²⁶. Zo kan er expliciet aan de leerlingen gemeld worden dat aspecten betreffende het veilig en milieubewust omgaan met chemicaliën zullen worden geëvalueerd. Hierbij is het aan te raden om leerlingen ook zichzelf te laten evalueren, om hen op die manier een kritische houding aan te leren.

- 4) **Feedback en remediëring:** Tijdens het praktisch werk kan de leerkracht leerlingen bijsturen en hen feedback geven. Vaardigheden en vakgerichte attitudes omtrent veiligheid komen hierbij aan bod. Een goed evaluatiebeleid wordt ondersteund door een brede en periodieke rapportering zodat het leerproces opgevolgd en bijgestuurd kan worden²⁶.

Niet enkel leerlingen dienen feedback te krijgen, maar de leerkracht dient zelf ook na te gaan welke zaken er verbeterd kunnen worden om een veiliger en/of beter practicum te verkrijgen. Verbetering worden het best gecommuniceerd met collega's aangezien zij deze ook kunnen doorvoeren.

- 5) **Procesbewaking en evaluatie:** Overleg in de vakgroep en andere communicatieplatformen over het veiligheidsbeleid zijn van groot belang. Verschillende maatregelen kunnen besproken worden om eventuele problemen op te lossen. Door nieuwe wetenschappelijke inzichten en de continue verandering van de wetgeving is permanente vorming een noodzaak voor het versterken van de veiligheidsmotivatie. Nieuwe leerlingen, leerkrachten en wijzigingen in de aard, de omstandigheden en de organisatie van het werk, eisen een continue bewaking van het veiligheidsbeleid.

4. Hulpmiddel omtrent productveiligheid (HOPV): chemische practica

HOPV is bedoeld om leerkrachten bij te staan met de vigerende wetgeving omtrent het gebruik van chemische producten in het onderwijs. In hoofdstuk 3. *Een efficiënt veiligheidsbeleid* is reeds duidelijk geworden dat leerkrachten dienen ondersteund te worden om veiligheid te introduceren in hun lessen.

HOPV kan gebruikt worden om na te gaan of de intrinsieke eigenschappen van een product en dus het gebruik ervan al dan niet verboden is (volgens de wetgeving) voor het uitvoeren van een chemisch practicum door jongeren. Zo legt de wetgeving (*Codex over het welzijn op het werk Boek X.- Werkorganisatie en bijzondere werknemerscategorieën Titel 3.– Jongeren op het werk*) een verbod op het gebruik van specifieke H-zinnen op waardoor bijvoorbeeld het gebruik van geconcentreerde zuren en basen verboden wordt omdat ze allen dezelfde H-zin hebben⁵²:

H314 Veroorzaakt ernstige brandwonden en oogletsels

De ervaring leert dat in vele practica zowel hoog geconcentreerde zuren als basen worden gebruikt¹⁷. De bedoeling van HOPV is om dit onder de aandacht te brengen en te identificeren welke producten er al dan niet verboden zijn in de onderwijscontext conform *Codex over het welzijn op het werk Boek X.- Werkorganisatie en bijzondere werknemerscategorieën Titel 3.– Jongeren op het werk*. In een later deel van deze thesis worden vervolgens oplossingen aangereikt naar alternatieven voor deze verboden producten om zo practica toch mogelijk te maken, maar met intrinsiek veiligere alternatieve producten/mengels.

Doordat er op vele scholen gebruik wordt gemaakt van Excel, is er besloten om ook HOPV in Excel uit te werken. Hierdoor kan het gedownload en onmiddellijk gebruikt worden, zonder verdere installatie en licenties.

Om het hulpmiddel overzichtelijk te houden, wordt er gebruik gemaakt van drie verschillende tabbladen. In het eerste en het tweede tabblad dient de gebruiker informatie op te geven van de verschillende producten. Met deze informatie wordt er in het laatste tabblad duidelijk gemaakt of het gebruik van de ingegeven producten toegelaten is conform de *Codex over het welzijn op het werk Boek X.- Werkorganisatie en bijzondere werknemerscategorieën Titel 3.– Jongeren op het werk*

4.1. Tabblad: Ingeven data

In het eerste tabblad van het hulpmiddel dient de gebruiker de naam van alle gebruikte producten (start- en eindproducten, intermediären, solventen, indicatoren, additieven, ...) samen met hun overeenkomstige H-codes in te geven. In de huidige versie kunnen maximaal 10 producten worden ingegeven, waarbij aan elk product 10 H-codes kunnen gekoppeld worden. Aangezien HOPV in Excel is uitgewerkt, is uitbreiding ervan zeer eenvoudig realiseerbaar.

De verschillende H-codes die van toepassing zijn op een product dienen door de gebruiker opgezocht te worden. Deze informatie is terug te vinden in het veiligheidsinformatieblad (SDS) van het product. Voor elke stof en elk mengsel is er een veiligheidsinformatieblad terug te vinden, dat overeenkomt met artikel 31 en bijlage II van de REACH-verordening⁵³. Verder moet het veiligheidsinformatieblad opgesteld zijn in de officiële taal of talen van het taalgebied waar de stoffen of de mengsels te koop zijn. Het is de leverancier van een stof of mengsel die de afnemer van die stof of dat mengsel het recentste veiligheidsinformatieblad moet bezorgen⁵³:

- Indien een stof of mengsel beantwoordt aan de criteria voor een indeling als gevaarlijke stof of gevaarlijk mengsel.
- Indien een stof persistent, bio-accumulerend en toxisch of heel persistent en heel bio-accumulerend is.
- Indien een stof werd opgenomen in de lijst die werd opgesteld overeenkomstig artikel 59, paragraaf 1 van de REACH-verordening.

Het veiligheidsinformatieblad moet niet mee bezorgd worden als de gevaarlijke stoffen of mengsels die aan het grote publiek worden aangeboden of verkocht worden, voorzien zijn van voldoende informatie. Deze informatie moet de gebruiker in staat stellen om de nodige voorzorgsmaatregelen te nemen ter bescherming van de menselijke gezondheid, de veiligheid en het leefmilieu⁵³. Het veiligheidsinformatieblad kan wel steeds worden opgevraagd indien men specifieke informatie zoals de H-zinnen wenst.

Dit houdt, voor leerkrachten die chemische practica opstellen, dus in dat zij steeds de nodige informatie kunnen vinden over de gebruikte producten bij hun leverancier. Het best kunnen zij deze veiligheidsinformatiebladen opslaan aangezien deze kunnen worden opgevraagd tijdens de doorlichting door de onderwijsinspectie gedurende *proces 6: producten met gevaarlijke eigenschappen*⁴. Verder wordt er tijdens dit proces ook de inventaris, risicoanalyses, opslag en etikettering nagegaan. De onderwijsinspectie zal deze zaken bekijken met volgende visie⁴:

Het beleid neemt de nodige maatregelen om de risico's voor de gezondheid en de veiligheid van lerenden en teamleden betreffende producten met gevaarlijke eigenschappen weg te nemen of tot een minimum te verkleinen.

Aangezien er met behulp van HOPV een eerste screening wordt gemaakt van de mogelijke gevaren, kan dit hulpmiddel worden opgenomen als een onderdeel van de risicoanalyse. Het is belangrijk om op te merken dat het gebruik van enkel dit hulpmiddel de gebruiker niet in staat stelt om een volledige risicoanalyse te maken.

Als de veiligheidsinformatiebladen ondanks alles niet ter beschikking zijn, kan er gebruik gemaakt worden van het internet of organisaties zoals BIG (Brandweerinformatiecenter Voor Gevaarlijke Stoffen) om de nodige informatie op te zoeken^{17,54}. De informatie in deze veiligheidsinformatiebladen kan echter verschillen al naargelang de leverancier¹⁷. Daarom is het belangrijk om de website van de leverancier te raadplegen die de producten levert of de informatie bij de leverancier rechtstreeks op te vragen. Het is ook belangrijk om de datum na te gaan van het veiligheidsinformatieblad om er zeker van te zijn dat deze nog correcte, recente informatie bevat. De geldigheidsperiode van een veiligheidsinformatieblad is niet gebaseerd op de afgifte datum of de datum van herziening, maar hangt af van het feit of ze al dan niet in overeenstemming is met de relevante geldende voorschriften⁵⁵. Vanaf 1 juni 2017 moeten alle veiligheidsinformatiebladen zodanig worden opgesteld of herzien worden zodat ze voldoen aan de inhouds- en vormvereisten van Verordening (EU) 2015/830. Om er zeker van te zijn dat de informatie recent is, worden er dus best veiligheidsinformatiebladen geraadpleegd die na 1 juni 2017 zijn uitgebracht of die een herziening na deze datum hebben doorgemaakt.

Nadat de gebruiker de H-codes uit de veiligheidsinformatiebladen heeft gehaald, worden deze ingegeven onder “H-codes” door middel van een lijst zoals weergegeven in figuur 5.

Productnaam	H-codes
Ethanol	H223 Ontvlambare aerosol.
	H224 Zeer licht ontvlambare vloeistof en damp.
	H225 Licht ontvlambare vloeistof en damp.
	H226 Ontvlambare vloeistof en damp.
	H227 Brandbare vloeistof.
	H228 Ontvlambare vaste stof.
	H229 Houder onder druk: kan openbarsten bij verhitting
	H230 Kan explosief reageren zelfs in afwezigheid van lucht

Figuur 5: weergaven van het drop down menu in het hulpmiddel

Er wordt specifiek gekozen voor een lijst zodat:

- Het hulpmiddel op een eenvoudige manier kan gebruikt worden.
- Niet enkel de H-codes worden weergegeven, maar eveneens de H-zinnen die hierbij horen. Het enkel weergeven van de H-codes doet de gebruiker niet stilstaan bij de gevaren die hieraan verbonden zijn aangezien men er niet van kan uitgaan dat elke gebruiker de betekenis van de verschillende H-codes uit het hoofd kent. De zinnen vermelden heeft dus een meerwaarde naar bewustwording van de gevaren, ook als ze geen verbod opleveren.

4.2. Tabblad: Omgevingsfactoren

De wetgeving heeft tot doel om de jongeren te beschermen tegen mogelijke gevaren. Hierdoor wordt er een verbod opgelegd op een heel aantal producten op basis van H-codes. Dit heeft voordelen:

- CMR (Carcinogeen, Mutageen en Reprotoxisch) en explosieve producten worden zeer efficiënt verboden. Het is niet denkbaar dat deze producten in een schoolomgeving worden gebruikt aangezien jongeren in volle lichamelijke ontwikkeling zijn hetgeen hen een kwetsbare groep maakt^{56,57}. Bedrijven weren deze producten eveneens en investeren in *green chemistry*⁵⁸.
- Geconcentreerde zuren en basen worden eveneens op een efficiënte manier geweerd. Dit houdt niet in dat er geen zuren of basen meer gebruikt mogen worden maar dat een veiligere concentratie gebruikt dient te worden. De verbodsbepalingen zijn immers concentratie gerelateerd. Deze concentratiegrenzen worden in hoofdstuk 5.2. *Concentratie gerelateerde verbodsbepalingen* verduidelijkt

maar er zijn ook nadelen:

- Er wordt geen rekening gehouden met de hoeveelheid die gebruikt wordt van een product.
- Er wordt eveneens geen rekening gehouden met de omstandigheden waarin het product gebruikt wordt.

Zo wordt bijvoorbeeld een verbod opgelegd op basis van H225 *licht ontvlambare vloeistof en damp*. De combinatie van zulke producten met een ontstekingsbron hebben reeds ongevallen veroorzaakt^{14,34}. In de gebruikte methodiek zal H225 initieel een verbod opleggen op het product, hetgeen conform de wetgeving is. Echter, is het mogelijk dat met deze producten toch

veilig gewerkt kan worden, indien er in de omgeving geen ontstekingsbronnen aanwezig zijn en opwarming boven zelfontbrandingstemperatuur niet mogelijk is. Hierdoor zal HOPV de gebruiker vragen om in te vullen of er tijdens het chemisch practicum gebruik wordt gemaakt van een ontstekingsbron (zoals een bunsenbrander, lucifers, ...) en na te gaan of de zelfontbrandingstemperatuur mogelijk overschreden kan worden (bv. te hoge opwarming met verwarmingsmantel). Indien dit het geval is blijft het verbod geldig, maar als dit niet het geval is **en** er geen andere verbodsbepalingen van kracht zijn op dit product **en** er is geen intrinsiek veiliger product als alternatief mogelijk voor het bereiken van de eindtermen **en** alle beheersmaatregelen zijn aanwezig indien er toch een incident zou optreden, dan kan er afgeweken worden van het verbod.

Een voorbeeld om bovenstaande te duiden via een toepassing op de praktijk. In de leerplannen worden verschillende topics over demoproeven en practica teruggevonden^{3,19}. De leerplannen geven dus suggesties, maar geven geen informatie over hoe het practicum moet uitgevoerd worden noch met welke producten. Vooral in het ASO leerplan worden er vaak geen specifieke producten genoemd¹⁹. De leerkracht bepaalt dus zelf met welke producten en hoe het practicum wordt uitgevoerd. In het TSO leerplan worden er echter vaak wel specifieke producten genoemd zoals pentaan, cyclohexaan, cyclohexeen en tertiair butylalcohol³.

Op deze producten is steeds H225 van toepassing waardoor het gebruik ervan verboden is in een onderwijscontext. Het gebruik van het hulpmiddel kan een uitzondering voorzien, zodat de practica met deze producten toch nog kunnen uitgevoerd worden indien ze onontbeerlijk zijn voor de eindtermen en dus competenties van de leerlingen.

Op het tabblad 'Omgevingsfactoren' wordt er aan de gebruiker gevraagd of er al dan niet wordt gewerkt met een ontstekingsbron tijdens het practicum. Op deze vraag kan er met 'Ja' of 'Nee' worden geantwoord. Als er geen ontstekingsbronnen gebruikt worden, wordt er aan de gebruiker gevraagd of er een warm oppervlak aanwezig is/wordt gehanteerd tijdens het practicum. Indien dit het geval is, dient de gebruiker de zelfontbrandingstemperatuur op te zoeken en in te geven van het product waarop H225 van toepassing is. Als deze temperatuur lager ligt dan de ingestelde temperatuur van de warmteplaat, is er een potentieel ontbrandingsgevaar waardoor er geen uitzondering wordt gemaakt op het desbetreffende product. Indien er geen warm oppervlak aanwezig is of de temperatuur van de warmteplaat onder de zelfontbrandingstemperatuur van het product ligt, enkel dan wordt er een uitzondering op de wetgeving mogelijk gemaakt.

De uitzondering in dit hulpmiddel zorgt ervoor dat HOPV niet 100% conform de wetgeving is. Het is echter belangrijk om op te merken dat dit de enige uitzondering is in dit hulpmiddel. De huidige COS-brochure laat veel meer producten toe met potentiële gevaren dan deze methodiek. Verder is deze uitzondering beredeneerd volgens een beperkte risicoanalyse. Het kan ook in dit geval niet als een volledig risicoanalyse aanzien worden vermits het beperkt is tot het niveau van een enkel product en beperkt is tot brandrisico.

De uitzondering kan enkel gemaakt worden als de gebruiker stilstaat bij het feit of er al dan niet een ontstekingsbron aanwezig is tijdens het practicum. Het is namelijk de gebruiker die op deze vraag dient te antwoorden. Hierdoor moet hij/zij dus daadwerkelijk stilstaan bij de mogelijke gevaren bij het gebruik van producten waarop H225 van toepassing is in zijn/haar specifiek gebruik.

4.3. Tabblad: Analyse producten

Op het laatste tabblad van HOPV wordt een eindbeoordeling gemaakt van de ingegeven producten. Er wordt een beoordeling gemaakt in drie categorieën waaraan een gradatie van ernst gekoppeld is:

- 1) Contactgevaar/blootstellingsgevaar
- 2) Gevaar bij inademing
- 3) Brandgevaar

Uit praktische overweging in het tijdsbestek van deze thesis wordt er slechts met deze drie categorieën rekening gehouden. Toekomstgericht kunnen er nog extra categorieën worden toegevoegd (aantal leerlingen, compatibiliteit producten,...) zodat het hulpmiddel nog sterker wordt gemaakt.

De gradatie loopt van 1 tot 4, waarbij 1 een ernstig gevaar is, hetgeen overeenkomt met CLP⁵⁹. Het optreden van een '1' bij één van de drie categorieën, komt overeen met een verbod op dat product in overeenstemming met *Codex over het welzijn op het werk Boek X.- Werkorganisatie en bijzondere werknemerscategorieën Titel 3.– Jongeren op het werk*. De andere cijfers kunnen gebruikt worden als een indicatie voor het gevaar op het vlak van bovenstaande drie categorieën. Op basis hiervan kunnen er preventiemaatregelen genomen worden in een volledige risicoanalyse.

De verbodsbepalingen op basis van H-codes zijn terug te vinden in bijlage X.3-1 van deze codex. Deze wetgeving legt echter geen verbod op volgende H-codes:

- H230 Kan explosief reageren zelfs in afwezigheid van lucht
- H250 Vat spontaan vlam bij blootstelling aan lucht.

Aangezien HOPV vooral gebruikt zal worden in een schoolcontext, is het bijna ondenkbaar dat producten met zulke H-codes worden gebruikt. Het vereist immers de nodige opleiding en kennis om correct met deze producten om te gaan. In de methodiek die wordt toegepast in het HOPV hulpmiddel zullen bovenstaande H-codes dus toch een verbod opleveren voor het overeenkomstige product om zo de veiligheid van leerkracht en leerling te garanderen.

Een verboden product zal een rode kleur krijgen en de H-zinnen die voor het verbod zorgen worden aangeduid. Producten waarop geen verbodsbepalingen geldig zijn, krijgen een groene kleur. Dit wordt verduidelijkt in figuur 6 aan de hand van een voorbeeld.

Productnaam	H-codes	Gevaar		Gevaar Brand	Verbod door wetgeving
		Huidcontact	Inademing		
Fenolftaleine-oplossing 1% in ethanol	H350 Kan kanker veroorzaken	1	1		VERBOD
	H226 Ontvlambare vloeistof en damp.			3	
	H319 Veroorzaakt ernstige oogirritatie.	2			
	H341 Verdacht van het veroorzaken van genetische schade	1	1		VERBOD
1-octanol	H319 Veroorzaakt ernstige oogirritatie.	2			
	H412 Schadelijk voor in het water levende organismen, met langdurige gevolgen.				

Figuur 6: voorbeeld van het tabblad 'Analyse producten'

De metadata van HOPV is terug te vinden als bijlage 2 achteraan de thesis. Hierin wordt eveneens de code verduidelijkt die gebruikt werd bij het opstellen van dit hulpmiddel.

5. Analyse van verschillende practicumnota's

HOPV is een hulpmiddel dat leerkrachten in staat stelt de verbodsbepalingen op chemische producten na te gaan. Hierdoor wordt duidelijk welke producten er al dan niet gebruikt mogen worden tijdens de uitvoering van een practicum. In hoofdstuk 3. *Een efficiënt veiligheidsbeleid* en via contacten met de scholengemeenschap KOGEKA is duidelijk geworden dat leerkrachten nood hebben aan ondersteuning (HOPV + aangereikte alternatieven) om veiligheid te introduceren in bijvoorbeeld practica.

Het is dus van belang dat naast na te gaan of bepaalde producten verboden zijn, er ook ondersteuning wordt aangeboden bij mogelijke alternatieven voor bepaalde producten. Hier is het belangrijk om steeds de doelstelling voor ogen te houden van de eindtermen en leerplannen. Zo kan de doelstelling nog steeds behaald worden door gebruik te maken van andere, weliswaar niet verboden, producten. Indien nodig kunnen andere experimenten uitgewerkt worden die hetzelfde leerdoel bereiken als het vervangen van een product in een voorgeschreven proef minder voor de hand ligt.

Om leerkrachten hierbij te ondersteunen zijn de verschillende practica beschreven in het leerplan *'toegepaste chemie derde graad TSO (technisch scheikunde)'* geanalyseerd³. Er wordt specifiek voor de derde graad gekozen aangezien er in deze graad meer risicovolle producten worden gebruikt in vergelijking met de eerste en tweede graad¹⁷. Door gebruik te maken van HOPV worden de verboden producten uit de practicumnota's geïdentificeerd. Indien er verbodsbepalingen van kracht zijn, wordt er nagegaan of het practicum op een alternatieve manier kan worden uitgevoerd. De alternatieven worden op een algemene manier geformuleerd indien ze toepasbaar zijn op verschillende practica (bv. concentratie gerelateerd). Van de meer specifieke alternatieven (bv. indicatoren) zijn er enkele uitgetest in het tijdsbestek van deze thesis. De hele analyse werd samengevat in een schema om leerkrachten te ondersteunen bij het selecteren van alternatieven voor hun practica.

Voor de analyse zijn er 36 practicumnota's nagegaan waarvan de onderwerpen gespreid zijn over de gehele derde graad en steeds terug te vinden zijn in het leerplan van *technisch scheikunde*³. Online zijn er verschillende practicumnota's terug te vinden voor eenzelfde doel, waardoor er verschillende mogelijke uitwerkingen zijn bij een bepaald onderwerp⁶⁰. Aangezien het belangrijk is om practicumnota's te hebben die effectief gebruikt worden in een schoolomgeving, zijn de practicumnota's gebruikt van verschillende leerkrachten tewerkgesteld bij KOGEKA⁶¹. Aangezien deze scholengemeenschap gekoppeld is aan het

katholiek onderwijs kan het bovenstaande leerplan voor *technisch scheikunde* in TSO gebruikt worden om de practica onderwerpen te bepalen^{3,61}.

Van de 36 practicumnota's zijn er slechts 9 (25%) waarbij er geen verbod optreedt. Van de practica met een verbod wordt het merendeel (54%) verboden doordat er op één of meer van de gebruikte producten *H314 veroorzaakt ernstige brandwonden en oogletsels* van toepassing is. De overige 21% wordt veroorzaakt door:

- H318 veroorzaakt ernstige oogletsels (6%)
- H350 kan kanker veroorzaken (9%)
- H372 veroorzaakt schade aan organen bij langdurig of herhaalde blootstelling (3%)
- H225 licht ontvlambare vloeistof en damp (3%)

Belangrijk om op te merken is dat H225 op zich niet altijd voor een verbod zorgt aangezien er voor de analyse gebruikt is gemaakt van HOPV met de uitzonderingsoptie. Als er tijdens het practicum geen ontstekingsbronnen of warmteplaten worden gehanteerd, dan laat het hulpmiddel het gebruik van producten toe waarop enkel H225 voor een verbod zorgt. Tijdens de analyse van de practicumnota's is het slechts éénmaal voorgekomen dat er een bunsenbrander gebruikt wordt in combinatie met producten waarop H225 van toepassing is, hetgeen door het hulpmiddel wel wordt verboden.

5.1. Het verboden product is een indicator

Doorheen de analyse van de verschillende practicumnota's is duidelijk geworden dat er verschillende indicatoren worden gebruikt in middelbare practica. Vele van deze indicatoren worden verboden doordat ze onder CMR vallen. Door gebruik te maken van het aangereikte alternatief wordt nog steeds dezelfde doelstelling bekomen als de originele uitwerking.

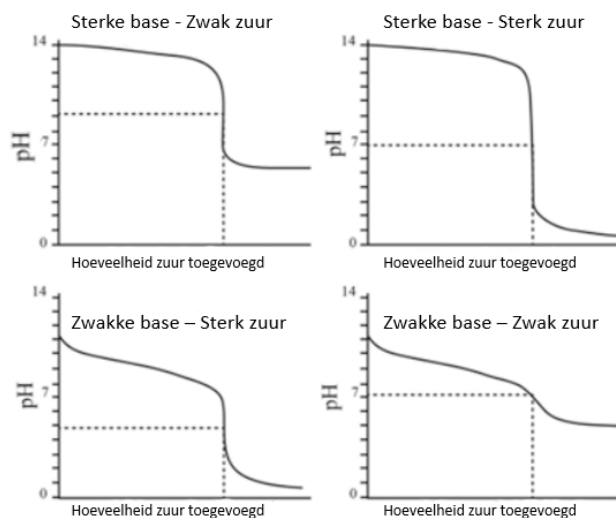
Zuur-base titraties

Bij de uitvoering van zuur-base titraties wordt zeer vaak de indicator fenolftaleïne gebruikt, die verboden is door de volgende H-zinnen:

- H350: Kan kanker veroorzaken
- H341: Verdacht van het veroorzaken van genetische schade
- H361: Kan mogelijk de vruchtbaarheid of het ongeboren kind schaden

Er zijn verschillende pH indicatoren terug te vinden die telkens worden gekenmerkt door een kleurverandering in een bepaald pH-gebied⁶². De keuze van de indicator tijdens een titratie is dus afhankelijk van de pH waarrond het equivalentiepunt zich bevindt, hetgeen niet voor elk

type zuur-base titratie hetzelfde is. Er zijn namelijk vier verschillende mogelijkheden tijdens een zuur-base titratie, wat wordt verduidelijkt in figuur 7.



Figuur 7: verschillende mogelijke titratiecurves tijdens een zuur-base titratie. Het equivalentiepunt wordt aangeduid door de stippellijnen

In het leerplan 'toegepaste chemie TSO' worden de eerste drie zuur-base titraties aangehaald als mogelijke practica. Voor deze verschillende titraties zijn er dus ook verschillende indicatoren:

- **Zwak zuur-Sterke base:** Bij deze titratie ligt het equivalentiepunt hoger dan pH 7. Als voorbeeld kan de titratie van CH_3COOH (zwak zuur) met NaOH (sterke base) worden genomen. Doorheen de titratie ontstaat een geconjugeerde base ($\text{CH}_3\text{COO}^- \text{Na}^+$) hetgeen kan reageren met water ter vorming van een zwak alkalische oplossing. Het is dus belangrijk dat de pH-indicator een kleurverandering heeft rond pH 9, hetgeen fenolftaleïne ideaal maakt⁶². Het gebruik van deze indicator is echter verboden in de onderwijscontext doordat het onder CMR valt.
- **Sterk zuur-Sterke base:** Bij deze titratie ligt het equivalentiepunt op pH 7. Uit bovenstaande figuur wordt duidelijk dat de pH-range rond het equivalentiepunt veel groter is dan bij bijvoorbeeld de titratie van een zwak zuur-sterke base. Hierdoor kunnen er ook indicatoren gebruikt worden die een omslag gebied hebben bij een $\text{pH} > 7$ om het equivalentiepunt te bepalen. Hierdoor wordt er opnieuw vaak gebruik gemaakt van fenolftaleïne als indicator, hetgeen een verboden product is in de onderwijscontext.
- **Sterk zuur-Zwakke base:** Bij deze titratie ligt het equivalentiepunt lager dan pH 7. Als voorbeeld kan de titratie van HCl met NH_3 genomen worden. Het gevormde geconjugeerde zuur ($\text{NH}_4^+ \text{Cl}^-$) zal reageren met water met de vorming van een

hydronium-ion (H_3O^+) hetgeen zorgt voor een zwak zure oplossing. De typische indicator die hiervoor gebruikt wordt is methylrood, waarvan het gebruik niet verboden is in een onderwijscontext⁶².

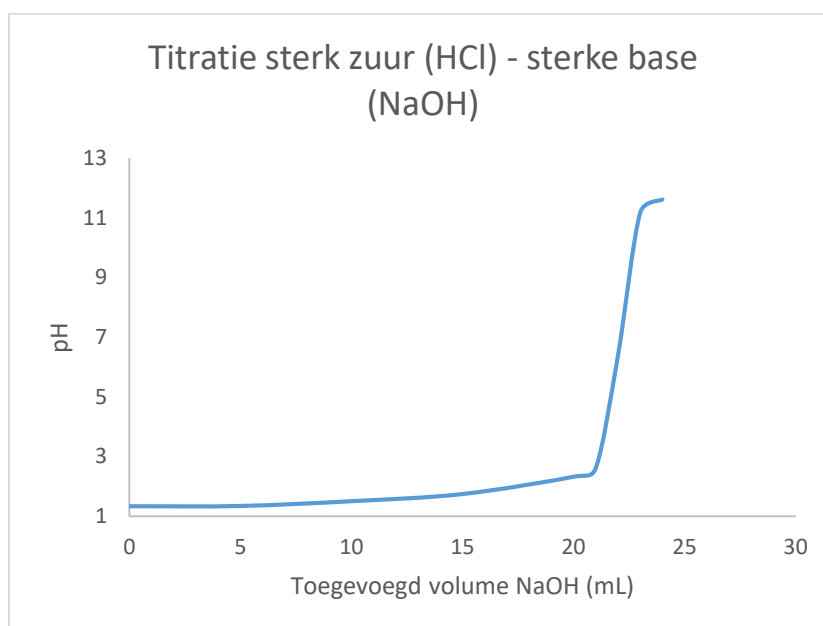
Idealiter dient er voor deze titraties geen gebruik gemaakt te worden van verschillende indicatoren, maar slechts van één bepaalde indicator, ook al is methylrood geen probleem in onderwijscontext. Een mogelijk geschikte indicator voor al deze titraties is broomthymolblauw⁶². Om de werking van deze indicator te testen zijn er 3 verschillende titraties uitgevoerd:

- 1) Titratie van een sterk zuur (HCl) met een sterke base (NaOH)
- 2) Titratie van een zwak zuur (CH_3COOH) met een sterke base (NaOH)
- 3) Titratie van een sterk zuur (HCl) met een zwakke base (NH_3)

Met behulp van een pH-elektrode (*Mettler-Toledo FiveEasy*) wordt er nagegaan of er een gunstige kleuromslag van broomthymolblauw (pH-indicator) is op het equivalentiepunt. Bovenstaande titraties zijn opgesteld zoals een leerlingenpracticum en kunnen terug gevonden worden als bijlage 3.1 achteraan de thesis. De resultaten worden hieronder besproken.

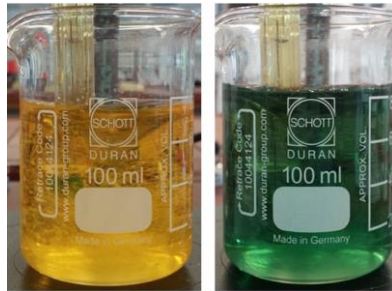
Titratie van een sterk zuur (HCl 0.1 M) met een sterke base (NaOH 0.2 M)

Met behulp van de pH-elektrode is duidelijk geworden dat het equivalentiepunt zich rond pH 7 bevindt (zie figuur 8).



Figuur 8: Titratiecurve sterk zuur - sterke base

Broomthymolblauw heeft een gele kleur in zuur milieu en vertoont een wenselijke omslag naar donkergroen rond pH 7 zoals weergegeven in figuur 9

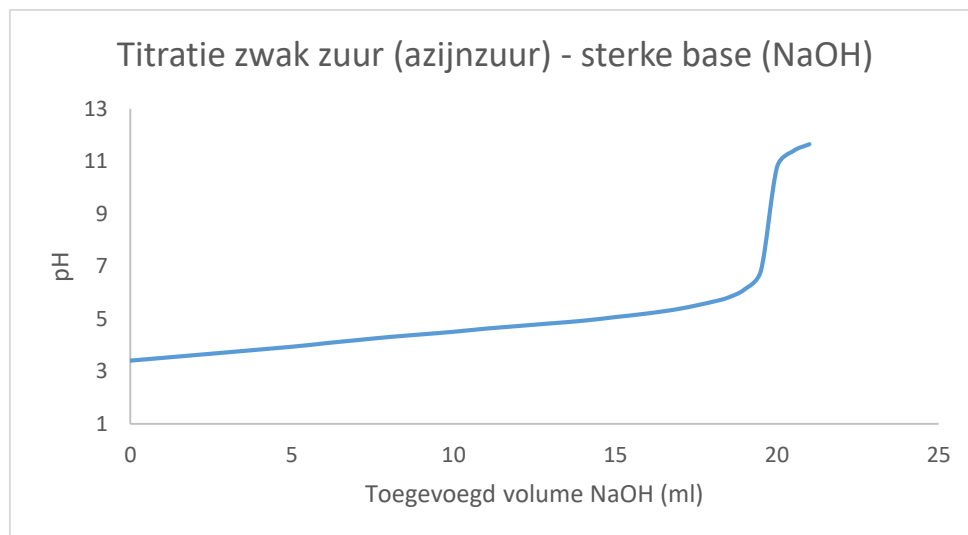


Figuur 9: Kleuromslag broomthymolblauw bij verschillende pH-waarde. Links pH 3.86 rechts pH 6.83

Doordat broomthymolblauw een geschikte kleuromslag heeft voor dit type zuur-base titratie kan het als alternatieve indicator voor fenolftaleïne gebruikt worden.

Titratie van een zwak zuur (CH_3COOH 0.1 M) met een sterke base (NaOH 0.2 M)

Aangezien de geconjugeerde base van azijnzuur kan reageren met water ontstaat er een licht alkalisch milieu. Hierdoor ligt de pH van het equivalentiepunt boven pH 7. Door gebruik te maken van de pH-elektrode tijdens de titratie is duidelijk geworden dat het equivalentiepunt rond pH 9 ligt (zie figuur 10)



Figuur 10: Titratiecurve van een zwak zuur - sterke base

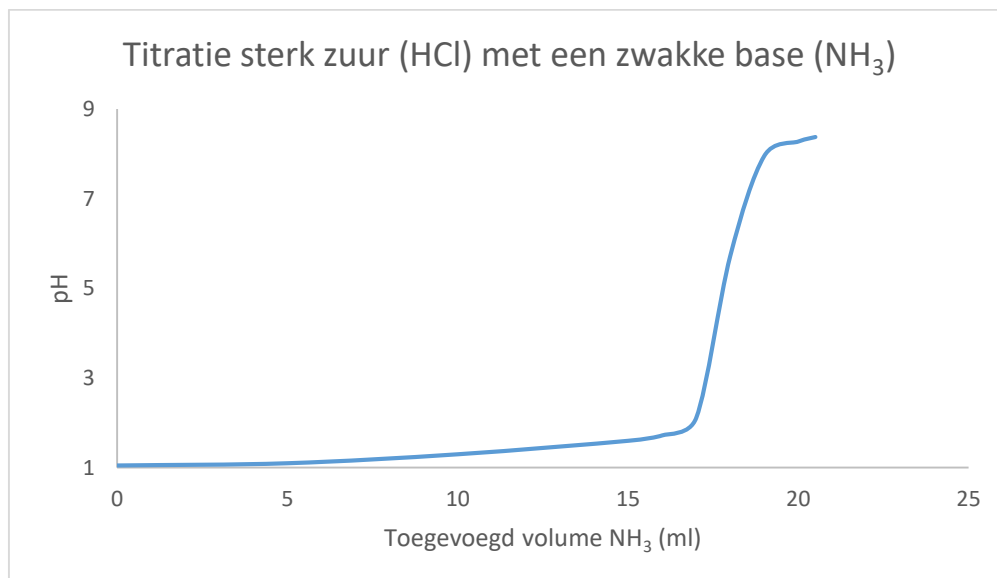
Bij pH 7 heeft de broomthymolblauw indicator een donkergroene kleur. Bij pH 8.43 wordt er een donkerblauwe kleur bekomen zodat deze indicator kan gebruik worden voor dit type zuur-base titratie (zie figuur 11).



Figuur 11: Kleuromslag broomthymolblauw bij verschillende pH-waarden. Links pH 6.83 rechts 8.43

Titratie van een sterk zuur (HCl 0.1 M) met een zwakke base (NH₃ 0.2 M)

Door de vorming van het geconjugeerde zuur van NH₃ ontstaat er een licht zuur milieu. Hierdoor zal de pH van het equivalentiepunt lager dan pH 7 liggen. Met behulp van een pH-elektrode is duidelijk geworden dat de pH van het equivalentiepunt rond pH 5.5 ligt, (zie figuur 12).



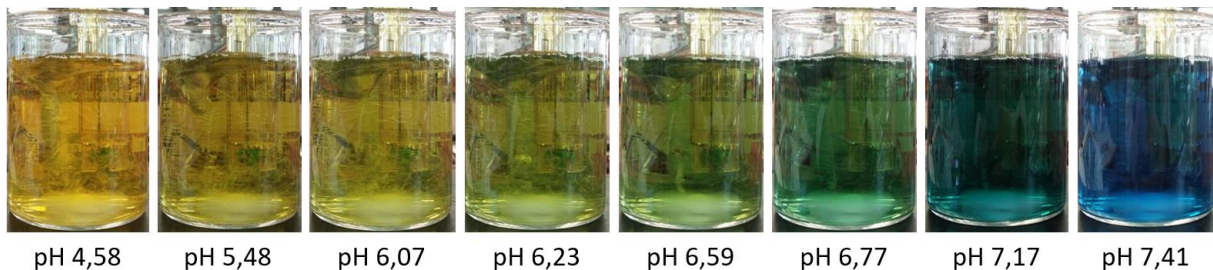
Figuur 12: Titratiecurve van een sterk zuur - zwakke base

Bij een pH van 4.58 heeft de broomthymolblauw indicator een gele kleur. Bij een pH van 5.48 wordt er een lichtgeel-groenige kleur gevormd. Ook in dit geval kan dus broomthymolblauw als indicator gebruikt worden bij dit type zuur-base titraties (zie figuur 13). Op deze figuur lijkt de omslag niet zeer duidelijk, maar deze is in realiteit duidelijk waar te nemen. Zoals eerder aangegeven, kan hier ook gewerkt worden met de reeds beschreven indicator methylrood.



Figuur 13: Kleuromslag broomthymolblauw bij verschillende pH-waarden. Links pH 4.58 rechts 5.48

Er kan dus geconcludeerd worden dat broomthymolblauw een geschikte indicator is voor elke type zuur-base titratie. In figuur 14 wordt een overzicht gegeven van de verschillende kleuren die deze indicator kan geven met zijn overeenkomstige pH-waarde.



Figuur 14: De verschillende kleuromslagen van broomthymolblauw bij verschillende pH waarden

Algemeen genomen is het aanleren van het gebruik van indicatoren nuttig maar is het beter om zuur-base titraties uit te voeren met een pH-elektrode i.p.v. gebruik te maken van een indicator. Indicatoren worden zelden gebruikt in industriële omgevingen aangezien het exacte omslaggebied vaak moeilijk te bepalen is. Door gebruik te maken van de pH-elektrode kan het equivalentiepunt met grotere nauwkeurigheid bepaald worden.

Kritische bemerking naar mogelijke toekomstige veranderingen: de zogenaamd veilige indicatoren bezitten soms functionele groepen waarover de literatuur het niet eens is of het al dan niet CMR potentieel heeft⁶³. Verder onderzoek kan aantonen of de momenteel als veilig beschouwde indicatoren al dan niet aangepast worden in classificatie. Het is dus belangrijk dat men de veiligheidsinformatie van de gebruikte indicatoren frequent (best jaarlijks) nakijkt.

5.2. Concentratie gerelateerde verbodsbepalingen

In samenspraak met BIG is duidelijk geworden dat de verbodsbepaling door *H314 Veroorzaakt ernstige brandwonden en oogletsels* zéér vaak concentratie gerelateerd is⁵⁴. Dit houdt in dat H314 vanaf een bepaalde concentratie mogelijk niet meer van toepassing is op een product. Echter, deze limiet is niet voor elk product hetzelfde. Om na te gaan vanaf welke concentratie H314 niet meer van toepassing is, dienen er enkele stappen ondernomen te worden: Allereerst dient het product te worden opgezocht in *bijlage VI van de CLP (de geharmoniseerde stoffen)*⁶⁴. Als het product in de lijst is opgenomen, dan kan er nagegaan worden of het product specifieke concentratiegrenzen heeft.

Zo wordt bijvoorbeeld duidelijk dat fosforzuur met een concentratie onder 25% niet meer met H314 wordt gekenmerkt. Voor natriumhydroxide daarentegen moet er een concentratie onder de 2% worden gehanteerd.

Door het analyseren van de practica onderwerpen in het leerplan *techniek wetenschappen* is duidelijk geworden welke zuren en basen er voornamelijk gebruikt worden. Hieronder wordt weergegeven vanaf welke concentratie H314 niet meer van toepassing is op de voornaamste zuren en basen:

Product	Concentratie waarbij H314 niet meer van toepassing is ⁶⁴
H ₂ SO ₄	< 15%
H ₃ PO ₄	< 25%
HNO ₃	< 5%
NH ₃	< 5%
HCl	< 25%
NaOH	< 2%
KOH	< 2%

Uit de analyse wordt duidelijk dat leerlingen vaak starten van een hoog geconcentreerd product om vervolgens hier een verdunning van te maken. Het is uiteraard belangrijk dat leerlingen een verdunning kunnen maken, maar hiervoor dient niet noodzakelijk gestart te worden van de hoogste concentratie op de markt. Uit bovenstaande gegevens wordt duidelijk welke concentraties er toegelaten zijn. De leerkracht kan dus reeds een verdunnende oplossing, waarop geen verbod van toepassing is, klaarzetten bij aanvang van het practicum of deze verdunning aankopen. Een voorbeeld om dit te verduidelijken:

Tijdens de uitvoering van een practicum dienen de leerlingen een 0.1M H₂SO₄ oplossing te gebruiken. Er wordt gestart van een hoog geconcentreerde oplossing waarmee een verdunning wordt gemaakt, hetgeen verboden is door de wetgeving en er dus voor zorgt

dat het practicum niet mag worden uitgevoerd. Door leerlingen te laten starten van een 1.0 M H_2SO_4 oplossing treedt er geen verbodsbepaling meer op en mag het practicum wel uitgevoerd worden. Hierdoor kan het didactische doel van een verdunning nog steeds behaald worden en wordt de uitvoering van het practicum in kwestie niet verboden.

Tijdens bepaalde practica is een buffer noodzakelijk. Buffers kunnen op verschillende manieren bekomen worden, maar op de nodige producten voor het maken van deze buffer mag uiteraard geen verbod staan. Zo is het gebruik van een $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{Cl}$ buffer verboden doordat H314 hierop van toepassing is. Het werkzame pH gebied van deze buffer ligt rond pH 10. Een $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{NaHCO}_3$ buffer heeft hetzelfde werkzame pH gebied, en geeft geen problemen naar verbodsbepalingen. Een glycine-natriumhydroxide buffer kan ook gebruikt worden aangezien het gebruikte natriumhydroxide onder de concentratiegrens van 2% zit bij het maken van deze buffer. Deze buffer kan gebruikt wordt voor het practicum *hardheidsbepaling van water met EDTA*, waarover meer in hoofdstuk 5.4. *Specifieke practica die aandacht vereisen*

Standaardiseren van zuren of basen

Het standaardiseren van een zuur of een base is in het leerplan terug te vinden onder *Analytische chemie deel 1 – Zuur-basetitraties*. Voor het stellen van bijvoorbeeld HCl kan er gebruik gemaakt worden van een Na_2CO_3 oplossing, wat dan overeenkomt met een titratie van een sterk zuur met een zwakke base. Hierbij is het belangrijk dat een gepaste indicator wordt gebruikt, zodat het equivalentiepunt efficiënt bepaald kan worden (zie hoofdstuk 5.1. *Het verboden product is een indicator*). Een NaOH-oplossing kan gesteld worden met bijvoorbeeld oxaalzuur. Opnieuw dient er gebruik gemaakt te worden van een gepaste indicator voor een titratie van een sterke base met een zwak zuur.

Het gebruik van een Borax-oplossing voor het standaardiseren van een HCl-oplossing is geen optie. Tijdens deze titratie ontstaat er boorzuur dat verboden is door H350 *Kan kanker veroorzaken*. Het gebruik van Borax is eveneens verboden aangezien hierop H360 *kan de vruchtbaarheid of het ongeboren kind schaden* van toepassing is.

5.3. Argentometrie

In het leerplan, onder *analytische chemie deel 2 – heteroog evenwicht*, wordt vermeld dat volgende doelstelling vooral via practica gerealiseerd zal worden:

Kwantitatieve analyses uitvoeren m.b.v. neerslagtitraties

Het leerplan maakt hierbij de suggestie om het chloride-gehalte van diverse watermonsters te bepalen door middel van argentometrie, hetgeen met verschillende methodes wordt uitgevoerd:

- **Mohr's methode**⁶⁵: In deze methode is de bepaling van het eindpunt gebaseerd op de vorming van een gekleurde neerslag. Door de toevoeging van een zilvernitraat-oplossing aan een oplossing die zowel chloride ionen als de indicator (K_2CrO_4) bevat, worden twee neerslagen gevormd: $AgCl$ en Ag_2CrO_4 . Het zilverchromaat heeft een hogere oplosbaarheid en blijft in de oplossing terwijl het zilverchloride zal neerslaan. Nadat al de chloride ionen zijn verbruikt, zal de overmaat aan zilver ionen ervoor zorgen dat het zilverchromaat neerslaat als een bruinrode neerslag, hetgeen het eindpunt van de titratie aangeeft.

Deze methode is echter verboden om in een onderwijscontext uit te voeren aangezien de gebruikte indicator onder CMR valt.

- **Fajans methode**⁶⁵: Terwijl Mohr's methode gebaseerd is op de vorming van een gekleurde neerslag, maakt de Fajans methode gebruik van een adsorptie-indicator. Er wordt opnieuw gebruik gemaakt van een zilvernitraat-oplossing om de chloride ionenconcentratie te bepalen. Als indicator kan er bijvoorbeeld fluoresceïne gebruikt worden, hetgeen een zwak zuur is dat gedeeltelijk dissocieert in water met de vorming van een fluoresceïne anion. Bij aanvang van de titratie zijn chloride-ionen in een overmaat aanwezig. Na toevoeging van een kleine hoeveelheid zilvernitraat-oplossing wordt er een neerslag ($AgCl$) gevormd. De in overmaat aanwezige chloride ionen zullen aan het neerslagoppervlak adsorberen waardoor het oppervlak een negatieve lading krijgt en er geen complex kan gevormd worden met het fluoresceïne anion. Voorbij het equivalentiepunt zijn er geen chloride-ionen meer aanwezig waardoor er een overmaat aan zilver-ionen ontstaat. Deze ionen zullen op hun beurt adsorberen aan het neerslagoppervlak waardoor het oppervlak een positieve lading krijgt. Hierdoor kan er een complex met het fluoresceïne anion gevormd worden. Het eindpunt van de titratie wordt gekenmerkt door een overgang van een groene naar een roze oplossing⁶⁵.

- **Volhard's methode:** Deze methode maakt gebruik van een terug-titratie om de concentratie aan chloride-ionen in een oplossing te bepalen. Voor de titratie wordt een overmaat van een zilvernitraatoplossing toegevoegd aan de oplossing die chloride-ionen bevat. Hierdoor wordt er een neerslag van zilverchloride gevormd. Fe^{3+} wordt als indicator gebruikt en vervolgens wordt de oplossing getitreerd met een kaliumthiocyanaat oplossing. Zolang er zilverionen aanwezig zijn reageren deze met de thiocynaationen ter vorming van een zilverthiocyanaat neerslag. Zodra alle zilverionen hebben gereageerd, reageert de kleinste overmaat thiocyanaat met Fe^{3+} waardoor een donkerrood complex ontstaat.

Deze methode kan enkel gebruikt worden als de pH van de oplossing zuur is, na bereiding van het monster. Hierdoor worden er heel vaak enkele druppels HNO_3 aan de oplossing toegevoegd, hetgeen verboden is in een onderwijscontext⁶⁶. Eveneens reageert kaliumthiocyanaat met zuren ter vorming van blauwzuur, hetgeen zeer toxisch is en zeker niet gewenst is in een schoolcontext.

Aangezien het leerplan specifiek de vermelding maakt van argentometrie onder het onderwerp neerslagtitraties, kan enkel de Fajans methode worden gehanteerd om conform de wetgeving te werken³.

Bepaling van aldehyde of ketonen

Het nagaan of er een aldehyde of keton aanwezig is in een mengsel wordt in het leerplan onder het onderwerp *Koolstofchemie deel 2 – O- en N- houdende monofunctionele koolstofverbindingen* geplaatst. Er worden twee mogelijke practica onderwerpen aangeboden in het leerplan³:

- 1) Reducerende eigenschappen van aldehyden en ketonen onderzoeken.
- 2) Reducerende eigenschappen van monosachariden en disachariden onderzoeken.

Telkens met de specifieke vermelding dat dit kan gebeuren met de Fehlingstest of de Tollenstest.

- **Fehling's reagens⁶⁷:** Het Fehling's reagens wordt gebruikt om een onderscheid te maken tussen wateroplosbare aldehyde en keton functionele groepen. Het wordt ook gebruikt als een test om de reducerende eigenschappen van suikers na te gaan. De oplossing wordt bereid door twee afzonderlijke oplossingen samen te voegen: Fehling's A en Fehling's B. De eerste oplossing is een waterige oplossing van koper(II)sulfaat hetgeen een diepblauwe kleur heeft. De tweede oplossing is een kleurloze oplossing die

bestaat uit kaliumnitraat in een sterk alkalisch milieu, waarvoor meestal natriumhydroxide wordt gebruikt. De oplossing die getest dient te worden, wordt aan het Fehling's reagens toegevoegd waarna het gehele mengsel wordt verwarmd tot 60°C. Door het alkalisch milieu en de verwarming ontstaat er een enediol⁶⁸. Door de redoxreactie tussen het enediol en Cu²⁺ ontstaat er Cu⁺ waardoor de kleur van de oplossing wijzigt van blauw naar rood. Bij ketonen treedt er geen redoxreactie op waardoor de oplossing blauw blijft.

- **Tollens reagens**⁶⁹: Het Tollens reagens wordt net zoals het Fehling's reagens gebruikt om de aanwezigheid van aldehyden te bepalen. Het Tollens reagens kan, in tegenstelling tot het Fehling's reagens, ook aromatische aldehyden bepalen. Een positieve test met het Tollens reagens wordt aangegeven door het neerslaan van zilver ionen, waarbij vaak een karakteristieke 'zilveren spiegel' op het binnen oppervlak van bijvoorbeeld een proefbuis wordt geproduceerd. Het Tollens reagens is niet commercieel verkrijgbaar aangezien het complex ([Ag(NH₃)₂]NO₃) niet stabiel is en na verloop van tijd uiteenvalt in een explosief product (Ag₃N) bij verdamping van NH₃^{70,71}:



Hierdoor wordt het reagens steeds vers bereid als het nodig is tijdens de uitvoering van een practicum. Een manier om het reagens te bereiden is door een waterige ammonia oplossing (25%) direct toe te voegen aan een zilvernitraatoplossing. Het ammonia zal eerst zorgen voor een neerslag van zilveroxide, maar bij verdere toevoeging van ammonia lost de neerslag opnieuw op waardoor het zilvercomplex ontstaat. In het verleden zijn er reeds ongevallen gebeurd door het stockeren van deze indicator-oplossing³³.

Doordat het Fehling's reagens een sterk alkalisch milieu heeft, is het gebruik ervan verboden in de onderwijscontext. Het verbod wordt bepaald volgens *Codex over het welzijn op het werk Boek X.- Werkorganisatie en bijzondere werknemerscategorieën Titel 3.– Jongeren op het werk* door de volgende H-zin:

H314: Veroorzaakt ernstige brandwonden en oogletsels

Aangezien het Tollens reagens steeds vers moet aangemaakt worden tijdens een practicum, wordt er voor deze bereiding steeds een geconcentreerde NH₃-oplossing gebruikt dat om dezelfde reden als het Fehling's reagens verboden is in een onderwijscontext. Eveneens is de explosieve aard van het Tollens reagens een reden om het niet te gebruiken in een

schoolomgeving. HOPV houdt geen rekening met welke mogelijke producten er gevormd worden na verloop van tijd (tenzij de gebruiker deze expliciet ingeeft) waardoor het explosieve karakter van dit reagens niet tot uiting komt. Dit toont nogmaals aan dat HOPV niet kan gebruikt worden als een volwaardige risicoanalyse.

Er moet dus geconcludeerd worden dat er in het leerplan ook testen staan die verboden zijn om in het onderwijs uit te voeren en die al tot incidenten in onderwijscontext geleid hebben⁶⁹. Het verbod op deze twee methodes houdt niet in dat practica omtrent dit onderwerp niet meer kunnen uitgevoerd worden. Er is immers een alternatieve manier om te bepalen of aldehyden al dan niet aanwezig zijn.

- **Benedict's reagens**⁶⁷: Het Benedict's reagens bestaat uit een mengsel van natriumcarbonaat, natriumcitraat en koper(II)sulfaatpentahydraat. Ook hier kan er met behulp van het reagens worden nagegaan of er al dan niet aldehyden aanwezig zijn en kan het gebruikt worden om de reducerende eigenschappen van suikers na te gaan (zelfde principe als Fehling's reagens). Een positief resultaat wordt gegeven door een kleurverandering die eveneens semi-kwantitatief is voor de aanwezigheid van reducerende suikers:
 - Blauw: 0% reducerende suikers aanwezig
 - Groen: 0.5% reducerende suikers aanwezig
 - Geel: 1% reducerende suikers aanwezig
 - Oranje: 1.5% reducerende suikers aanwezig
 - Rood: 2% of meer reducerende suikers aanwezig

Aangezien de producten die nodig zijn voor het maken van het reagens niet verboden zijn, is dit een alternatief op zowel het Fehling's als het Tollens reagens. Om aromatische aldehyden aan te tonen kan er geen gebruik gemaakt worden van het Benedict's reagens. De vorming van een enediol is hierbij niet mogelijk⁶⁸.

5.4. Specifieke practica die aandacht vereisen

Bepaalde practica onderwerpen zijn niet eenvoudig op te lossen door een andere indicator of een verdunde oplossing te gebruiken. Hierdoor krijgen deze practica extra aandacht om aan te tonen dat niet alle onderwerpen die in het leerplan techniek wetenschappen staan, conform de wetgeving kunnen worden uitgevoerd of meer tijd vergen om een alternatief te vinden.

Reactiviteit van alkanen: radicalaire halogenering

Dit practicumonderwerp is terug te vinden onder *koolstofchemie deel 1 - koolwaterstoffen* in het leerplan *techniek-wetenschappen*.

Doordat alkanen enkel sterke σ bindingen bezitten en geen significante lading hebben, zijn ze noch elektrofiel, noch nucleofiel. Dit houdt in dat noch elektrofielen, noch nucleofielen worden aangetrokken door alkanen. Hierdoor is één van de weinig reacties die alkanen kunnen ondergaan een radicalaire reactie⁷². De radicalaire halogenering kan uitgevoerd worden met Br_2 of Cl_2 aangezien de binding tussen deze atomen onder invloed van zichtbaar licht kan gebroken worden op een homolytische manier⁷².

Op het gekozen alkaan waarop men de radicalaire halogenering wil uitvoeren, mogen geen verbodsbepalingen van toepassing zijn. Hierdoor wordt het gebruik van hexaan uitgesloten (zoals beschreven in de geanalyseerde practicumnota's), aangezien hierop verschillende verbodsbepalingen van toepassing zijn (o.a. CMR, H225 *licht ontvlambare vloeistof en damp*). Op heptaan daarentegen zorgt enkel H225 *licht ontvlambare vloeistof en damp* voor een verbod. Aangezien er tijdens dit practicum geen ontstekingsbron gebruikt wordt en geen warm oppervlak aanwezig is, laat HOPV het gebruik van dit product toe als uitzondering.

De radicalaire halogenering kan zowel met Cl_2 of Br_2 worden uitgevoerd. De energie die nodig is om een Cl-Cl binding te breken bedraagt $3.99 \cdot 10^{-19}$ J, hetgeen verwezenlijkt kan worden door een golflengte (λ) van⁷³:

$$E \text{ (voor enkele Cl - Cl binding te breken)} = \frac{E \left(\text{Cl - Cl binding} \frac{\text{Kj}}{\text{mol}} \right)}{N_a \text{ (constante avogadro)}}$$

$$E = \frac{242 * \frac{10^3 \text{J}}{\text{mol}}}{6.022 * 10^{23} \text{mol}^{-1}} = 3.985 * 10^{-19} \text{J}$$

$$\lambda = \frac{h(\text{constante planck}) * c \text{ (lichtsnelheid)}}{E}$$

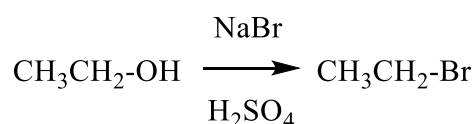
$$\lambda = \frac{6.63 * 10^{-34} \text{Js} * 3 * \frac{10^8 \text{m}}{\text{s}}}{3.985 * 10^{-19} \text{J}} = 499 \text{ nm}$$

Op analoge manier kan bepaald worden dat om een Br-Br binding te breken een golflengte van 630 nm nodig is. Beide golflengten zijn gesitueerd in het zichtbare spectrum en hebben dus geen IR of UV straling nodig om homolytisch te breken. Cl_2 is echter gasvormig bij

kamertemperatuur. Hierdoor kan het niet gebruikt worden in een onderwijscontext. Enkel Br₂ zou dus gebruikt kunnen worden voor het uitvoeren van de radicalaire halogenering aangezien dit wel vloeibaar is bij kamertemperatuur, maar het gebruik van Br₂, zelfs in zeer lage concentraties, is verboden doordat o.a. *H330 dodelijk bij inademing* en *H314 veroorzaakt ernstige brandwonden en oogletsels* steeds van toepassing zijn. Doordat het product bij kamertemperatuur een zeer hoge dampspanning heeft (wat het zeer vluchtig maakt), is er eveneens een groot risico op blootstelling. Er zijn dus geen alternatieven voor dit practicum waardoor het nooit conform de wetgeving kan worden uitgevoerd.

Bereiding van broomethaan uit ethanol

Dit practicumonderwerp is terug te vinden onder *koolstofchemie deel 1 – halogeenhoudende koolstofverbindingen*. Om de gewenste reactie te verkrijgen (zie hieronder) dient er gebruik gemaakt te worden van een refluxopstelling. Het leerplan maakt duidelijk dat dit practicum kan worden uitgevoerd met KBr of NaBr



Bij dit practicum treden er verschillende problemen op. Op het eindproduct, broomethaan, is *H225 licht ontvlambare vloeistof en damp* en *H351 verdacht van het veroorzaken van kanker* (CMR) van toepassing waardoor het niet mag gesynthetiseerd worden tijdens een practicum. Het startproduct, ethanol, is eveneens verboden doordat *H225 licht ontvlambare vloeistof en damp* hierop van toepassing is. Echter laat HOPV het gebruik van ethanol in deze specifieke context toe aangezien de temperatuur die nodig is voor de reflux (110°C) ver onder de zelfontbrandingstemperatuur ligt van ethanol (363°C). Tijdens de reactie wordt bovendien gebruik gemaakt van een hoog geconcentreerd zuur, waarvan het gebruik ook verboden is in een onderwijscontext doordat *H314 veroorzaakt ernstige brandwonden en oogletsels* hierop van toepassing is

Aangezien broomethaan een CMR is, dient er een ander eindproduct, waarop geen verbodsbepalingen van toepassing zijn, gesynthetiseerd te worden. 1-en 2-bromopropaan zijn nog steeds CMR, maar 1-bromobutaan valt niet meer onder CMR. Er dient dan echter gestart te worden van 1-butanol, wat dan weer verboden is door *H318 veroorzaakt ernstige oogletsels*. Daarom wordt geopteerd voor een langere koolstofketen, nl. 1-bromopentaaan wat geen CMR is en op het startproduct, 1-pentanol, zijn er ook geen verbodsbepalingen van kracht.

Het hoog geconcentreerde zuur wordt gebruikt om NaBr om te zetten naar HBr en voor de protonering van de alcohol groep. Protonering is noodzakelijk bij deze reactie aangezien OH⁻ een sterke base is wat het een slechte *leaving* groep maakt⁷⁴. Door protonering wordt er een betere *leaving* groep bekomen, zodat het nucleofiel (Br⁻) een *back-side attack* kan uitvoeren om zo de substitutie te bekomen. Om conform de wetgeving te werken moet de concentratie van zwavelzuur < 15%.

Tijdens deze reactie wordt er enkel een gewenst substitutieproduct bekomen. Het ongewenste eliminatieproduct kan niet gevormd worden doordat het halide ion, een goed nucleofiel, een zwakke base is in een polair-protisch solvent (water-alcohol). Een sterke base is noodzakelijk voor de verwijdering van een waterstofatoom van het β -koolstofatoom in een E2 reactie met een primair alcohol^{74,75}. Terugreactie met water zal slechts in zeer geringe mate gebeuren aangezien water een zwak nucleofiel is waardoor de extra hoeveelheid water, afkomstig van de verdunning, niet voor een ongewenste reacties zorgt.

Om na te gaan of het mogelijk is om een Sn2 reactie uit te voeren conform de wetgeving, is dit practicum daadwerkelijk uitgevoerd. De uitwerking hiervan is terug te vinden in bijlage 3.3 achteraan de thesis en de resultaten worden hieronder besproken.

In theorie zou de reactie tussen 1-pentanol en NaBr in een zuur milieu (ook bij een 15% zwavelzuuroplossing) moeten opgaan waarbij 1-bromopentaan als reactieproduct bekomen wordt. Er wordt een overmaat aan zwavelzuur gebruikt aangezien dit van belang is voor de protonering en de in situ vorming van HBr. Doordat er slechts gewerkt mag worden met een 15% zwavelzuuroplossing, is er een zeer grote hoeveelheid water aanwezig, hetgeen niet voor nevenreacties zorgt. Echter, zorgt deze grote hoeveelheid water er wel voor dat de reactie tussen zwavelzuur en NaBr ter vorming van HBr niet efficiënt optreedt. Hierdoor kan de Sn2 reactie slecht in zeer geringe mate optreden. Van het finale product is zowel een H-NMR als een IR-spectrum opgenomen hetgeen terug te vinden is als bijlage 3.3 achteraan de thesis.

Er wordt geconcludeerd dat, in het tijdsbestek van deze thesis, de uitvoering van een Sn2 reactie conform de wetgeving niet mogelijk is.

Bereiden van tertiair butylchloride uit tertiair butanol

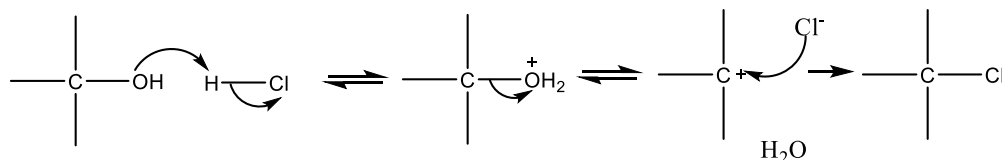
Naast de synthese van broomethaan uit ethanol geeft het leerplan onder hetzelfde onderwerp de synthese van tertiair butylchloride als mogelijke practica³. Het leerplan geeft dus zowel een Sn1 als een Sn2 reactie als mogelijke practica. Verder vermeldt het leerplan dat er geen onderscheid tussen Sn1 en Sn2 dient gemaakt te worden tijdens de uitwerking van de lessen³. Het is dus van

geen belang welke reactie er door de leerlingen wordt uitgevoerd aangezien zij het onderscheid niet dienen te kennen.

Opnieuw start deze Sn1 reactie met de protonering van de alcoholgroep voor het creëren van een betere *leaving* groep (zie figuur 15). Na de vorming van een tertiair-carbokation kan door combinatie met het nucleofiel het substitutieproduct gevormd worden. Eveneens kan er een proton worden afgestaan waardoor het eliminatieproduct gevormd wordt. Het gevormde eliminatieproduct zal door een elektrofiële additie eveneens worden omgezet naar het gewenste substitutieproduct⁷⁵. De substitutiereactie met tertiaire alcoholen gebeurt snel doordat het gevormde tertiaire-carbokation stabiel is waardoor de reactie plaatsvindt op kamertemperatuur.

Aangezien tert-butanol enkel wordt verboden door *H225 licht ontvlambare vloeistof en damp* en doordat er geen ontstekingsbron en geen warmteplaat wordt gebruikt, laat HOPV het gebruik van dit product toe. Om aan te tonen dat deze uitzondering niet altijd nodig is bij de uitvoering van het practicum wordt er een alternatief gezocht waarop geen verbodsbepalingen geldig zijn, namelijk 2-methyl-2-pentanol. Bij dit product kan er nog steeds een stabiel tertiair-carbokation gevormd worden, hetgeen noodzakelijk is voor de Sn1 reactie. Dit startproduct is echter duur (€ 4,21/g⁷⁶) waardoor het een minder interessant product is voor een middelbare school.

Om de reactie uit te voeren wordt er gewerkt met hoog geconcentreerd HCl, hetgeen verboden is in de onderwijscontext door *H314 veroorzaakt ernstige brandwonden en oogletsels*. De concentratie HCl die mag gebruikt worden is < 25%, wat de reactie negatief zal beïnvloeden. Door de vorming van water tijdens de reactie, moet er zoveel mogelijk water vermeden worden bij aanvang van de reactie. Als er dus voornamelijk water aanwezig is in het reactiemilieu, zal de substitutiereactie slecht verlopen (zie figuur 15). Dit zorgt voor een lage opbrengst van het gewenste product.



Figuur 15: reactiemechanisme van de Sn1 reactie

Het uitvoeren van een Sn1 verloopt eenvoudiger dan een Sn2 reactie waarbij een refluxopstelling noodzakelijk is. Doordat er slechts een verdunde oplossing mag gebruikt worden van het zuur wordt de Sn1 reactie ernstig gehinderd. Eveneens is het startproduct om volledig conform de wetgeving te werken zeer duur waardoor ook de Sn1 reactie niet in een

onderwijscontext kan worden uitgevoerd conform de wetgeving tenzij een ander alternatief gevonden wordt.

Bereiden en zuiveren van acetylsalicylzuur

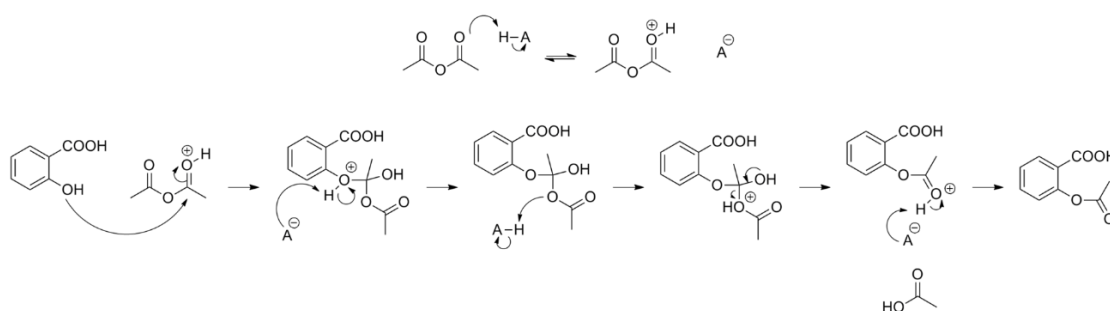
Dit practicumonderwerp is terug te vinden onder *koolstofchemie deel 2 – O- en N- houdende monofunctionele koolstofverbindingen*.

De bereiding van acetylsalicylzuur gebeurt op de traditionele manier door salicylzuur te laten reageren met geconcentreerd azijnzuuranhydride, waarbij geconcentreerd zwavelzuur als katalysator wordt gebruikt. Hierbij treden er echter verschillende verbodsbepalingen op, waardoor de synthese op deze manier niet mag worden uitgevoerd.

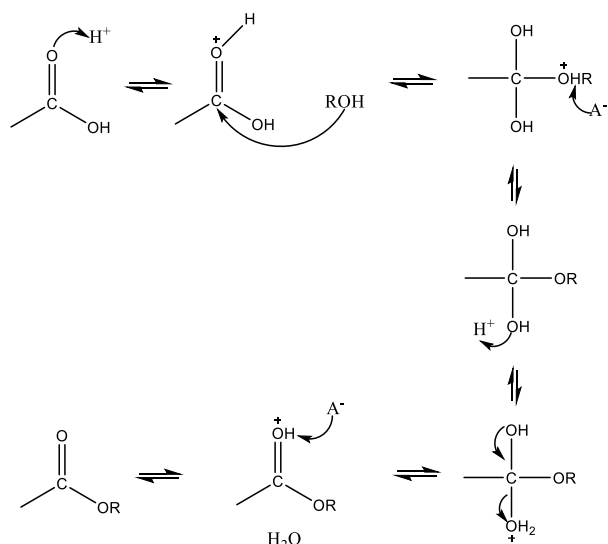
- Salicylzuur: *H318 veroorzaakt ernstige oogletsels*
- Geconcentreerd azijnzuuranhydride: *H330 dodelijk bij inademing en H314 veroorzaakt ernstige brandwonden en oogletsels*
- Hoog geconcentreerd zwavelzuur: *H314 veroorzaakt ernstige brandwonden en oogletsels*

Om acetylsalicylzuur te verkrijgen dient er steeds gestart te worden van salicylzuur, wat al een verboden product is. Indien er wordt geoordeeld dat dit practicum noodzakelijk is voor de opleiding, dient er dus ingezet te worden op extra veiligheidsmaatregelen zoals collectieve (bijvoorbeeld een trekkast) en persoonlijke beschermingsmiddelen (bijvoorbeeld een veiligheidsbril).

Door gebruik te maken van het azijnzuuranhydride wordt er na de reactie, samen met azijnzuur, het gewenste ester bekomen. Het gevormde azijnzuur kan verbruikt worden door de alcohol groep van salicylzuur om een *Fischer esterfication* te ondergaan⁷⁷. Beide mechanismen worden verduidelijkt in figuur 16 en 17.



Figuur 16: vormingsmechanisme van acetylsalicylzuur



Figuur 17: Fischer esterification mechanism⁷⁷

Azijnzuuranhydride mag echter niet gebruikt worden voor dit practicum, waardoor het ester op een andere manier dient bekomen te worden. Er kan gebruik gemaakt worden van acetylchloride, maar het gebruik hiervan is ook verboden doordat *H314 veroorzaakt ernstige brandwonden en oogletsels* van toepassing is op dit product.

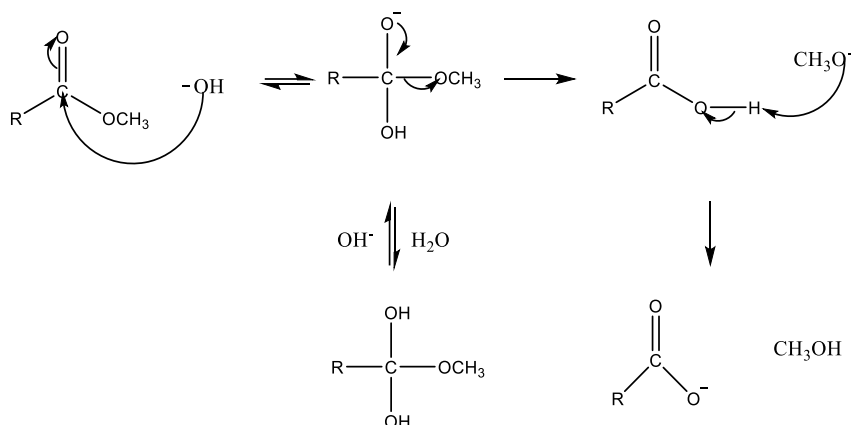
Een andere mogelijkheid bestaat erin om enkel gebruik te maken van de *Fischer esterification* en dus te starten met azijnzuur in plaats van de anhydride variant. Hierbij dient er echter gebruik gemaakt te worden van een hoog geconcentreerde azijnzuur-oplossing, hetgeen opnieuw verboden is door H314. Een verdunning gebruiken van het zuur (concentratie < 25%) zorgt voor een hogere concentratie van water, waardoor er zuur gekatalyseerde hydrolyse van het ester optreedt⁷⁷. Dit maakt het gebruik van azijnzuur niet mogelijk als alternatief.

Hierdoor zijn er gedurende het tijdsbestek van deze thesis, geen alternatieven gevonden voor de uitvoering van dit practicum die conform de wetgeving zijn.

Belangrijke opmerking: Salicylzuur wordt in 2020 opgenomen in de geharmoniseerde vermeldingen in bijlage VI van de CLP⁶⁴. Het krijgt de extra vermelding van *H361d Kan het ongeboren kind schaden* waardoor het in de onderwijscontext onder CMR zal vallen.

Bereiden van zeep uit olie en vet

Dit practicumonderwerp is terug te vinden onder *koolstofchemie deel 2 – polyfunctionele verbindingen*. Bij dit practicum wordt de verzeping van vetten en oliën uitgevoerd. Deze reactie wordt uitgevoerd in een sterk alkalisch milieu aangezien er anders een nevenreactie kan optreden (zie figuur 18).



Figuur 18: Mechanisme van een verzepingsreactie⁷⁸

Uit bovenstaand mechanisme wordt duidelijk dat een verdunning van NaOH niet tot het gewenste product zal leiden. Om conform de wetgeving te zijn moet de concentratie NaOH echter < 2% zijn. Dit houdt in dat er voornamelijk water aanwezig is in het reactiemilieu, waardoor de uitvoering van dit practicum onmogelijk wordt in een schoolcontext.

Dit toont eveneens aan waarom basen strikter gereguleerd zijn dan zuren. Als de huid in contact komt met een sterke base zullen de vetten van de huid gaan verzepen⁷⁹.

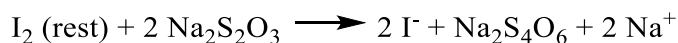
Bepaling van vitamine C: jodimetrie

In het leerplan is dit practicumonderwerp terug te vinden bij *analytische chemie deel 2 – redoxreacties en titraties*.

Vitamine C of ascorbinezuur wordt in dit practicum geoxideerd met een gekende hoeveelheid I₂, wat in een overmaat aanwezig is. De I₂-oplossing wordt bekomen door een hoeveelheid I₂ samen met KI op te lossen in water. De gehele proef kan uitgevoerd worden op kamertemperatuur.



Door de overmaat zal er een bepaalde hoeveelheid I₂ niet reageren, deze hoeveelheid wordt getitreerd met Na₂S₂O₃ waarbij zetmeel als indicator wordt gebruikt.



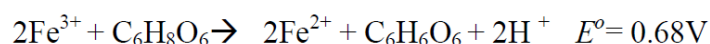
Uit de hoeveelheid oorspronkelijk toegevoegd I₂ en de hoeveelheid overblijvend I₂, bepaald met behulp van een terugtitratie, kan de hoeveelheid gereageerd I₂ bepaald worden. Op zijn beurt kan hiermee de hoeveelheid vitamine C bepaald worden.

De uitvoering van dit practicum op bovenstaande manier is verboden doordat er een verbod van toepassing is op I₂ door *H372 veroorzaakt schade aan organen bij langdurige of herhaalde blootstelling*.

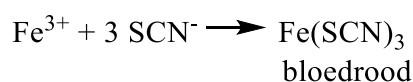
Om een alternatief te vinden is het belangrijk om dezelfde doelstelling te behalen nl. een redoxtitratie. In het kader van dit practicumonderwerp dient een redoxreactie op te treden waarbij het ascorbinezuur wordt geoxideerd. Er is geweten dat de reactie met I₂ doorgaat, dus wordt de reductiepotentiaal van I₂ als minimum genomen. Elk reductiepotentiaal met een waarde hoger dan die van I₂ is een mogelijk alternatief. Om de reactie uit te voeren op een manier die sterk lijkt op de originele manier, wordt er als alternatief Fe³⁺ gebruikt aangezien hiermee de reactie ook op een effectieve manier verloopt⁸⁰.

Om de Fe³⁺ oplossing te bekomen kan er een waterige oplossing van FeCl₃ gemaakt worden in een zuur milieu (pH 1-4) zodat er geen hydrolyse optreedt⁸⁰. Op het vaste FeCl₃ is er echter wel een verbod geldig door *H318 veroorzaakt ernstige oogletsels*. Doorheen het practicum wordt er een oplossing gebruikt met een concentratie < 0.2M waarbij het verbod niet meer van toepassing is. Dit houdt in dat, als de leerkracht op voorhand de oplossing klaarzet, er conform de wetgeving met dit product kan worden gewerkt. Het maken van de FeCl₃-oplossing in zuur milieu is eenvoudig te realiseren doordat FeCl₃ goed wateroplosbaar is, dit in tegenstelling tot het oplossen van I₂ zoals in het oorspronkelijke practicum.

Met het gebruik van de Fe³⁺-ionen treedt volgende redoxreactie op.



Door gebruik te maken van een rechtstreekse titratie van ascorbinezuur met de FeCl₃-oplossing kan een onbekende hoeveelheid ascorbinezuur bepaald worden mits er gebruik wordt gemaakt van een geschikte indicator. Uit de redoxreactie kan er afgeleid worden dat de indicator een kleur dient te geven wanneer er een kleine overmaat Fe³⁺ aanwezig is. Een KSCN-oplossing is hier ideaal voor aangezien er een bloedroodcomplex wordt gevormd met de Fe³⁺-ionen en er geen gekleurd complex wordt gevormd met Fe²⁺-ionen⁸¹.



Door de indicator met HOPV te analyseren wordt duidelijk dat het product mag gebruikt worden in een onderwijscontext (zie figuur 19).

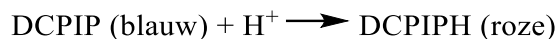
Productnaam	H-codes					
		Gevaar Huidcontact	Gevaar Inademing	Gevaar Brand	Verbod door weggeving	
KSCN	H302 Schadelijk bij inslikken.		4			
	H312 Schadelijk bij contact met de huid.	4				
	H332 Schadelijk bij inademing.		4			
	H412 Schadelijk voor in het water levende organismen, met langdurige gevolgen.					
	EUH032 Vormt zeer giftig gas in contact met zuren.					

Figuur 19: HOPV laat het gebruik van KSCN toe

Echter wordt het ook duidelijk dat er een zeer giftig gas kan ontstaan (blauwzuur) als het product in contact komt met zuren, hetgeen in deze opstelling het geval is aangezien de FeCl_3 -oplossing in een zuur milieu dient gemaakt te worden en de reactie protonen vrijstelt. Er is reeds vermeld dat HOPV enkel nagaat of het gebruik van bepaalde producten al dan niet verboden is in een onderwijscontext. Bovenstaand voorbeeld maakt duidelijk dat hierdoor HOPV niet kan gebruikt worden om een volledige risicoanalyse op te stellen. Er is dus nood aan een bijkomend hulpmiddel naast HOPV of een geavanceerde versie van HOPV, welke de leerkracht ondersteunt bij de verdere uitwerking van de risicoanalyse met o.a. het herkennen van gevaarlijke incompatibele reacties.

Indien men toch gebruik wil maken van een rechtstreekse titratie, dan kan de titratie van ascorbinezuur met DCPIP (dichlorofenolindofenol) worden uitgevoerd⁸². Hierbij wordt DCPIP zowel als indicator en als reductor gebruikt. Aan DCPIP zijn geen H-zinnen verbonden die een verbod op het gebruik van het product leggen in de onderwijscontext.

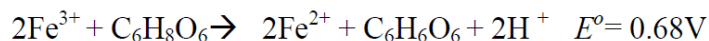
Vooraleer de redoxtitratie kan worden uitgevoerd, dient DCPIP omgezet te worden naar DCPIPH om gebruikt te worden als een geschikte indicator. De volgende reacties treden op:



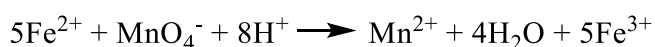
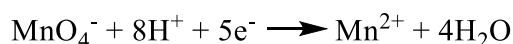
Wanneer dus al het ascorbinezuur heeft gereageerd, zal de overmaat aan DCPIPH voor een roze kleur zorgen, wat eveneens het eindpunt is van de titratie. De kleuromslag blijft en is zeer duidelijk waar te nemen.

Indien men echter het practicum liever uitvoert op een manier die sterk lijkt op de oorspronkelijke manier, kan er gebruik gemaakt worden van een FeCl_3 -oplossing en een titratie met KMnO_4 (verdunde variant hiervan).

Opnieuw wordt er gebruik gemaakt van de FeCl₃-oplossing aangezien de literatuur duidelijk maakt dat deze redoxreactie snel en efficiënt optreedt⁸⁰.



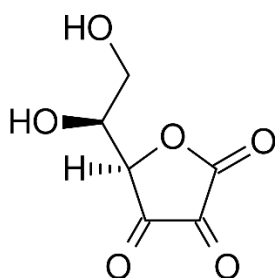
Aan de hand van een titratie met behulp van KMnO₄ kan de hoeveelheid gevormd Fe²⁺ bepaald worden waarmee de onbekende hoeveelheid ascorbinezuur kan berekend worden.



Zolang bovenstaande redoxreactie plaatsvindt (Fe²⁺ aanwezig is), zal de oplossing kleurloos blijven. Van zodra er een kleine overmaat MnO₄⁻ aanwezig is, krijgt de oplossing een roze schijn, wat overeenkomt met het eindpunt van de titratie.

Doordat de werking van deze methode niet is beschreven in de literatuur, werd deze methode getest tijdens een practicum. De uitwerking hiervan is terug te vinden in bijlage 3.2 achteraan de thesis, hieronder worden de resultaten besproken.

Om na te gaan of er een gewenste kleuromslag optreedt, werd er gewerkt met een gekende concentratie ascorbinezuur. Aangezien de concentraties van de FeCl₃-oplossing en de KMnO₄-oplossing ook gekend zijn, kan er bepaald worden wanneer de kleuromslag zou moeten optreden (zie bijlage 3.2 achteraan de thesis). Na toevoeging van de gewenste hoeveelheid KMnO₄, met behulp van een titratie, krijgt de oplossing een licht roze kleur, wat overeenstemt met de verwachting. Deze kleur verdwijnt echter na enkele seconden. Dit kan verklaard worden door het optreden van een redoxreactie tussen MnO₄⁻ (hetgeen de kleur veroorzaakt) en dehydro-ascorbinezuur (bevat nog alcohol groepen zoals te zien is in figuur 20)⁸³.



Figuur 20: structuur dehydro-ascorbinezuur

Ondanks dat de kleur niet permanent is, kan bovenstaande uitwerking toch gebruikt worden als een alternatief op jodimetrie. Er dient aan de leerlingen duidelijk gemaakt te worden dat er getitreerd dient te worden totdat de roze kleur enkele seconden (1-2) behouden blijft.

Hardheidsbepaling van water door titratie met EDTA

Dit practicumonderwerp is terug te vinden onder *analytische chemie deel 2 – complexometrie*.

De hardheid van water wordt op de typische manier bepaald aan de hand van een titratie met EDTA en een indicator die wordt toegevoegd aan het waterstaal (Eriochroomzwart T). Om met behulp van EDTA de hardheid van water te bepalen dient er gewerkt te worden in een alkalisch milieu (pH 10) waarvoor een buffer wordt gebruikt⁸⁴. Bij aanvang van de titratie zal de indicator een complex vormen met de aanwezig $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ ionen die aanwezig zijn in het waterstaal. Door de vorming van het complex krijgt het waterstaal een wijnrode kleur. Bij toevoeging van EDTA vormen de $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ ionen bij voorkeur een stabielere complex met EDTA. Hierdoor blijft de indicator (Eriochroomzwart T) in niet gecomplexeerde vorm achter in de oplossing, wat een blauwe kleur heeft bij pH 10.

De noodzakelijke buffer die hier frequent voor gebruikt wordt is een $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{Cl}$ buffersysteem⁸⁵. Om deze buffer te verkrijgen dient er gewerkt te worden met een geconcentreerde hoeveelheid NH_3 , wat verboden is door *H314 veroorzaakt ernstige brandwonden en oogletsels*. Doordat een buffer noodzakelijk is, dient er een andere manier gevonden te worden om het medium op de geschikte pH te brengen.

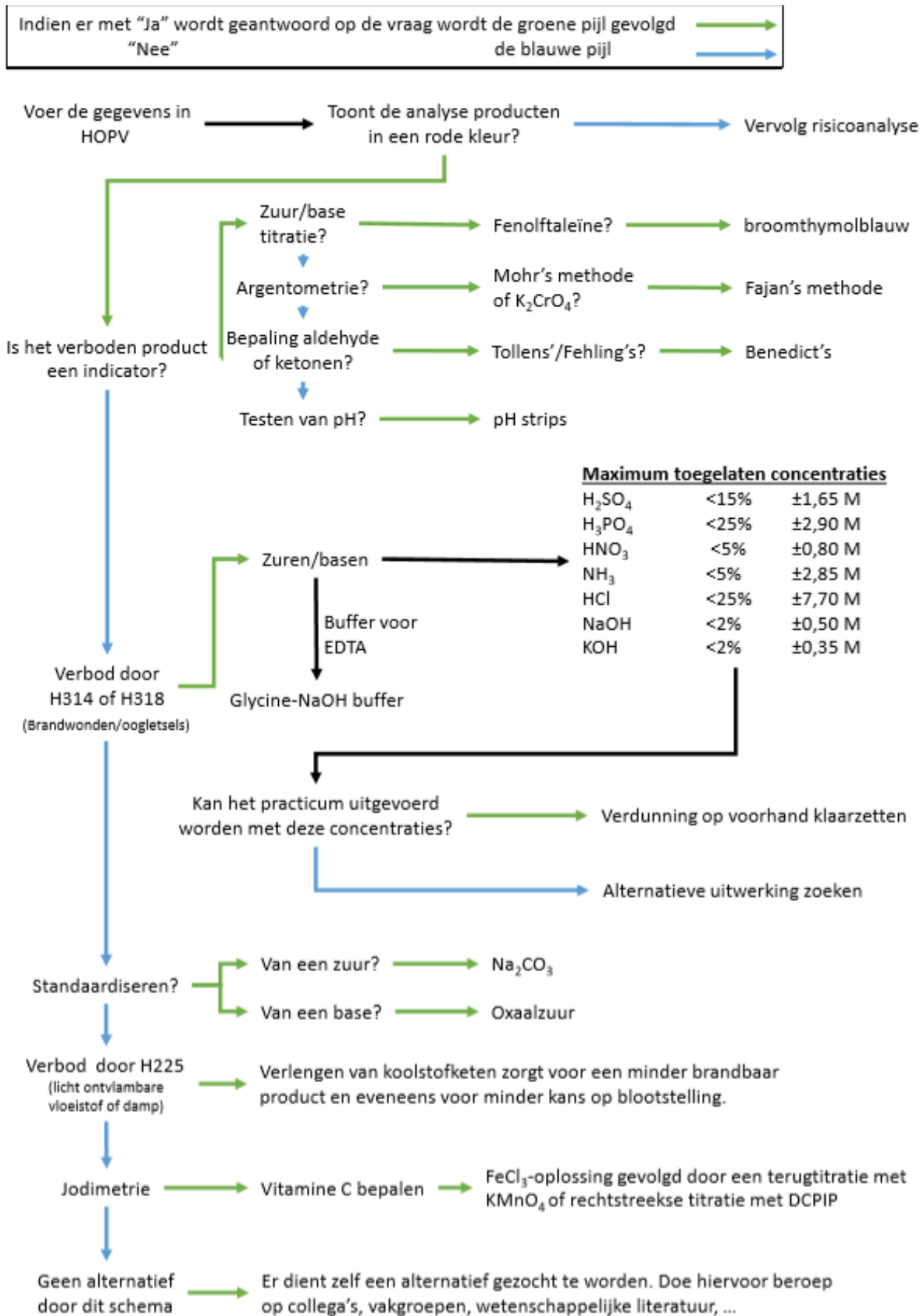
Een geschikte buffer voor het uitvoeren van dit practicum is een 0.16M natriumhydroxide-glycine buffer, welke bekomen kan worden door gebruik te maken van een 0.4M NaOH-oplossing en vast glycine⁸⁵. Aangezien er op de andere producten geen verbodsbepalingen van toepassing zijn en doordat deze buffer de complexvorming niet verstoort, kan het practicum worden uitgevoerd indien er gebruik wordt gemaakt van een andere buffer⁸⁵.

5.5. Schema ter ondersteuning voor het vinden van een alternatieve practicum uitwerking

Zoals duidelijk geïllustreerd in het voorgaande, is het opzoeken van alternatieven niet altijd eenvoudig, zeker als men niet weet waar of hoe er gestart dient te worden. Daarom worden een aantal hulpmiddelen aangereikt.

Op basis van de 36 practica die geanalyseerd werden, is er een schema opgesteld dat leerkrachten ondersteunt in hun zoektocht naar een alternatief. Vooraleer het schema kan gebruikt worden, dient de leerkracht gebruik te maken van het *Hulpmiddel Omtrent Productveiligheid (HOPV)* om zo na te gaan welke producten er al dan niet verboden zijn. Op basis hiervan kan de leerkracht starten met het schema te doorlopen om zo een alternatief te vinden. Aangezien er verschillende practica-onderwerpen geanalyseerd werden voor de gehele derde graad, biedt het schema zeker ondersteuning in deze graad. Voor het opstellen van het schema is er beroep gedaan op het leerplan derde graad *TSO techniek-wetenschappen*³. Ook al heeft het leerplan *chemie derde graad ASO* andere doelstellingen, toch komen er vele onderwerpen van TSO practica ook in het ASO leerplan aan bod^{3,19}. Hierdoor kan het schema ook gebruikt worden in de ASO richtingen. Het gebruik van het schema en HOPV zou bovendien in de lagere graden niet voor problemen mogen zorgen, aangezien de methodiek dezelfde blijft.

Het is echter mogelijk dat het schema niet voor alle onderwerpen een alternatief weergeeft. Indien dit het geval is, dient de leerkracht zelf een alternatief te zoeken. De gebruikte methodiek van het schema kan dan wel als leidraad dienen om zelf dit alternatief te vinden. Om een alternatief te vinden kan er ook beroep gedaan worden op collega's, vakgroepen, internet (gebruik Engelse zoektermen), externe instanties, ... Er wordt aangeraden om op elk alternatief HOPV en vervolgens een aanvullende risicoanalyse toe te passen. Het uitgewerkte schema wordt in figuur 21 weergegeven.



Figuur 21: uitwerking van het schema dat leerkrachten ondersteunt bij het zoeken naar alternatieve practica

6. Conclusie

Door de structuur van onderwijs bloot te leggen, zijn er verschillende zaken gevonden die het verhogen van de veiligheid kunnen ondersteunen en zodoende een veiligheidscultuur kunnen creëren bij jongeren. Het reeds op jonge leeftijd creëren van een veiligheidscultuur kan een enorme vooruitgang zijn om de veiligheid in zowel de chemische sector als het dagelijks leven verder te verhogen.

Veiligheidsaspecten worden reeds vermeld in de eindtermen, maar deze kunnen nog explicieter vermeld worden. De eindtermen van de eerste graad zijn onlangs herzien, maar die van de tweede en derde graad dienen nog herzien te worden. Deze nog uit te voeren herzieningen zijn het ideale moment om veiligheid sterker te implementeren in deze eindtermen.

De verschillende onderwijskoepels maken op basis van deze eindtermen een leerplan op dat leerkrachten gebruiken bij de opstelling van hun jaarplan. In de leerplannen van het Katholiek Onderwijs worden er verschillende practica onderwerpen opgegeven waarvan er verschillende niet conform de wetgeving uitgevoerd kunnen worden. Vooral het uitvoeren van organische practica conform de wetgeving is een uitdaging doordat het gebruik van o.a. hoog geconcentreerde zuren verboden is.

Er zijn verschillende veiligheidsaspecten uitgewerkt gaande van beleid tot een praktisch hulpmiddel (HOPV) om verboden of producten die aandacht vragen naar veiligheid te identificeren. Tot slot is er op basis van 36 practicumnota's, die worden uitgevoerd in de derde graad TSO technisch scheikunde, een schema uitgewerkt met veilige alternatieven.

Om het welzijn van zowel leerling als leerkracht te garanderen is de uitwerking van een efficiënt veiligheidsbeleid van groot belang. Om scholen hierbij te ondersteunen zijn de *acht dragers van beleidsvoerend vermogen* specifiek toegepast op het vlak van veiligheid.

Aangezien het voor leerkrachten vaak niet duidelijk is welke producten er tijdens een practicum gebruikt mogen worden, is er een hulpmiddel (HOPV) uitgewerkt dat hen hierbij ondersteunt. Op basis van de H-zinnen die van toepassing zijn op de producten, kan HOPV bepalen of het gebruik van deze producten al dan niet is toegestaan in een onderwijscontext.

Daarnaast kunnen met behulp van een uitgewerkt schema verschillende alternatieven voor verboden producten gevonden worden, die conform de wetgeving zijn.

Door zowel gebruik te maken van HOPV als het schema met verschillende alternatieven wordt de veiligheidscultuur van de school verbeterd. Het gebruik van HOPV op zich is niet voldoende om een volwaardige risicoanalyse te verkrijgen.

7. Vervolgonderzoek

Vervolgonderzoek is zeker nog mogelijk en noodzakelijk aangezien HOPV momenteel nog niet kan gebruikt worden voor het opstellen van een volledige risicoanalyse. Om leerkrachten nog verder te ondersteunen kan er ook hiervoor een hulpmiddel uitgewerkt worden of kan HOPV uitgebreid worden. Momenteel wordt er bij HOPV enkel een indicatie gegeven voor contact/blootstellingsgevaar, gevaar bij inademing en brandgevaar. Om een volwaardige risicoanalyse te worden kunnen er nog zaken aan toegevoegd worden zoals het aantal leerlingen, compatibiliteit producten,...

Op het vlak van practica kan er nagegaan worden welke onderwerpen essentieel zijn voor de opleiding. Wanneer deze onderwerpen gekend zijn, kunnen er volledige practica, die conform de wetgeving zijn, worden uitgewerkt.

Indien het niet mogelijk is om bepaalde practica onderwerpen conform de wetgeving uit te voeren, maar ze toch als noodzakelijk worden geacht voor de opleiding, dan wordt er best via de verschillende onderwijskoepels gecommuniceerd dat die bepaalde onderwerpen onontbeerlijk zijn voor de opleiding en onder welke strikte vereisten ze als onontbeerlijk kunnen worden beschouwd. Gezien de risico's van deze practica dient er een volwaardige risicoanalyse opgesteld te worden waarin preventiemaatregelen zijn uitgewerkt evenals een noodplan indien er toch een incident is.

8. Bijlage

Bijlage 1: vier kwaliteitseisen die de evaluatie in een goede baan leiden²⁶

- 1) **Transparantie:** Deze eis verwijst naar het belang van duidelijke informatie over de evaluatie. Leerlingen zijn sterk geneigd om zich te richten op wat er van hen verwacht wordt tijdens de evaluatie. Zaken zoals het vooraf opzoeken van H- en P-zinnen, dragen van labojas en veiligheidsbril, ... kunnen allemaal beoordeeld worden.
- 2) **Gunstige evaluatieomstandigheden:** Het creëren van gunstige omstandigheden is een voorwaarde voor een eerlijke evaluatie. Dit houdt in dat er geen extra druk op de leerlingen mag worden uitgeoefend door middel van extra beoordelingscriteria toe te voegen (zie link met transparantie).
- 3) **Congruentie tussen doelen en evaluatie:** Deze congruentie dient maximaal te zijn, dat wil zeggen dat de evaluatie overeenstemt met de doelen die door de leerkracht worden bepaald. De leerkracht formuleert doelstellingen (de leerlingen dragen hun labojas, de leerlingen gaan veilig om met de chemische producten,...), maakt die aan de leerlingen kenbaar en gaat na of ze door de leerlingen worden bereikt. De vragen of opdrachten moeten helder en ondubbelzinnig geformuleerd worden.
- 4) **Correctheid van de beoordeling:** De beoordeling moet correct verlopen. Dat betekent dat het beoordelingskader zo nauwkeurig mogelijk moet zijn. Het beoordelingskader kan weergegeven worden op een apart blad van de practicumnota's zodat de leerlingen weten wat er van hen verwacht wordt.

Bijlage 2 Metadata Excel hulpmiddel

In het hulpmiddel (HOP) is heel wat code terug te vinden. Zo is er code geschreven in de verschillende tabbladen, maar is er ook gebruik gemaakt van Visual Basic (VBA) voor Excel. De werking van de code wordt in dit hoofdstuk verduidelijkt.

Opmerking auteur: Tijdens de start van de uitwerking van het hulpmiddel is er vooral code geschreven in de verschillende cellen van de Excel tabbladen. Na verloop van tijd is er overgegaan naar het gebruik van VBA voor Excel. Idealiter zou al de code geschreven dienen te zijn in VBA zodat aanpassingen op een eenvoudige manier kunnen worden gerealiseerd. Het overgrote merendeel is omgezet naar VBA code, maar zaken zoals voorwaardelijke opmaak zijn niet omgezet. Optimalisatie van de code is dus zeker mogelijk, zo kan het tabblad 'Nakijken H-zinnen' nog volledig worden omgezet in VBA code.

Code in de verschillende tabbladen

Ingeven data

In dit tabblad wordt er gebruik gemaakt van de Excel functie *gegevensvalidatie*. De lijst met de verschillende H-zinnen, terug te vinden in de cellen onder 'H-Codes', wordt met deze functie gegenereerd. Deze functie zorgt ervoor dat enkel de gegevens in deze lijst kunnen worden ingegeven. Als er getracht wordt een andere waarde in te geven wordt er een error weergegeven. De lijst met deze zinnen kan aangepast worden in het verborgen tabblad 'Verschillende H-zinnen'

Door het tabblad 'Ingeven data' te beveiligen, kan de gebruiker enkel de productnaam invullen en een selectie maken uit de lijst van H-zinnen. De gebruiker kan niets veranderen aan de opmaak van dit tabblad, nog kan hij cellen toevoegen/verwijderen. Om het tabblad aan te passen dient te gebruiker het wachtwoord 'Veiligheid' in te typen, hetgeen eveneens het wachtwoord is op de andere tabbladen.

Hetgeen de gebruiker niet ziet is dat er in dit tabblad reeds nagegaan wordt of bepaalde producten initieel verboden zijn op basis van de ingegeven H-zinnen en welke gevaren op vlak van huidcontact, inademing en brand hieraan verbonden zijn. Dit gebeurt in het verborgen tabblad 'Nakijken H-zinnen' waarbij de ingegeven H-zin wordt vergeleken met al de mogelijke H-zinnen. Als er en match wordt gevonden, dan wordt er een cijferwaarde terug gegeven. Deze cijferwaarde wordt opnieuw teruggevonden in het verborgen tabblad 'Nakijken H-zinnen' op

rij 7. De H-zin waarmee de ingegeven data wordt vergeleken is terug te vinden op rij 8 van dit tabblad.

Opmerking auteur: De ingegeven H-zin wordt dus met elke mogelijke H-zin vergeleken om zo een match te zoeken. Dit gebeurt door zeer veel IF-loops, hetgeen niet de efficiëntste manier is. Aangezien er in deze loops slechts één bepaalde zaak moet worden nagekeken zorgt het grote aantal loops niet voor een vertraging. Optimalisatie is dus zeker mogelijk in dit gedeelte, maar in het kader van deze thesis is dit niet van belang.

Een getalwaarde = 1 zal ervoor zorgen dat er onder ‘Verbod door wetgeving’ het woord VERBOD verschijnt. Dit houdt in dat de ingegeven H-zin is opgenomen in de verbodsjijst van *Codex over het welzijn op het werk Boek X.- Werkorganisatie en bijzondere werknemerscategorieën Titel 3.– Jongeren op het werk.*

Een getal waarde van 1,1 kan ook optreden. Deze waarde komt voor doordat in de CLP-wetgeving de H-zin geïclassificeerd wordt als gevarencategorie 1, maar deze H-zin niet is opgenomen in de verbodsjijst van *Codex over het welzijn op het werk Boek X.- Werkorganisatie en bijzondere werknemerscategorieën Titel 3.– Jongeren op het werk.*

Omgevingsfactoren

Opnieuw ziet de gebruiker enkel wat hij nodig heeft en kan het tabblad niet door de gebruiker worden aangepast. Door het gehele tabblad weer zichtbaar te maken wordt duidelijk dat er voor elk product wordt nagegaan of H225 de enige verbodsbepaling is. Indien dit het geval is, is een uitzondering op de wetgeving mogelijk. Dit gebeurt door een *IF-loop* die al de H-zinnen van het product nagaat en bepaalt of andere H-zinnen aanwezig zijn met getalwaarde 1 (hetgeen overeenkomt met een verbod). Indien dit het geval is wordt er “Nee” als resultaat gegenereerd anders wordt er “Ja” weergegeven, hetgeen eveneens het antwoord op de vraag is of een mogelijke uitzondering op het product mogelijk is. Het nakijken of enkel H225 van toepassingen is gebeurt in de cellen P2:Y2 van dit tabblad, dewelke niet zichtbaar zijn voor de gebruiker.

Via VBA code (zie verder) wordt er aan de gebruiker gevraagd of er een ontstekingsbron of een warmteplaat wordt gehanteerd. Indien er een ontstekingsbron wordt gehanteerd, dan is een uitzondering op de wetgeving niet mogelijk aangezien er potentieel brandgevaar is. Indien er gebruik wordt gemaakt van een warmteplaat en de temperatuur van deze plaat onder de zelfontbrandingstemperatuur van het product ligt, dan wordt er uitzondering op de wetgeving gemaakt aangezien er veilig met het product kan gewerkt worden. Indien de

zelfontbrandingstemperatuur lager ligt dan de temperatuur van de plaat, dan blijft het verbod geldig. Als geen gebruik wordt gemaakt van zowel een ontstekingsbron als een warmteplaat, dan wordt er eveneens een uitzondering op de wetgeving gemaakt aangezien er veilig met de producten kan gewerkt worden.

Indien er een uitzondering mogelijk is (enkel H225 zorgt voor een verbod) dan wordt de naam van het product weergegeven in A5:A14. Als er effectief een uitzondering wordt gemaakt op de wetgeving (er is voldaan aan de strikte eisen), dan krijgt het product een groene kleur. Indien er geen uitzondering wordt gemaakt, dan krijgt het product een rode kleur.

Analyse producten

Dit tabblad is een kopie van het tabblad *'Ingeven data'* waaraan voorwaardelijke opmaak is toegevoegd. De gebruiker ziet nu alles, wat niet het geval was in het tabblad *'Ingeven data'*. Dit houdt in dat de gevarenduiding zichtbaar wordt en het duidelijk wordt welke H-zin voor een verbod zorgt. Opnieuw is dit tabblad beveiligd waardoor de gebruiker niets kan veranderen.

Voorwaardelijke opmaak die speelt in dit tabblad:

- Indien er geen antwoord is gegeven op de vraag die gesteld wordt in het tabblad *'omgevingsfactoren'* wordt er niets weergegeven in dit tabblad. Zo moet de gebruiker altijd een antwoord formuleren op deze vraag om een analyse te verkrijgen.
- Als een verbod geldt op een product, krijgt het een rode kleur
 - o Tenzij een uitzondering wordt gemaakt op dit product in het tabblad *'omgevingsfactoren'* dan krijgt het product een groene kleur
- Indien er geen verbodsbepalingen geldig zijn op het product, wordt het product groen gekleurd.
 - o Tenzij er geen naam wordt opgegeven, dan blijft de cel wit

Code geschreven in VBA

VBA voor Excel is vooral gebruikt om tekstboxen te laten verschijnen die de gebruiker extra informatie geven over hoe zij het hulpmiddel correct dienen te gebruiken. Deze tekstboxen worden eveneens gebruikt als een input van de gebruiker noodzakelijk is. De uitleg over wat de verschillende stukken code doen is in het groen weergegeven.

```

'Deze routine wordt uitgevoerd als het Excel-bestand wordt geopend.'
Private Sub Workbook_Open()

    'Enkel VBA mag het tabblad aanpassen, de gebruiker niet'
    Sheets("Omgevingsfactor").Protect Password:="Veiligheid", userinterfaceonly:=True

    'Telkens het hulpmiddel geopend wordt, wordt de waarde van deze cel gereset'
    'Hierdoor dient de gebruiker steeds stil te staan bij mogelijk brandgevaar'
    Sheets("Omgevingsfactor").Range("G2").Value = ""

    'Deze pop-up geeft instructies over hoe het hulpmiddel moet gehanteerd worden'
    MsgBox "Om de tool correct te gebruiken worden de tabbladen in volgende volgorde gehanteerd:" & Chr(13) & _
        "" & vbCr & _
        "Ingeven data" & Chr(13) & _
        "Omgevingsfactor" & Chr(13) & _
        "Analyse producten", vbOKOnly + vbQuestion, "Gebruik van tool"

End Sub

```

```

Private Sub Workbook_SheetActivate(ByVal Sh As Object)
'De als het tabblad Ingeven data wordt geopend wordt er een pop-up weergegeven die de gebruiker informatie geeft'
If Sh.Name = "Ingeven data" Then

    MsgBox "Onder 'Productnaam' dienen volgende producten ingegeven te worden van het practicum:" & vbCr & _
        "" & vbCr & _
        "  -Startproducten" & vbCr & _
        "  -Solventen" & vbCr & _
        "  -Intermediairen" & vbCr & _
        "  -Eindproducten" & vbCr & _
        "" & vbCr & _
        "De H-zinnen van de producten worden door de gebruiker ingegeven met behulp van een lijst." & vbCr & _
        "Deze lijst wordt zichtbaar door in een cel onder 'H-codes' op het pijltje te klikken dat zich rechts van deze cel bevindt." & vbCr & _
        "" & vbCr & _
        "De H-zinnen van de producten zijn terug te vinden in rubrieken 2 en 16 van hun veiligheidsinformatieblad" & vbCr & _
        "", vbOKOnly + vbQuestion, "Ingeven producten"

End If

'Bij het openen van het tabblad omgevingsfactor wordt er steeds data gereset. De gebruiker dient deze informatie steeds opnieuw in te geven.'
'In het tabblad kan er een uitzondering gemaakt worden op de wetgeving, mits er voldaan is aan strikte voorwaarden'
'Hierdoor dient er steeds rekening gehouden te worden met het mogelijke gevaar van H225'
If Sh.Name = "Omgevingsfactor" Then
'Reset van de celwaarden die later een andere waarde krijgen'
Range("G2") = ""
Range("J2", "J3") = ""
Range("J5", "J15") = ""
Range("I5", "I15") = ""
'Pop-up die de gebruiker informatie geeft bij het openen van het tabblad omgevingsfactor'
MsgBox "In dit tabblad wordt de omgevingsfactor (ontstekingsbron) beoordeeld." & vbCr & _
    "Op bepaalde producten is er een uitzondering op de wetgeving mogelijk" & vbCr & _
    "Echter wordt deze uitzondering enkel gemaakt indien er veilig met het product kan gewerkt worden. Indien dit niet het geval is, blijft het verbod geldig" & vbCr & _
    "", vbOKOnly + vbQuestion, "Omgevingsfactor"

```

```

'Aan de gebruiker wordt er een vraag gesteld, het antwoord hierop bepaald het verdere verloop'
result = MsgBox("Wordt er in het practicum gebruik gemaakt van een ontstekingsbron (bunsenbrander, lucifers, ...)", vbYesNo + vbQuestion, "Vraag: omgevingsfactor")
If result = vbYes Then
    'Als deze vraag met "Ja" wordt beantwoord, dan wordt er met behulp van de code geschreven in het excel tabblad duidelijk gemaakt dat er geen'
    'uitzondering op de wetgeving wordt gemaakt. Hierbij wordt voorwaardelijke opmaak gebruikt in het tabblad.'
    Range("G2").Value = "Ja"
Else
    'Indien er nee wordt geantwoord, dan is een uitzondering op de wetgeving mogelijk mits er geen andere verbodsbepalingen van kracht zijn op het product'
    'Het nagaan van de andere verbodsbepalingen gebeurt met de code geschreven in het tabblad'
    Range("G2").Value = "Nee"
    result = MsgBox("Wordt er in het practicum gebruik gemaakt van een warmteplaat?", vbYesNo + vbQuestion, "Vraag omgevingsfactor")
    If result = vbYes Then
        'Het gebruik van een warmteplaat kan ook een brand veroorzaken indien de temperatuur van de warmteplaat hoger ligt dan de zelfontbrandingstemperatuur van het product.'
        Range("J2").Value = "Ja"
        'De gebruiker dient de temperatuur van de warmteplaat in te geven.'
        Temp = InputBox("Op welke temperatuur wordt de warmteplaat ingesteld? Enkel de getalwaarde dient ingegeven te worden")
        Range("J3").Value = Temp
        'In de range A5:A14 wordt de naam gegeven van producten waarop enkel H225 voor een verbod zorgt.'
        'Er wordt nagegaan of er een naam staat in deze cellen.'
        'Indien dit het geval is dient de gebruiker de zelfontbrandingstemperatuur in te geven van het product.'
        For i = 5 To 14
            WaardeCell = Range("A" & i).Value
            If WaardeCell = "" Then
                'Indien er geen naam in deze cellen staat, wordt de zelfontbrandingstemperatuur op 0 gezet'
                'Dit is van belang voor verdere uitwerking'
                Range("I" & i).Value = 0
                'In de range J5:J14 wordt er een antwoord gegeneerd of er al dan niet veilig met het product kan gewerkt worden'
                'Dit is opnieuw van belang voor latere voorwaardelijke opmaak'
                Range("J" & i).Value = "Ja"
            Else
                'Als er wel een naam is opgegeven in de cel Ai dan dient de gebruiker de zelfontbrandingstemperatuur in te geven'
                ZelfontbrandTemp = InputBox("Geef de waarde van de zelfontbrandingstemperatuur (zie rubriek 9 van het veiligheidsinformatieblad) in van " & Range("A" & i).Value)
                Range("I" & i).Value = ZelfontbrandTemp
                'Indien de zelfontbrandingstemperatuur hoger ligt dan de ingestelde temperatuur van de warmteplaat, dan kan er veilig met het product gewerkt worden'
                'Er wordt een uitzondering op de wetgeving gemaakt'
                If Range("I" & i).Value > Range("J3") Then
                    Range("J" & i).Value = "Ja"
                Else
                    'Indien dit niet het geval is dan kan er niet veilig met het product gewerkt worden'
                    'Er wordt geen uitzondering op de wetgeving gemaakt'
                    Range("J" & i).Value = "Nee"
                End If
            End If
        Next i
    Next i
Else
    'Als er geen warmteplaat wordt gebruikt, dan kan er steeds veilig gewerkt worden met producten waarop'
    'H225 van toepassing is'
    Range("J2").Value = "Nee"
    For i = 5 To 15
        Range("J" & i).Value = "Ja"
    Next i
End If
End If
End If

```

```

If Sh.Name = "Analyse producten" Then
'Nagaan of de vraag omtrent brandveiligheid is beantwoord. Zoniet wordt de gebruiker naar het juiste tabblad gestuurd en dient deze te antwoorden op de vraag'
If Sheets("Omgevingsfactor").Range("G2").Value = "" Then
    MsgBox "De analyse kan nog niet gebeuren aangezien de informatie in het tabblad 'Omgevingsfactor' nog niet volledig is", vbOKOnly + vbCritical, "Analyse kan niet gebeuren"
    Sheets("Omgevingsfactor").Activate
Else
'Pop-up venster die de gebruiker informatie geeft hoe deze het tabblad moet interpreteren'
MsgBox "In dit tabblad wordt er nagegaan of leerlingen al dan niet met bepaalde producten mogen werken." & vbCr & _
    "" & vbCr & _
    "Het gebruik van producten met een rode kleur is verboden. Voor deze producten dient er dus een alternatief gezocht te worden." & vbCr & _
    "" & vbCr & _
    "Met de groene producten kan er veilig gewerkt worden" & vbCr & _
    "" & vbCr & _
    "Het opduiken van een getalwaarde bij de verschillende gevaren toont de ernst van het gevaar aan. Deze gevaaraanduiding loopt van 1-4, waarbij 1 een ernstig gevaar is" & vbCr & _
    "", vbOKOnly + vbQuestion

'Pop up venster om informatie te verlenen aan de gebruiker'
MsgBox "Suggesties indien het product mag gebruikt worden en:" & vbCr & _
    "" & vbCr & _
    "een getalwaarde terug te vinden is bij 'gevaar huidcontact' dan wordt er best gewerkt met handschoenen, een labojas en een veiligheidsbril" & vbCr & _
    "" & vbCr & _
    "een getalwaarde terug te vinden is bij 'gevaar inademing' of 'gevaar brand' dan wordt er best gebruik gemaakt van een trekkast" & vbCr & _
    "" & vbCr & _
    "" & vbCr & _
    "DIT HULPMIDDEL KAN NIET GEBRUIKT WORDEN OM EEN VOLLEDIGE RISCOANALYSE OP TE STELLEN" & vbCr & _
    "Om een volledige analyse te maken dient er rekening gehouden te worden met zaken zoals:" & vbCr & _
    "Aantal, ervaring en leeftijd van de leerlingen" & vbCr & _
    "Compatibiliteit producten" & vbCr & _
    "...", vbOKOnly + vbQuestion, "Suggesties op basis van H-zinnen"

End If

End If

End Sub
'Indien er in het tabblad Ingeven data iets wordt aangepast door de gebruiker,
'dient deze een opnieuw de vraag in het tabblad omgevingsfactor te beantwoorden ook had hij dit hiervoor gedaan'
Private Sub Workbook_SheetChange(ByVal Sh As Object, ByVal Target As Range)
    If Sh.Name = "Ingeven data" Then
        Sheets("Omgevingsfactor").Range("G2").Value = ""
    End If
End Sub

```

Bijlage 3 Uitwerking/testen van practica aanpassingen

Aangezien elke leerkracht zelf beslist over hoe de practicumnota's worden opgesteld, zijn er verschillende vormen van notities. Deze notities zijn een leidraad voor de leerling tijdens de uitwerking van het practicum en dienen dus de nodige informatie te hebben voor een veilige uitvoering van het practicum. Het geven van de veiligheidsinformatie van de gebruikte producten is essentieel, maar het zou nog beter zijn dat leerlingen zelf aan de slag gaan met deze informatie. Zo kan er aan de leerlingen de opdracht gegeven worden om vooraf al de veiligheidsinfo in een kleur aan te duiden en bepaalde zaken zelf op te zoeken. Hierdoor kan de leerkracht bij aanvang van het practicum nagaan of de leerlingen alle informatie hebben gezien/opgezocht en eventueel ingrijpen als leerlingen bepaalde zaken over het hoofd hebben gezien. Dit zet de leerlingen aan tot *good practice* om veiligheidsinformatie te raadplegen, hetgeen alleen maar positief is voor een latere carrière en voor dagelijkse zaken. Er dient wel duidelijk gemaakt te worden aan de leerlingen hoe zij deze informatie dienen op te zoeken en aan welke voorwaarden de veiligheidsinformatiebladen dienen te voldoen. Deze informatie kan gegeven worden in het begin van het schooljaar tijdens een introductieles omtrent practica waarbij er eveneens bepaalde laboregels worden vastgelegd. Tijdens de uitwerking van deze les kan er klassikaal van een aantal producten informatie uit de veiligheidsinformatiebladen gehaald worden. Door dit klassikaal in te oefenen kan de leerkracht nagaan of de leerlingen instaat zijn om deze informatie te vinden en kan hij bijsturen waar nodig. Als voorbeeld kan er klassikaal gewerkt worden rond het opzoeken van de gevaren van een geconcentreerde zwavelzuuroplossing en een 0.1 molaire zwavelzuuroplossing. Hierdoor wordt het eveneens duidelijk voor de leerlingen dat gevaren concentratie gerelateerd zijn.

Het eenvoudigste voor de leerlingen om te weten welke producten er zullen gebruikt worden doorheen het practicum, is door de verschillende reactievergelijkingen die van toepassingen zijn tijdens het practicum te geven. Hierdoor kunnen leerlingen de gevaren opzoeken van al de gebruikte producten (begin-, eindproducten en solventen) en kan er duidelijk gemaakt worden dat er gevaarlijke eindproducten kunnen ontstaan door te starten van relatief onschuldige beginproducten.

Naast het vermelden van de producten die er zullen gebruikt worden, is het belangrijk om de gebruikte concentraties ook in de practicumnota's te verwerken aangezien de gevaren verbonden aan chemische producten vaak concentratie gerelateerd zijn. Door het geven van de concentratie worden er zaken zoals “Voeg 5 mL van de zoutzuur-oplossing toe” niet verkeerd

geïnterpreteerd. Indien de concentratie niet gegeven is, kan er bijvoorbeeld geconcentreerd zoutzuur worden toegevoegd i.p.v. de 0.01 molaire oplossing.

Tijdens het opstellen van de practicumnota's dienen de leerkrachten ervoor te zorgen dat deze de veiligheid maximaal ondersteunen. Hierdoor dienen alle instructies duidelijke te zijn, moet het geheel overzichtelijk zijn en mag er geen ruimte zijn voor interpretatie.

3.1 Het uitvoeren van zuur-base titraties

Aangezien er een hele reeks van indicatoren zijn wordt er nagegaan of broomthymolblauw (indicatoroplossing kan aangekocht worden of er kan 0.1 g broomthymolblauw in 16 mL 0.01 M NaOH worden opgelost waarna het wordt aangelengd met 234 mL water) een geschikte indicator is voor elke type zuur-base titratie die wordt aangehaald in het leerplan. Er worden namelijk drie verschillende types zuur-base titraties aangehaald in het leerplan:

- 1) Titratie van een sterk zuur met een sterke base
- 2) Titratie van een sterk zuur met een zwakke base
- 3) Titratie van een zwak zuur met een sterke base

Zaken voorafgaand aan het practicum die dienen uitgevoerd te worden door de leerling

Leg het nut en de werking van een indicator algemeen uit.

Heeft elke indicator hetzelfde werkzame pH gebied?

Wordt het equivalentiepunt bij de verschillende zuur-base titraties steeds op pH 7 bekomen?

Verklaar.

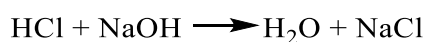
Zoek het werkzame pH gebied van de broomthymolblauw-indicator op en verklaar waarom deze al dan niet geschikt is voor de verschillende zuur-base titraties.

Zoek de gevaren van de verschillende producten op, inclusief de indicator.

Titratie van een sterk zuur met een sterke base

Leerlingen mogen niet in contact komen met een zuivere zoutzuur-oplossing. Er kan echter een verdunning worden gemaakt, maar de geconcentreerde oplossing dient een concentratie < 25% te hebben om conform de wetgeving te zijn. Hetzelfde geldt voor de NaOH-oplossing, leerlingen mogen niet in contact komen met zuivere NaOH pellets. De leerkracht voorziet een NaOH-oplossing met een concentratie < 2% in het labo. Leerlingen mogen deze oplossing zelf verdunnen tot de gewenste 0.200 M oplossing.

Tijdens deze titratie wordt er 50,0 mL van een 0,100 M HCl-oplossing getitreerd met een 0.200 M NaOH-oplossing. Hoeveel mL van de NaOH oplossing dient er toegevoegd te worden om het equivalentiepunt te bereiken? Wat is de pH op het equivalentiepunt?



Analyse van de gebruikte producten

Productnaam	H-codes	Gevaar Huidcontact	Gevaar Inademing	Gevaar Brand	Verbod door wetgeving
HCl (0,100 M)	H290 Kan bijtend zijn voor metalen.				
NaOH (0,200 M)	H315 Veroorzaakt huidirritatie. H319 Veroorzaakt ernstige oogirritatie.	2	2		
Broomthymolblauw indicator					

De analyse door gebruik te maken van *HOPV* toont aan dat er geen verbodsbepalingen spelen op de ingegeven producten.

De reactie tussen een sterk zuur en een sterke base kan zeer exotherm zijn. Aangezien er lage concentraties worden gebruikt zal er geen heftige exotherme reactie optreden.

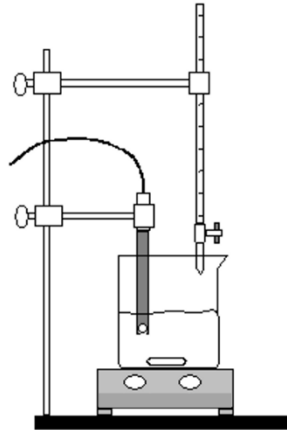
Uitvoering van de titratie

Vooraleer de pH-elektrode kan gebruikt worden dient deze gekalibreerd te worden. Er zal voor de uitwerking van dit practicum gebruik worden gemaakt van de *pH-meter Mettler-Toledo FiveEasy*. De calibratie wordt op volgende manier uitgevoerd:

- Spoel de elektrode met gedeïoniseerd water
- Plaats de elektrode in kalibratiebuffer pH 7 en druk op “Cal”. Nadat de display niet meer knippert is deze stap voltooid
- Spoel de elektrode opnieuw met gedeïoniseerd water
- Plaats de elektrode in kalibratiebuffer pH 4 en druk op “Cal”. Nadat de display niet meer knippert is deze stap voltooid
- De pH-meter is nu gekalibreerd

Indien de pH dient bepaald te worden van de oplossing, dient de knop “**READ**” ingedrukt te worden. Nadat de display niet meer knippert, kan de pH-waarde worden afgelezen.

- Maak de proefopstelling zoals weergegeven in onderstaande figuur. Gebruik hiervoor het nodige aantal klemmen en noten zodat het geheel stevig is geconstrueerd.



- Voeg 50,0 mL van de 0,100 M HCl-oplossing toe in een bekerglas van 250 mL.
- Vul de buret met de 0,100 M NaOH-oplossing met behulp van een trechter. Zorg ervoor dat het volume NaOH kan afgelezen worden op de buret.
- Titreer de HCl oplossing (in het bekerglas) met 5 mL van de NaOH-oplossing (in de buret). Noteer de kleurverandering en de pH. Doe dit 4X zodat een totaal van 20 mL NaOH-oplossing is toegevoegd.
- Titreer de HCl oplossing (in het bekerglas) met 1 mL van de NaOH-oplossing (in de buret). Noteer de kleurverandering en de pH. Doe dit 10X zodat een totaal van 30 mL NaOH-oplossing is toegevoegd (10 mL bij deze stap en 20 mL uit de vorige stap).

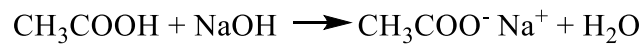
ml totaal toegevoegd NaOH	Kleur indicator	pH
0		
5		
10		
15		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		

Is er een duidelijk kleuromslag zichtbaar bij het equivalentiepunt?

Titratie van een zwak zuur met een sterke base

Opnieuw dient er een NaOH-oplossing met een concentratie < 2% klaargezet te worden in het labo.

Deze titratie wordt uitgevoerd door 50.0 mL van een 0.100 M azijnzuur-oplossing te titreren met een 0.200 M NaOH-oplossing.



Analyse van de gebruikte producten

Productnaam	H-codes	Gevaar Huidcontact	Gevaar Inademing	Gevaar Brand	Verbod door wetgeving
CH ₃ COOH (0,100 M)					
NaOH (0,200 M)	H315 Veroorzaakt huidirritatie. H319 Veroorzaakt ernstige oogirritatie.	2 2			
Broomthymolblauw indicator					
CH ₃ COONa					

De analyse door gebruik te maken van *HOPV* toont aan dat er geen verbodsbepalingen spelen op de ingegeven producten.

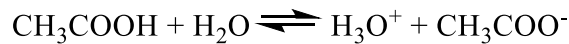
Uitvoering van de titratie

Hanteer dezelfde werkwijze als de titratie van een sterk zuur – sterke base

Berekeningen

Om het equivalentiepunt te bereiken dient er 25,0 mL van de 0,200 M NaOH-oplossing toegevoegd te worden aan de 50,0 mL 0.100 M azijnzuur-oplossing.

De pH bij aanvang van de titratie bedraagt:



$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{X^2}{0.100 - x} = 1.75 * 10^{-5}$$

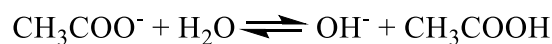
$$X = [\text{H}_3\text{O}^+] = 1.32 * 10^{-3} \text{ M}$$

$$\text{pH} = -\log([\text{H}_3\text{O}^+]) = 2.88$$

Op het equivalentiepunt is het aantal mol CH_3COO^- gelijk aan het aantal toegevoegde mol NaOH, waaruit $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ kan bepaald worden.

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = \frac{\text{aanta mol NaOH toegevoegd}}{\text{totaal volume}} = \frac{(0.200\text{M})(25.0 \text{ ml})}{75.0 \text{ ml}} = 0.0667 \text{ M}$$

Met deze concentratie kan de pH bepaald worden op het equivalentiepunt door gebruik te maken van volgende reactievergelijking:



$$K_b = \frac{[\text{OH}^-][\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} = \frac{X^2}{0.0667 - x} = 5.71 * 10^{-10}$$

$$X = [\text{OH}^-] = 6.17 * 10^{-6} \text{ M}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} = \frac{1.00 * 10^{-14}}{6.17 * 10^{-6}} = 1.62 * 10^{-9} \text{ M}$$

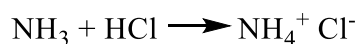
$$\text{pH} = -\log([\text{H}_3\text{O}^+]) = 8.79$$

Aangezien de werkwijze zoals bij de titratie van een sterk zuur/sterke base wordt gehanteerd, zal er opnieuw bepaald worden of de indicator een geschikte kleuromslag heeft bij het equivalentiepunt.

Titratie van een sterk zuur met een zwakke base

Er dient voor dit practicum een HCl-oplossing met een concentratie < 25% klaargezet te worden in het labo. Verder dient er ook een NH₃-oplossing met een concentratie < 5% klaargezet te worden. Leerlingen mogen in geen geval in contact komen met zuivere oplossingen.

Deze titratie wordt uitgevoerd door 50.0 mL van een 0.100 M HCl-oplossing te titreren met een 0.200 M NH₃-oplossing.



Analyse van de gebruikte producten

Productnaam	H-codes					
		Gevaar Huidcontact	Gevaar Inademing	Gevaar Brand	Verbod door wetgeving	
HCl (0,100 M)	H290 Kan bijtend zijn voor metalen.					
NH ₃ (0,200 M)	H315 Veroorzaakt huidirritatie.	2				
	H319 Veroorzaakt ernstige oogirritatie.	2				
Broomthymolblauw indicator						
NH ₄ Cl						

De analyse door gebruik te maken van HOPV toont aan dat er geen verbodsbepalingen spelen op de ingegeven producten.

Werkwijze

Hanteer dezelfde werkwijze als bij de voorgaande titraties.

Berekeningen

Het equivalentiepunt wordt bereikt nadat er 25.0 mL van de 0.200 M NH₃-oplossing is toegevoegd aan de 50.0 mL 0.100 M HCl-oplossing

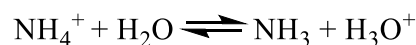
Aangezien HCl een sterk zuur is, zal het volledig dissociëren in water. De pH bij aanvang van de titratie bedraagt:

$$pH = -\log([HCl]) = 1$$

Op het equivalentiepunt is het aantal mol NH₄⁺ gelijk aan het aantal mol toegevoegd NH₃, hiermee kan [NH₄⁺] bepaald worden.

$$[NH_4^+] = \frac{\text{aanta mol } NH_3 \text{ toegevoegd}}{\text{totaal volume}} = \frac{(0.200M)(25.0 \text{ ml})}{75.0 \text{ ml}} = 0.0667 \text{ M}$$

Met deze concentratie kan de pH bepaald worden op het equivalentiepunt:



$$K_a = \frac{[NH_3][H_3O^+]}{[NH_4^+]} = \frac{X^2}{0.0667 - X} = 5.6 * 10^{-10}$$

$$X = [H_3O^+] = 6.11 * 10^{-6}$$

$$pH = -\log([H_3O^+]) = 5.21$$

Opnieuw zal er nagegaan worden of er een duidelijke kleuromslag waarneembaar is

3.2 Alternatief op jodimetrie

De leerkracht dient op voorhand de $FeCl_3$ -oplossing en de $KMnO_4$ -oplossing klaar te zetten in het labo. De berekening hieronder is voor 1 persoon.

- Maak 250 mL van een 0.005 M $FeCl_3$ -oplossing (0.20 g $FeCl_3$ in 250 mL van een 0.2 M H_2SO_4 -oplossing. Moet in zuur milieu om hydrolyse van Fe^{3+} te voorkomen)
- Maak 100 mL van 0.005 $KMnO_4$ -oplossing (0.079 g in 100 mL water)

Er zal getest worden of de hoeveelheid vitamine C in een oplossing kan bepaald worden door gebruik te maken van een Fe^{3+} oplossing gevolgd door een titratie met MnO_4^- .

Analyse van de gebruikte producten

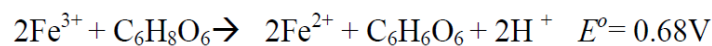
Productnaam	H-codes	Gevaar		Gevaar		Verbod door wetgeving
		Huidcontact	Inademing	Brand		
FeCl3	H290 Kan bijtend zijn voor metalen.					
	H302 Schadelijk bij inslikken.		4			
	H315 Veroorzaakt huidirritatie.	2				
	H318 Veroorzaakt ernstig oogletsel.	1				VERBOD
FeCl3-oplossing 0,005M (gemaakt in 0,2 M zwavelzuur)	H290 Kan bijtend zijn voor metalen.					
KMnO4 (kristallen)	H272 Kan brand bevorderen; oxiderend.				1,1	
	H302 Schadelijk bij inslikken.		4			
	H314 Veroorzaakt ernstige brandwonden en oogletsels	1	1			VERBOD
	H410 Zeer giftig voor in het water levende organismen, met langdurige gevolgen.					
KMnO4 (0,005 M)	H412 Schadelijk voor in het water levende organismen, met langdurige gevolgen.					

ascorbinezuur (0,005 M)									
dehydroascorbinezuur									

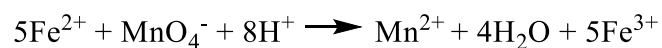
De analyse door gebruik te maken van *HOPV* toont aan dat leerlingen niet in contact mogen komen met zuiver FeCl_3 . Op de oplossing die gebruikt dient te worden is er echter geen verbodsbepaling geldig. Hetzelfde geldt voor KMnO_4 .

Werkwijze

- Maak 100 mL van een 0.005 M ascorbinezuur-oplossing (0.088 g in 100 mL water)
- Voeg 20 mL van de ascorbinezuur-oplossing en 60 mL van de FeCl_3 -oplossing in een erlenmeyer van 250 mL



- Titreer deze oplossing met een 0.005 M KMnO_4 -oplossing tot de paarse kleur blijft.
Noteer het toegevoegde volume (zou in theorie 8 mL moeten zijn)



- Bepaal met bovenstaande gegevens de hoeveelheid ascorbinezuur

3.3 Praktische uitwerking van Sn-reacties

Sn2 reactie

De uitwerking van dit practicum is gebaseerd op de uitwerking van een practicum waarbij er 1-broombutaan wordt gesynthetiseerd⁸⁶. Doordat er een verbodsbepaling geldig is op 1-butanol kan dit product niet als startproduct gebruikt worden. Hierdoor wordt er gestart van 1-hexanol aangezien en hierop geen verbodsbepalingen van toepassingen zijn. Doordat er gestart wordt van 1-hexanol wordt er als eindproduct 1-broomhexaan bekomen. Verder worden de concentraties van de zuren aangepast zodat het gebruik ervan niet meer verboden is.

Leerlingen mogen niet in contact komen met een hoog geconcentreerde zwavelzuur oplossing, hierdoor dient de 14% zwavelzuur concentratie op voorhand door de leerkracht klaargezet te worden

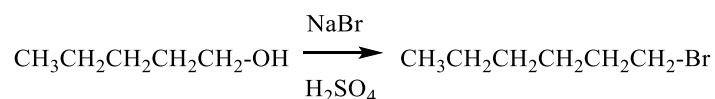
Analyse van de gebruikte producten

Productnaam	H-codes					
		Gevaar Huidcontact/blootstellingsgevaar	Gevaar Inademing	Gevaar Brand	Verbod door wetgeving	
1-pentanol	H226 Ontvlambare vloeistof en damp. H315 Veroorzaakt huidirritatie. H319 Veroorzaakt ernstige oogirritatie. H332 Schadelijk bij inademing. H335 Kan irritatie van de luchtwegen veroorzaken.	2 2	4	3		
NaBr						
14% zwavelzuur	H290 Kan bijtend zijn voor metalen. H315 Veroorzaakt huidirritatie. H319 Veroorzaakt ernstige oogirritatie.	2 2				
Na2CO3 (10%)	H315 Veroorzaakt huidirritatie. H319 Veroorzaakt ernstige oogirritatie.	2 2				

calciumchloride	H319 Veroorzaakt ernstige oogirritatie.	2			
1-broomhexaan	H226 Ontvlambare vloeistof en damp.			3	
	H315 Veroorzaakt huidirritatie.	2			
	H411 Giftig voor in het water levende organismen, met langdurige gevolgen.				

De analyse door gebruik te maken van *HOPV* toont aan dat er geen verbodsbepalingen spelen op de ingegeven producten.

Werkwijze

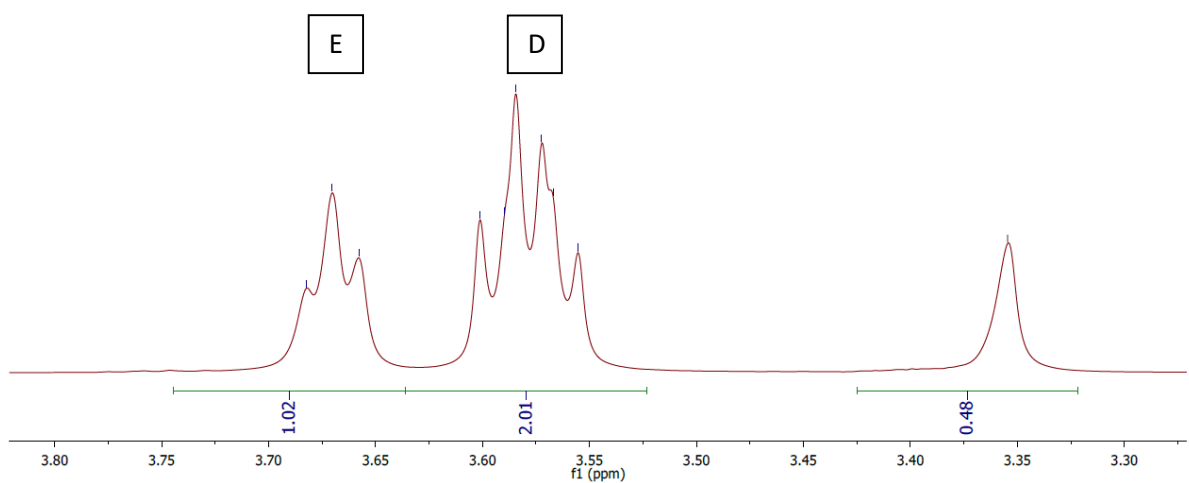
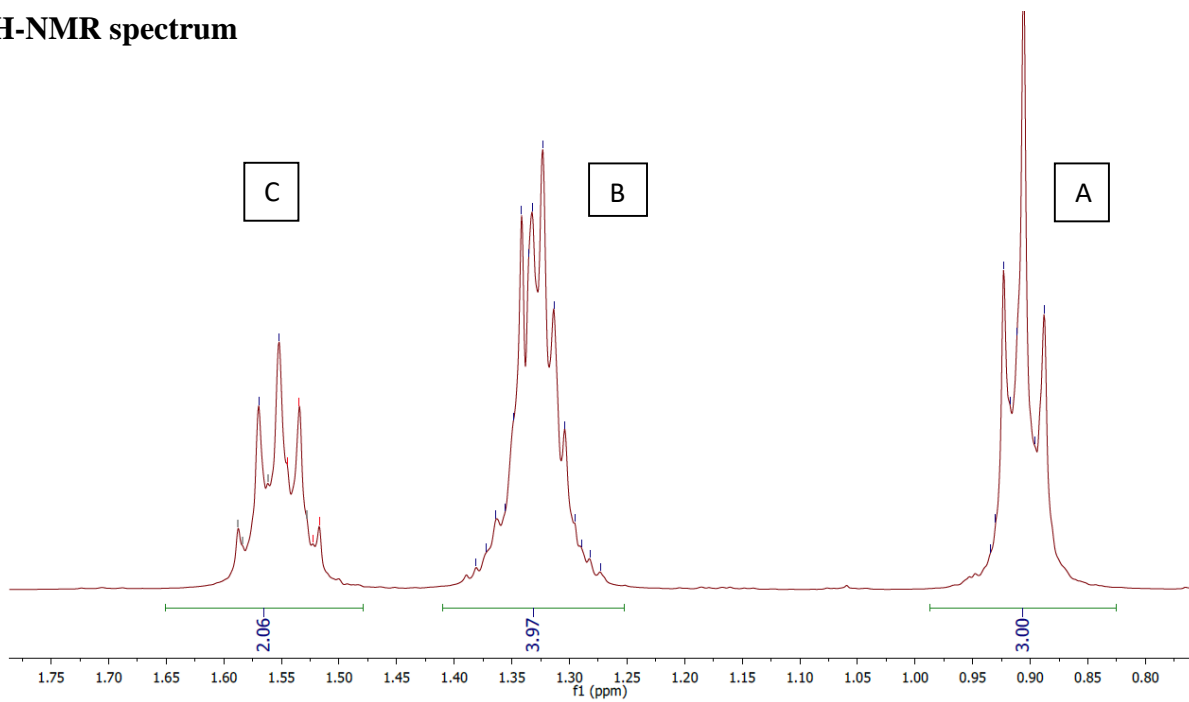


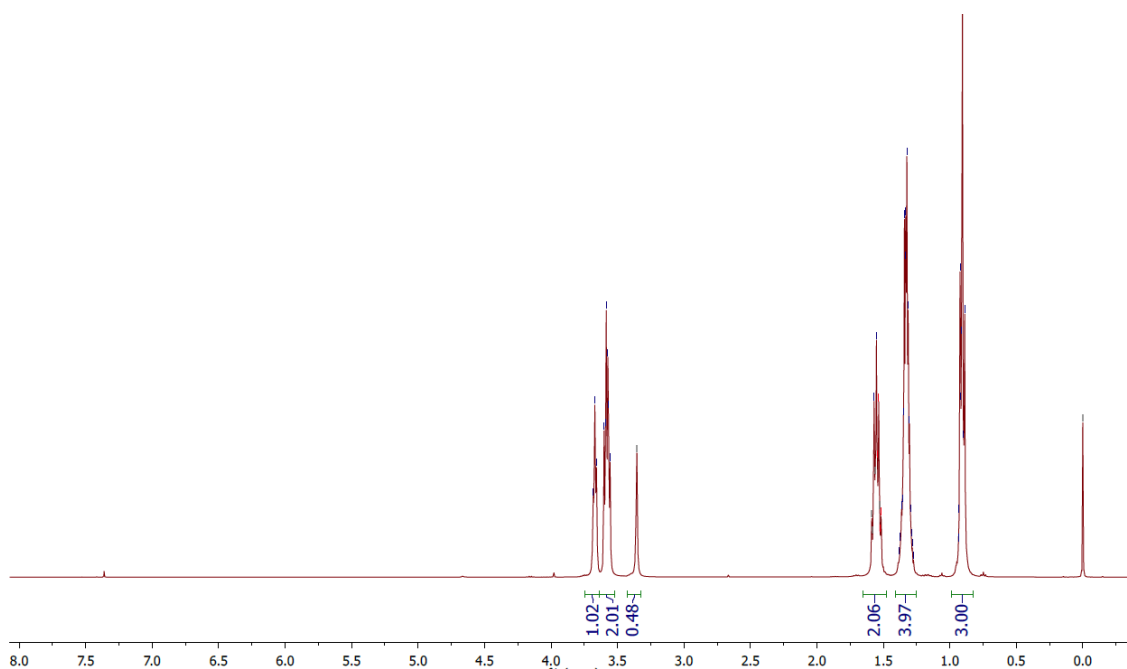
- Voor de uitwerking van het practicum wordt een driehalvige kolf van 250 mL gebruikt. Deze wordt uitgerust met een bolkoeler en een toevoegtrechter
- Deze opstelling wordt met behulp van noten en klemmen stevig vastgemaakt in een verwarmingsmantel met roerfunctie.
- Voeg een magnetische roerstaaf toe aan de driehalvige kolf.
- Voeg 15 mL water met behulp van een trechter toe aan de driehalvige kolf.
- Zet de magnetische roerfunctie aan
- Voeg aan het water 13.3 g NaBr (of 15.35 g KBr) toe met behulp van een poedertrechter
- Vervolgens wordt 140 mL van een 14% H₂SO₄-oplossing onder voortdurend magnetisch roeren toegedruppeld (overmaat H₂SO₄).
- Hierna wordt 9 g 1-hexanol toegevoegd (11 mL van een zuivere 1-hexanol oplossing) met behulp van een trechter.
- Het mengsel wordt gedurende 45 min. gekookt onder reflux.
- Na afkoelen wordt het mengsel overgebracht in een scheitrechter en wordt de organische laag geïsoleerd.
- Was deze achtereenvolgens met:
 - een gelijk volume water
 - 50 mL 14% H₂SO₄

- ten slotte 50 mL van een 5% Na₂CO₃ oplossing.
- Het gewenste product is terug te vinden in de onderste laag.
- Het 1-bromopentaaan wordt zo volledig mogelijk afgescheiden en gedroogd op anhydrisch CaCl₂ gedurende 20 minuten.
- Giet het gedroogde bromide af in een kolf met behulp van een plooi-filter en zuiver het door destillatie.

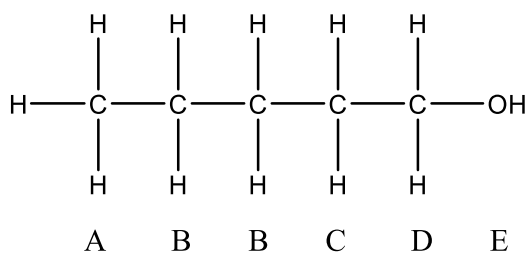
Bepaal het kookpunt en het rendement en vergelijk dit met het theoretische rendement.

H-NMR spectrum

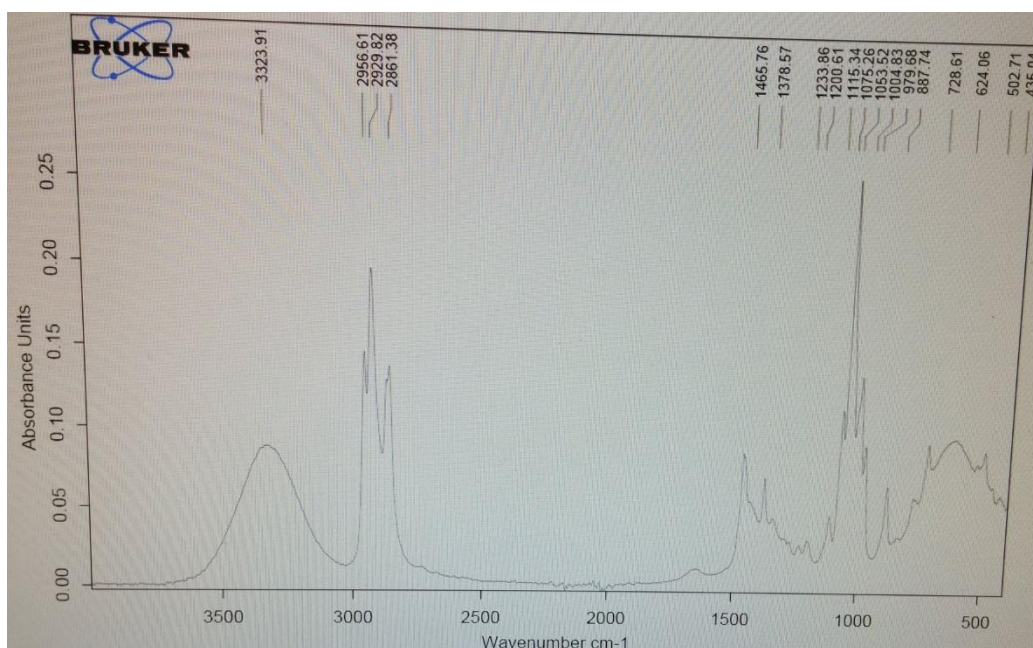




De H-NMR signalen kunnen worden toegewezen aan zuiver 1-pentanol. Er zijn echter wel signalen te zien met een zeer lage integratie (o.a. triplet bij 0.70 ppm) die erop kunnen wijzen dat er toch een minimale hoeveelheid substitutieproduct is gevormd.



IR-Spectrum



Het IR-spectrum van het finale product komt overeen met dat van zuiver 1-pentanol⁸⁷.

9. Referenties

- (1) Meeus, W.; Verbeeck, G. In *Didactisch referentiekader*; ACCO Leuven / Den Haag, 2016; pp 43–46.
- (2) KVCV - onderwijs en opleiding. *Chemicaliën op school Veiligheid en milieuzorg in het schoollaboratorium. COS-brochure*; 2014.
- (3) VVKSO - BRUSSEL. *LEERPLAN SECUNDAIR ONDERWIJS - TOEGEPASTE CHEMIE TSO*; 2014.
- (4) Onderwijsinspectie. Toelichting processen BVH <https://www.onderwijsinspectie.be/nl/toelichting-processen-bvh> (geraadpleegd Mar 7, 2019).
- (5) Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming. *Onderwijsdoelen-secundair onderwijs*; 2018.
- (6) Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming. *Decreet nieuwe eindtermen in laatste rechte lijn. Ambitieuze en klaar voor de toekomst.*; 2018.
- (7) HLN. *Krantenartikel: Man die zwaargewond raakte bij ontploffing, stak sigaret op tijdens schilderwerken*; Leuven, 2019.
- (8) Van Petegem, P. In *Wegwijzer in het Vlaamse onderwijs*; ACCO, 2017; pp 4–5.
- (9) Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming. Officieel en vrij onderwijs, onderwijsnetten en -koepels <https://onderwijs.vlaanderen.be/nl/officieel-en-vrij-onderwijs-onderwijsnetten-en-koepels> (geraadpleegd Feb 12, 2019).
- (10) Katholiek Onderwijs Vlaanderen. *Ontwerpleerplan Techniek - 1 A*; 2018.
- (11) Richards-Babb, M.; Bishoff, J.; Carver, J. S.; Fisher, K.; Robertson-Honecker, J. J. *Chem. Heal. Saf.* 2010, 17 (1), 6–14.
- (12) Staehle, I. O.; Chung, T. S.; Stopin, A.; Vadehra, G. S.; Hsieh, S. I.; Gibson, J. H.; Garcia-Garibay, M. A. 2015.
- (13) Bertozzi, C. R. *ACS Cent. Sci.* 2016, 2 (11), 764–766.
- (14) CSB. *Key Lessons for Preventing Incidents from Flammable Chemicals in Educational Demonstrations*; 2014.
- (15) Essenscia. JONGEREN & OPLEIDING http://www.essenscia.be/nl/jongeren_opleiding (geraadpleegd Feb 15, 2019).
- (16) Essenscia. Chemie- en farma-industrie steunt Europese campagne over veilig omgaan met gevaarlijke stoffen op het werk <http://www.essenscia.be/nl/PressRelease/Detail/17092> (geraadpleegd Feb 15, 2019).
- (17) De Wolf, N.; Meynen, V.; De Beuckeleer, B.; Thoelen, B. *Stageverslag veiligheidsinformatie in middelbare scholen : samen naar een veiligere schoolomgeving*; 2018.
- (18) Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming. *Vlaams onderwijs in cijfers*; 2018.
- (19) VVKSO - BRUSSEL. *LEERPLAN SECUNDAIR ONDERWIJS - CHEMIE DERDE GRAAD ASO*; 2014.
- (20) Ansell. *Report: Industry specific protection solutions*; 2015.
- (21) VLEVA. *Interinstitutioneel akkoord voor bescherming tegen kankerverwekkende en mutagene stoffen*; 2018.
- (22) Welzijn op school. *Uitleg over de toepassing CLP-GHS in het onderwijs*; 2012.

- (23) Carl Roth. *Veiligheidsinformatieblad azijnzuuranhydride > 99% voor synthese*; 2018.
- (24) SIGMA-ALDRICH. *Veiligheidsinformatieblad azijnzuuranhydride > 99%*; 2018.
- (25) Vanhoof, J.; Van Petegem, P. *Doeltreffend schoolbeleid*, 1st ed.; ACCO Leuven / Den Haag, 2017.
- (26) Meeus, W.; Verbeeck, G. In *Didactisch referentiekader*; ACCO Leuven / Den Haag, 2016; pp 61–64.
- (27) Yorio, P. L.; Wachter, J. K. *Saf. Sci.* 2014, 62, 157–167.
- (28) Struyf, E.; Verbeeck, G. In *Regisseeer je klas*; Pelckmans Pro, 2017; pp 79–84.
- (29) Vlaams Parlement. *Ontwerp van decreet betreffende de onderwijsdoelen voor de eerste graad van het secundair onderwijs*; 2018.
- (30) Weare, K. *Promoting Mental, Emotional and Social Health*, 1st ed.; Routledge: london, 2000.
- (31) Departement onderwijs & vorming. *Beleidsplan ter bevordering van het welzijn en welbevinden in onderwijsinstellingen*; 2016.
- (32) Van den Broek, M. *Krantenartikel: Chemische stoffen veroorzaken gevaarlijke reactie op Jeroen Bosch College, bovenverdieping ontruimd*; 2019.
- (33) BBC news. School fined over chemistry explosion http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/england/tyne/3083899.stm (geraadpleegd Apr 8, 2019).
- (34) CSB. After the Rainbow - Safety Messges <https://www.csb.gov/videos/after-the-rainbow/> (geraadpleegd Jun 11, 2019).
- (35) Begly, K.; Ashbrook, P.; Decker, D.; Houts, T.; Kretchman, K.; Talley, E. *ACS* 2015, 133.
- (36) French, A. R.; Geller, E. S. *Creating a culture where employees own safety system-based*; 2008.
- (37) Vanhoof, J.; Van Petegem, P. In *Doeltreffend schoolebleid*; ACCO Leuven / Den Haag, 2017; pp 15–16.
- (38) Vanhoof, J.; Van Petegem, P. In *Doeltreffend schoolebleid*; ACCO Leuven / Den Haag, 2017; pp 18–29.
- (39) Vanhoof, J.; Van Petegem, P. In *Doeltreffend schoolebleid*; ACCO Leuven / Den Haag, 2017; pp 54–56.
- (40) CSB. *Safety Digest: Emergency Planning and Response*.
- (41) ACS. *Guidelines for Chemical Laboratory Safety in Secondary Schools*; 2016.
- (42) Vanhoof, J.; Van Petegem, P. In *Doeltreffend schoolebleid*; ACCO Leuven / Den Haag, 2017; pp 73–74.
- (43) Vanhoof, J.; Van Petegem, P. In *Doeltreffend schoolebleid*; ACCO Leuven / Den Haag, 2017; pp 92–94.
- (44) Vanhoof, J.; Van Petegem, P. In *Doeltreffend schoolebleid*; ACCO Leuven / Den Haag, 2017; pp 105–106.
- (45) Vanhoof, J.; Van Petegem, P. In *Doeltreffend schoolebleid*; ACCO Leuven / Den Haag, 2017; pp 119–123.
- (46) Vanhoof, J.; Van Petegem, P. In *Doeltreffend schoolebleid*; ACCO Leuven / Den Haag, 2017; pp 135–136.

- (47) Vanhoof, J.; Van Petegem, P. In *Doeltreffend schoolebleid*; ACCO Leuven / Den Haag, 2017; pp 171–172.
- (48) Crone, E. *Het puberend brein*; Uitgeverij Bert Bakker: Amsterdam, 2008.
- (49) Struyf, E.; Verbeeck, G. In *Regisseur je klas*; Pelckmans Pro, 2017; pp 49–55.
- (50) Time. *Krantenartikel: The Dangers of the Choking Game and Pass-Out Challenge*.
- (51) Mei, L.; Fauziah, S. *The Effectiveness of Practical Work on Students' Interest towards Learning Physics*; 2017.
- (52) Federale Overheidsdienst Werkgelegenheid Arbeid en Sociaal Overleg. *Codex over het welzijn op het werk Boek X.- Werkorganisatie en bijzondere werknemerscategorieën Titel 3.– Jongeren op het werk*; 2018.
- (53) FOD Volksgezondheid. Het veiligheidsinformatieblad <https://www.health.belgium.be/nl/het-veiligheidsinformatieblad> (geraadpleegd Mar 7, 2019).
- (54) BIG vzw <https://www.big.be/nl-nl/> (geraadpleegd Mar 22, 2018).
- (55) MSDS europe. Validity period of a safety data sheet - what do the regulations say? <https://www.msds-europe.com/safety-data-sheet-validity-period/> (geraadpleegd Feb 26, 2019).
- (56) Ames, B. *Science* (80-.). 1979, 204 (4393), 587–593.
- (57) Landrigan, P. J.; Goldman, L. R. *Health Aff.* 2011, 30 (5), 842–850.
- (58) Torok, B.; Dransfield, T. *Green chemistry*, 1st ed.; Elsevier, 2017.
- (59) *VERORDENING (EG) Nr. 1272/2008 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD*; 2008.
- (60) Chemieleerkracht. Chemische Experimenten <http://chemieleerkracht.blackbox.website/index.php/experimenten/> (geraadpleegd Jun 12, 2019).
- (61) KOGEKA. Katholiek Onderwijs Geel-Kasterlee <http://www.kogeka.be/home/> (geraadpleegd Apr 3, 2019).
- (62) SIGMA-ALDRICH. Indicator oplossingen <https://www.sigmaaldrich.com/analytical-chromatography/analytical-products.html?TablePage=8679943> (geraadpleegd Apr 3, 2019).
- (63) Benigni, R.; Bossa, C. *Curr. Comput. Aided-Drug Des.* 2006, 2 (2), 169–176.
- (64) ECHA. Tabel van geharmoniseerde vermeldingen beschikbaar in Bijlage VI van de CLP <https://echa.europa.eu/nl/information-on-chemicals/annex-vi-to-clp> (geraadpleegd Apr 8, 2019).
- (65) IGNOU. *ARGENTOMETRIC DETERMINATION OF CHLORIDE IONS BY MOHR'S and FAJAN'S METHODS Structure*.
- (66) University of Canterbury. *Determination of chloride ion concentration by titration (Volhard's method)*; Christchurch.
- (67) Daniels, R.; Rush, C. C.; Bauer, L. *J. Chem. Educ.* 1960, 37 (4), 205.
- (68) Bruice, P. Y. In *Organic chemistry*; Pearson Education: California, 2014; p 1023.
- (69) NCSU-Dept. of Chemistry. Tollen's Test (Silver Mirror) <https://projects.ncsu.edu/project/chemistrydemos/Organic/TollensTest.pdf> (geraadpleegd Apr 4, 2019).

- (70) Shanley, S.; Ennis, J. *Ind. Eng. Chem. Res.* 1991, 30.
- (71) Chem, J.; Haight, G. P. *J. Chem. Educ.* 1981, 12, 26.
- (72) Bruice, P. Y. In *Organic chemistry*; Pearson Education, 2014; pp 556–565.
- (73) Wired chemist. Common Bond Energies
http://www.wiredchemist.com/chemistry/data/bond_energies_lengths.html (geraadpleegd Apr 9, 2019).
- (74) Bruice, P. Y. In *Organic chemistry*; Pearson Education, 2014; p 470.
- (75) Bruice, P. Y. In *Organic chemistry*; Pearson Education, 2014; pp 481–496.
- (76) SIGMA-ALDRICH. Prijs 2-Methyl-2-pentanol
https://www.sigmaaldrich.com/catalog/search?term=590-36-3&interface=CASNo.&N=0&mode=partialmaxfocus=product&lang=en®ion=BE&focus=product&gclid=EA1aIQobChMIj-uTz5rm4gIV0uJ3Ch30MgTCEAAYASAAEgLL__D_BwE
- (77) Bruice, P. Y. In *Organic chemistry*; Pearson Education, 2014; pp 739–775.
- (78) Bruice, P. Y. In *Organic chemistry*; 2017; p 746.
- (79) Merrill, H. B. *Ind. Eng. Chem.* 1924, 16 (11), 1144–1146.
- (80) Elmagirbi, A.; Sulistyarti, H.; Atikah, A. *J. Pure Appl. Chem. Res.* 2016, 1 (1), 11–17.
- (81) Metal, T.; Ions, C.; Activity, P. *Flin Sci. Chem.* 2009, No. 91857, 1–5.
- (82) Imre, G. *Nature* 1936, 138 (799).
- (83) Bruice, P. Y. In *Organic chemistry*; 2014; p 499.
- (84) Pal, A.; Pal, M.; Mukherjee, P.; Bagchi, A.; Raha, A. *Asian J. Pharm. Pharmacol.* 2018, 4 (2), 203–206.
- (85) Chemistry 321: Quantitative Analysis. *EDTA Titration for Determination of Calcium and Magnesium*; 2015.
- (86) Williamson, K. L. *Practical experiment: Synthesis of 1-bromobutane*; 1999.
- (87) IR data for alcohols http://science.widener.edu/svb/spectrum/ir_alcohol.html (geraadpleegd Jun 3, 2019).