

# Utvikling av et undervisningsopplegg med Vernier mini GC Plus i organisk syntese

Hoda Ali Kamil Hassan



Masteroppgave i Kjemididaktikk  
Lektorprogrammet  
30 studiepoeng

Kjemisk institutt  
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

UNIVERSITETET I OSLO

Mai/2023



# Utvikling av et undervisningsopplegg med Vernier mini GC Plus i organisk syntese

Hoda Ali Kamil Hassan



Masteroppgave i Kjemididaktikk  
Lektorprogrammet  
30 studiepoeng

Kjemisk institutt  
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

UNIVERSITETET I OSLO

Mai/2023

© Hoda Ali Kamil Hassan

2023

Utvikling av et undervisningsopplegg med Vernier mini GC Plus i organisk

Hoda Ali Kamil Hassan

<http://www.duo.uio.no/>

Trykk: Reprosentralen, Universitetet i Oslo

IV

# Sammendrag

Kromatografi er et tema der det er lett å bruke enkle og billige separasjonsmetoder for å illustrere prinsippene for kromatografi. Samtidig skal kjemi, i lik linje med flere programfag på videregående skole, forberede elevene på videre studier og arbeidsliv ved å utvikle faglig og praktisk kompetanse. Målet med denne oppgaven er å utvikle et undervisningsopplegg som tar i bruk en minigasskromatograf, designet for bruk i skolen, for å analysere og vurdere renhet til produktet fra en organisk syntese. Forsøket som blir brukt i undervisningsopplegget har blitt videreutviklet for å være mer egnet til en 90 minutters laboratorie økt og undervisningsopplegget består av en prelab, en forsøksbeskrivelse og et etterarbeid. Resultatene viste blant annet at reaksjonstiden kunne bli redusert med ti minutter uten en signifikant effekt på produktet. Mange av oppgavene i prelaben og etterarbeidet hadde oppnådd hensikten de hadde i ulik grad, som førte til endringer på noen av de for å øke det potensielle utbytte. Oppgaver ble også lagt til på grunn av observasjoner gjort underveis i gjennomførelsen av undervisningsopplegget og teori, mens andre ble fjernet ved at hensikten ikke ble oppnådd eller at de var overflødige. Alle studentene var enige i at forsøksbeskrivelsen var lett å følge. Det reviderte undervisningsopplegget dekker tre kompetansemål fra læreplanen og flere kjerneelementer, og kan tilpasses hvis en minigasskromatograf ikke skulle være tilgjengelig.



# Forord

Lektorprogrammet avsluttes med denne oppgaven, og det føles som at det var i går jeg prøvde å navigere med på Oslo S for å ta riktig t-bane til Blindern (det tok litt tid for å si det mildt). I løpet av disse fem årene har jeg tilegnet meg kunnskap i både kjemi og biologi, to fag som jeg har til den dag i dag stor interesse for, for å så forhåpentligvis undervise elever i disse fagene.

Jeg vil først og fremst takke min veileder, Svein Tveit for den tett oppfølging med ukentlige møter og tilbakemeldingene underveis, som har vært uvurderlig for meg i min skriveprosess. Jeg vil også takke min medveileder Karoline Fægri for å ha gitt gode tilbakemeldinger og råd underveis.

Jeg vil også takke min gode venn og medmaster-student Eirik Gresaker Teigland for de gode diskusjonene og avsporingene til andre tema. Uten deg så hadde denne masteren vært vanskeligere og kjedligere å skrive. Jeg vil også takke min britiske venn Chris for å bidratt til universell utforming. Den største takken går til mor og far, som har støttet meg i disse fem årene og trodd på meg når jeg ikke kunne.





# Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon .....	1
1.1	Bakgrunn for masteroppgaven.....	1
1.2	Målet med oppgaven .....	2
2	Teori og tidligere forskning.....	4
2.1.1	Prelab.....	4
2.1.2	Etterarbeidet .....	8
2.1.3	Bruk av instrumenter på lab .....	10
2.1.4	Kognitiv belastning i laboratorie.....	12
2.2	Reaksjonsmekanismer i pedagogisk kontekst .....	13
2.2.1	Reaksjonsmekanismer i læreverkene .....	13
2.2.2	Tidligere forskning knyttet til reaksjonsmekanismer og læring.....	14
2.3	Gasskromatografi.....	16
2.3.1	Generelt om gasskromatografi .....	16
2.3.2	Vernier mini GC Plus .....	18
2.3.3	Gasskromatografi i læreverkene.....	18
2.3.4	Implementering av Vernier mini GC Plus på videregående skole .....	19
2.4	Statistikk .....	20
3	Metode; Forsøket og videreutvikling .....	23
3.1	Forsøket .....	23
3.1.1	Gjennomføringen av det opprinnelige forsøket .....	23
3.2	Kjemikalier og utstyr .....	24
3.3	Videreutvikling av forsøket .....	25
3.3.1	Endring av reaksjonstid i skilletrakten .....	25
3.3.2	Endring i injeksjonsvolum med hensyn på deteksjon .....	25
3.3.3	Endring i syre konsentrasjon .....	26
3.3.4	Undersøkelse av blandingsforhold av reaktant og produkt .....	26
4	Metode; Utvikling av undervisningsopplegget og utprøving.....	27
4.1	Undervisningsopplegget .....	27
4.1.1	Prelab.....	27
4.1.2	Forsøksbeskrivelsen .....	28
4.1.3	Etterarbeidet .....	29
4.2	Innsamling av kvalitative og kvantitative data; Metodikken.....	31

4.2.1	Observasjonsmetode.....	31
4.2.2	Spørreskjema.....	32
4.2.3	Usikkerhet ved innsamling av informasjon.....	32
4.3	Utprøving av undervisningsopplegget.....	33
4.3.1	Observatør rollen og hva som skal observeres.....	33
4.3.2	Innsamling av kvalitative og kvantitative data.....	34
4.3.3	Test av reproduserbarheten av signalstyrke på fire Vernier mini GC Plus.....	34
5	Resultater.....	36
5.1	Resultater fra videreutviklingen av forsøket .....	36
5.1.1	Endring av reaksjonstid i skilletrakten .....	36
5.1.2	Endring i injeksjonsvolum med hensyn på deteksjon .....	38
5.1.3	Endring i syrekonsentrasjon .....	40
5.1.4	Undersøkelse av blandingsforhold av reaktant og produkt.....	40
5.2	Resultater fra utprøvingen av undervisningsopplegget .....	41
5.2.1	Studentenes prelab besvarelser og tilbakemeldinger på prelab fra spørreundersøkelsen .....	42
5.2.2	Observasjoner fra utprøvingen og svar fra undersøkelsen relatert til gjennomføringen av forsøket .....	45
5.2.3	Svar på etterarbeidet.....	47
5.2.4	Testing på andre Vernier mini gaskromatograf Plus .....	52
6	Diskusjon.....	54
6.1	Videreutviklingen av forsøket i undervisningskontekst .....	54
6.1.1	Reaksjonstiden i skilletrakten.....	54
6.1.2	Undersøkelser av injeksjonsvolum og deteksjon .....	55
6.1.3	Endring i syrekonsentrasjon .....	56
6.2	Videreutviklingen av undervisningsopplegget .....	57
6.2.1	Prelab.....	57
6.2.2	Forsøksbeskrivelsen .....	61
6.2.3	Etterarbeid .....	63
6.3	Videre arbeid .....	67
6.3.1	Reaksjonstiden i skilletrakten.....	67
6.3.2	Undersøkelse av blandingsforhold av reaktant og produkt.....	67
6.4	Er mini gaskromatografen nødvendig? .....	68

7	Konklusjon .....	69
	Litteraturliste .....	70
	Appendiks.....	75
	Vedlegg .....	79

	Figur 1: Sammendrag av hvilke prelab former typisk brukt ved introduksjon av kjemiske konsepter, kjemiske teknikker og affektive dimensjoner etter Agustian & Seery, 2017, s. 519 5	
	Figur 2: Kromatogram av injeksjon av 0.2 µL tert-butanol (rød) og 0.1 µL tert-butanol (gul). Toppen for 0.2 µL er mer enn dobbelt så stor enn toppen for 0.1. ....	39
	Figur 3: Kromatogram av injeksjon av 0.1 µL tert-butyklorid (rød), 0.2 µL tert- butyklorid (lilla) og 0.3 µL tert- butyklorid (gul). Tert-butyklorid blir ikke detektert av detektoren i Vernier mini GC Plus når volumet er 0.1 µL og 0.2 µL. ....	39
	Figur 4: Påstander om prelaben og hvordan studentene stilte seg til påstandene. ....	43
	Figur 5: Påstander om den praktiske gjennomføringen og hvordan studentene stilte seg til påstandene .....	46
	Figur 6: Påstander om etterarbeidet og hvordan studentene stilte seg til påstandene. Påstandene bruker «innleveringen» i stedet for etterarbeid siden det er det elevene kaller det. ....	50
	Figur 7: Gjennomsnittlig maks signal og standardavvik (mV) for injeksjon av 0.3 µL (blå) og 0.4 µL (oransje) tert-butyklorid på instrument 1, 2, 3 og 4.....	53
	Figur 8: Reaksjonstrinn for dannelsen av t-butyklorid fra t-butanol ved en SN1 reaksjon ....	87
	Figur 9: Reaksjonstrinn for dannelsen av tert-butyklorid fra t-butanol ved en substitusjonsreaksjon.....	100

## Forkortelser

CMR: Mekanistisk og kausal argumentasjon

GC: Gasskromatograf

GLC: Fordelingskromatografi

GSC: Adsorpsjonskromatografi

WCOT: Wall-coated open tubular

SCOT: Support-coated open tubular

PLOT: Porous-layer open tubular

Vernier mini GC Plus: Vernier mini gasskromatograf Plus

Tert-butyklorid: 2-klor-2-metylpropan

Tert-butanol: 2-metylpropan-2-ol

H<sub>0</sub>: Null hypotese

NB: *Nota bene*, latinsk uttrykk for «vel å merke»



# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn for masteroppgaven

I den nye læreplanen LK20 står det at eleven skal etter kjemi 2 kunne «gjøre rede for prinsipper for kromatografi og bruke kromatografi for å separere og analysere organiske stoffblandinger» (UDIR, 2021d). Da er det mange lærere som kan tenke seg å ha forsøk med papirkromatografi eller tynnsjikt-kromatografi, en metode som er videre utviklet fra papirkromatografi, siden de er enkle og billige separasjonsteknikker som illustrer prinsippene (Wibetoe & Egeland, 2023). Samtidig er høypresisjonsvæskekromatografi og gasskromatografi (GC) de mest utbredte metodene innen kromatografi, mens de andre teknikkene er nisjer i dag (Lundanes et al., 2014, s. 2). Skolen er en arena der elevene kan bli kjent med det praktiske arbeid og utvikle praktiske ferdigheter som de kan bruke i videre studier og arbeidslivet (UDIR, 2021a).

*Hvorfor skulle da ikke elevene få muligheten til å bruke en teknikk innenfor kromatografi som er velkjent og som de kommer til å møte på hvis de skulle velge kjemi i videreutdanningen?*

Inn med Vernier mini gasskromatograf Plus (Vernier mini GC Plus), et instrument fra Vernier, utviklet for å bli brukt i skolelaboratoriet (*Vernier mini GC Plus - User Manual*, 2018). Så vi har et instrument, en gasskromatograf, som vi kan bruke for å gi elevene en tilnærming til virkeligheten i et forskningsfelt. Det er også ønskelig at elevene skal få en helhetlig opplevelse siden et av kjerneelementene i kjemi programfag er *praksiser og tenkemåter i kjemi*. Dette kjerneelementet handler om «*hvordan naturvitenskapelige hypoteser, teorier, metoder og modeller innenfor fagfeltet utvikles og brukes, og hvordan disse er knyttet til eksperimenter og forsøk*», praktisk arbeid på laboratorie og metodevalg (UDIR, 2021c).

En gasskromatograf kan brukes til mye mer enn å analysere én blanding av to alkoholer laget av læreren. Den kan for eksempel brukes til å vurdere renheten av et produkt og det er et kompetansemål om at elevene skal kunne «*gjennomføre synteser og gjøre rede for faktorer som påvirker utbytte og renhet i synteser*» (UDIR, 2021d). En syntese forbindes ofte med organisk kjemi og da kan elevene jobbe med reaksjonsmekanismer. Læreplanen har også et kompetansemål der elevene skal kunne «*gjøre rede for reaksjonstypene addisjon, eliminasjon,*

*substitusjon, hydrolyse og kondensasjon og bruke elektrostatiske krefter til å forklare noen enkle reaksjonsmekanismer»* (UDIR, 2021d). Med disse kompetansemålene kan elevene jobbe med kjerneelementene *kjemiske bindinger og strukturer* og *kjemiske reaksjoner* (UDIR, 2021c). Kjemiske bindinger og strukturer ved at elevene gjøre rede for hvilke egenskaper hos forbindelser har en betydning for separasjon og reaksjonsmekanismer. Elevene kan også jobbe med kjerneelementet *kjemiske reaksjoner* ved å forklare hvordan forbindelsene reagerer som de gjør.

Prelaben, forsøksbeskrivelsen og etterarbeidet skal også trene elevene i å lese, skrive, regne og digitale ferdigheter, mens gjennomførelsen av forsøket trener dem i å lese og digitale ferdigheter (UDIR, 2021b).

Elevene kan altså få muligheten til å jobbe med tre kompetansemål og flere av kjerneelementene fra læreplanen med Vernier mini GC.

## **1.2 Målet med oppgaven**

Målet med oppgaven er å utvikle et undervisningsopplegg som bruker Vernier mini GC til å analysere renheten til utbyttet fra en organisk syntese egnet for norsk læreplan i kjemi 2. Undervisningsopplegget er et laboratorieopplegg som består av tre deler; en prelab, en forsøksbeskrivelse og et etterarbeid. Forsøket er hentet fra *Organic Chemistry with Vernier* og er en syntese av 2-klor-2-metylpropan fra 2-metylpropan-2-ol (Nam et al., 2012). Det er også ønskelig at undervisningsopplegget skal kunne brukes hvis en skole ikke skulle ha en Vernier mini GC eller tilsvarende tilgjengelig.

Forsøket blir videreutviklet for en 90 minutters laboratorie økt siden tidsaspektet er viktig for gjennomføringen av et undervisningsopplegg. Grunnen til at forsøket blir utviklet for 90 minutter er fordi en typisk økt i norsk skole er ofte på 90 minutter. I lys av teori og læreplanen utvikles det en prelab, en forsøksbeskrivelse og et etterarbeid. Disse ble testet ut på studenter og deretter videreutviklet basert på teori, kvalitative og kvantitative data fra studentbesvarelser og spørreskjema.

I denne oppgaven vil først relevant teori og tidligere forskning presenteres, med fokus på laboratorie undervisning, reaksjonsmekanismer i pedagogisk kontekst, gasskromatografi og statistikken brukt. Oppgaven har to kapitler for metode. Det første er for metodikken for

videreutvikling av forsøket. Det andre er for metodikken for utviklingen av undervisningsopplegget, spørreskjema og utprøvingen av undervisningsopplegget. Etterfulgt av resultater fra videreutviklingen og gjennomføringen av undervisningsopplegget og spørreskjema. Så diskuteres resultatene i lys av teori, læreplanen, kvalitative og kvantitative data og undervisningskontekst. Videre arbeid og om undervisningsopplegget er avhengig av en Vernier mini GC, eller tilsvarende gasskromatograf, diskuteres også før konklusjonen av oppgaven.

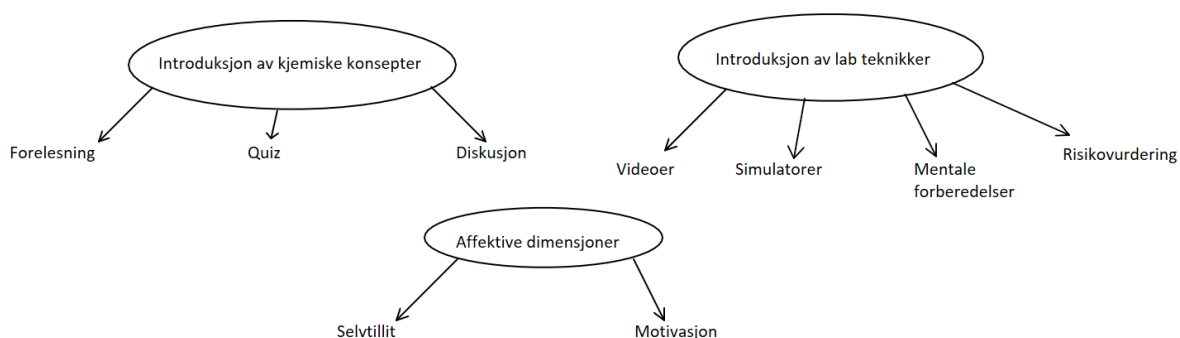
## 2 Teori og tidligere forskning

I denne delen av oppgaven vil relevant teori om prelab, undervisning på lab, og etterarbeid presenteres. I tillegg til teori om bruk av instrumenter på lab, organisk kjemi og statistiske tester brukt i oppgaven. Teorien om organisk kjemi i kjemi programfag vil omhandle hvordan temaet reaksjonsmekanismer, med fokus på substitusjonsreaksjoner, er behandlet i læreverkene for kjemi programfag. Studier som har blitt gjort for å undersøke hvilke konsepter i organisk kjemi som er grunnleggende og vanskelige, studentenes misoppfatninger og resonnementene de bruker for å beskrive og forklare reaksjonsmekanismer.

### 2.1.1 Prelab

Agustian og Seery (2017) har oppsummert resultatet fra 60 rapporter og studier om prelab aktiviteter og utviklet et rammeverk for hvordan prelab bør designes basert på litteraturen de har jobbet med. Prelab er en form for forberedelse *før* lab og kan skje i ulike former avhengig av hva fokuset er (Agustian & Seery, 2017). Figur 1 viser hvilke former for prelab som er typiske for introduksjon av kjemiske konsepter og hvilke som er typiske for å introdusere nye teknikker. For å introdusere nye kjemiske konsepter er det vanlig å gjennomføre en prelab-aktivitet i form av en quiz og diskusjon. For å introdusere nye laboratorieteknikker er videoer, simuleringer, mentale forberedelser og risikovurdering typisk (Agustian & Seery, 2017, s. 519). Felles for alle prelab er å gi elevene struktur til å kunne fokusere på det viktige i laboratoriet (Agustian & Seery, 2017, s. 519). I dette prosjektet er de relevante punktene i introduksjon av kjemiske konsepter quiz, for introduksjon av lab teknikker er mentale forberedelser og risikovurdering relevante, og for affektive dimensjoner er selvtillit i fokus.





Figur 1: Sammendrag av hvilke prelab former typisk brukt ved introduksjon av kjemiske konsepter, kjemiske teknikker og affektive dimensjoner etter Agustian & Seery, 2017, s. 519

Prelab i form av quiz er ofte designet slik at man trenger å få et visst antall riktig for å få prelaben godkjent, og quizen er gjerne en obligatorisk del som elevene må gjennom for å få muligheten til å være på lab (Agustian & Seery, 2017, s. 520). Quizer kan tilrettelegge for læring ved at elevene blir gitt informasjon om hvor de kan lese mer om konseptene som de viser at de ikke behersker gjennom quizen (Agustian & Seery, 2017, s. 520). Quizer med flervalg kan få elevene til å repetere de samme spørsmålene om teori, metode og risiko til de får alle riktig (Agustian & Seery, 2017, s. 520).

En studie gjort av Chittleborough et al. (2007) undersøkte hvordan en online prelab quiz påvirker læring i introduksjonsemner i kjemi, emner tilrettelagt for elever med lite eller ingen forkunnskaper fra kjemi programfag fra videregående skole. Målet var å videreutvikle elevenes koblinger mellom teori og eksperimentelt arbeid og observeres effekten av umiddelbar tilbakemelding i form av quiz. Prelabene hadde gjennomsnittlig åtte spørsmål knyttet til teori og det eksperimentelle, skulle ta 10-20 minutter å fullføre og elevene fikk tilbakemelding umiddelbart etter at de hadde levert siden det var en online quiz. Elevene som svarte riktig fikk tilbakemelding på at de hadde svart riktig og hvorfor det var riktig, mens ved feil svar fikk elevene oppgitt grunnen til at det var feil og det riktige svaret. Hensikten med tilbakemeldingene var å opparbeide og forsterke elevenes selvtillit selv når de jobber med kjemi og tilrettelegge for refleksjon over egen forståelse og læring. Data viste at 70% av elevene var enige i at de lærte og forsto konseptene for forsøket, 59% var enige i at de ble tvunget til å lese forsøksbeskrivelsen og 72% var fornøyde med fleksibiliteten en online quiz gav dem. Det som kom frem som viktigst var den umiddelbar tilbakemelding siden dette gav elevene anledningen til å lære (Chittleborough et al., 2007).

Mentale forberedelser og risikovurdering brukes typisk til introduksjon til laboratorieteknikker. Mentale forberedelser kan være at elevene må gjøre rede for fremgangsmåten. Dette kan de gjøre ved å skrive en tekst med tegninger av instrumenter og utstyr som skal brukes, notater som skal inn på lab i stedet for at de skal ta med skrevet med forsøksbeskrivelsen inn (Agustian & Seery, 2017, s. 521). En annen måte å jobbe med mentale forberedelser er å ha oppgaver i prelaben hvor elevene må redegjøre for hva slags data som blir samlet inn, instrumenter som brukes og deres funksjon (Agustian & Seery, 2017, s. 521).

En studie som testet for ulike strategier for forbedret forståelse av laboratoriearbeidet kom frem til at elever som skisserte fremgangsmåten i forkant av laboratoriearbeidet, fullførte laboratorie raskere enn de som hadde skrevet ned fremgangsmåten ord for ord (Pickering, 1987). I tillegg til dette ble elevene som hadde tegnet grove skisser raskere ferdig enn de som hadde detaljerte skisser. For å vurdere om de som bruker kort tid er slurvete ble karakterene på en praktisk eksamen sammenliknet med tiden brukt og ingen korrelasjon mellom tid og karakter ble observert (Pickering, 1987, s. 522).

Risikovurdering av kjemikalier, utstyr, prosesser og liknede er ofte inkorporert i prelaben. Risikovurdering blir som regel gjort ved at elevene lager en tabell om hva som kan gå galt, hvordan forebygge og hva som skal gjøres når uhellet har skjedd, eller ved at de skriver faresetninger og sikkerhetssetninger, også kalt H-setninger og P-setninger. Alaimo *et al.* delte 2-3 elever i sikkerhetsteam som måtte lage en prelab presentasjon, overvåke gjennomførelsen av det praktiske arbeidet og inspeksjon av etter arbeidet for det tildelt forsøket (Alaimo *et al.*, 2010, s. 856). Alle elevene startet kurset med en introduksjon til sikkerhet på lab for å etablere en felles forståelse. Innholdet omfattet, blant annet kjemisk toksisitet, forebygging av kjemisk utslipp og avfallshåndtering (Alaimo *et al.*, 2010). Resultater fra en anonymisert undersøkelse viste at elever som var i et sikkerhetsteam hadde en signifikant bedre forståelse om sikkerhet enn kontroll gruppen (Alaimo *et al.*, 2010, s. 859).

Selvtillit og motivasjon er affektive domener som en prelab kan ha en innvirkning på. En prelab kan bidra til å øke elevenes selvtillit på lab og motivasjon, men også svekke den. Metoder for å øke elevenes selvtillit i laboratoriearbeidet med en prelab kan være i form av for eksempel videoer og figurer av teknikker eller deler av prosedyrene ved at elevene føler seg mer forberedt (Agustian & Seery, 2017, s. 523). Motivasjon for laboratoriearbeidet kan

bygges opp ved å ha en prelab diskusjon eller tester, men også ved å få elevene interessert i forsøket (Agustian & Seery, 2017).

En studie hadde som mål å finne ut av hvilke faktorer som påvirker elevenes oppfatning av den samlede opplevelsen av laboratoriearbeidet (Barrie et al., 2015, s. 1797). I studien ble det gjennomført en spørreundersøkelse med totalt 3153 respondenter på tvers av 19 institusjoner (Barrie et al., 2015, s. 1801). Spørreundersøkelsen tok i bruk Likert skala i 14 spørsmål for kvantifisering av svar og fem spørsmål var åpne spørsmål for kvalitativ analyse. Det ble rapportert at interesse og ansvar for egen læring er to faktorer som har en sterk korrelasjon med respondentenes oppfatning om hvordan laboratoriearbeid gikk (Barrie et al., 2015, fig. 3)

Agustian og Seery (2017) legger frem fem punkter for utviklingen av en prelab som kan støtte elevene i laboratoriet og hjelpe elevene med å redusere belastninger knyttet til praktisk arbeid. Laboratoriet er en læringsarena med mange faktorer som kan påvirke elevenes samlede opplevelse. De to første punktene er *aktiviteter som støtter læring i lab* og *aktiviteter som bør være en del av den fullstendige lab opplevelsen* (2017). Elever vil se lite nytteverdi i oppgaver som har lite relevans for laben og kan medføre en større kognitiv belastning for elevene (Agustian & Seery, 2017). Chittleborough et al. (2007) med prelab i form av quiz med tilbakemeldinger og Pickering (1987) med forberedelser i form av skjematiske skisser av fremgangsmåten er eksempler på hvordan aktiviteter kan være relevante og bidra til at prelab og laben henger bedre sammen. Det tredje punktet er at *aktivitetene bør ha et fokus på hele oppgaven og ikke bare deler av den* slik at elevene kan være bedre forberedt ved at de kan planlegge og gjøre rede for komplikasjoner som kan oppstå underveis (Agustian & Seery, 2017). Oppgavene bør i all hovedsak presenteres på en enkel måte for at elevene skal ha fokus på oppgavene. Tilleggsinformasjon som ikke er nødvendig utover det å bli kjent med laben bør derfor unngås (Agustian & Seery, 2017, s. 528). Det fjerde punktet er at *aktivitetene skal fokusere på støtte informasjon*. Støtteinformasjon er beskrevet som generell informasjon som er nødvendig for forståelsen av forsøket som for eksempel bakgrunnsteori eller hvordan eksperimentell prosedyre henger sammen med teori (Agustian & Seery, 2017, s. 528). Informasjon om prosedyren omhandler spesifikke detaljer for forsøket som for eksempel hvordan en skal gå frem med å jobbe med spesifikke instrumenter eller prosedyre for behandling av data (Agustian & Seery, 2017). Det femte punktet sier at *aktivitetene i prelaben bør ta tak i det affektive domene*, som i denne artikkelen er motivasjon og selvtillit (Agustian

& Seery, 2017, s. 528). Prelab som gjør at elevene mer trygge på lab kan tilrettelegge for at angst og frykt knyttet til forsøket reduseres ved at elevene vet hva de skal gjøre og hvilke kjemikalier de jobber med (Agustian & Seery, 2017, tab. 1).

### 2.1.2 Etterarbeidet

Ett etterarbeid i form av rapport eller skriftlige notater kan hjelpe læreren med å vurdere det praktiske arbeidet. Et av kompetansemålene i læreplanen for kjemi 2 er at elevene skal kunne «*planlegge og gjennomføre forsøk, drøfte metode og tiltak for å redusere risiko og vurdere usikkerhet og feilkilder i egne og andres forsøk*» (UDIR, 2021d). Et skriftlig etterarbeid kan bidra til vurdering av hvorvidt eleven har klart å kommunisere frem hensikten og resultater, anvende kjemikunnskaper og trekke frem trender fra resultatene (Ringnes & Hannisdal, 2014, s. 193). Andre elementer som kan vurderes er elevens evne til å konkludere ut i fra observasjoner, resultater og egen kunnskap, og drøfte validiteten av resultatene basert på metode og feilkilder (Ringnes & Hannisdal, 2014, s. 194). Flere elever misliker rapportskrivning og en fullstendig IMRAD-rapport kan dempe motivasjonen for det praktiske arbeidet (Ringnes & Hannisdal, 2014, s. 195). Etterarbeidet bør i tillegg settes opp på en måte som får elevene til å bruke egne ord og reflektere over eget arbeid (Ringnes & Hannisdal, 2014).

En artikkel fra 1987 deler opp skriftlige oppgaver i tre nivåer; lav, middels og høy (Rosenthal, 1987). På lavt nivå er definisjoner, oppramsinger og kronologi, oppgaver som ikke krever at den som utfører oppgaven skal se på eller utforske forhold mellom ulike faktorer eller deler av pensumet (Rosenthal, 1987). Klassifisering, oppsummering eller sammendrag og sammenlikning er på middels nivå, dette er oppgaver hvor skribenten må finne meningen med ulike deler (Rosenthal, 1987). Analyse og drøfte oppgaver er oppgaver på et høyt nivå som krever at skribenten har godt kjennskap til konseptene og teori for å trekke linjer for å analysere og diskutere (Rosenthal, 1987). Disse nivåene er parallelle med de kognitive domene i Blooms taksonomi (Bloom, 1956). I Blooms taksonomi er kategoriene i stigende kognitivt nivå faktakunnskap, forståelse, anvendelse, analyse, syntese og vurdering (Bloom, 1956, s. 18).

Det er viktig for personen som skal se på rapportene å være klar over hvilket kognitive nivå som kreves i oppgaven og sørge for at dette kommuniseres til eleven siden elever har en

tendens til å skrive på et lavere kognitivt nivå ved at elevene for eksempel skriver definisjoner i stedet for å sammenlikne hvordan de er like og ulike eller skriver kronologisk hva som ble gjort i stedet for et sammendrag (Rosenthal, 1987, s. 997). Evnene som det ønskes at elevene skal gå ut med etterarbeidet med laboratorie er evnen til å trekke konklusjoner fra data som er pålitelige og gyldige, og evnen til å bygge opp et resonnement slik at argumenter kan presenteres på en overbevisende måte (Rosenthal, 1987). En rapport med introduksjon, metode, teori, data og dataanalyse, resultater og diskusjon vil ha deler som ligger på et middels nivå og en del kan ligge på et høyt nivå (Rosenthal, 1987). Introduksjon, metode, teori og data vil ligge på et middels nivå, mens diskusjon og dataanalyse vil være avhengig av oppgaven (Rosenthal, 1987, s. 997). Hvis en oppgave i diskusjonsdelen er å sammenlikne data med litteraturverdier er oppgaven på et middels nivå, men hvis oppgaven er å trekke konklusjoner fra data og resultater for å svare på en problemstilling som ikke har et kjent riktig svar så er oppgaven på et høyt nivå (Rosenthal, 1987).

Rosenthal anbefaler å ikke å ha rapporter som kutter ut introduksjon, metode og teori siden dette er deler av en rapport som kan hjelpe elevene med å forstå forsøket (1987, s. 998). Ferdig lagde datatabeller skal også unngås for å tilrettelegge for å øke elevenes evne til å se etter relasjoner mellom data og for at elevene skal få følelsen av eierskap til egne data (Rosenthal, 1987). Rapporten bør ha en diskusjonsdel for at eleven også skal skrive på et høyt nivå for å tilrettelegge for utviklingen av intellektuell modenhet, selvstendighet og skriveferdigheter (Rosenthal, 1987, s. 998). Det er også viktig at lærerne er eksplisitte om forventingene og punktene som er viktige ved at elevene får et rammeverk å forholde seg til, som for eksempel rammeverk for kommunikasjon og presentering av data (Rosenthal, 1987). Når elevene skriver en rapport kan det tilrettelegge for at elevene må tenke over hva som har blitt gjort, hvorfor det ble gjort på den måten, hva de har lært og hvilke feil som de har gjort (Slocum & Jacobsen, 2010).

En studie undersøker hvordan stillasbygging kan lære studenter, som aldri har skrevet en fullstendig rapport, å skrive en formel IMRAD-rapport (Deiner et al., 2012). For å gi eksplisitt informasjon om hva de ulike delene i rapporten skal kommunisere til leseren blir det ofte delt ut et rammeverk eller en sjekklister om de ulike delene. Ved å gi dette rammeverk kan elever og studenter skrive mer målorientert og organisert (Deiner et al., 2012). I studien var spørsmålene stilt til de ulike delene tett knyttet til hva de ulike delene skal kommunisere til leseren slik at studenten vil forbinde liknede spørsmål til de spesifikke delene (Deiner et al.,

2012). Stillasene vel dermed være disse spørsmålene som studentene kan stille seg selv når de skal skrive en rapport på egen hånd. Implementering av stillasene skjedde gradvis over 11 laboratorieøvelser og fra øvelse 12 til 15 skrev studentene fullstendige rapporter. Etter den første laben skrev studentene et abstrakt av øvelsen og siden fokuset er stilasbygging ble elevene spurt om hva de gjorde og hvorfor, hva var resultatene og hva kan de konkludere. Elevene skulle deretter skrive svarene på spørsmålene som et avsnitt i passiv form og med formelt språk. For øvelse 2 og 3 skrev studentene en rapport som inneholdte tittel, abstrakt og resultater, og introduksjon ble implementert i øvelse 4 til 6. Introduksjon ble så byttet ut med eksperimentelt for øvelse 7 og 8. For øvelse 9 og 10 skrev studentene tittel, abstrakt, resultater og diskusjon, mens for øvelse 11 skrev elevene konklusjon og referanser i stedet for diskusjon. 80% av studentene viste at de kunne skrive rapporter på universitetsnivå, mens de som ikke hadde fått rapporten sin godkjent etter kriteriene gitt fortsatt viste bevissthet over struktur og kommunikasjonsmål (Deiner et al., 2012, s. 1514). Resultatene fra studien er støttende for bruk av stillasbygging for å lære studenter å skrive rapport (Deiner et al., 2012).

### **2.1.3 Bruk av instrumenter på lab**

I læreplanen for kjemi 2 står det ikke eksplisitt at elevene skal jobbe med instrumenter i kompetansemålene eller i kjerneelementene (Utdanningsdirektoratet, 2020). Avhengig av hva slags ressurser en kjemi lab har på videregående skole kan pH-sensor, temperatursensor og spektrofotometer være instrumenter som elever blir kjent med i løpet av faget ved at de kan brukes i forsøk i for ulike kompetansemål.

Warner *et al.* utforsket to deler av lab-undervisningen knyttet til instrumentering (2016). Den første delen gikk ut på at elevene skulle få kunnskap om instrumentene brukt i kurset, mens den andre delen gikk ut på at elevene skal kunne ta avgjørelser om instrumentet brukt for løse kjemiske problemer, altså anvende kunnskap fra den første delen (Warner et al., 2016, s. 1223). Universitets elever svarte på undersøkelsen på starten av organisk kjemi 1 og igjen på slutten av organisk kjemi 2. Svar fra undersøkelsen viste at det var en forskjell på om elevene fikk bruke instrumentene, og samle inn og analysere data selv enn å passivt lære om instrumentene (Warner et al., 2016, s. 1230). Andre data fra undersøkelsen viser at kunnskap om prøveoppbevaring, hvordan instrumentet fungerer og datainnsamling avtok når elevene ikke jobbet med instrumentene (Warner et al., 2016, s. 1230). Dette gjaldt selv om instrumentet hadde vært en del av forelesningene og diskusjoner. Svar fra

spørreundersøkelsen som har betydning for del 2 viser at eksponering for instrumenter ikke er nok til at elevene skal kunne anvende kunnskap om instrumentet for å løse problemer (Warner et al., 2016). Tvert imot ble det oppfattet at elevene ikke opplevde større effektivitet i problemløsning ved større vektlegging på instrumentering eller ved flere forsøk som bruker samme instrumentering. Nye eksperimenter som bruker andre instrumenter enn tidligere brukt av elevene med fokus på problemløsning ser ut til å tilrettelegge for problemløsning i større grad. Hvis kunnskap om instrumentering er en vesentlig del av kurset så kan det å jobbe praktisk med instrumenter være avgjørende for at elevene skal tilegne seg teknisk kunnskap (Warner et al., 2016).

Å jobbe med ukjente instrumenter kan være skummelt for mange elever og det er viktig at det settes av tid til at elevene blir kjent med instrumentet i stedet for at de får en kort introduksjon eller demo som fungerer godt for enkelte (King et al., 2012, s. 728). En metode for å få elevene til å bli kjent med instrumentet på forhånd og trene på å bruke det kjemiske språket, er at elevene skal lage mini-manualer (King et al., 2012). Manualen bestod av en introduksjon, et blokk diagram av ulike deler av instrumenteringen, skjematisk diagram av en del av blokk diagrammet, informasjon om hvordan instrumentet brukes og informasjon om vedlikehold av instrument (King et al., 2012, s. 729). Informasjon om instrumentet dekket prosedyren for hvordan man starter opp og avslutter instrumentet, feil å unngå og sikkerhetstiltak (King et al., 2012, s. 729). Delen for vedlikehold av instrument er en del hvor elevene skal ta i bruk manualen fra produsenten og bestemme hvordan instrumentet skal vedlikeholdes, som krever at elevene utvikler evnene til å lese og tolke det tekniske språket brukt (King et al., 2012).

En studie rapporterte at elever har en positiv holdning til bruk av instrumenter (L. S. Miller et al., 2004). Elevene følte at instrumentene var en måte å koble kjemi med den virkelige verden og utvikle praktiske ferdigheter som er relevante senere i livet (L. S. Miller et al., 2004). Det ble også rapportert av elevene at en grundig beskrivelse av instrumentet og hvordan det fungerte i forkant av laben bidro til at relevante kjemiske konsepter var lettere å forholde seg til (L. S. Miller et al., 2004, s. 1808).

Det ble før argumentert for praktisk arbeid i skolen siden skolen skulle utdanne folk til naturvitenskaplige yrker og studier (Ringnes & Hannisdal, 2014, s. 180). På den tiden var blant annet titrering en svært relevant del av det praktiske arbeidet siden kjemikere på den tiden ikke hadde de instrumentene de har i dag, for eksempel en auto titrator. Skolen skal

være en arena der elevene tilegner seg kunnskap om typiske laboratorieteknikker og generelle ferdigheter, dette blir gjort gjennom praktisk arbeid (Ringnes & Hannisdal, 2014, s. 180). Samtidig kan praktisk arbeid stimulere flere sanser, utfordrer evner og være motiverende for elevene (Ringnes & Hannisdal, 2014, s. 182). Dette kan bidra til at kunnskapen elevene tilegner seg er mer sammensatt og at mulighetene for læring øker (Ringnes & Hannisdal, 2014, s. 182). Når elevene opplever mestring i aktivitetene kan dette utvikle selvtillit som er overførbart til andre situasjoner (Ringnes & Hannisdal, 2014). Det er viktig å nevne at det er ingen korrelasjon mellom elevens teoretiske faglig utbytte og tiden brukt på det praktiske arbeidet (Ringnes & Hannisdal, 2014, s. 194). Samtidig er praktisk arbeid tidskrevende og ressurskrevende i form av arbeid og utstyr (Ringnes & Hannisdal, 2014).

#### **2.1.4 Kognitiv belastning i laboratorie**

Kognitiv belastning kan deles inn i tre kategorier, *intrinsic load* (iboende belastning), *extraneous load* (ytre belastning eller støy) og *germane load* (strukturerende belastning). Iboende belastning defineres som kognitiv belastning som skyldes kompleksiteten til tema ved at flere elementer interagerer med hverandre (Sweller et al., 2019, s. 264). Ytre kognitiv belastning defineres som belastning som kommer av design, organiseringen og utførelsen av aktiviteten, som medfører at elevene må fokusere på disse variablene i stedet (Sweller et al., 2019, s. 264). Strukturerende belastning defineres som den kognitive belastningen av å bearbeide stoff og integrere det med eksisterende kunnskapsstrukturer (Sweller et al., 2019, s. 264).

Tidligere ble det nevnt at laboratoriet er en læringsarena med mange faktorer som kan påvirke elevenes samlede opplevelse. Disse faktorene kan øke den kognitive belastningen hos elevene. I et forsøk kan håndtering av instrumenter og utstyr, den skriftlige forsøksbeskrivelsen, de muntlige beskjedene, tilegnelse av ferdigheter, sette teori i kontekst og analyse av eksperimentelle data overbelaste arbeidsminne til elevene (Ringnes & Hannisdal, 2014, s. 196). Måten praktisk informasjon presenteres til elevene kan påvirke elevenes ytre belastning. Hvis det er to eller flere kilder som elevene må kombinere for å finne informasjon for forsøksprosedyren (*split-attention effect*) vil dette øke den ytre belastningen (Paterson, 2019, s. 2511).



Davidowitz og Rollnick (2001) gjorde en undersøkelse av effekten av flytdiagram for læring i laboratoriet. Første- og andreårs studenter måtte lage flytdiagram i forkant av flere forsøk som skulle brukes i stedet for en typisk forsøksbeskrivelse. Spørreundersøkelsen viste at studentene mente at det hjalp dem med å se det helhetlige bildet, tidsbruk og at flytdiagrammene fungerte som en forberedelse til det praktiske arbeidet (Davidowitz & Rollnick, 2001).

Hvis den ytre belastningen skulle bli for stor for elevene slik at de følger fremgangsmåten uten å reflektere over det de gjør, vil læringsutbyttet fra det praktiske arbeidet være lavt i forhold til det hva det kunne ha vært (Ringnes & Hannisdal, 2014, s. 196). Grep som kan redusere støy for elevene er reduksjon i informasjon elevene får, mulighetene til å forberede seg på teori og praktiske teknikker (Ringnes & Hannisdal, 2014, s. 197).

## 2.2 Reaksjonsmekanismer i pedagogisk kontekst

### 2.2.1 Reaksjonsmekanismer i læreverkene

De tre mest utbredte lærebøkene for kjemi programfag på videregående skole er *Kjemien Stemmer*, *Kjemi* og *Aqua*. I alle tre læreverkene er reaksjonsmekanismer et tema i kjemi 2 bøkene, og derfor vil *Kjemien Stemmer 2*, *Aqua 2* og *Kjemi 2* være lærebøkene brukt i denne delen. Her vil det redegjøres for hvordan de ulike læreverkene presenterer begrepene nukleofil, elektrofil og reaksjonsmekanismer.

*Kjemien Stemmer 2* har et kapittel som heter *Reaksjonstyper og synteser i organisk kjemi* (Knutsen et al., 2022a). Kapitlet starter med å presentere hva som kjennetegner de ulike reaksjonstypene etterfulgt av en generell introduksjon til reaksjonsmekanismer. I den generelle introduksjonen forklares hva de bøyde pilene indikerer, hvordan atomer kan få negativ og positiv ladning, og hvordan elektrostatiske krefter kan brukes for å forstå en reaksjonsmekanisme. I *Kjemien Stemmer 2* presenteres substitusjonsreaksjoner i sammenheng med alkaner og halogenerte alkaner. Substitusjonsreaksjoner blir ikke nevnt i forbindelse med temaet alkoholer. Begrepene *nukleofil* og *elektrofil* blir ikke brukt eller definert i kapitlet.

*Aqua 2* har et kapittel som heter *Reaksjonstyper i organisk kjemi* (Steen et al., 2022a). Kapitlet starter med å presentere de ulike reaksjonstypene og hva som kjennetegner dem. I

stedet for å ha et delkapittel som *Alkaner og substitusjonsreaksjoner* i *Kjemien Stemmer 2*, har *Aqua 2* et delkapittel som heter *Substitusjonsreaksjoner*. I dette delkapittelet forklares reaksjonsmekanismen for substitusjonsreaksjoner. Her defineres begrepet *nukleofil*, mens *elektrofil* får et eksempel på hva det kan være. «*En nukleofil er en forbindelse som gir fra seg elektroner til den elektrofile forbindelsen*» (Steen et al., 2022a, s. 178). Det nevnes også at nukleofilen kan være et molekyl med et ledig elektronpar eller et negativt ion. Elektrofil blir beskrevet med eksempler som karbonyl og  $H^+$  (Steen et al., 2022a, s. 178). Boken forklarer hva som menes når det tegnes en pil fra elektronene på nukleofilen til elektrofilen.

*Kjemi 2* har et kapittel som heter *Organiske reaksjoner og analyse* (Haraldsrud et al., 2022). Kapittelet starter med et delkapittel som presenterer de ulike reaksjonstypene og hva som kjennetegner dem. Reaksjonsmekanismer er et eget delkapittel og her presenteres først reglene for hvordan reaksjonsmekanismer skal tegnes, i hovedsak hvordan pilene skal tegnes, og definisjon av elektrofil og nukleofil. Nukleofilen defineres som en elektronrik forbindelse som kan donere elektronpar, altså en forbindelse med høy elektrontetthet (Haraldsrud et al., 2022, s. 184). Elektrofile forbindelser beskrives som forbindelser som elektronfattige og kan ta imot elektronpar, altså forbindelser med lav elektrontetthet (Haraldsrud et al., 2022, s. 184). Deretter presenteres reaksjonsmekanismen for substitusjonsreaksjoner.

### **2.2.2 Tidligere forskning knyttet til reaksjonsmekanismer og læring**

En studie ble gjort for å undersøke hvilke konsepter i kjemi som er grunnleggende for et innledende emne organisk kjemi på universitets nivå (Duis, 2011). Det ble også undersøkt hvilke konsepter studenter har vanskeligheter med og hvilke misoppfatninger som har blitt observert (Duis, 2011). I studien deltok 23 lærere som underviste i begynneremner i organisk kjemi for med studenter som har hatt tilsvarende generell kjemi tidligere i studieløpet. Flere enn halvparten av deltagerne (16 av 23) svarte at reaksjonsmekanismer er et grunnleggende konsept innad i organisk kjemi, etterfulgt av korrelasjon mellom struktur og egenskaper (10 av 23). Reaksjonsmekanismer var også det konseptet som flest lærere (15 av 23) mente var tema studenter hadde størst vanskeligheter med. Misoppfatninger nevnt som er relevante til kjemi programfag var at C-atomer har mer eller mindre enn fire bindinger og at elektroner beveger seg mot negative eller nøytrale områder (Duis, 2011, s. 347).

Dood og Watts (2022) har sammenfattet hvordan studenter beskriver og forklarer reaksjonsmekanismer i forskningslitteratur for å undersøke hvilke resonnementer studenter bruker for å beskrive og forklare reaksjonsmekanismer. Artikkelen er en *scoping review*, som innebærer at studier med relevante forskningsspørsmål identifiseres og funnene fra studiene kartlegges og oppsummeres. I denne artikkelen oppsummeres resultatet fra 73 artikler (Dood & Watts, 2022, s. 2865).

De mest vanlige strategiene for å forklare reaksjonsmekanismer er teleologisk argumentasjon, antropomorfisme, mekanistisk argumentasjon og kausal argumentasjon (Dood & Watts, 2022, s. 2868). Teleologisk argumentasjon er argumentasjon som bygger på at noe skjer eller har en form for å oppnå et mål. Et eksempel på slik argumentasjon er at et reaksjonstrinn må skje fordi det skal dannes et nøytralt produkt. Antropomorfisme er å gi menneskelig egenskaper eller karakterer, som følelser, til noe som ikke er et menneske. Et eksempel på slik argumentasjon er at fluor har *lyst på* elektroner for å oppfylle oktett. Typiske teleologiske og antropomorfe forklaringer bruker ofte oktett regelen for å begrunne hvorfor reaksjoner skjer. Mekanistisk argumentasjon av reaksjonsmekanismer, eller hvordan reaksjonen foregår, bygger på at elektroner flytter på seg og bindinger brytes og dannes. Studenter som forklarer hvordan en reaksjon skjer ved bruk av de kjemiske og/eller fysiske egenskapene til reaktantene forklarer med *kausal* (kausal fra casual=årsak) argumentasjon. Flere studier legger vekt på viktigheten av mekanistisk og kausal argumentasjon i undervisning siden de betraktes som mer vitenskapelige enn teleologisk og antropomorfe argumentasjon (Dood & Watts, 2022, s. 2869). Enkelte studier legger vekt på eksplisitte og implisitte egenskaper ved forbindelsene i reaksjonsmekanismen, hvor eksplisitte egenskaper er visuelt representert mens implisitte egenskaper må utledes fra eksplisitte egenskaper. Dette kan skape ulik kompleksitet i argumentasjon avhengig av hvilke egenskaper ved forbindelsene elevene fokuserer på. Kompleksiteten av argumentasjonene vil også være avhengig av om elevene kun beskriver hva som skjer, forklarer kun med eksplisitte egenskaper eller om elevene bruker de implisitte egenskapene til å forklare hvorfor reaksjonen skjer (Dood & Watts, 2022).

Nukleofil og elektrofil er begreper studenter ofte klarer å definere og gi eksempler på (Dood & Watts, 2022, s. 2870). Samtidig kan det være vanskelig for studenter å beskrive nukleofiler og elektrofiler utover eksplisitte egenskaper eller bruke dem aktivt (Dood & Watts, 2022, s. 2870). Den eksplisitte egenskapen som brukes mest av studenter for å avgjøre om forbindelser er en nukleofil eller en elektrofil er formel ladning, mens implisitte egenskaper som polaritet

og delvis ladninger blir brukt i mindre grad (Dood & Watts, 2022, s. 2870). Noen elever bruker teleologisk argumentasjon for å forklare hvorfor forbindelser må få en positiv eller negativ ladninger, mens andre trenger å se reaksjonsmekanismen for å bestemme hvilke forbindelser som er nukleofile og hvilke som er elektrofile (Dood & Watts, 2022, s. 2870). Studenter har ofte fokus på hva nukleofilen «gjør» når de forklarer reaksjonsmekanismer. Dette kan gjenspeile det elevene har lært i sin egen undervisning, som kan føre til at studenter sliter med å identifiserer og definere elektrofile (Dood & Watts, 2022).

For å tilrettelegge for utviklingen av mekanistisk argumentasjon hos elevene kan oppgaver spørre eksplisitt om elevenes forklaring til reaksjonsmekanismer med reaksjonspiler (Dood & Watts, 2022). Hvis produktet er vist i reaksjonsmekanismen kan det være en større sannsynlighet at elevene bruker teleologisk argumentasjon, men hvis produktet er noe elevene må komme frem til kan dette øke sannsynligheten for at det brukes en mekanistisk eller kausal argumentasjon (Dood & Watts, 2022).

## **2.3 Gasskromatografi**

Instrumentet som ble brukt i forsøket er en Vernier mini GC Plus, slik at denne delen vil ta for seg noe generell informasjon om gasskromatografi, informasjon om Vernier mini GC Plus, og en studie om bruk av Vernier mini GC Plus i undervisning.

### **2.3.1 Generelt om gasskromatografi**

Kromatografi er analyse- og separasjonsmetoder som baserer seg på at ulike molekyler skilles på grunn av ikke-uniforme kjemiske og fysiske egenskaper som for eksempel polaritet, ladning eller kokepunkt. Forbindelsene i prøven blir separert ved at de beveger seg i ulik hastighet i den mobile og stasjonære fasen på grunn av de ikke-uniforme kjemiske og fysiske egenskapene (Lundanes et al., 2014, s. 2). For å oppnå god separasjon er det viktig at forskjellen i hastighet er stor nok da ulik hastighet vil gi ulik retensjonstid. Retensjonstid er tiden det tar for en forbindelse å bli detektert etter injeksjon i et kromatografisk system. Forbindelser som har høy affinitet med den stasjonære fasen vil ha lengre retensjonstid enn en forbindelse som lav affinitet med den stasjonære fasen. Retensjonsrekkefølgen baserer seg til retensjonstiden på forbindelsene i prøven, som regel fra lavest til høyest retensjonstid (Lundanes et al., 2014, s. 2). For å kvalitativt identifisere forbindelser i en prøv kan

retensjonstiden sammenliknes med retensjonstiden til standarder. For kvantitativ bestemmelse av konsentrasjon til en analytt kan gjøres ved å lage kalibreringskurver og intern standard. De dominerende teknikken er væske- og gasskromatografi.

Egnede forbindelser for gasskromatografi er gasser og flyktige stoffer i organiske løsninger. En gasskromatograf (GC) består som regel av gassflaske med bæregassen, reduksjonsventil, injektor, en kolonne i en kolonne ovn for temperaturregulering og en detektor koblet til en datamaskin med en programvare som lager kromatogram (Lundanes et al., 2014, s. 18).

Separasjon i gasskromatografi kan følge en av to prinsipper, adsorpsjonskromatografi (GSC) eller fordelingskromatografi (GLC) (Lundanes et al., 2014, s. 17). GSC brukes ofte for bestemmelse av gasser og forbindelser med lav molar masse som absorberes delvis i den stasjonære fasen, mens GLC er for bestemmelse av forbindelser som er flyktige og termisk stabile som blir ulikt fordelt mellom den mobile og den stasjonære fasen (Lundanes et al., 2014).

Bæregassen er den mobile fasen i en GC og de tre mest utbredte bæregassene som brukes er hydrogen ( $H_2$ ), nitrogen ( $N_2$ ) og helium (He) (Lundanes et al., 2014, s. 17). Bæregassen skal helst være inert for å ikke interagere med forbindelsene i prøven eller med den stasjonære fasen. Den stasjonære fasen i en GC er i kolonnen og oppbyggingen vil være avhengig av om det er GSC eller GLC. I GSC er aktivt karbon, molekylsiler eller porøse polymer typiske stasjonære faser. I GLC er den stasjonære fasen enten polar eller upolar og kan være silikonbaserte, som for eksempel silikon oljer og silikon polymerer, eller ikke silikonbaserte, som for eksempel polyetylenglykol, squalane eller polyester.

Injeksjonssystemet i en GC vil avhenge av hvilken type kolonne som brukes og prøven sammensettingen (Lundanes et al., 2014, s. 19). Kolonnene som er mest brukt er kapillær kolonner mens pakkede kolonner brukes veldig lite i dag. Det er tre ulike kapillær kolonner; wall-coated open tubular (WCOT), support-coated open tubular (SCOT) og porous-layer open tubular (PLOT) (Lundanes et al., 2014, s. 26). WCOT er den mest brukte i GLC, men PLOT kan også brukes i GLC. Fordelen med PLOT er at den har en høyere prøvekapasitet, men ulempen er at den har lavere effektivitet. SCOT brukes i GSC (Lundanes et al., 2014, s. 26). For pakkede kolonner brukes fordampnings-injektor eller loop-injektor, mens kapillær kolonner bruker splitt, splittfri eller on-column (Lundanes et al., 2014, s. 19).

Detektorer i en GC kan være massesensitive eller konsentrasjonssensitive (Lundanes et al., 2014, s. 27). Massesensitive detektorer er detektorer som gir signal som er proporsjonalt med massen av analytten og uavhengig av gassens hastighet, mens konsentrasjonssensitive detektorer gir signaler der arealet er en funksjon av massen og gassens hastighet (Lundanes et al., 2014). Massesensitive detektorer som brukes i GC er flammeionisasjonsdetektor og nitrogen-fosfordetektor (Lundanes et al., 2014).

### 2.3.2 Vernier mini GC Plus

Vernier mini GC Plus er en GC designet av Vernier for undervisning (*Vernier mini GC Plus - User Manual*, 2018, s. 6). Den mobile fasen er luften i rommet og den upolare stasjonære fasen er av silikon polymerere. Kolonnen er *High-quality Restek MXT-1 Stainless* kapillær kolonne. Denne kolonnen fungerer for temperaturer mellom 30° C til 160° C med en maks temperaturstigning på 10° C i minuttet. Injektorsystemet er on-column og det anbefalte injeksjonsvolumet er mellom 0.01 µL til 0.6 µL for væsker. Detektoren i Vernier mini GC Plus er utstyrt med en «chemicapacitive» detektor, som har en MEMS chip med to moduser for sensitiviteten. I motsetning til standard modus som har sensitivitet for polare forbindelser som ketoner, alkoholer og estere, har høy sensitivitet modus høyere sensitivitet for halogenerte alkaner og substituerte aromater (*Vernier mini GC Plus - User Manual*, 2018, s. 2). I arbeidet gjort med Vernier mini GC Plus ble standard modus brukt.

Vernier mini GC Plus som er brukt i denne oppgaven er en andregenerasjons mini GC, og Vernier har kommet ut en ny utgave, GO Direct Mini GC. GO Direct Mini GC har en *Restek MXT-502.2* kolonne, en stasjonær fase som er selektiv for flyktige organiske forurensninger, lette hydrokarboner og aromater. GO Direct Mini GC har også en annen detektor enn Vernier mini GC Plus som heter «*Seacoast Science carbon-nanotube chemiresistive*» detektor. Denne detektoren er sensitive til polare og upolare forbindelser (*Go Direct Mini GC - User Manual*, 2020).

### 2.3.3 Gasskromatografi i læreverkene

De tidligere omtalte læreverkene, *Aqua 2*, *Kjemi 2* og *Kjemien Stemmer 2*, har noe om kromatografi i ulik grad, men alle bøkene har en figur av instrumenteringen til en GC og et kromatogram. Alle lærebøkene bruker også begrepene stasjonær fase, mobil fase,

retensjonstid og kromatogram (Haraldsrud et al., 2022; Knutsen et al., 2022a; Steen et al., 2022a). De trekker også frem hvordan egenskapene til forbindelsene, som polaritet og kokepunkt, kan interagere med kolonnen som gir hver forbindelse ulik retensjonstid avhengig av kolonne.

Studiebøkene for *Kjemien Stemmer 2* og *Aqua 2* har forsøk som omhandler kromatografi, derav *Kjemien Stemmer 2* har et forsøk med Vernier mini GC Plus. Hensikten med forsøket er å identifisere ukjente stoffer i en blanding ved å injisere kjente stoffer. Elevene skulle diskutere mønster ved retensjonsrekkefølgen og sammenlikne retensjonstider av kjente stoffer til den ukjente blandingen for å bestemme hvilke stoffer som var i blandingen (Knutsen et al., 2022b, s. 118). *Aqua 2 Studieboken* har forsøk med kromatografi teknikkene tynnsjikt-kromatografi og papirkromatografi. Papirkromatografi forsøket gikk ut på å separere fargestoffer etter en prøveopparbeidelse, mens tynnsjikt-kromatografi forsøket gikk ut på å identifisere aminosyrer i en ukjent blanding (Steen et al., 2022b). *Kjemi 2* har ingen forsøk som omhandler kromatografi (Haraldsrud et al., 2022).

### **2.3.4 Implementering av Vernier mini GC Plus på videregående skole**

I en studie ble implementeringen av Vernier mini GC undersøkt i kjemi programfag på videregående skole (Connor et al., 2019). Forsøket som ble gjort startet med at elevene gjorde kvalitative observasjoner av ulike blandinger av estere for å utvikle en hypotese. Deretter ble blandingen injisert i Vernier mini GC Plus for kvalitativ og kvantitativ analyse av forbindelsene i de ukjente blandingene A og B. Forsøket ble gjort på 2 en-timers lab økter. I den første økten utviklet elevene en hypotese om hvilke forbindelser som var i A blandingen, mens i den andre økten skulle elevene utvikle en hypotese om hvilke forbindelser og prosentandelen av hver forbindelse i B blandingen. Forbindelsene ble identifisert ved å sammenlikne retensjonstider med en referanse tabell utviklet for forsøket og kvantifisert ved bruk av intern standard i blandingen og kalibreringskurver utviklet for forsøket.

Elevene svarte på en undersøkelse med påstander og en Likert skala som rangert fra 1 til 4, hvor 1 var *veldig uenig* og 4 var *veldig enig*. Mange av elevene likte at de fikk jobbe praktisk med et instrument og svarte at favoritt tingen med eksperimentet var å lukte på forbindelser og å bruke kromatografi (Connor et al., 2019, s. 1711). Flere av studentene var også enige i påstanden om at forsøket bør gjentas neste år som tyder på at elevene likte forsøket. Den

gjennomsnittlige poengsummen for påstanden om forsøket har økt interessen i å lære kjemi var 3.08 av 4. Det ble spekulert om den lave poengsummen for påstanden om forsøket økte interessen for en grad eller en jobb innen naturvitenskap for videregående skole var på grunn av at det var obligatorisk (Connor et al., 2019). Flere studenter rapporterte vanskeligheter med å forstå kromatografi og manglet matematiske ferdigheter som gjorde etterarbeidet krevende. Samtidig jobbet elevene med et ukjent instrument, som kan være grunnen til at flere studenter mente at den vanskeligste delen med forsøket var bruken av instrumentet.

## 2.4 Statistikk

I dette del kapitlet presenteres F-test og T-test, to statistiske tester som brukes for å evaluere eksperimentelle resultater for å bestemme om det er en signifikant forskjell mellom to datasett. Disse testene ble gjort i Excel i denne masteroppgaven.

Testene kan blant annet brukes til å bestemme om en metode gir et større utbytte enn en annen metode. Dette omtales som en ensidig test siden det bare testes om det eksperimentelle gjennomsnittet har en høyere verdi enn referanse verdien (J. N. Miller et al., 2018, s. 45). Det er også mulig å bestemme om to metoder gir samme utbytte. Dette kalles en tosidig test. Her blir det testet om forskjellen mellom det eksperimentelle gjennomsnittet og referanse verdien vil være positive eller negative (J. N. Miller et al., 2018, s. 45). Null hypotesen ( $H_0$ ) er en hypotese som defineres før testene blir gjort for å avgjøre om testen er ensidig eller tosidig (J. N. Miller et al., 2018, s. 38).

T-testen brukes for å vurdere om det er en signifikant forskjell mellom to datasett. Det er tre typer T-tester. I en T-test sammenliknes det eksperimentelle gjennomsnittet med en sann verdi (J. N. Miller et al., 2018, s. 38). I en annen T-test sammenliknes to eksperimentelle gjennomsnitt, og det er denne testen der det kreves at en F-test blir gjort på forhånd for å avgjøre om det er signifikant forskjell mellom standardavvikene til datasettet (J. N. Miller et al., 2018, s. 39). Den tredje formen for T-test er paret T-test, som går ut på å sammenlikne metoder ved å analysere ulike prøver, der prøvene ofte har samme analytt i ulike konsentrasjoner (J. N. Miller et al., 2018, s. 43). T-testen relevant for denne masteroppgaven er T-testen som sammenlikner to eksperimentelle gjennomsnitt



T-testen, som sammenlikner to eksperimentelle gjennomsnitt, starter opp med å bestemme om det er en tosidig eller ensidig test. Deretter brukes en F-test for å avgjøre om det er signifikant forskjell mellom standardavvikene. Hvis det ikke er en signifikant forskjell mellom standardavvikene (antatt lik varians) beregnes det samlede estimatet av standardavviket:

$$s = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)}$$

Videre beregnes t-verdien:

$$t_{calc} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

Frihetsgradene beregnes ved  $n_1 + n_2 - 2$  (J. N. Miller et al., 2018, s. 40).  $H_0$  forkastes hvis  $t_{calc} > t_{tabell}$ , som avhenger om det er tosidig eller ensidig. Excel vil vise både ensidig og tosidig t-verdier.

En F-test brukes for å sammenlikne standardavviket mellom to datasett og forutsetter at populasjon er normal (J. N. Miller et al., 2018, s. 47). For å bestemme om det er en signifikant forskjell mellom to datasett blir  $H_0$  satt til;

$$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

og den statistiske F, forholdet mellom standardavvikene, beregnes som;

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$$

Hvor s er standardavviket. F skal alltid være større eller lik 1. Standardavvikene blir plassert i brøkene for å oppnå  $F \geq 1$ , altså den største variansen plasseres i telleren og den minste i nevneren. Antall frihetsgrader i telleren er  $n_1 - 1$  og i nevneren er frihetsgradene  $n_2 - 1$  (J. N. Miller et al., 2018, s. 47). Hvis  $H_0$  er sann vil F være nærme eller tilsvarende 1. Større tall kan skyldes tilfeldigheter, men hvis den beregnede F verdien er høyere enn F-kritisk, en verdi typisk hentet fra tabeller, så må  $H_0$  forkastes siden det er lav sannsynlighet for at forskjellen skyldes tilfeldige feil. (J. N. Miller et al., 2018, s. 47). Excel viser kun den ensidige verdien for F-testen dermed må man slå opp i en tabell for å finne den tosidige F-kritisk verdien. Når den beregnede F verdien er lavere enn den F-kritiske verdien for tosidig eller ensidig test så

vil det si at metoden har lik varians og T-test med antatt lik varians kan brukes. Hvis ikke må T-test med antatt ulik varians bli brukt.

# 3 Metode; Forsøket og videreutvikling

I dette kapittelet presenteres informasjon om kjemikalier og utstyr, gjennomføring av det originale forsøket og endringer som ble gjort.

## 3.1 Forsøket

Forsøket, *S<sub>N</sub>1: Synthesis of tert-Butyl Chloride*, en kvalitativ analyseoppgave for Vernier Mini Gasskromatograf Plus (mini GC) fra *Organic Chemistry with Vernier* (Nam et al., 2012).

Forsøket er delt opp i to deler. I den første delen, *syntesen*, er syntese av 2-klor-2-metylpropan (tert-butyklorid) med en S<sub>N</sub>1 reaksjon mellom 2-metylpropan-2-ol (tert-butanol) og konsentrert saltsyre. Den andre delen av forsøket, *analysen*, er kvalitativ analyse av produktet fra del 1 med Vernier mini GC Plus ved å sammenligne kromatogrammet til produktet med kromatogrammene til 2-metylpropan-2-ol og 2-klor-2-metylpropan.

### 3.1.1 Gjennomføringen av det opprinnelige forsøket

Forsøket Syntese av tert-butyklorid ble gjennomført fem ganger slik der er beskrevet i kompendiet fra Verner (Nam et al., 2012). Forsøksbeskrivelsen ligger vedlagt (vedlegg 1). Kort beskrevet består forsøket av to deler. I syntesen syntetiseres tert-butyklorid ved at det skjer en substitusjonsreaksjon mellom tert-butanol og saltsyre. Reaksjonen skjer i en skilletrakt og væske-væske ekstraksjon brukes for å skille vannfasen (polar) og den organiske fasen (upolar). Til den organiske fasen tilsettes mettet natriumhydrogenkarbonatløsning for å nøytralisere rester av saltsyre. Deretter tilsettes mettet natriumklorid løsning for å vaske ut vann fra den organiske fasen.

I del 2 blir 0,5 µL tert-butanol, tert-butyklorid og produktet fra del 1 injisert på kolonnen til Vernier mini GC Plus. Kromatogrammene vil ha topper for tert-butanol, tert-butyklorid og produktet fra del 1 og det blir gjort en integrasjon av toppene for å finne retensjonstiden til forbindelsene. Ut ifra kromatogrammene er det meningen at de som gjennomfører forsøket skal se at produktet fra den upolare fasen i syntesen i del 1, er tert-butyklorid.

Underveis i den første og andre gjennomføringen ble det gjort endringer i fremgangsmåten for tørkingen av produktet. Når produktet skal tørkes etter ekstraheringen, står det i den

opprinnelige forsøksbeskrivelsen at den organiske fasen skal overføres til en 10 mL hetteglass (vial) som fra før av er tilsatt en spatelspiss vannfritt  $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{s})$ . I den første av de fem gjennomføringene av det originale forsøket ble det registrert at det var vanskelig å få ristet vialen godt når man ikke hadde tilgang til en reagensrørrister. I tillegg festet noe fast  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  seg i lokket på vialen, noe som medførte at det måtte tilsettes mer av det for å få tørket produktet godt nok. Andre gangen forsøket ble utført som beskrevet ble 10 mL vialen byttet ut med en 50 mL Erlenmeyerkolbe. Erlenmeyerkolben gjorde risting og ekstraheringen av produktet lettere enn med vialen. I tillegg til dette ble det gjort en endring i trinn 12 i syntese delen. I stedet for å tilsette den organiske fasen til en Erlenmeyerkolbe med  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , ble  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  tilsatt etter den organiske fasen hadde litt overført til Erlenmeyerkolben. Dette ble gjort for å unngå klumper av vått natriumsulfat rundt vannfritt natriumsulfat.

Forsøket ble gjort fem ganger med endringen i hvordan tørkingen skulle skje. På bakgrunn av de fem gjennomføringene av det opprinnelige forsøket ble det identifisert en del forbedringspotensialer i hvordan forsøket kunne gjennomføres. Disse var korte ned tiden som ble brukt på å riste skilletrakten (reaksjonstid), minke injeksjonsvolumet for bedre kromatografi og senke syrekonsentrasjonen for å gjøre forsøket mindre farlig.

## 3.2 Kjemikalier og utstyr

Kjemikaliene som ble brukt til selv syntesen var 2-metylpropan-2-ol (GPR RECTAPUR) fra VWR. Konsentrert saltsyre (37%), natriumhydrogenkarbonat og vannfritt natriumsulfat fra Merck (Darmstadt, Tyskland). Natriumklorid for å lage mettet natriumklorid løsning fra Jozo (Mariager, Danmark).

Til analysen med gasskromatograf ble det brukt 2-klor-2-metylpropan fra ThermoFisher (Kandel, Tyskland). 2-metylpropan-2-ol (GPR RECTAPUR), aceton (GPR RECTAPUR), kimwipes® og 1,5 mL prøveglass og 9 mm closure Silicone/PTFE fra HPLC/GC certified kit fra VWR. Instrument for analyse var Vernier mini GC Plus fra Vernier (Beaverton, OR, USA). 1.0  $\mu\text{L}$  sprøyte fra Hamilton (Reno, NV, USA). Programmet som ble brukt for innsamling av data og tegning av kromatogram var Logger Pro 3 versjon 3.16.12.

Fire Vernier mini gasskromatografer var tilgjengelig for videreutvikling av forsøket og utprøving av undervisningsopplegget, disse instrumentene vil fremover bli kalt instrument 1,

2, 3 og 4. Instrument 1 ble kjøpt inn i 2013, instrument 2 i 2015, og instrument 3 og 4 i 2016. I 2016 ble kolonnen og detektoren i instrument 1 byttet ut.

### **3.3 Videreutvikling av forsøket**

I dette delkapittelet vil metoden for testing og videreutvikling av punktene med forbedringspotensialer presenteres.

#### **3.3.1 Endring av reaksjonstid i skilletrakten**

I den opprinnelige forsøksbeskrivelsen bevegtes skilletrakten i sirkelbevegelser i fem minutter etterfulgt av 15 minutter med risting med regelmessig ventilering. Den totale reaksjonstiden for reaksjonen mellom tert-butanol og saltsyre var derfor 20 minutter. Det utgjør over en femtedel av en 90 minutters laboratorieøkt i skolen. Det ble derfor undersøkt om 15 minutters risting kunne reduseres til fem minutter uten å ha en signifikant effekt på utbyttet og kromatogrammet til produktet. Forsøket ble gjennomført fem ganger med denne endringen på instrument 4. Null hypotesen var at det ikke er en forskjell i utbytte om reaksjonstiden er 15 eller fem minutter i skilletrakten og for å få et statistisk grunnlag ble F-test og T-test type 2 gjort på utbyttet i prosent siden massen av innveid tert-butanol aldri ble likt.

#### **3.3.2 Endring i injeksjonsvolum med hensyn på deteksjon**

Siden maksimalt injeksjonsvolum på Vernier mini GC Plus er 0,5  $\mu\text{L}$  0.5  $\mu\text{L}$  og forsøksbeskrivelsen har et injeksjonsvolum på 0,5  $\mu\text{L}$ , ble det testet ut om 0,1, 0,2 eller 0,3  $\mu\text{L}$  kunne brukes i stedet for å unngå overbelastning av kolonnen. Overbelastning på kolonnen kan medføre brede topper og høyere retensjonstid og toppen for tert-butanol er en veldig bred ved 0,5  $\mu\text{L}$ . Det ble undersøkt om redusert injeksjonsvolum av tert-butanol kunne forbedre toppen. Injeksjonsvolumene som ble undersøkt var 0,1  $\mu\text{L}$ , 0,2  $\mu\text{L}$  og 0,3  $\mu\text{L}$  for tert-butanol og tert-betylklorid for å bruke samme injeksjonsvolum for alle forbindelsene. Fem injeksjoner for hvert volum ble gjort på instrument 4.

### 3.3.3 Endring i syre konsentrasjon

Det ble testet om forsøket kunne gjennomføres med 6 mol/L saltsyre i stedet for konsentrert saltsyre (12 mol/L) for å redusere risikoen i forsøket og gjøre det mer egnet for videregående skole. I sikkerhetsdatabladet for 12 mol/L saltsyre er faresetningene etseskade på hud og øyne (H314) (Sigma-Aldrich, 2023). 6 mol/L saltsyre har i motsetning faresetningene hud irritasjon (H315) og alvorlig øyeirritasjon (H319) (Supelco, 2023). Begge har kan forårsake irritasjon av luftveiene (H335). Ved bruk av beholdere som rommer  $\leq 125$  mL har 6 mol/L redusert merking, da beholderen er merket med piktogrammet for helsefare (Supelco, 2023). Samme beholder med 12 mol/L saltsyre må ha piktogrammene helsefare og etsende, faresetningen H314 og sikkerhetssetninger (Sigma-Aldrich, 2023). Forsøket ble testet tre ganger med 6 mol/L HCl.

### 3.3.4 Undersøkelse av blandingsforhold av reaktant og produkt

I forsøket brukes Vernier mini GC Plus til å kvalitativt identifisere at produktet er tert-butylklorid. Det ble stilt spørsmål til renheten til siden reaksjonen er en likevekt og utbyttet er ikke 100% ved gjennomførelser av det opprinnelige forsøket og forsøket med fem minutter risting i stedet for 15 minutter. For å kunne si noe om renheten til utbyttet ble det undersøkt om trykk og temperaturprogrammet som ble brukt på gasskromatografen var egnet til å separere en blanding av tert-butanol og tert-butanol. Det ble laget blandinger med 1:1, 1:2, 1:5, 1:7 og 1:10 ved å blande 1 mL tert-butanol og henholdsvis 1, 2, 5, 7, og 10 mL tert-butylklorid. Grunnen til at det ikke ble testet med tert-butanol i overflod er på grunn av retensjonstiden til produktet er tilsvarende likt retensjonstiden til tert-butylklorid. Injeksjonsvolumet var 0.5  $\mu$ L, og fem injeksjoner per blanding ble gjort på instrument 4. Grunnen til at 0.5  $\mu$ L var injeksjonsvolumet fordi dette injeksjonsvolumet gav størst signaler og det ville bli lettere å observere koeluering av toppene.

# 4 Metode; Utvikling av undervisningsopplegget og utprøving

I dette kapittelet presenteres informasjon om informasjon om undervisningsopplegget, utviklingen av spørreskjema, metode for innsamling, utprøving på elever og metode for analyse av data fra elever presenteres.

## 4.1 Undervisningsopplegget

I dette delkapittelet vil spørsmålene og hensikten med spørsmålene i pre-laben og etterarbeidet presenteres.

### 4.1.1 Prelab

For å øke det potensielle læringsutbytte ble det utviklet en prelab i form av en innlevering med syv oppgaver elevene skulle svare på før timen (vedlegg 3).

Den første oppgaven gikk ut på at elevene måtte gjøre en risikovurdering i av kjemikaliene brukt i forsøket i en tabell i oppgaven. Hensikten med oppgaven var at elevene skulle ha nødvendig informasjon om kjemikaliene for å være klar over risiko og føle seg sikre på lab (Alaimo et al., 2010). Når elevene kjenner til risikoen, forebyggende tiltak og hva de skal gjøre hvis de skulle for eksempel få kjemikaliet på hendene, kan den kognitive belastning og frykten knyttet til kjemikalie håndtering reduseres (Agustian & Seery, 2017; Ringnes & Hannisdal, 2014).

I oppgave 2 skulle elevene definere begrepene elektrofil og nukleofil, og identifisere hvilken forbindelse i forsøket som er elektrofil og nukleofil. Målet med å identifisere elektrofil og nukleofil i prelaben var å gjøre oppgaven hvor elevene skal forklare reaksjonsmekanismen i etterarbeidet lettere.

I den tredje oppgaven ble elevene bedt om å finne tettheten til vann, tert-butanol og tert-butylklorid og tegne en enkel figur som viser hvor den organiske og den vandige fasen vil være. Hensikten med denne oppgaven var å forberede elevene på væske-væske

ekstraksjonene de skal gjøre i forsøket og bygge selvsikkerhet på laboratoriet (Agustian & Seery, 2017; Pickering, 1987).

I oppgave fire skulle de gjøre rede for hva en gasskromatograf brukes til og i oppgave fem hvilken mobil fase Vernier mini GC Plus bruker. Målet med disse to oppgavene var å gjøre elevene bevisst på at de skal jobbe med gasskromatograf. Spørsmål fire har som mål å gi elevene innsikt på hvorfor vi kan bruke en gasskromatograf i forsøket. Spørsmål fem var om gassen brukt i instrumenteringen siden den mobile fasen er gass i en gasskromatograf.

I oppgave seks skulle de svare på hvordan de ulike forbindelsene separeres i en upolar kolonne og i siste oppgave skal elevene gjøre rede for retensjonsrekkefølgen. Disse oppgavene hadde som mål å få elevene til å tenke om resultatet de kan få og lage en form for hypotese uten at det eksplisitt blir nevnt at det er det de gjør. Dermed skulle elevene ha en større tilknytting til dataene enn hvis de ikke hadde gjort rede for hva de forventer at retensjonsrekkefølgen skal være. Samtidig kan disse spørsmålene bidra til at elevene ser hvordan det eksperimentelle er knyttet opp mot teori (Agustian & Seery, 2017).

Det var forventet at elevene skulle finne nødvendig informasjon i forsøksbeskrivelsen (vedlegg 4), unntaket var oppgave 1 og 3 hvor elevene må bruke nett for å finne sikkerhetsdatablad og tetthet for kjemikalierne.

#### **4.1.2 Forsøksbeskrivelsen**

Forsøksbeskrivelsen for undervisningsopplegget (se vedlegg 4) hadde en lengre teori del enn den opprinnelige forsøksbeskrivelsen. Forsøksbeskrivelsen starter med målet med forsøket, deretter defineres begreper som *koelivering*, *retensjonstid* og *retensjonsrekkefølge*, hvor retensjonsrekkefølge og retensjonstid var begreper brukt i prelaben og etterarbeidet. Deretter teori om substitusjonsreaksjoner.

I teorien om substitusjonsreaksjoner ble det forklart hva en substitusjonsreaksjon er og at halogenerte alkaner er et produkt av den korresponderende alkoholen gjennomgår en syre katalysert substitusjon. Deretter ble begrepene *elektrofil* og *nukleofil* definert etterfulgt av en kort beskrivelse av hva som skjer i syntesen med reaksjonstrinn. I syntese delen ble det dannet to faser, en polar og en upolar, det ble derfor nevnt hva en væske-væske ekstraksjon er.



I den siste delen av teorien var tema gasskromatografi og innledningsvis ble det skrevet at den kvalitative verifisering av produktet skal gjøres med Vernier mini GC Plus ved å sammenlikne kromatogrammene fra tert-butanol og tert-betylklorid med kromatogrammet til produktet. Deretter ble det forklart hva kromatografi brukes til, hva den mobile fasen er i Vernier mini GC Plus og hvordan forbindelser separeres hvis den stasjonære fasen er upolar. Dette var på grunn av at Vernier mini GC Plus har en upolar stasjonære fase og elevene skulle bestemme retensjonsrekkefølgen i prelaben. Avsluttende ble selektiviteten til detektoren i Vernier mini GC Plus forklart i korte trekk.

Den eksperimentelle delen fra den utarbeide forsøksbeskrivelsen for undervisningsopplegget var lite endret fra den opprinnelige forsøksbeskrivelsen med unntak av hvordan tørkingen av produktet skal skje (beskrevet i 3.1.1) og injeksjonsvolumet injisert i Vernier mini GC Plus. Injeksjonsvolumet ble redusert fra 0,5  $\mu\text{L}$  til 0,3  $\mu\text{L}$ .

### **4.1.3 Etterarbeidet**

Etterarbeidet var i form av en innlevering med syv oppgaver (se vedlegg 5). I den første oppgaven skulle elevene sette inn kromatogrammene fra forsøket, lage datatabell med retensjonstider til hver topp og vise hvilken forbindelse som er hvilken topp. Dette er for at elevene skal presentere resultatene på en oversiktlig måte og potensielt gi dem mulighetene til å se relasjon mellom data (Rosenthal, 1987). Det ble forventet at de skulle si noe om hva produktet ved at de sammenlikner retensjonstidene, men dette var ikke eksplisitt nevnt.

I den neste oppgaven skulle de gjør rede for retensjonsrekkefølgen og hvordan den samsvarer med den de forventet i prelaben. Hensikten med denne oppgaven var at elevene skulle kommentere om hypotesen stemmer som er typisk å gjøre i en rapport.

Den tredje oppgaven ber elevene om å forklare reaksjonsmekanismen med kunnskapen de har om elektrostatiske krefter. Denne oppgaven hadde som mål at elevene skulle jobbe med faglig kommunikasjon og oppgaven i prelaben om nukleofil og elektrofil skulle hjelpe elevene med omtale forbindelsen med riktig begreper. Oppgaven legger vekt på at elevene skal bruke mekanistiske og kausale forklaringer ved at det står eksplisitt at de skal bruke elektrostatiske krefter (Dood & Watts, 2022). Oppgaven kan i tillegg til dette hjelpe læreren å vurdere elevenes forståelse av reaksjonsmekanismer og ta nødvendige grep for å rette opp misforståelser.

Oppgave fire er en todelt oppgave hvor de i *a*) skal regne ut det teoretiske utbyttet og utbyttet i prosent og i *b*) diskutere mulige årsaker til at utbyttet ikke er 100 prosent. Hensikten med oppgave *a*) var at elevene skulle vise at de kunne beregne teoretiske utbytte og prosentvist utbytte ved bruk av reaksjonslikninger og relevante data fra laboratorieøvelsen, som viser elevenes regne ferdigheter (UDIR, 2021b). Hensikten med oppgave *b*) var at elevene skulle tenke tilbake på hva som ble gjort på laboratorie i syntese delen og bruke det de kan om likevekter til å gjøre rede for aktuelle faktorer som påvirker utbyttet. I denne oppgaven skal elevene altså jobbe med kompetanseålet om utbytte i synteser og kjerneelementet *praksiser og tenkemåter i kjemi* (UDIR, 2021c, 2021d). Elevene jobber også med lese og skrive ferdigheter ved at de må lese og vurdere fremgangsmåten, og skrive en tekst der de bruker kjemifaglig terminologi, oversvasjoner og fremgangsmåten fra forsøket for å kommunisere hvilke faktorer som påvirker utbytte (UDIR, 2021b).

I oppgave fem spørres det om hvorfor syntesen må skje under sure betingelser, og hensikten med denne oppgaven var å se om elevene hadde forstått at syntesen må skje i et surt miljø for rask protoneringen av alkoholen som er det første steget i syntesen som beskrevet i forsøksbeskrivelsen. Studentene kunne også ha begrunnet svaret sitt med reaksjonsmekanismen som også er i forsøksbeskrivelsen.

I oppgave seks skal elevene svare på hvilke forbindelser de forventer å være i den organiske og vandige fase. Hensikten med denne oppgaven var at elevene skulle bruke kromatogrammet og deres forståelse av polaritet og løselighet til å vurdere hvilke forbindelser som vil være hvor, altså jobbe med kjerneelementet *kjemiske bindinger og strukturer* og kompetansemålet om kromatografi (UDIR, 2021d, 2021c). Det ble ikke spesifisert i oppgavene hva de skulle basere antakelsene sine på og hvilke forbindelser de skulle fokusere på. Målet med å ikke gi denne informasjonen var for å øke det kognitive nivået til oppgaven sidene elevene måtte vurdere hvilken type informasjon som kan brukes for å besvare spørsmålet (Rosenthal, 1987).

Avsluttende skal elevene diskutere mulige feilkilder som kan påvirker kromatogram og utbytte. Hensikten med dette spørsmålet var likt hensikten til *b*) oppgaven i spørsmål 4.

## **4.2 Innsamling av kvalitative og kvantitative data;**

### **Metodikken**

Kvantitative data er data som i form av tall og kvalitative data er som regel i form av tekst (Grønmo, 2023). I denne oppgaven vil kvalitative data fra innsamlede materiale og spørreundersøkelsen gi mer dybde til de kvantitative dataene fra spørreundersøkelsen, en form for metodetriangulering (Grønmo, 2023). Innsamling av kvalitative og kvantitative data fra utprøving av forsøket med elever vil skje på to måter; observasjonsmetoden og spørreundersøkelse med en Likert-skala. Denne delen vil ta for seg teorien bak observasjonsmetoden og spørreundersøkelsen brukt for å samle inn data, i tillegg til dette skal den delen ta for seg teori rundt usikkerheten og påliteligheten bak innsamlingen av informasjon.

#### **4.2.1 Observasjonsmetode**

Observasjonsmetoden blir brukt for å bidra til utviklingen av spørreundersøkelsen og for å få et mer helhetlig bilde av informasjon som er samlet inn på andre måter i denne oppgaven (Patel et al., 2001, s. 66). Det skilles mellom strukturert og ustrukturert observasjon ved at de har ulike krav til hva observatøren skal observere. En observatør som observerer strukturert, vil utvikle et observasjonsskjema inndelt i kategorier og situasjoner som skal undersøkes (Patel et al., 2001, s. 68). En observatør som observerer ustrukturert, noterer ned alt for å innhente mye informasjon, hovedsakelig med nøkkelord (Patel et al., 2001, s. 72).

Observatøren kan være kjent eller ukjent for de som observeres, og deltagende eller ikke-deltagende i aktiviteten. Begge disse momentene kan påvirke innsamlet data fra en gruppe. En ukjent deltagende observatør kan for eksempel påvirke gruppens atferd og holdning ved at gruppen blir mer tilbaketrukket og en kjent deltagende observatør kan få problemer med innhenting av informasjon ved å være faglærer med andre arbeidsoppgaver (Bjørndal, 2019, s. 48; Patel et al., 2001, s. 73). I hvilken grad gruppen som skal observeres skal vite hva som observeres kan diskuteres siden observatøren ønsker å innhente informasjon uten å påvirke den naturlige atferden og holdningene gruppen har. Det er som regel en god ide av etiske årsaker at gruppen får vite hva som er hensikten med observasjonene og få tillatelse til å observere (Bjørndal, 2019, s. 49).

## 4.2.2 Spørreskjema

Spørreskjema kan ha svar som er prekodet, åpne svar eller en blanding av prekodende og åpne svar. Et prekodet svar vil ha svar alternativ mens et åpent svar gir rom for individuelle svar fra de som svarer spørreundersøkelsen (Christoffersen & Johannessen, 2010, s. 130). Det er viktig for datainnsamlingen at spørsmålene eller påstandene tolkes «riktig» ved at formuleringene ikke er for generelle slik at det gir lite rom for usikkerhet (Christoffersen & Johannessen, 2010, s. 130). Likert skala er en skala på fem trinn som respondenten bruker til å ta stilling til en påstand (Christoffersen & Johannessen, 2010, s. 135). Likert skalaen blir brukt i spørreskjema som en metode for å samle inn kvantitative data og for å enklere analysere data om studentenes oppfatning. Påstander omhandlet de tre forskjellige delene i undervisningsopplegget; prelab, gjennomførelsen av forsøket og etterarbeid.

## 4.2.3 Usikkerhet ved innsamling av informasjon

Validitet er hvorvidt det undersøkes om det som skal undersøkes, altså om det som skal undersøkes og hva som blir undersøkt stemmer overens (Patel et al., 2001, s. 75). Man kan forsikre seg om validiteten til en undersøkelse ved å teste *innholdsvaliditeten* og *den samtidige validiteten* (Patel et al., 2001, s. 76). Patel et al. (2001) skriver at *innholdsvaliditeten* er at en «fremmed», som har kunnskap om hva som skal bli undersøkt, tester undersøkelsen (s. 76). Den samtidige validiteten er å sammenlikne resultatene på undersøkelsen med et kriterium (Patel et al., 2001, s. 76). Kriteriet representerer hva som er tenkt å bli målt i undersøkelsen. Patel et al. (2001) skriver at hvis man har holdningsskala kan intervju brukes for å vise at respondentene har en positiv holdning og motsatt (s. 76).

Reliabilitet er om undersøkelsen blir gjort på en pålitelig måte (Patel et al., 2001, s. 75). En person som svarer på en undersøkelse har en *observert verdi*, som er sammensatt av *en sann verdi* og en *feilverdi* (Patel et al., 2001, s. 76). Faktorer som kan påvirke feilverdien i en undersøkelse kan for eksempel være uklare spørsmål og påstander. Dette påvirker påliteligheten til undersøkelsen.

Undervisningsopplegget i sin helhet ble testet ut av en medstudent på masternivå for å identifisere mulige misforståelser og forbedringspunkter i prelaben, forsøksbeskrivelsen og etterarbeidet. Ingen misforståelser eller forbedringspunkter ble identifisert i løpet av piloteringen. Spørreskjema ble utarbeidet ut i fra tilbakemeldinger fra veileder og

medstudenten, som pilotert forsøket. Ni av elleve studenter har besvart et spørreskjema og levert inn besvarelser for prelab og etterarbeid. Disse innsamlede dataene utgjør et relativt begrenset grunnlag for undersøkelsen og analysen utført i denne oppgaven.

### **4.3 Utprøving av undervisningsopplegget**

Undervisningsopplegget, bestående av prelab, forsøket og etterarbeidet, ble gjennomført med 11 studenter på 90 minutter. Studentene er lektorstudenter som har hatt organisk kjemi 1, analytisk kjemi, og kjemididaktikk. I forkant av forsøket ble beholderen med 2-metyl-propan-2-ol satt i et vannbad på en varmeplate på 50 °C for å sikre at den var i væske form for enkel innveiling. Studentene jobbet i par og hadde tilgang til de fire Vernier mini gasskromatografene beskrevet i 3.2. Instrument 4 var instrumentet som ble brukt for gjennomføringer og videreutviklingen av forsøket.

Hensikten med utprøvingen var for å evaluere om pre-laben, forsøksbeskrivelsen og etterarbeidet oppnådde formålet de hadde. Formålet med prelaben var å forberede elevene på forsøket og øke læringsbytte. Forsøksbeskrivelsen skal være klar og lett å følge, og det var derfor ønskelig å undersøke om det var uklarheter i den som kunne øke den kognitive belastningen på elevene. Formålet med etterarbeidet var at elevene skulle kunne oppsummere resultater, reflektere over forsøket og fremgangen, og vurdere informasjonen de har for å svare på spørsmål.

#### **4.3.1 Observatør rollen og hva som skal observeres**

Jeg valgte å ikke være en ikke-deltagende observatør og hensikten med dette var for å unngå å påvirke elevenes atferd, men til tider ble jeg spurt spørsmål ettersom lab veilederne var opptatt med andre par. Jeg ble introdusert til elevene etter gjennomgangen av informasjon til forsøket. Elevene fikk informasjon om hvem jeg var, hva slags masteroppgave jeg skriver og at jeg skal observere dem.

I forkant av undervisningsøkten ble det identifisert situasjoner i fremgangsmåten som kan være problematiske for elevene. Situasjonene som ble notert ned var innveiling av tert-butanol, risting og ventilering av skilletrakten, tørking av produkt og bruk av Vernier mini GC Plus. I tillegg til dette skulle andre uventede situasjoner som oppstod noteres ned.

### **4.3.2 Innsamling av kvalitative og kvantitative data**

For å få studentenes oppfatning av undervisningsopplegget ble det laget et spørreskjema med en blanding av Likert skala spørsmål og åpne spørsmål (se vedlegg 6). Likert skalaen ble brukt for at respondentene skulle ta stilling til ulike påstander om prelab, gjennomføringen av forsøket og etterarbeidet. I spørreundersøkelsen rangerer Likert skalaen fra 1 til 5 hvor 1 er uenig, 2 er delvis uenig, 3 er tvilende, 4 er delvis enig og 5 er enig. Respondentene hadde også muligheten til å begrunne tallet de valgte på noen av spørsmålene. I tillegg til dette var det åpne spørsmål knyttet til prelab, gjennomføringen av forsøket og etterarbeidet.

Respondentene til undersøkelsen har også svart på prelab og etterarbeid som skal brukes som et supplement til svarene fra spørreskjema. Forfatteren har ikke informasjon om hvem som har levert prelab og etterarbeid og svart på spørreskjema. Innsamlede prelab og etterarbeid var merket med en bokstav for å vise at samme person hadde levert inn.

Elevene fikk et samtykke skjema i forkant av undervisningsopplegget hvor de samtykket for bruk og innsamling av data fra prelab, etterarbeid og spørreskjema. Elevene fikk informasjon om at de kunne trekke tilbake samtykke når som helst. Som tidligere nevnt har ikke jeg informasjon om hvem som har levert hvilken prelab og etterarbeid, og hvem som har svart på spørreskjema. Spørreskjemaet var anonymt og levert digitalt gjennom nettskjema. Ingen av disse kildene for data ber respondenten om å oppgi personlige opplysninger. Prelab og etterarbeid ble printet og markert med bokstaver for å vise at de tilhørte sammen og deretter gitt til meg.

### **4.3.3 Test av reproduserbarheten av signalstyrke på fire Vernier mini GC Plus**

Ved utviklingen av forsøket, med instrument 4, ble det undersøkt hva som var det laveste mulige injeksjonsvolumet for å unngå overbelastning av kolonnen. Et injeksjonsvolum på 0,3  $\mu\text{L}$  gav signal for begge forbindelsene og injeksjonsvolumet i forsøket endret fra 0,5  $\mu\text{L}$  til 0,3  $\mu\text{L}$ . Da undervisningsopplegget ble testet ut av studenter, ble det observert underveis i gjennomføringen at signalet til tert-butanol, tert-butylklorid og produktet hadde ulikt areal på de fire ulike instrumentene med samme injeksjonsvolum 0,3  $\mu\text{L}$ . Det var spesielt tert-

butylklorid, og dermed produktet som bestod hovedsakelig av tert-butylklorid, som var vanskelig å detektere.

Det ble undersøkt hvor store forskjeller det var i signal utslag i de fire instrumentene for tert-butylklorid siden denne forbindelsen hadde det laveste signalet og produktet består hovedsakelig av tert-butylklorid. Injeksjonsvolumene som ble testet var 0,3  $\mu\text{L}$  og 0,4  $\mu\text{L}$  siden tidligere testing av deteksjon hadde vist at Vernier mini GC Plus ikke detekterer tert-butylklorid med et injeksjonsvolum lavere enn 0,3  $\mu\text{L}$  på instrument 4. Detektoren har ulik sensitivitet for ulike forbindelser og tert-butanol gir et stort signal ved 0,1  $\mu\text{L}$  og ble derfor ikke testet. For hvert injeksjonsvolum ble det gjort fem til sju injeksjoner, flere injeksjoner kom som følger at noen topper ble for lave eller for høye sammenliknet med andre injeksjoner på samme instrument. Alle injeksjonen ble gjort samme dag, men ikke parallelt.

# 5 Resultater

Dette kapitlet er todelt. I den første delen presenteres resultater fra testing av forbedringspunktene; tiden brukt på å riste skilletrakten, injeksjonsvolumet og syrekonsentrasjonen. I den andre delen vil besvarelser på prelab og etterarbeidet, observasjoner fra utprøvingen av undervisningsopplegget og svar fra spørreundersøkelsen bli presentert.

## 5.1 Resultater fra videreutviklingen av forsøket

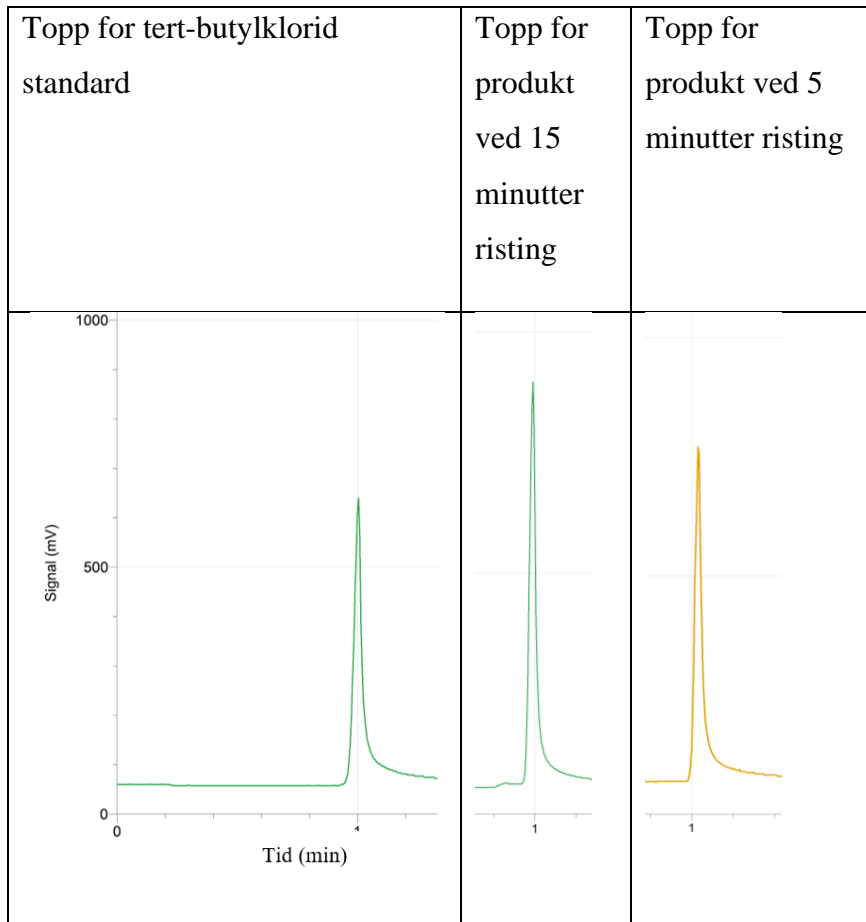
### 5.1.1 Endring av reaksjonstid i skilletrakten

Endring av tiden brukt på risting av skilletrakten fra 15 minutter til fem minutter medførte ingen merkbar endring i observert retensjonstid eller i formen på kromatogrammet.

Kromatogrammet for injeksjon av tert-butyklorid standard, og representative kromatogrammer for produktet ved 15 minutter risting og fem minutter risting er vises i tabell 1. Alle injeksjonene hadde et injeksjonsvolum på 0,5  $\mu\text{L}$  og y-aksen for kromatogrammet til standarden gjelder for alle grafene i tabellen.



Tabell 1: Toppene for standard av tert-butylklorid, og for produkt ved 15 minutter reaksjonstid og fem minutter reaksjonstid. Y-aksen er Signal (mV) og x-aksen er tid (min). Y-aksen for topp for tert-butylklorid standard gjelder for alle grafene i tabellen-



Tabell 2 viser det beregnede gjennomsnittlig retensjonstid, utbytte i prosent, standardavvik og relativt standardavvik for produktet med 15 minutter risting og med fem minutter risting. Data er basert på fem gjennomførrelser av forsøket med 15 minutter og fem minutter reaksjonstid, vedlagt i tabell 4 og 5 i Appendiks.

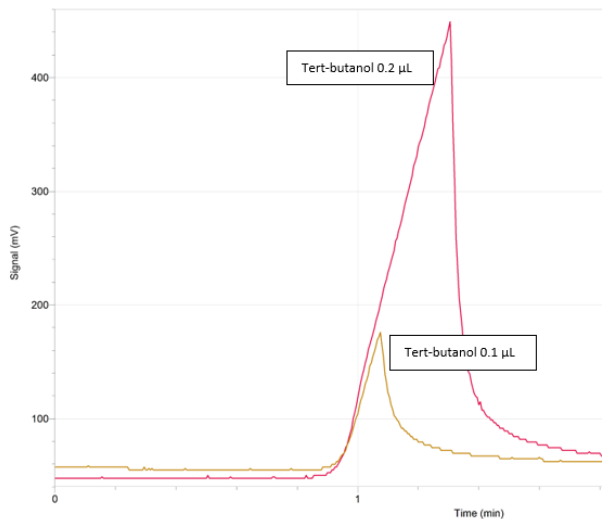
Tabell 2: Gjennomsnittlig prosentvis utbytte, standardavvik og relativ standardavvik for 15 minutter risting og fem minutter risting.

Reaksjonstid	Gjennomsnittlig prosentvist utbytte	Standardavvik	Relativ standardavvik
15 minutter	42%	14%	33%
5 minutter	45%	5%	11%

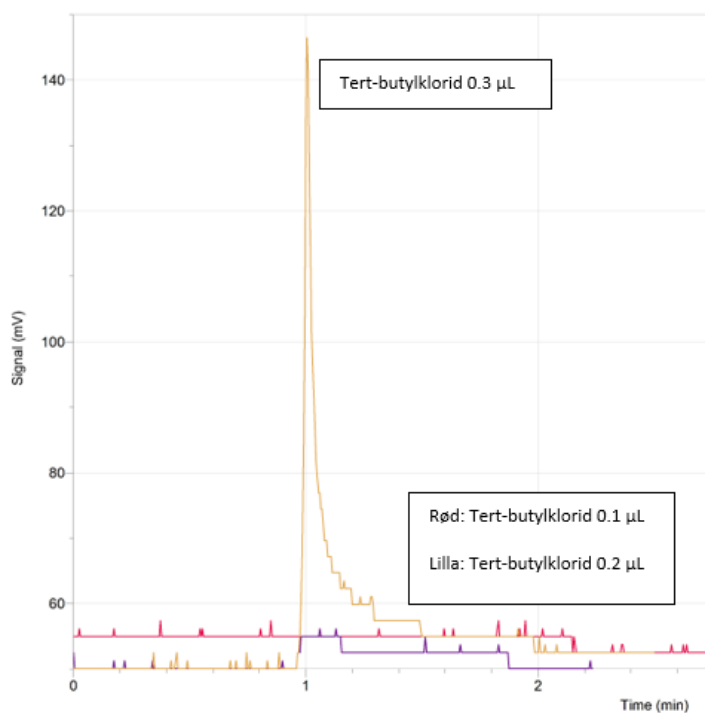
Forskjellen mellom gjennomsnittene var 3%, men standardavvikene var større. For å få en statistikk grunnlag på at det ikke er en forskjell mellom å riste fem eller 15 minutter i dette forsøket gjøres det en F-test og en T-test. Både F-testen og T-testen er tosidig siden det undersøkes om det er en signifikant forskjell i utbytte etter fem minutter og 15 minutter reaksjonstid. Testene ble gjort i Excel med Dataanalyse verktøyet. Antall frihetsgrader i hvert datasett er 4 som gir en tosidig kritisk F-verdi på 9,605 (J. N. Miller et al., 2018, tab. A.4). Beregnet F er 0,138 som er mindre enn den kritiske verdien for F- så lik varians kan antas. T-test: To utvalg med antatt like varianser beregner at t-Stat er 0,5 som er mindre enn den kritiske verdien for T-tosidig som er 2,306. Det vil si at det ikke er en signifikant forskjell på utbytte når reaksjonstiden endres fra 15 minutter til fem minutter. Data brukt for å gjøre beregningene vises i tabell 4 og 5 i Appendiks, mens beregningene gjort i Excel for F-test og T-test vises i tabell 6 og 7 i Appendiks.

### **5.1.2 Endring i injeksjonsvolum med hensyn på deteksjon**

Målet med å redusere injeksjonsvolumet var å få smalere topper, med hensyn på tert-butanol, men at tert-butanol og tert-butyklorid fortsatt var detekterbart. For å finne hvilket minimums volumet som var nødvendig for at mini gasskromatografen skulle detektere tert-butanol og tert-butyklorid ble det testet med ulike injeksjonsvolum. Totalt ble fem injeksjoner av tert-butanol med 0,1 og 0,2  $\mu\text{L}$  utført, og fem injeksjoner av 0,1  $\mu\text{L}$ , 0,2  $\mu\text{L}$  og 0,3  $\mu\text{L}$  av tert-butyklorid. Tert-butanol ble detektert av detektoren i Vernier mini GC Plus ved injeksjon av 0,1  $\mu\text{L}$  som vises i figur 2. Tert-butyklorid ble ikke detektert ved verken 0,1  $\mu\text{L}$  eller 0,2  $\mu\text{L}$ , men ble detektert ved 0,3  $\mu\text{L}$ , som vises i figur 3. I undervisningsopplegget som ble testet på studenter ble injeksjonsvolumet endret fra 0,5  $\mu\text{L}$  til 0,3  $\mu\text{L}$ .



Figur 2: Kromatogram av injeksjon av 0.2 µL tert-butanol (rød) og 0.1 µL tert-butanol (gul). Toppen for 0.2 µL er mer enn dobbelt så stor enn toppen for 0.1.



Figur 3: Kromatogram av injeksjon av 0.1 µL tert-butyklorid (rød), 0.2 µL tert-butyklorid (lilla) og 0.3 µL tert-butyklorid (gul). Tert-butyklorid blir ikke detektert av detektoren i Vernier mini GC Plus når volumet er 0.1 µL og 0.2 µL.

Som vi kan se av figur 3 og 4 har detektoren i Vernier mini GC Plus en bedre respons på tert-butanol enn tert-butyklorid. Ved 0,3 µL har tert-butyklorid et signal som er litt over 140 mV, mens tert-butanol har et signal rundt 440 mV når injeksjonsvolumet var 0,2 µL. Dette kan skyldes detektorens evne til å detektere upolare forbindelser, og GO Direct Mini GC kan få andre resultater ved en slik undersøkelse.

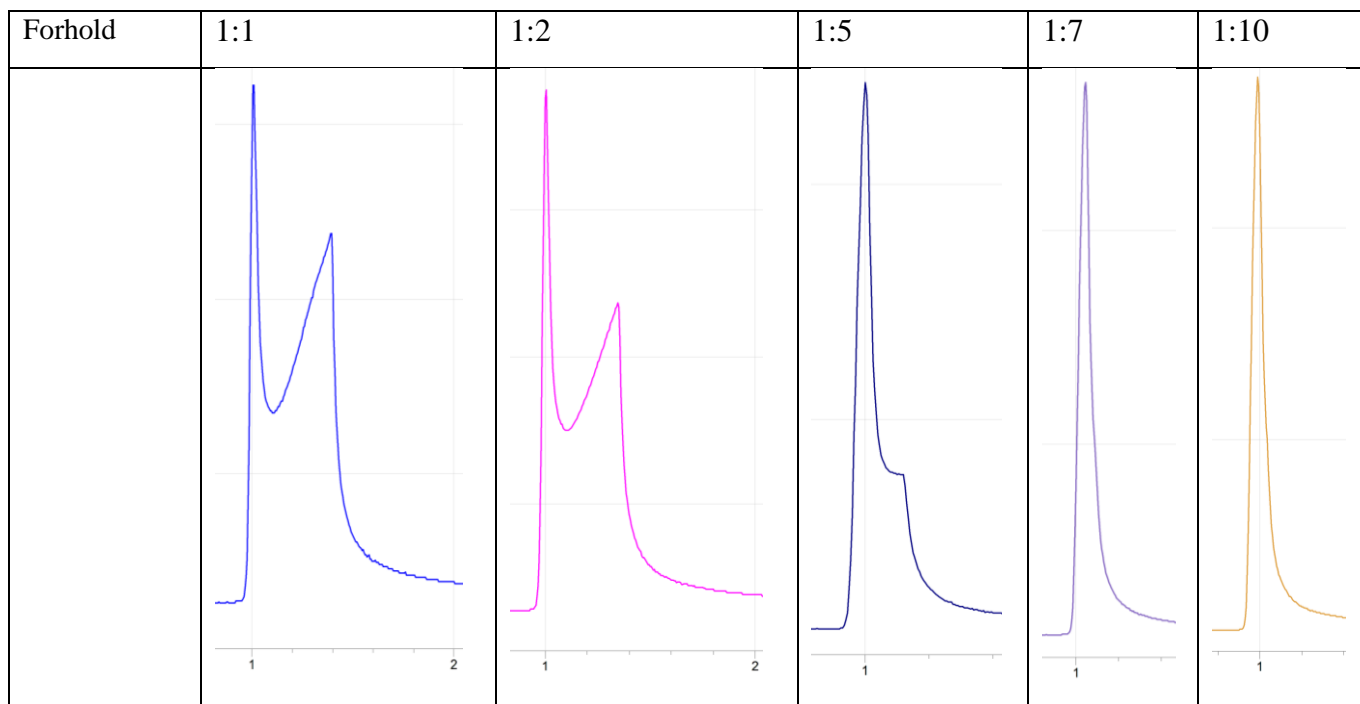
### 5.1.3 Endring i syrekonsentrasjon

Ved endring av konsentrert saltsyre (12M) til 6 M saltsyre ble det ikke dannet en organisk fase i skilletrakten etter fem minutter med risting, slik at det ikke var mulig å fortsette forsøket. Det var derfor ikke mulig å redusere HCl-konsentrasjonen til 6 M og fortsatt ha et fungerende forsøk.

### 5.1.4 Undersøkelse av blandingsforhold av reaktant og produkt

Undersøkelse av i hvilken grad gasskromatografen klarte å separere en blanding av reaktant og produkt ble gjort med blandinger med ulike volumforhold. Blandingene hadde et volumforhold på 1:1, 1:2, 1:5, 1:7 og 1:10, med 1 mL tert-butanol og 1, 2, 5, 7, og 10 mL tert-butylklorid avhengig av blanding. I kromatogrammene for 1:1 og 1:2 har tert-butanol og tert-butylklorid individuelle topper. Ved 1:5 observeres det i toppen for tert-butylklorid og «skulderen» til toppen for tert-butanol. Ved 1:7 og 1:10 kan kun toppen for tert-butylklorid observeres. Det ble gjort fem 0,5 µL injeksjoner for hver blanding og representative kromatogrammer for de ulike blandingsforholdene vises i tabell 3.

Tabell 3: Representative kromatogrammer for blandinger med volumforholdet 1:1, 1:2, 1:3, 1:5, 1:7 og 1:10. Hver blanding har 1 mL tert-butanol og henholdsvis 1, 2, 5, 7, og 10 mL tert-butylklorid. Injeksjonsvolumet var 0.5 µL



Ved 1:7 og 1:10 vil kun toppen for tert-betylklorid være til stede. Ved 1:7 er det kun en topp som vises i kromatogrammet, som vil si at prosentvis mengde tert-betylklorid i injeksjonen var:

$$\frac{7}{8} * 100\% = 87.5\%$$

Dette kan bety at ved et injeksjonsvolum på 0,5 µL, vil produktet kun få en topp hvis mengden tert-betylklorid er  $\geq 87.5\%$ . Det kan derfor være interessant å undersøke renheten til produktet

## 5.2 Resultater fra utprøvingen av undervisningsopplegget

Som tidligere nevnt vil denne delen av resultatene være resultater fra utprøvingen av undervisningsopplegget. Først vil svarene på prelaben presenteres sammen med svar fra spørreundersøkelsen relaterte til prelaben, deretter vil observasjoner gjort under gjennomføringen av forsøket bli redegjort for sammen med relevante svar fra spørreundersøkelsen. Deretter svarene til elevene i etterarbeidet sammen med relevante svar fra spørreundersøkelsen.

Det var 11 studenter som gjennomførte forsøket og av disse svarte ni stykker på spørreundersøkelsen. Fordelingen av svarene for ulike påstander knyttet til prelab, gjennomføringen av laben og etterarbeid vises i henholdsvis figur 4, 5 og 6 som blir gjennomgått i 5.2.1, 5.2.2 og 5.2.3. Til venstre i figuren er påstandene som elevene skulle ta stilling til. Elevene skulle velge et tall fra 1 til 5 hvor 1 er *uenig*, 2 er *delvis enig*, 3 er *verken enig eller uenig*, 4 er *delvis enig* og 5 er *enig*. Studentene ble oppfordret til å bruke kommentarfeltet til å begrunne svarene på enkelte spørsmål. I tillegg til påstander og kommentarfelt var det noen åpne spørsmål. Kommentarer og svar som er typisk fremlegges her, i tillegg til svar og kommentarer som belyser misforståelser og problemer.

## 5.2.1 Studentenes prelab besvarelser og tilbakemeldinger på prelab fra spørreundersøkelsen

### Svar fra studenter på prelaben

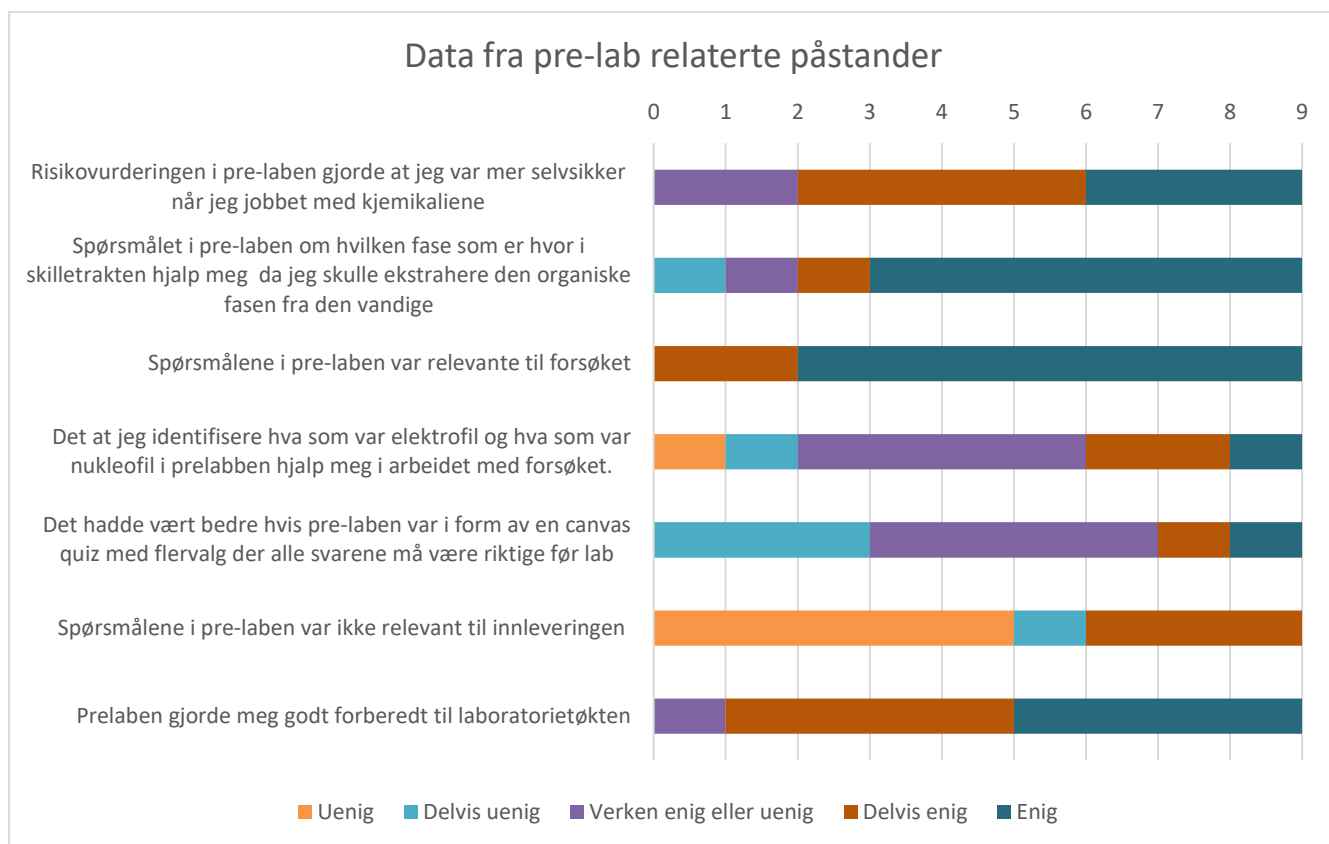
Ingen av prelabene ble rettet av lab veileder i forkant av forsøket, så studentene fikk ikke informasjon om prelaben var godkjent, om de hadde gjort noe feil eller om svarene deres ikke var tilstrekkelig.

Alle studentene som samtykket til bruk av prelaben (9) hadde fylt ut tabellen for risikovurdering med faresetninger, forebyggende tiltak og hva som skal gjøres ved uhell. I oppgave 2, hvor studentene skulle forklare hva en nukleofil og en elektrofil er og identifisere hvilken forbindelse i reaksjon som er nukleofil og elektrofil, så hadde alle klart å definere begrepene. 3 av 9 oppgav det riktige svaret, at tert-butanol er elektrofilen og Cl er nukleofilen. 3 av 9 identifiserte ikke hvilken forbindelse som er nukleofil og elektrofil. To studenter svarte at tert-butanol var nukleofilen og at Cl var elektrofilen, mens en student svarte at tert-butanol var elektrofilen og vann var nukleofilen. Forsøksbeskrivelsen definerte kun nukleofil mens elektrofil fikk eksempler, dette kan være grunnen til at noen ikke svarte og andre tok feil.

Alle studentene tegnet en skisse som illustrerte riktig hvor vannfasen og den organiske fasen vil ligge. I oppgave 4 svarte alle kort på spørsmålet om hva en gasskromatograf brukes til og i oppgave 5 svarte 8 av 9 at luften i rommet er bæregassen i Vernier mini GC Plus. Én student ramset opp typiske bæregasser ( $H_2$ , He og  $N_2$ ) i stedet.

Alle studentene kom frem til at forbindelsene vil separeres basert på kokepunkt hvis den stasjonære fasen er upolar, som er riktig. Alle studentene forventet at tert-butyklorid, kalt 2-klor-2-metylpropan i prelaben, ville ha lavere retensjonstid enn tert-butanol, kalt 2-metylpropan-2-ol, og begrunnet med at den stasjonære fasen er upolar og kokepunktene til forbindelsene. Disse forventningene samsvarte med teorien og det som skjedde ved gjennomføringen.

## Tilbakemeldinger om prelab-oppgavene fra studentene



Figur 4: Påstander om prelaben og hvordan studentene stilte seg til påstandene.

Figur 4 viser at 7 av 9 av studentene var enige eller delvis enige i at risikovurderingen gjorde dem mer selvsikre på laben. Hensikten med risikovurderingen var å forbedre studentene på kjemikaliene som er brukt, i tillegg er dette studenter som har lang «erfaring» med å jobbe med ulike kjemikalier i laboratorie. Det kan ut i fra dette tenkes at en risikovurdering ikke bare er en essensiell del av forberedelsene for å være trygg på lab men også for å øke selvsikkerheten for håndtering av kjemikalier.

7 av 9 studenter var enige eller delvis enige, i at spørsmålet om faser hjalp dem på laben. Spørsmålet bidra til at studentene skulle være mer selvstendige på laben og forberede dem på hva de skal observere. Ved å være forberedt kan belastningen, eller stress, som kommer av at man ikke er forberedt på hvilken fase som er hvilken.

Alle studentene var enige, eller delvis enige i at spørsmålene i prelaben var relevant for forsøket. En prelab som har lite relevans til forsøket vil være av lite interesse å gjøre og kan

muligens hemme motivasjonen for praktisk arbeid. En kommentar fra en student om påstanden om spørsmålene var relevante til den praktiske gjennomføringen var;

*«Ja, spørsmålene gjorde at jeg måtte sette meg inn i laben på forhånd og de dekket mye av forsøket både teoretisk og rent praktisk»*

2 av 9 studenter var uenige eller delvis uenig i at identifisering av elektrofil og nukleofil i prelaben hjalp i laben, mens 3 av 9 var enige eller delvis enige. De resterende svarte verken enig eller uenig. Spørsmålet burde ha vært om det hjalp i etterarbeidet siden det er der det er forventet at elevene skal bruke begrepene, samtidig er det interessant at noen mente at identifisering hjalp i det praktiske arbeidet siden det var ikke forventet.

2 av 9 studenter var enige, eller delvis enige, i at en pre-lab i form av en Canvas quiz hadde vært bedre, 4 av 9 stod nøytrale, mens 3 av 9 var delvis uenige. Canvas ble nevnt siden dette er plattformen studentene bruker. Prelab på universitet er ofte i form av quiz på Canvas, så det var forventet at flere skulle svare at de hadde foretrukket quiz ovenfor en innlevering. Noen kommentarer fra studenter var;

*«Ikke helt enig, det er lett å huske på svarene på spørsmålene uten nødvendigvis å forstå konseptene. Quizene kan ikke dekke alle aspekter av labben og kan ikke heller evaluere praktiske ferdigheter som kan være nødvendige for å fullføre laben»*

*«Jeg føler at det er bedre slik den var og at vi måtte skrive selv. Et problem er kanskje det at vi ikke fikk noen form for fasit. Jeg tenker at i skolen så kan en elev gjøre prelaben og gjøre alle oppgavene men gjøre alt feil.»*

6 av 9 er uenige eller delvis uenig i at spørsmålene i prelaben ikke er relevante til etterarbeidet (kalt innlevering i spørreskjema), mens tre var delvis enige. Prelaben og etterarbeidet skal være relevante til forsøket så det vil være naturlig at noen enkelte deler i prelaben er relevant for etterarbeidet. Noen kommentarer fra studenter var;

*«Ved å ha svart på spørsmålene i prelaben fikk jeg bedre forutsetninger for å kunne svare på innleveringen»*

*«Kunne ha spurt mer om selve GC-mekanismen, og ikke bare hva den kan brukes til og hva bæregassen er.»*



Et åpent spørsmål som ble stilt til studentene var;

*I prelaben er det følgende spørsmål om GC: "Hva kan man bruke en gasskromatograf til?", "Hva er den mobile fasen som brukes i denne mini GC-en?" og "Hvordan separeres de ulike forbindeslene når stasjonærfase er upolar". Gjorde disse spørsmålene deg forberedt med å jobbe med gasskromatograf og mini gasskromatografen? Hvis ja, hvordan? Hvis nei, er det noen andre spørsmål du kunne ha tenkt å deg hadde vært bedre?*

Studentene ønsket flere spørsmål knyttet til teori bak gasskromatografi og instrumenteringen til en gasskromatograf. Svarene fra studentene var:

*«Disse spørsmålene hjalp meg mer med etterarbeidet. Et litt mer praktisk spørsmål om hvordan man bruker GC hadde kanskje gjort meg mer forberedt til selve laben.»*

*«For det andre spørsmålet forventer man at elevene både vet hva bæregass er, og at dette benyttes under GC. Man kunne ha spurt elevene om å forklare hvordan mobilfasen fungerer, og deretter spurt om hva som er mobilfasen.»*

Totalt var det 8 av 9 studenter som var enige eller delvis enige i at prelaben gjorde dem godt forberedt til laben, mens én student svarte verken enig eller uenig. Hensikten med en prelab er å være forberede elevene, eller de som skal gjøre forsøket, på forsøket og sette i gang noen tankeprosesser. Med disse resultatene kan man si at funksjonen til prelaben er ivarettatt.

## **5.2.2 Observasjoner fra utprøvingen og svar fra undersøkelsen relatert til gjennomføringen av forsøket**

### **Syntesen**

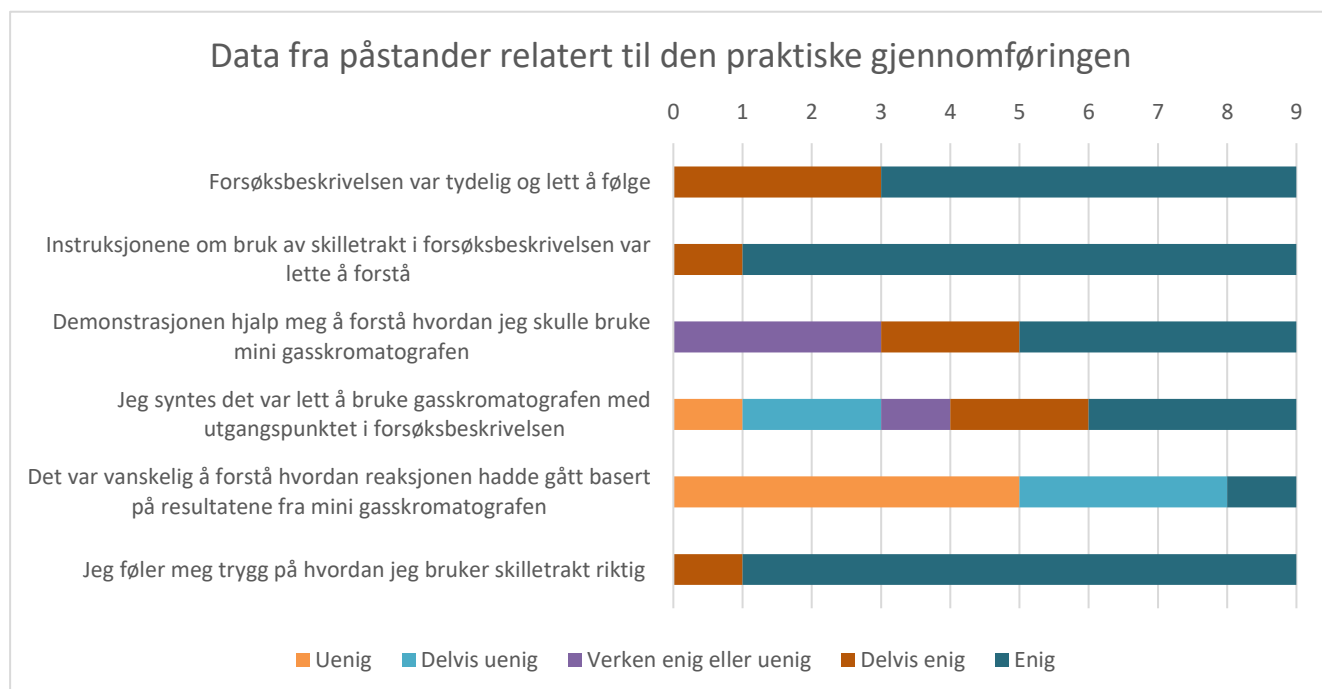
Det ble ikke observert at studentene hadde problemer med innveining av tert-butanol ettersom beholderen var i et vannbad for å holde den i væske form. Det ble heller ikke observert at studentene hadde problemer med utførelsen av sirkelbevegelser av skilletrakten, men lab veileder hadde en kort demonstrasjon på hvordan dette skulle gjøres. Noen elever ristet ikke skilletrakten som vist av veileder. Noen elever hadde på seg hansker over lengre perioder etter håndteringen av saltsyre. En elev trodde at 60 mL mettet natriumklorid løsning skulle tilsettes i stedet for 30 mL mettet natriumhydrogenkarbonatløsning og 30 mL mettet natriumklorid

løsning. Flere studenter ristet i flere minutter etter tilsetting av mettet natriumhydrogenkarbonat løsning og etter tilsetting av mettet natriumklorid løsning selv om det stod i forsøksbeskrivelsen at det kun trengs å gjøre én gang. Det så ikke ut som studentene hadde problemer med å tørke produktet.

## Analysen

Da elevene nærmet seg slutten av del 1 viste lab veilederen hvordan Logger Pro fungerte og hvordan man gjør en injeksjon på en Vernier mini GC Plus. Mange elever hadde ikke injiseringsteknikk siden de ikke hadde gjort en on-column injeksjon tidligere. Det krevde derfor oppfølging fra lab veileder eller meg. To av fire gasskromatografer viste en topp under 100 mV ved 0.3 µL injeksjon av tert-butylklorid. Et annet instrument (instrument 1) fikk ingen topp ved 0.3 µL injeksjon av tert-butylklorid. Instrument 2 var koblet til en bærbar PC som ikke kunne lagre Logger Pro filen og student paret gjorde forsøket sitt på en annen gasskromatograf i stedet.

## Tilbakemeldinger om den praktiske gjennomførelsen fra studentene



Figur 5: Påstander om den praktiske gjennomføringen og hvordan studentene stilte seg til påstandene

Figur 5 viser at alle studentene svarte at de var enig, eller delvis enig, i at forsøksbeskrivelsen var tydelig og lett å følge. To studenter kommenterte at beskrivelsen av hvordan man bruker en Vernier mini GC Plus kunne vært mer detaljert og én kommenterte at to-delingen av fremgangsmåten var fin.

Selv om studentene var positive til forsøksbeskrivelsen, var det stor spredning i hvor lett de syntes det var å bruke gasskromatografen med utgangspunkt i forsøksbeskrivelsen. Påstanden om dette hadde mest variasjon i svar og kommentarene gitt av elevene er blandet. 3 av 9 var uenig eller delvis uenig, mens 5 av 9 var enig eller delvis enig i påstanden. Noen mener at forsøksbeskrivelsen var konkret og enkel å følge, mens en annen mener at en egen bruksanvisning kunne vært bedre. Det ser ut som om at fremgangsmåten er grei for noen, samtidig er dette første gang studentene har brukt Vernier mini GC Plus. Dette kan ha vært grunnen til at noen følte at fremgangsmåten ikke var tilstrekkelig siden noen kan trenge en mer formell innføring når de skal bruke et nytt instrument. En annen kommentar er;

*«Selve utførelsen altså hvordan bruke GC sprøyten måtte vi få veiledning (for å være sikker på at vi bruker det riktig). Men forsøksbeskrivelsen var tydelig på rekkefølgen og hvordan bruke programvaren.»*

8 av 9 var uenige i at det var vanskelig å forstå hvordan reaksjonen hadde gått basert på kromatogrammene. 2 av 9 nevner i kommentarfeltet at prelaben hjalp med å forstå reaksjonen og teorien bak resultatene fra mini GC. Dette kan tyde på at prelaben er forberedende til forsøket, slik at studentene kunne trekke konklusjoner fra kromatogrammet. Det er viktig å påpeke at studentene har hatt analytisk kjemi og er kjent med kromatogrammer.

### **5.2.3 Svar på etterarbeidet**

#### **Svar fra studenter på etterarbeidet**

I den første oppgaven skulle studentene sett inn kromatogrammet, datatabell med retensjonstider og vise hvilken topp som hører til hvilken forbindelse. Alle studentene tok et skjermbilde av kromatogrammet og radene de får når de analyserer toppen for å finne retensjonstiden. 3 av 9 studenter hadde laget en tabell i tillegg til dette. Hensikten var at kromatogrammet skulle være en egen figur og at studentene skulle lage en tabell hvor de redegjør for retensjonstider og forbindelsen til de tre toppene. Metoden flere av studentene

hadde valgt for å presentere kromatogrammene og retensjonstidene var rådata preget, mens formålet med denne oppgaven var at de skulle presentere dataene på en oversiktlig måte. Én av studentene markerte en topp med tert-betylchlorid og en annen for 2-klor-2-metylpropan, men dette er navnene på samme forbindelse. Dette kan skyldes at begge navnene omtales i fremgangsmåten, men det blir ikke spesifisert at de er navnene på samme forbindelse.

I oppgave 2 skulle studentene kommentere hypotesen sin fra prelaben (oppgave 7) og hvordan det samsvarte med resultatene deres. 4 av 9 skrev nevnte kokepunkt som grunnen, mens 5 av 9 hadde ingen grunn. Det var ikke spesifisert at de skulle forklare hvilke egenskaper hos forbindelsene som påvirket retensjonsrekkefølgen, som har mest sannsynlig påvirket antall studenter som trakk frem relevant teori knyttet til separasjonen.

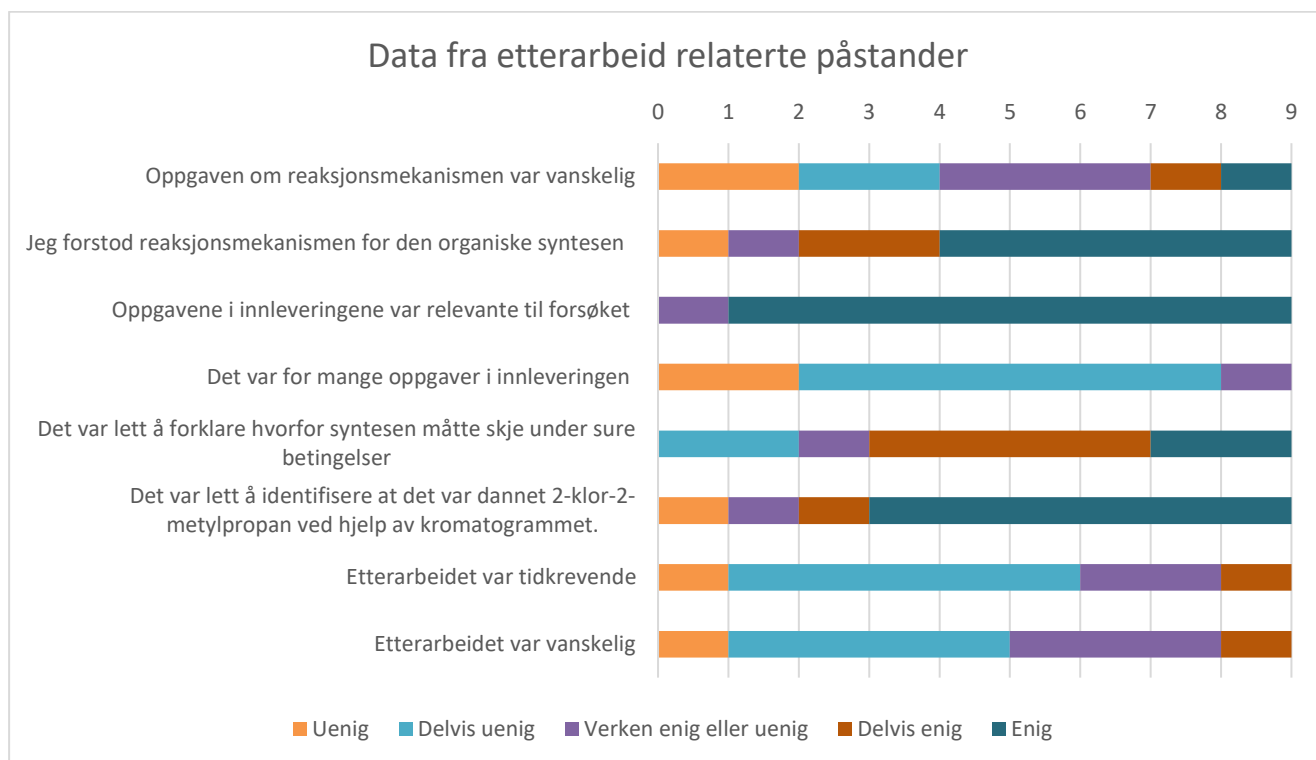
Ingen av studentene brukte begrepene nukleofil og elektrofil i oppgave 3 hvor de skulle forklare hva som skjer i reaksjonsmekanismen. Hensikten med prelab spørsmålet om disse begrepene var for at de skulle bruke begrepene i denne oppgaven. 3 av 9 skrev at det frie elektronparet på oksygenet angriper hydrogenet som er riktig. En student skrev at det var OH-gruppen som angrep hydrogenet, mens en annen student omtaler reaksjonen som en syre-base reaksjon og nevner ikke elektronpar på nukleofiler som angriper elektrofiler. 3 av 9 studenter skrev om dipoler eller negative og positive ladninger som tiltrekker seg hverandre i forklaringen. En annen elev skrev at OH-gruppen i tert-butanol donerer et elektronpar til hydrogenet i HCl. Fem av besvarelsene bruker elektronpar, ladning og akseptor/donor. Tre av besvarelsene bruker kun tiltrekking mellom positive og negative ladninger. Én elev begrunner ikke ved bruk av elektrostatiske krefter, men forteller hva som skjer i reaksjonsmekanismen. Ved å be elevene begrunne med elektrostatiske krefter var målet med oppgaven at de skulle bruke kausal og mekanistisk forklaring. Dette har de fleste studentene klart å gjøre. Ingen av studentene brukte teleologisk argumentasjon, men noen få gav forbindelsene antropomorfistiske egenskaper i form av at forbindelsene har en vilje.

Det var varierende beregnet utbytte blant parene i oppgave 4 a). Utbyttene var hos de ni studentene var 0,008%, 12% (2), 14,98%, 17%, 42,5% (2) og 61% (2). I oppgave b) nevnte alle studentene årsaker som var relevante til gjennomføringen de hadde gjort, som for eksempel at noe av den organiske fasen ble ekstrahert sammen med den vandige fasen. Samtidig var det noen elever som nevnte årsaker som ikke er relevant til forsøket, som for eksempel side-reaksjoner. Én student ramset opp årsaker, mens resten av studentene skrev en løpende tekst.

8 av 9 skrev at syntesen må skje i sure betingelser på grunn av protolyseringen av vann eller for at vann skal spaltes av tert-butanol. I oppgave 6 svarte studentene forskjellig på hvilke forbindelser de kan finne i den vandige og organiske fasen. Angående hvor tert-butanol og tert-butylklorid vil være skrev 4 av 9 at tert-butanol og tert-butylklorid vil være i organisk fase, 3 skrev at tert-butylklorid vil være i organisk og tert-butanol i vandig, mens 2 studenter nevnte kun at tert-butylklorid vil være i organiske fase. Det var varierende svar i hva studentene forventet i den vandige fasen, dette kan komme av at det er tre ekstraksjoner og noen studenter har kun fokusert på den første mens andre har tenkt på den samlede vandige fasen.

I den siste oppgaven skal studentene diskutere mulige feilkilder som kan påvirke kromatogrammet og/eller utbyttet. Mange av studentene repetert hva de svarte i 4b) for utbytte. For kromatogrammet svarte noen bruk av sprøyten, injeksjonsvolum, tidsforskjellen mellom injeksjon og data innsamlingen på programmet. 3 av 9 studenter lagde en punktliste mens resten skrev en løpende tekst. I lys av svarene fra denne oppgaven, er denne oppgaven overflødig siden alle studentene i hovedsak repetert hva de hadde nevnt tidligere i faktorer som kan påvirke utbytte.

## Tilbakemeldinger om etterarbeidet fra studentene



Figur 6: Påstander om etterarbeidet og hvordan studentene stilte seg til påstandene. Påstandene bruker «innleveringen» i stedet for etterarbeid siden det er det elevene kaller det.

2 av 9 studenter var enige eller delvis enige i at oppgaven hvor de skal forklare hva som skjer i reaksjonsmekanismen var vanskelig, mens 4 av 9 var uenig i påstanden. Én student kommenterte at det var vanskelig fordi de ikke visste hvilken reaksjonstype det omhandlet og én annen skrev at det var vanskelig siden det var en stund siden sist de hadde jobbet med mekanismer. Én annen student skrev at det var lett siden det var få og greie steg i mekanismen. Det at én student ikke hadde fått med seg hvilken reaksjonstype det omhandlet er litt urovekkende, men studentene har ikke eksplisitt blitt spurt om å gjøre rede for reaksjonen i undervisningsopplegget. Samtidig var det 7 av 9 som var enige eller delvis enige i at de forstod reaksjonsmekanismen for syntesen, mens én student var uenig og én annen var verken enig eller uenig.

8 av 9 var enige i at oppgavene var relevante til forsøket, og én student kommenterte at oppgavene bidro til at de snakket om resultatet i tillegg til at de diskuterte og drøftet.

For påstanden om at det var lett å forklare hvorfor syntesen måtte skje under sure betingelser var det 6 av 9 som var enige eller delvis enige, mens 2 var delvis uenige. Gjengangeren i

kommentarfeltet var at det var lett å se hvorfor syntesen krevde sure betingelser ved å se på reaksjonsmekanismen. Hensikten med oppgaven var at den skulle få studentene til å analysere reaksjonsmekanismen for å forstå å hvordan alkohol gruppen forlater forbindelsen. 7 av 9 var enige eller delvis enige i at det var lett å se at tert-butyklorid hadde blitt dannet ved bruk av kromatogrammene.

8 av 9 studenter var enige eller delvis enige om at det ikke var for mange oppgaver i innleveringen, én student var verken enig eller uenig. 6 av 9 var uenig eller delvis uenige i at etterarbeidet var tidskrevende mens én student var delvis enig. Samtidig var det 5 av 9 var delvis uenig eller uenig i at etterarbeidet var vanskelig mens én student var delvis enig og tre var verken enig eller uenig. De som var uenige kommenterte at prelaben var relevant for å svarene og hadde forberedt dem til oppgavene i etterarbeidet. Andre viste til oppgaven om reaksjonsmekanismen som en krevende oppgave, både i vanskelighet og tid. Flertallet av studentene mente at etterarbeidet ikke hadde for mange oppgaver, ikke var vanskelig nok til å si at det var vanskelig og at det i hovedsak ikke var tidskrevende. Feilverdien til disse svarene kan være påvirket av at det ikke ble forklart hva som menes med tidskrevende og vanskelighet i påstandene.

Et av de fire åpne spørsmålene knyttet til etterarbeidet som ble stilt til studentene var;

*«Er det noen av spørsmålene i innleveringen du tenker ikke er relevante for forsøket? Begrunn gjerne».*

Konsensusen var at spørsmålene var relevante, men én skrev at spørsmålet om hvilke stoffer du å finne i den organiske fasen og den vandige fasen kunne vært i prelaben.

Det andre åpne spørsmålet var om det var noen andre spørsmål som studentene kunne tenke seg var mer relevante i etterarbeidet. Den generelle konsensusen var nei, men én student trakk frem at spørsmål knyttet til hvordan man kan optimalisere syntesen kunne vært relevant og én annen student kommenterte blant annet;

*«Spørsmål 4b) og halve spørsmål 7 er ute etter det samme svaret, nemlig "feilkilder for utbytte". Kunne ha kuttet den ene eller den andre, dog det gir mer mening å ha det som 4b) etter 4a).»*

Det tredje åpne spørsmålet var;

*Instrumentet som ble brukt i forsøket var en mini GC. Føler du at innlevingen hadde et fokus rettet mot mini GC-en? Er det noen spørsmål du tenker kunne ha stilt om mini GC-en i innlevingen?*

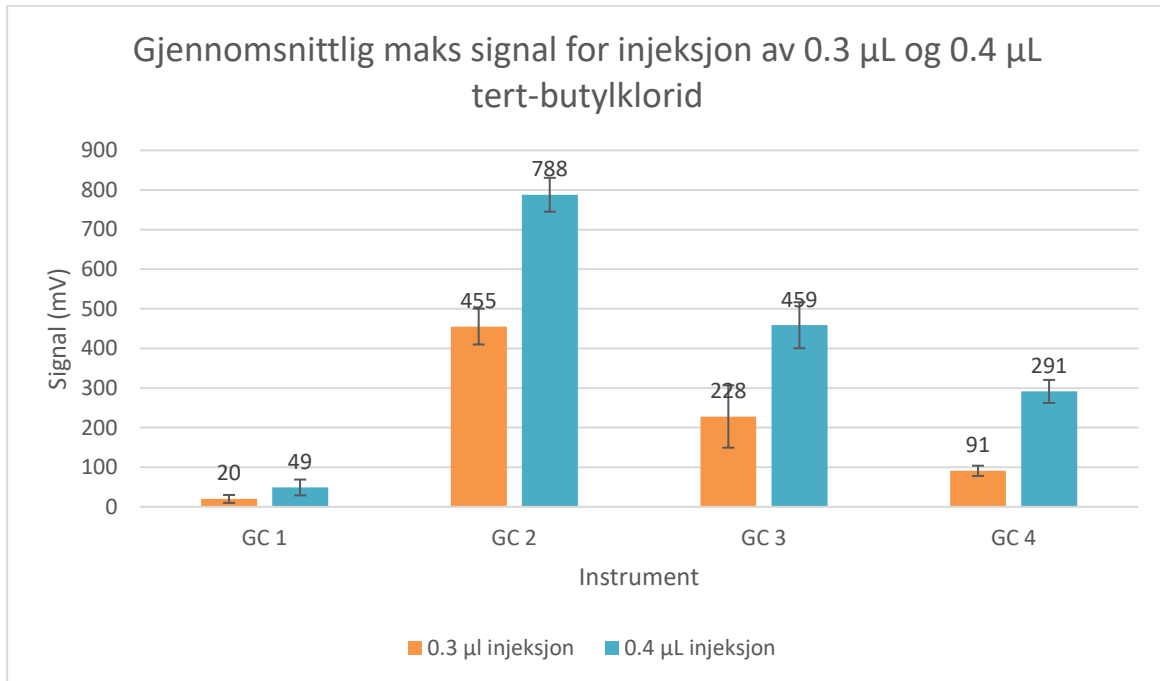
Én student mente at det var nok med spørsmålene fra prelaben slik at det ikke er behov for spørsmål om GCen i etterarbeidet. Flere skiver at etterarbeidet ikke hadde et fokus på mini GCen og at det var et større fokus på kromatogrammene. Én student foreslår blant annet spørsmål om hvilke bruksområder mini GCen har og hvordan den kan brukes i forskning, mens to andre studenter foreslår spørsmål knyttet til elevenes erfaring med instrumentet.

Det siste åpne spørsmålet var om det var noe de savnet fra prelaben, forsøksbeskrivelsen og/eller etterarbeidet. Én student svarte at det kunne være spørsmål knyttet hva en GC er, mens én annen skrev at de ønsket flere eksempler på nukleofiler og elektrofiler.

#### **5.2.4 Testing på andre Vernier mini gasskromatograf Plus**

I lys av resultatene fra utprøvingen av undervisningsopplegget ble det gjort en undersøkelse på gjennomsnittlig maks signal på de fire instrumentene brukt i undervisningen. Det beregnede gjennomsnittlige maks signalet (mV) fra grunnlinjen for instrument 1, 2, 3 og 4 for injeksjon av 0,3  $\mu\text{L}$  og 0,4  $\mu\text{L}$  tert-butylklorid og standardavviket vises i figur 7. Dette ble ikke testet for tert-butanol siden forbindelsen detekteres godt av detektoren i Vernier mini GC Plus sammenliknet med tert-butylklorid. Testingen av signalstyrke på de fire gasskromatografene viste at det er stor variasjon i instrumentene brukt i utprøvingen. Instrument 2, altså GC 2, gav størst gjennomsnittlig maks signal for både 0,3 og 0,4  $\mu\text{L}$  injeksjon av tert-butylklorid. Deretter instrument 3. Instrument 1 hadde lavest respons for begge injeksjonsvolumene.





Figur 7: Gjennomsnittlig maks signal og standardavvik (mV) for injeksjon av 0.3  $\mu$ L (blå) og 0.4  $\mu$ L (oransje) tert-butyklorid på instrument 1, 2, 3 og 4.

## 6 Diskusjon

Dette kapittelet er delt i fire deler. Først vil resultatene fra videreutviklingen av forsøket diskuteres og deretter følger en diskusjon av hvordan undervisningsopplegget har fungert basert på prelab, etterarbeidet og svar på spørreundersøkelsen. Samtidig vil det diskuteres hvordan undervisningsopplegget ble videreutviklet basert på prelaben, etterarbeidet og spørreundersøkelsen. Det vil diskuteres i lys av teori og resultater fra utprøving av undervisningsopplegget. I den tredje delen vil videre arbeid diskuteres kort. Avsluttende vil det bli diskutert om undervisningsopplegget kan gjennomføres uten en Vernier mini GC Plus, siden ikke alle skoler vil ha instrumentet tilgjengelig av økonomiske og logistiske årsaker.

### 6.1 Videreutviklingen av forsøket i undervisningskontekst

I denne delen av diskusjonen vil det diskuteres hvordan optimaliseringen av forsøket er relevant i undervisningskontekst ut ifra hvordan en typisk 90 minutters laboratorie økt gjennomføres, læreplanen i kjemi 2 og sikkerhetstiltak.

#### 6.1.1 Reaksjonstiden i skilletrakten

Hensikten med å endre reaksjonstiden i skilletrakten fra 15 til fem minutter var for å redusere tiden brukt på forsøket siden en laboratorie økt på videregående skole kan være på 90 minutter og det er ikke hensiktsmessig å bruke 15 minutter på å riste en skilletrakt hvis fem minutter kan brukes i stedet. I en typisk laboratorie time på 90 minutter vil noe av tiden brukes på oppstart, introduksjon, hente utstyr, vaske og legge tilbake utstyr og en form for konsolidering, derfor vil reduksjon av tiden brukt på ristingen gi mer rom for de andre delene. Utbytte for 15 minutter og fem minutter reaksjonstid hadde en forskjell på 3%. I en pedagogisk sammenheng hadde det vært greit å si at forsøket fortsatt fungerer som det skal slik at videre undersøker ikke er nødvendig.

Det var fortsatt interessant å undersøke om endringen i reaksjonstid hadde en signifikant forskjell på utbytte siden datasettet gav inntrykket av at det ikke var det. Null hypotesen ( $H_0$ ) var at det ikke er en signifikant forskjell i utbyttet mellom 15 og fem minutter reaksjonstid i skilletrakten, derfor ble F-test og T-test brukt for å teste hypotesen. Resultatet fra testene var

at det ikke er en signifikant forskjell i utbyttet mellom 15 og fem minutter reaksjonstid. Det kunne blitt undersøkt videre om det trengs å riste skilletrakten i dette forsøket, samtidig blir elevene kjent med en teknikk innenfor organisk kjemi som brukes i den virkelige verdenen. Dette kan inngå som en del av kjerneelementet *praksiser og tenkemåter i kjemi* som handler blant annet om hvordan metoder brukes og hvordan de knyttes til forsøk, og praktisk laboratoriearbeid (UDIR, 2021c).

### 6.1.2 Undersøkelser av injeksjonsvolum og deteksjon

Det ble undersøkt hva det laveste injeksjonsvolumet kunne være for tert-butanol og tert-butyklorid. Dette ble gjort fordi toppen til tert-butanol med 0,5  $\mu\text{L}$  var veldig bred. Topper i gasskromatografer bør være smale og det er ønskelig at elevene får realistiske erfaringer i kjemi 2. I læreplanen står det at eleven skal kunne bruke kromatografi for å separere og analysere organiske stoffblandinger, og brede topper kan gjøre dette kompetansemålet vanskeligere å oppnå i dette forsøket (UDIR, 2021d). Kromatografi er en metode og gasskromatografi er en teknikk, slik at kjerneelementene *praksiser og tenkemåter i kjemi* er også relevant her (UDIR, 2021c). Det er da ønskelig at elevene får den nærmeste tilnærmingen til virkeligheten med instrumentet de bruker, i dette forsøket en gasskromatograf, for å ivareta kjerneelementet på best mulig måte. Koblingen mellom kjemi og den virkelige verden kan motivere elevene og også ivareta et av fagets sentrale verdier som er å forberede elevene på videre studier og et arbeidslivet (L. S. Miller et al., 2004; UDIR, 2021a).

Tert-butanol ble detektert ved 0,1  $\mu\text{L}$ , men tert-butyklorid ble kun detektert ved 0,3  $\mu\text{L}$ . Retensjonstiden endres med injeksjonsvolumet, så for å ha toppe med ulike retensjonstid ble injeksjonsvolumet det samme for begge forbindelsene og produktet, nemlig 0,3  $\mu\text{L}$ . Det er også mer elev vennlig at elevene jobber kun med ett volum for injeksjon i stedet for to. Elevene kan slippe å lure på hvorfor det er ulike injeksjonsvolum og den ytre belastningen på arbeidsminne kan reduseres ved at det er en mindre ting å forholde seg til (Paterson, 2019; Ringnes & Hannisdal, 2014; Sweller et al., 2019).

Undersøkelsen av deteksjonsgrensen ble gjennomført på forskjellige filer som resulterte i at variasjoner i signalstyrke ved de ulike injeksjonsvolumene hos tert-butanol og tert-butyklorid ikke ble oppdaget. Det var derfor uventet å observere lave toppe under gjennomføringen av

undervisningsopplegget med studenter. Det var også uventet at det skulle være varierende signalstyrke på tvers av de fire instrumentene.

En medmaster student oppdaget at instrument 1 og 4, instrumentene med dårligst signal, hadde ødelagte detektorer. På bakgrunn av alle observasjoner gjort underveis under gjennomføringen av undervisningsopplegget og student besvarelser ble det gjort endringer i injeksjonsvolumet. I den endelige versjonen av forsøksbeskrivelsen er injeksjonsvolumet endret fra 0,3  $\mu\text{L}$  til 0,5  $\mu\text{L}$  for å sikre at elevene får kromatogram med tilstrekkelige topper de kan separere og analysere. Elevene kan fortsatt injisere mindre enn 0,3  $\mu\text{L}$  hvis detektoren ikke er ødelagt og kan både få smalere topper og detekterbare signaler. Instrumenter med ødelagt detektor vil derimot kunne oppleve dårlige signaler ved redusert injisert volum. Grunner til et uønsket lavere injisert volum kan oppstå ved at eleven blant annet har sprøyten for langt nede i vialet, de mister produkt ved at de venter på å injisere etter å ha fylt sprøyten eller at de kommer bort i stempelet når de presser sprøyten ned i injeksjonsporten.

Det er viktig å merke seg at optimalisering av forsøket ble gjort med Vernier mini GC Plus, og at det er en ny versjon tilgjengelig på markedet, GO Direct Mini GC. Denne gasskromatografen har en detektor som har mye bedre respons på relativt upolare forbindelser i motsetning til Vernier mini GC Plus, og en annen kolonne som kan påvirke retensjonstidene til tert-butanol og tert-butylklorid. Det vil derfor kanskje være et behov for justeringer i hvordan forsøket gjennomføres, spesifikt injeksjonsvolum, ved bruk av GO Direct Mini GC.

### **6.1.3 Endring i syrekonsentrasjon**

Hensikten med å redusere konsentrasjonen av saltsyren fra 12 mol/L til 6 mol/L var å redusere risikoen i forsøket og gjøre forsøket mer egnet til norsk skole. Det er også et grønn kjemi prinsipp som går ut på mindre farlige synteser, slik at reduksjon i syrekonsentrasjon kan ivareta dette prinsippet. Forskjellene i kategorien mellom 12 mol/L og 6 mol/L gjorde det gunstig å forsøke å gjøre en substitusjon, men det ble ikke dannet en organisk fase i skilletrakten. 6 mol/L HCl har et høyere vanninnhold enn 12 mol/L saltsyre som kunne ha medført at det ikke ble dannet upolar fase. Dette kan skyldes at tert-butanol er løselig i vann og at vann kanskje blir en dårlig utgående gruppe når mer vann er tilstede. Syrekonsentrasjonen ble derfor ikke redusert i forsøket.

## 6.2 Videreutviklingen av undervisningsopplegget

I denne delen av diskusjonen vil prelaben, forsøksbeskrivelsen og etterarbeid fra gjennomføringen av undervisningsopplegget presenteres. Diskusjonen vil legge vekt på i hvilken grad hensikten med oppgavene er oppnådd i lys av studentbesvarelser og spørreskjema. Oppgaver som har i liten grad oppnådd hensikten de har vil enten bli revidert eller fjernet, samtidig vil det introduseres nye oppgaver i lys av dataene. Det har derfor blitt utviklet reviderte versjoner av prelaben, forsøksbeskrivelsen og etterarbeidet. Den reviderte prelaben, forsøksbeskrivelsen og etterarbeidet er vedlagt i henholdsvis vedlegg 7, 8 og 9.

### 6.2.1 Prelab

Prelaben brukt i utprøvingen av undervisningsopplegget startet med at det skulle gjøres en risikovurdering av kjemikaliene. Hensikten med denne risikovurderingen er at elevene skulle være kjent med helse-, miljø- og sikkerhetsrisikoene knyttet til bruk av kjemikaliene i forsøket og redusere frykten knyttet til håndteringen av ukjente og potensielt farlige kjemikalier. 7 av 9 var enten enig eller delvis enig i at risikovurdering gjorde dem mer selvsikre i håndteringen av kjemikaliene. Det kan tolkes som at risikovurderingen reduserte frykten hos studentene ved at de ble kjent med risikoen og forebyggende tiltak til de ulike kjemikaliene. Samtidig var dette kjemi studenter som sannsynligvis er mindre redd for kjemikalier enn videregående elever, da disse har mer erfaring med kjemikalier gjennom videre utdanningen. Risikovurdering blir gjennomført før den praktiske gjennomførelsen for å øke studentenes forståelse av helse-, miljø- og sikkerhetsrisikoene knyttet til bruk av kjemikalier. Når studentene er bevisste over de potensielle farene og nødvendige sikkerhetstiltakene knyttet til 12 mol/L saltsyre, vil det være en mindre belastning for studentene å jobbe med syren. Dette er bra fordi overbelastning på lab er typisk på grunn av ulike variabler som tid, arbeidsprosedyre, mangel på kjennskap og kunnskap til hva som skjer og generell bakgrunnsstøy (Agustian & Seery, 2017; Ringnes & Hannisdal, 2014).

I etterarbeidet kom det frem at noen av studentene ikke hadde fått med seg at tert-butylklorid og 2-klor-2-metylpropan er navn på samme forbindelse. Dette har derfor ført til endringer i den reviderte prelaben, forsøksbeskrivelsen og etterarbeidet siden det kan også være forvirrende for elever på videregående skole å forholde seg til to typer navn i et undervisningsopplegg. I den reviderte prelaben har 2-metylpropan-2-ol og 2-klor-2-

metylpropan blitt byttet ut med henholdsvis tert-butanol og tert-butyklorid, i tillegg til dette har CAS nummeret blitt vedlagt. Det er lettere å kommunisere med trivialnavn enn systematiske navn, og det har også blitt observert at å bruke flere navn for samme forbindelse kan være forvirrende. Tert-butanol og tert-butyklorid kan også være lettere for elever å huske enn 2-metylpropan-2-ol og 2-klor-2-metylpropan. CAS nummeret har blitt lagt til for at elevene skal kunne finne frem til sikkerhetsdatabladet. Endringene knyttet til hvilke navn som blir omtalt i forsøksbeskrivelsen blir videre diskutert i 6.2.2.

Oppgave 2 ble elevene spurt om å identifisere nukleofilen og elektrofilen i forsøket, og hensikten med denne oppgaven var å gjøre reaksjonsmekanismen i etterarbeidet lettere. Data fra spørreskjema viser at 3 var enige i at denne oppgaven hjalp dem i arbeidet med forsøket. Ideelt skulle spørsmålet vært om det hjalp med reaksjonsmekanismen i etterarbeidet siden det var hensikten med oppgaven. Samtidig var det kun 3 av 9 elever som klarte å identifisere hvilken forbindelse som er nukleofil og elektrofil i forsøket, 3 av 9 identifiserte ikke noen av forbindelsene som nukleofil og elektrofil, og 3 av 9 hadde feil på begge eller en av dem. Det er også uklart om studentene hadde fått med seg at det er en substitusjonsreaksjon siden det aldri blir bedt om å gjøre rede for reaksjonstypen i undervisningsopplegget selv om det er i tittelen. Reaksjonsmekanismen er ikke gitt i oppgaven for at studentene og elevene ikke skal bruke teleologisk argumentasjon og i stedet bruke eksplisitte og implisitte egenskaper for å identifisere nukleofil og elektrofilen (Dood & Watts, 2022). Samtidig er reaksjonstrinnene for reaksjonen gitt i forsøksbeskrivelsen. Reaksjonstrinnene kan hjelpe noen elever med å bestemme hvilken forbindelse som er nukleofil og elektrofil, men dette kan kreve av elevene at de har en forståelse over hva som skjer i hvert trinn. Samtidig har forsøksbeskrivelsen lagt vekt på definisjonen på hva en nukleofil er og kun gitt eksempler for hvilke forbindelser som kan være elektrofil, som kan medføre at elever på videregående skole sliter med definisjon og identifikasjon (Dood & Watts, 2022). Oppgaven har blitt revidert til at elevene skal definere hva en nukleofil og en elektrofil er, identifisere elektrofilen og nukleofilen i forsøket og gjøre rede for reaksjonstypen. Denne oppgaven krever at elevene definerer og klassifiserer forbindelser, altså en oppgave som har et lavt og middels kognitivt nivå (Rosenthal, 1987). Oppgaven krever også at elevene ser på de implisitte egenskapene til forbindelsene slik at elevene også jobber med kjerneelementet *kjemiske bindinger og strukturer* (UDIR, 2021c). Samtidig har dette ført til endringer i forsøksbeskrivelsen som omtales i 6.2.2.

Oppgave 3 fra prelaben brukt i undervisningsopplegget er uendret i den reviderte prelaben. Hensikten med oppgaven var for å forberede elevene på væske-væske ekstraksjon som skal gjennomføres på laboratorie og 7 av 9 var enige eller delvis enige i at denne oppgaven hjalp dem med ekstraksjonen under den praktiske gjennomførelsen. Alle studentene illustrerte riktig hvor den polare og upolare fasen vil ligge og det ble ikke observert at studentene hadde problemer med å identifisere fasene for ekstraksjonen under gjennomførelsen av forsøket. Denne skisseringen er en form for mental forberedelse til laboratoriet på samme måte som oppgave 1 i den reviderte prelaben, samtidig kan oppgaven bygge selvtillit i laboratoriet ved at elevene vet hva de skal se etter og gjøre (Agustian & Seery, 2017; Pickering, 1987).

Oppgave 4 og 5 omhandler gasskromatografi og Vernier mini GC Plus. Hensikten med disse oppgavene, som omhandlet bruk av gasskromatografi og mobil fase i Vernier mini GC Plus, var å bevisstgjøre elevene om at de skal jobbe med en GC og for at de skal ha noe kjennskap til instrumenteringen. Resultater fra spørreundersøkelsen viste at spørsmål om hvordan en GC fungerer og instrumenteringen hadde hatt en større nytteverdi for studentene. I den reviderte prelaben skal elevene i stedet svare på hva GC brukes til og hvordan forbindelsene tert-butanol og tert-butyklorid er egnede forbindelser å injisere i en GC. Oppgaven krever at elevene reflekterer over egenskapene til disse forbindelsene og forbindelsene som typisk injiseres i en GC. Denne type oppgave kan tilrettelegge for at elevene kobler kjemi med den virkelige verden siden det ofte blir gjort vurderinger knyttet til hvilke metoder som er egnet for analyse av en prøve i ulike forskningsfelt (L. S. Miller et al., 2004; Ringnes & Hannisdal, 2014; UDIR, 2021a). Dette kan tilrettelegge for at kjerneelementet *praksiser og tenkemåter i kjemi og kjemiske bindinger og strukturer* blir arbeidet med siden elevene vurderer kjemiske og fysiske egenskaper til forbindelsene for å vurdere om de er egnet til gasskromatografi (UDIR, 2021c). Elevene skal i stedet for å kun gjøre rede for den mobile fasen i Vernier mini GC Plus, tegne et blokkdiagram for instrumenteringen av en gasskromatograf og sette navn på de ulike delene i den reviderte prelaben. Elevene skal i tillegg kommentere hva den mobile og den stasjonære fasen i Vernier mini GC Plus er ut i fra forsøksbeskrivelsen. Hensikten med denne oppgaven vil være å gjøre elevene med kjent med instrumentet de skal jobbe med, og samtidig gjøre dem kjent med de ulike delene som inngår i en gasskromatograf (King et al., 2012). Dette blokkdiagrammet skal gjenbrukes i etterarbeidet for å forklare hvordan en prøve med tert-butyklorid og tert-butanol beveger seg i instrumentet. Det er også gunstig å nevne at alle læreverkene har en figur som viser de ulike delene i en GC og en forklarende tekst på deres nivå (Haraldsrud et al., 2022; Knutsen et al., 2022a; Steen et al., 2022a).

Oppgave 6 og 7 i prelaben er uendret i den reviderte prelaben. Hensikten med disse spørsmålene var å sette teori i praksis som nevnt i 4.1.2. Elevene må vurdere hvordan forbindelsene vil separeres i en upolar kolonne, som er relevant siden Vernier mini GC Plus har en upolar kolonne. Oppfølgingsspørsmålet skal få elevene til å danne en hypotese for retensjonsrekkefølgen. Elevene jobber da med kompetansemålet om kromatografi og kjerneelementet *praksiser og tenkemåter i kjemi* (UDIR, 2021d, 2021c)

I den reviderte prelaben har det blitt lagt til en ny oppgave, som blir den første oppgaven i arbeidet. Denne oppgaven ber elevene om å lese gjennom forsøksbeskrivelsen for å skissere en fremgangsmåte. Fremgangsmåten kan skisseres på ulike måter som for eksempel med tegninger av utstyr og oppsett eller flytdiagram, altså en oppgave som har fokus på hele forsøket. Et flytdiagram er en visuell fremstilling av en prosess, som regel ved bruk av bokser og piler. Elevene blir også bedt om å notere ned viktig informasjon som vil typisk være innveiinger av reaktanter og hvor lenge skilletrakten skal ristes, men dette blir ikke eksplisitt nevnt i oppgaveteksten. I stedet skal de tenke at de ikke trenger forsøksbeskrivelsen når de skal gjennomføre forsøket. Denne oppgaven ble lagt til for å forberede elevene bedre på forsøket (Davidowitz & Rollnick, 2001; Pickering, 1987; Ringnes & Hannisdal, 2014). Det ble observert at en student trodde at de skulle tilsette 60 mL mettet natriumklorid løsning i stedet for 30 mL mettet natriumhydrogenkarbonatløsning og 30 mL mettet natriumklorid løsning. Dette kunne skyldes at studenten ikke var oppmerksom på de ulike løsningene siden de begge starter med natrium, men dette kunne kanskje vært unngått hvis studenten hadde satt seg inn i forsøket på forhånd. Når elevene må skissere fremgangsmåten blir de nødt til å sette seg inn i forsøksbeskrivelsen som medfører at de er mentalt forberedt til det praktiske arbeidet og den kognitive belastningen reduseres ved at de er forberedt på prosedyren (Agustian & Seery, 2017). De kan også ha identifisert usikkerhetsmomenter i forkant av øvelsen og de kan da stille spørsmål til medelever eller lærer. Elever som er kjent med arbeidsprosedyren kan komme seg gjennom forsøket mer effektivt (Pickering, 1987). Elevene blir også bedt om å lage tabeller for data som skal samles inn i forsøket. Data som skal bli notert ned står beskrevet i forsøksbeskrivelsen så denne oppgaven krever ikke at elevene må se på etterarbeidet som skal gjøres. Ved at elevene lager sine egne datatabeller på forhånd av forsøket kan de bli mer bevisste på hva som skjer i forsøket ved å stille seg selv spørsmål som «*hvorfor samler jeg dette inn?*». Ifølge Rosenthal (1987) kan dette også medføre at elevene ser relasjoner mellom data de samler inn og at de føler på et eierskap. Det var nesten ingen studenter som skrev uoppfordret at produktet er mest sannsynlig tert-betylklorid basert på



retensjonstiden i etterarbeidet, så det er usikkert om studentene har fått det med seg. Samtidig kan mangelen på et eksplisitt spørsmål være grunnen til at studentene ikke nevnt hva produktet var siden man ikke kan forvente at elever kan være tankelesere. Hvis elevene hadde laget sine egne datatabeller så kunne de kanskje uoppfordret skrevet hva produktet er i etterarbeidet.

Prelaben utviklet for undervisningsopplegget ble gitt som en oppgave som studentene skulle levere inn før de skulle gjennomføre forsøket, men prelab oppgaver kan også være i form av quiz. En quiz der elevene får rask tilbakemelding på hva som er riktig og hvordan det som er feil er feil, kan være hensiktsmessig å bruke siden tilbakemeldingene kan gi elevene anledningen til å lære og bygge selvtillit (Chittleborough et al., 2007). Svar fra studentene om det hadde vært bedre om prelaben var i form av en quiz er blandede (se 5.2.1), men kommentarene tyder på at studentene foretrekker en innlevering hvor flere aspekter dekkes og at de må skrive selv. Formatet på den reviderte prelaben kan derfor være en innlevering for at elevene skal sette seg godt inn i forsøket, i stedet for en quiz der de kan prøve seg frem der det er flervalg. Hvis en quiz skulle bli brukt må læreren tenke over om det skal være flervalgsoppgaver, om alle oppgavene må være riktig før laboratorieøkten og om det er mulighet for å gi elevene tilbakemelding på det de har svart på plattformen hvor quizen blir gjennomført.

I prelaben brukt blir det nevnt i 4.1.1 at det ikke er forventet at elevene skal bruke flere kilder enn forsøksbeskrivelsen, sikkerhetsdatablad og nettsider som gir informasjon om tettheten til forbindelsene. I den reviderte forsøksbeskrivelsen forventes det at elevene også bruker læreboka eller internett for å lage et blokkdiagram for instrumenteringen av en gasskromatograf. Å bruke kilder utenfor forsøksbeskrivelsen kan øke elevenes erfaringer med å systematisk søke og evaluere kilder, og samtidig utvikle lese ferdigheter siden ulike kilder kan presentere relevant informasjon på ulike måter.

## **6.2.2 Forsøksbeskrivelsen**

Etter utprøvingen av undervisningsopplegget ble noen forbedringspunkter identifisert i forsøksbeskrivelsen. Disse var definisjonen gitt for elektrofil og nukleofil, og bruk av tert-butanol og tert-butylklorid sammen med 2-metylpropan-2-ol og 2-klor-2-metylpropan. Samtidig viser spørreundersøkelsen at alle studentene var enige eller delvis enige i at

forsøksbeskrivelsen var tydelig og lett og følge. Denne reviderte forsøksbeskrivelsen er vedlagt som vedlegg 8. Datatabellen som var på slutten av forsøksbeskrivelsen brukt under utprøvingen er fjernet i gjengjeld skal elevene bruke datatabellene de lagde i prelaben som nevnt i 6.2.1.

Den reviderte forsøksbeskrivelsen lagt til en definisjon for elektrofil og typiske eksempler på elektrofiler siden dette kan ha bidratt til at noen av studentene ikke identifiserte hvilken forbindelse er nukleofil og elektrofil i reaksjonen. Elektrontetthet, en implisitt egenskap, er også blitt brukt for å forklare forskjellen mellom en nukleofil og en elektrofil for å gjøre det lettere for elever å lagge «knagger». Som nevnt i 6.2.1. kan mangelen på definisjonen av elektrofil være grunnen til at to av studentene ikke klart å identifisere elektrofilen og at tre av studentene ikke gjorde et forsøk. Lærebøkene *Kjemi 2* og *Aqua 2* tar for seg begrepene mens *Kjemien Stemmer 2* bruker ikke begrepene, det kan derfor være hensiktsmessig for lærere som bruker *Kjemien Stemmer 2* å definere i begrepene før laben for å unngå at elevene blir introdusert til nye begreper i et praktisk eksperiment og for å unngå ytre belastning siden ny teori er ikke nødvendigvis et passende sted å introdusere ny teori.

Den reviderte forsøksbeskrivelsen bruker kun tert-butanol og tert-betylklorid i stedet for å bruke trivialnavnene og de systematiske navnene for å unngå at elevene skal tro at det er forskjellige forbindelser (se 5.2.3). Forsøksbeskrivelsen har et *nota bene* (NB) i starten som sier at forsøket skal gjøres i avtrekkskap og at tert-betylklorid og tert-butanol er samme forbindelser som 2-metylpropan-2-ol og 2-klor-2-metylpropan. Det er viktig for elevene å kjenne til det systematiske og trivialnavnet på forbindelsen, ettersom elevene kan ta i bruk beholdere som er merket med det systematiske navnet. I noen settinger kan det være mer gunstig å bruke trivialnavnet, mens i andre situasjoner er det systematiske navnet mer egnet. Ved å ha kjennskap til det systematiske navnet og trivial navnet på en kjemisk forbindelse, kan elevene få en bedre forståelse av det kjemiske språket både i og utenfor laboratorie og bli bedre kjent med navnsettingen i kjemi.

Data fra påstander relatert til den praktiske gjennomføringen viser at 3 av 9 var uenige i at det var lett å bruke Vernier mini GC Plus med forsøksbeskrivelsen som utgangspunkt, mens 5 av 9 var enige. Dette kan skyldes av dette var første gang studentene har brukt en Vernier mini GC Plus. Å jobbe med et ukjent instrument kan fungere som en barriere i en læringssituasjon, i dette tilfelle forsøket, ved at elevene er usikre på hvordan de skal operere instrumentet, som kan medføre en økt kognitiv belastning på laboratorie. Ideelt skal elevene ha hatt muligheten

til å bli kjent med instrumentet i forkant av laboratorie økten. Læreren kan ha en kort demonstrasjon og forklarer hvordan instrumentet fungerer i en tidligere økt. Elevene kan også se på en video i forkant, lese manualen til instrument og lage et blokkdiagram som beskrevet av King et al (2012). Begge aktivitetene sørger for at elevene blir kjent med instrumentet slik at relevante kjemiske konsepter blir lettere å forholde seg til siden fokuset ikke er på hvordan elevene skal operere instrumentet (L. S. Miller et al., 2004). Samtidig kan en kort demonstrasjon på dagen være tilstrekkelig for noen elever for å kunne operere instrumentet, og få skoler vil ha flere enn fire Vernier mini GC Plus-er slik at læreren kan også hjelpe elevene underveis hvis det skulle oppstå problemer eller spørsmål.

### 6.2.3 Etterarbeid

Etterarbeidet fra utprøvingen av undervisningsopplegget startet med en oppgave der elevene skulle sette inn kromatogrammet fra forsøket og datatabell med retensjonstider. I tillegg til dette skulle elevene indikere hvilken forbindelse som er hvilken topp. I de fleste besvarelsene fra studentene hadde de kun lagt inn et skjermbilde av kromatogrammet med retensjonstider, areal og prosentvist areal. Ideelt skulle elevene kun ha et skjermbilde av kromatogrammet og laget en tabell med oversikt over retensjonstider til de ulike injeksjonene, og deretter skrevet noe om hva produktet består av ut i fra retensjonstidene, men dette var ikke eksplisitt skrevet. Når studentene kunne limer inn et skjermbilde uten å velge de relevante dataene kan dette gi inntrykk av at de ikke vet hvor de finner retensjonstidene, men som nevnt tidligere kan dette skyldes at det stod datatabell i etterarbeidet. I det reviderte etterarbeidet blir elevene bedt eksplisitt om å lage en tabell for retensjonstidene til forbindelsene. Elevene skal fortsatt vedlegge kromatogrammet. Grunnen til at etterarbeidet ikke har en ferdig lagd tabell er for at elevene skal jobbe med å trekke ut relevant informasjon fra rådataene de har samlet inn (Rosenthal, 1987).

I den andre oppgaven i etterarbeidet skulle studentene kommentere retensjonsrekkefølgen fra eksperimentelle data og kommentere på hvordan dette samsvarte med den forventende retensjonsrekkefølgen i prelaben. Alle studentene klarte denne oppgaven. Dette er en oppgave på et lavt nivå som kun krever at elevene kommenterer hvorvidt retensjonsrekkefølgen stemmer. Ved å legge til et element der elevene må redegjøre for hvorfor rekkefølgen ble som den ble i det reviderte etterarbeidet, kan det argumenteres for at nivået på oppgaven har økt. Forventingene til svarene fra elevene går fra en kort setning om det stemmer eller ei til en

forklaring på hvorfor, elevene skal da anvende teori basert på eksperimentelle resultater (Bloom, 1956; Rosenthal, 1987). Svaret på oppgaven har de også svart på i prelaben. I prelaben skal de gjøre rede for hvordan forbindelser separeres i en upolar kolonne og begrunne den forventede retensjonsrekkefølgen med kokepunkt. Denne oppgaven forsterker teorien bak separasjon i en upolar kolonne i en gasskromatograf, altså at stoffers egenskaper har en innvirkning på separasjon og analyse. Dette kan knyttes opp mot kompetansemålet om kromatografi der elevene skal kunne gjøre rede for prinsippene for kromatografi (UDIR, 2021d).

Studentene brukte i hovedsak kausal og mekanistisk argumentasjon når de skulle forklare hva som skjer i reaksjonsmekanismen i etterarbeidet ved å bruke ladninger og polaritet, men de brukte ikke begrepene nukleofil og elektrofil. Nukleofil og elektrofil er relevante og sentrale begreper i organisk kjemi når man skal forklare hva som skjer i en reaksjonsmekanisme. Det har blitt vurdert hvorvidt begrepet er relevant i undervisningsopplegget, men to av tre læreverk har definert elektrofil og nukleofil i ulik grad (Haraldsrud et al., 2022; Knutsen et al., 2022a; Steen et al., 2022a). Samtidig skal elevene bli kjent med terminlogien i ulike fagfelt i kjemi gjennom programfaget, som nevnt i grunnleggende ferdigheter for *mundlig ferdigheter, lesing og skriving* (UDIR, 2021b). Det har også blitt tatt høyde for at begrepene skal ha klarere definisjoner i forsøksbeskrivelsen og at elevene skal ha identifisert hvilken forbindelse som er nukleofil og elektrofil i prelaben (se 6.2.1 og 6.2.2). I det reviderte etterarbeidet ber derfor oppgaven eksplisitt om å bruke begrepene i forklaringen. Et annet element har blitt lagt til i oppgaven. I reaksjonsmekanismen er produktet markert med et spørsmålsteget og elevene skal bestemme hva den ukjente forbindelsen er. Ut i fra syntesen og forsøksbeskrivelsen kan elevene lett finne frem til at produktet er tert-butyلكlorid, men de skal forklare hvordan tert-butanol blir omdannet til tert-butyلكlorid. Det har blant annet blitt nevnt i teori at et ukjent produkt kan øke sannsynligheten for mekanistisk eller kausal argumentasjon (Dood & Watts, 2022). Studentene som gjennomført oppgaven er på et annet faglig nivå enn kjemi elever på videregående skole, og ved å ha et «ukjent» produktet kan det tilrettelegges for at elevene bruker mekanistisk eller kausal argumentasjon i forklaringen sin enn teleologisk argumentasjon.

Oppgaven i etterarbeidet der elevene skal regne på det teoretiske utbytte og utbytte i prosent for syntesen forblir uendret i det reviderte etterarbeidet. Hensikten med beregningene er at elevene skal bruke informasjonen om reaksjonen og relevante data fra laboratorieøvelsen for å

beregne de ulike utbyttene. Dette er for å jobbe regning i kjemi, en av de fem grunnleggende ferdighetene i kjemi, og for å tilrettelegge for å jobbe med kompetansemålet om utbytte i synteser (UDIR, 2021b, 2021d). Ved å gjøre rede for det teoretiske utbytte og utbytte i prosent får elevene et bedre grunnlag til å diskutere årsaker til hvorfor utbyttet ikke er 100% og de kan stille seg mer kritisk til effekten disse årsakene har på utbyttet.

Det kom frem i undersøkelsen og student besvarelsene at oppgavene om årsaker til hvorfor utbytte ikke er 100% og mulige feilkilder som påvirker kromatogram og utbytte gir tilnærmet like svar. Dette gjorde oppgavene overflødige. I det reviderte etterarbeidet blir elevene bedt om å vurdere og forklare hvilke steg som kan påvirke utbytte og renhet i syntesen. Elevene skal også forklare hvordan stegene påvirker disse faktorene. Denne oppgaven krever at elevene kan reflektere og analysere fremgangsmåten og egen eksperimentelle opplevelse og anvende dette i lys av utbytte og renhet. Dette er en oppgave som kan anses å være på et middels til høyt nivå for elevene siden det er ingen riktig konklusjon å trekke (Rosenthal, 1987). Oppgaven kan knyttes opp mot kjerneelementene *kjemiske reaksjoner og praksiser og tenkemåter i kjemi*, ved at elevene må også vurdere utbytte ut i fra reaksjonstypen og teknikken brukt i forsøket (UDIR, 2021c). Elevene jobber også med skrive og lese ferdigheter i kjemi (UDIR, 2021b).

Oppgaven om hvorfor syntesen må skje under sure betingelser er beholdt i det reviderte etterarbeidet. Oppgaven blir beholdt for at elevene skal reflekter over syntesen og hvorfor saltsyre blir brukt. Oppgaven er også relevant for reaksjonsmekanismen som elevene skal forklare. I det reviderte etterarbeidet kommer denne oppgaven før reaksjonsmekanismen slik at det skal komme mer naturlig for elevene å nevne dette i forklaringen sin.

I etterarbeidet er den en oppgave der elevene blir bedt om å si noe hva de forventer i den organiske fasen og den vandige fasen. Hensikten var at elevene skulle bruke kromatogrammet og deres forståelse av polaritet og løselighet til å vurdere hvilke forbindelser som vil være hvor. Det ble ikke spesifisert i oppgavene hva de skulle basere antakelsene sine på og hvilke forbindelser de skulle fokusere på. I forsøket blir det dannet en organisk og en vandig fase flere ganger, og det ble ikke spesifisert etter hvilket steg de skulle vurdere. Dette førte til at studentene gav ulike svar i form av mengden forbindelser de nevner. I forsøket blir det ikke undersøkt om tert-butanol er tilstede, men dette kan bli gjort med ammonium cerium(IV) nitrat (videre diskutert i 6.3). Det var også forventet at studentene skulle finne løseligheten til tert-butanol for å avgjøre om den vil være i vandig eller organisk fase, men et flertall av

studenten ramset opp forbindelsene og ionene de forventet skulle være i det ulike fasene. Denne oppgaven er ikke i det reviderte etterarbeidet, men det blir videre diskutert i 6.3 om mulig implementering av oppgaven ved bruk av ammonium cerium(IV) nitrat eller Beilsteins test i forsøket.

I det reviderte etterarbeidet har det blitt lagt til en ny oppgave som ikke er i etterarbeidet fra gjennomføringen av undervisningsopplegget. Oppgaven ber elevene om å svare på hva hensikten med forsøket er og om det hadde skjedd avvik fra forsøksbeskrivelsen under gjennomførelsen. Disse spørsmålene har blitt lagt til for at elevene skal tenke over hva som har blitt gjort og hvorfor det har blitt gjort. Dette kan øke elevenes forståelse av forsøket og det videre arbeidet i etterarbeidet ved at det etterlikner en form introduksjon og metode (Rosenthal, 1987). Denne oppgaven legger også opp til at elevene skal kunne drøfte oppgaven om syntese og renheter senere i det reviderte etterarbeidet, for å legge om til kompetansemålet om renhet og utbytte og kjerneelementet om praksiser i kjemi (UDIR, 2021).

En annen oppgave som har blitt lagt til i det reviderte etterarbeidet er en oppgave der elevene blir bedt om å bruke tabellen med retensjonstider for å avgjøre hvilken forbindelse det syntetiserte produktet er. Dette er en oppgave som tar tak i målet med analyse delen av forsøket, kvalitative bestemmelse hva produktet er. Etterarbeidet fra gjennomføringen av undervisningsopplegget hadde ikke en slik oppgave og studentene kommenterte ikke hva produktet var basert på retensjonstid i noen av delene av etterarbeidet. Den eneste antydning på at studentene hadde registrert hva produktet var når de beregnet utbytte. En slik oppgave kan gjøre elevene mer bevist på hva som er hensikten med analyse delen, at de har analysert en organisk blanding og at kromatografi kan brukes til kvalitativ bestemmelse.

Etterarbeidet fra utprøvingen av undervisningsopplegget spør hovedsakelig om resultater, teori og diskusjon. Samtidig er det ønskelig at elevene skal sitte igjen med noe mer enn hva de gjorde eksperimentelt. Rosenthal (1987) arumentere for at introduksjon, metode og teori ikke blir kuttet ut av etterarbeidet siden dette kan hjelpe elevene med å forstå hensikten med forsøket og hvorfor metoden som ble brukt ble brukt. Samtidig er det tungt for elevene å skrive en fullstendig rapport, i tillegg til at det kan være en motivasjonsdemper til praktisk arbeid (Ringnes & Hannisdal, 2014). Fullstendige rapporter er en del av den naturvitenskaplige verdenen og siden kjemi skal forberede elevene på denne verden er det gunstig at elevene lærer å skrive rapporter. Det reviderte etterarbeidet er til en grad inspirert av Deiner et al. (2012) sitt arbeid av rapporter for å lære stundeter å skrive rapporter. Det

reviderte etterarbeidet bruker elementer fra en typisk IMRAD-struktur. Først skal elevene gjøre rede for hensikten og eksperimentelle avvik, deretter resultater. Så skal elevene kommentere hypotesen fra prelaben og hvorfor den stemmer eller ikke stemmer, bestemme hva produktet er ut i fra retensjonstiden og regne på utbytte. Påfølgende skal de svare på noen eksperimentelle og teoretiske spørsmål, og så diskutere faktorer som påvirker utbytte og renhet. Hensikten med dette er å gjøre etterarbeidet mer meningsfylt; elevene kan få bedre forståelse for forsøket og trening i de ulike delene i en fullstendig rapport.

## **6.3 Videre arbeid**

### **6.3.1 Reaksjonstiden i skilletrakten**

I undervisningsopplegget er reaksjonstiden i skilletrakten totalt ti minutter, der fem minutter er sirkel bevegelser og fem minutter er risting med regelmessig ventilering. Å riste en skilletrakt i fem minutter kan oppleves som kjedelig og lite hensiktsmessig for noen elever. Siden de statistiske testene viser at de er ingen signifikant forskjell mellom totalt 10 minutter risting og 20 minutter risting kan det bety at ytterligere reduksjon i reaksjonstid kan gjøres. Forsøket kan muligens fortsatt være gjennomførbart med ett minutt risting og det kan potensielt brukes mindre tid på sirkelbevegelser, men dette har ikke blitt undersøkt.

### **6.3.2 Undersøkelse av blandingsforhold av reaktant og produkt**

Vernier mini GC Plus gir kun en topp når produktet består av minimum 87,5% tert-butylklorid. Det er altså ingen garanti at produktet er fullstendig rent og kun består tert-butylklorid, og det er imidlertid ikke gjort påvisningsreaksjoner i forsøket for å avgjøre om tert-butanol er tilstede sammen med produktet i utbyttet fra syntesen. For å påvise alkoholgruppen kan ammonium cerium(IV) nitrat eller Lucas reagens brukes i videre arbeid for å påvise tert-butanol i produkt og i den polare fasen som blir ekstrahert ut. Det kan også være av interesse å undersøke om det er en forskjell i mengde tert-butanol i den polare fasen og potensielt produktet ved 15 og 5 minutter med risting i skilletrakten, ettersom begge kromatogrammene for produktet hvis kun en topp som tyder på at det er  $\geq 87,5\%$  tert-butylklorid. Hvis ammonium cerium(IV) nitrat eller Lucas reagens kan bli brukt for å påvise tert-butanol i produktet i forsøket, vil elevene få muligheten til vurdere renheten av utbytte med et større datagrunnlag enn bare en kromatogram. Dette kan også tilrettelegge for at

elevene blir kjent med faktorer som kan påvirke utbytte og renhet i synteser, og dermed hjelpe elevene med å oppfylle kompetansemålet om å redegjøre for faktorer som påvirker utbytte og renhet i forsøket (UDIR, 2021b).

## **6.4 Er mini gasskromatografen nødvendig?**

Forsøket er som nevnt tidligere delt i to; en syntese del og en analyse del. Syntese delen av forsøket er den mest omfattende delen av forsøket, så forsøket er i hovedsak en organisk syntese der elevene gjør en substitusjonsreaksjon. Undervisningsopplegget legger til rette for at elevene skal bli kjent med reaksjonsmekanismer, væske-væske ekstraksjon og faktorer som påvirker utbytte og renhet. Vernier mini GC Plus blir tatt i bruk for den kvalitative bestemmelsen av produktet av syntesen. Undervisningsopplegget gjør et forsøk på å integrere tre kompetansemål fra den nye læreplanen for å gi elevene et praktisk arbeid som er mer helhetlig og tilnærmet virkeligheten. En syntese har blitt gjort for å danne en forbindelse og renheten av utbyttet blir vurdert med kromatografi.

Hvis en Vernier mini GC Plus, eller en annen type gasskromatograf, ikke skulle være tilgjengelig, så kan forsøket og mye av undervisningsopplegget fortsatt brukes. Kvalitativ påvisning av tert-butyklorid kan bli gjort med Beilsteins test siden begge påviser halogener. Den opprinnelige forsøksbeskrivelsen bruker sølvnitrat for å påvise alkyl halider så det kan også være en mulighet.



## 7 Konklusjon

I denne oppgaven har det blitt videreutviklet et laboratoriebasert undervisningsopplegg med en prelab, en forsøksbeskrivelse og et etterarbeid i lys av teori og innsamlede data fra student besvarelser og spørreskjema. De kvalitative og kvantitative data viser at store deler av prelaben, forsøksbeskrivelsen og etterarbeidet oppfylt sin hensikt. Samtidig har det blitt gjort endringer i ulik grad på noen oppgaver, andre oppgaver har blitt fjernet og nye oppgaver har blitt lagt til i prelaben og etterarbeidet i lys av dataene.

Undervisningsopplegget dekker tre kompetansemål fra læreplanen og flere kjerneelementer. Noen av oppgavene trener også elevene i grunnleggende ferdigheter i kjemi programfag. Hvis en skole ikke skulle ha Vernier mini GC Plus eller tilsvarende tilgjengelig, kan store deler av undervisningsopplegget fortsatt brukes.

# Litteraturliste

- Agustian, H. Y., & Seery, M. K. (2017). Reasserting the role of pre-laboratory activities in chemistry education: A proposed framework for their design. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(4), 518–532. <https://doi.org/10.1039/C7RP00140A>
- Alaimo, P. J., Langenhan, J. M., Tanner, M. J., & Ferrenberg, S. M. (2010). Safety Teams: An Approach To Engage Students in Laboratory Safety. *Journal of Chemical Education*, 87(8), 856–861. <https://doi.org/10.1021/ed100207d>
- Barrie, S. C., Bucat, R. B., Buntine, M. A., Burke da Silva, K., Crisp, G. T., George, A. V., Jamie, I. M., Kable, S. H., Lim, K. F., Pyke, S. M., Read, J. R., Sharma, M. D., & Yeung, A. (2015). Development, Evaluation and Use of a Student Experience Survey in Undergraduate Science Laboratories: The Advancing Science by Enhancing Learning in the Laboratory Student Laboratory Learning Experience Survey. *International Journal of Science Education*, 37(11), 1795–1814. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1052585>
- Bjørndal, C. R. P. (2019). *Det vurderende øyet: Observasjon, vurdering og utvikling i pedagogisk praksis* (3. utgave). Gyldendal Akademisk.
- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of educational objectives. 1: Cognitive domain* (29. print). Longmans, Green & Co. [https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/PPP242/Benjamin%20S.%20Bloom%20-%20Taxonomy%20of%20Educational%20Objectives%2C%20Handbook%201\\_%20Cognitive%20Domain-Addison%20Wesley%20Publishing%20Company%20%281956%29.pdf](https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/PPP242/Benjamin%20S.%20Bloom%20-%20Taxonomy%20of%20Educational%20Objectives%2C%20Handbook%201_%20Cognitive%20Domain-Addison%20Wesley%20Publishing%20Company%20%281956%29.pdf)
- Chittleborough, G. D., Treagust, D. F., & Mocerino, M. (2007). Achieving Greater Feedback and Flexibility Using Online Pre-Laboratory Exercises with Non-Major Chemistry

- Students. *Journal of Chemical Education*, 84(5), 884.  
<https://doi.org/10.1021/ed084p884>
- Christoffersen, L., & Johannessen, A. (2010). *Forskningsmetode for lærerutdanningene*.  
Abstrakt.
- Connor, G. P., Kim, D., Nagelski, A. L., Schmidt, E. O., Hass-Mitchell, T., Atwater, J. T.,  
Tridenti, S. A., Sohn, S., & Holland, P. L. (2019). Implementation of an Accessible  
Gas Chromatography Laboratory Experiment for High School Students. *Journal of  
Chemical Education*, 96(8), 1707–1713. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00789>
- Davidowitz, B., & Rollnick, M. (2001). Effectiveness of flow diagrams as a strategy for  
learning in laboratories. *Australian Journal of Education in Chemistry*; n.57 p.18-24;  
*December 2001*, 57, 18–24.
- Deiner, L. J., Newsome, D., & Samaroo, D. (2012). Directed Self-Inquiry: A Scaffold for  
Teaching Laboratory Report Writing. *Journal of Chemical Education*, 89(12), 1511–  
1514. <https://doi.org/10.1021/ed300169g>
- Dood, A. J., & Watts, F. M. (2022). Mechanistic Reasoning in Organic Chemistry: A Scoping  
Review of How Students Describe and Explain Mechanisms in the Chemistry  
Education Research Literature. *Journal of Chemical Education*, 99(8), 2864–2876.  
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00313>
- Duis, J. M. (2011). Organic Chemistry Educators' Perspectives on Fundamental Concepts and  
Misconceptions: An Exploratory Study. *Journal of Chemical Education*, 88(3), 346–  
350. <https://doi.org/10.1021/ed1007266>
- Go Direct Mini GC - User Manual*. (2020). Vernier Software & Technology. Tilgjengelig fra:  
<https://www.vernier.com/files/manuals/gdx-gc/gdx-gc.pdf>
- Grønmo, S. (2023). Kvalitativ metode. I *Store norske leksikon*.  
[https://snl.no/kvalitativ\\_metode](https://snl.no/kvalitativ_metode)

- Haraldsrud, A. D., Sandtorv, A. H., & Hushovd, O. T. (2022). *Kjemi 2* (2. utg.). Aschehoug.
- King, D., Fernandez, J., & Nalliah, R. (2012). Writing Instrument Profiles for Mastery of Instrumental Analysis. *Journal of Chemical Education*, 89(6), 728–731.  
<https://doi.org/10.1021/ed200645t>
- Knutsen, H., Tveit, S., & Vestli, K. (2022a). *Kjemien Stemmer 2 Grunnbok* (6. utg.). Cappelen Damm.
- Knutsen, H., Tveit, S., & Vestli, K. (2022b). *Kjemien Stemmer 2 Studiebok* (6. utg.). Cappelen Damm.
- Lundanes, E., Reubsæet, L., & Greibrokk, T. (2014). *Chromatography; Basic Principles, Sample Preparations and Related Methods*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Miller, J. N., Miller, J. C., & Miller, R. D. (2018). *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry* (7. utg.). Pearson.
- Miller, L. S., Nakhleh, M. B., Nash, J. J., & Meyer, J. A. (2004). Students' Attitudes toward and Conceptual Understanding of Chemical Instrumentation. *Journal of Chemical Education*, 81(12), 1801. <https://doi.org/10.1021/ed081p1801>
- Nam, E., Hill, M., & Randall, J. (2012). *Organic chemistry with Vernier: Organic chemistry experiments using Vernier sensors* (1st ed., 1st printing). Vernier Software & Technology.
- Patel, R., Davidson, B., & Larsen, F. B. (2001). *Forskningsmetodikkens grunnlag: Å planlegge, gjennomføre og rapportere en undersøkelse / monograph*. Gyldendal Akademisk.
- Paterson, D. J. (2019). Design and Evaluation of Integrated Instructions in Secondary-Level Chemistry Practical Work. *Journal of Chemical Education*, 96(11), 2510–2517.  
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00194>

- Pickering, M. (1987). What goes on in students' heads in lab? *Journal of Chemical Education*, 64(6), 521. <https://doi.org/10.1021/ed064p521>
- Ringnes, V., & Hannisdal, M. (2014). *Kjemi fagdidaktikk kjemi i skolen* (3. utg.). Cappelen Damm akademisk.
- Rosenthal, L. C. (1987). Writing across the curriculum: Chemistry lab reports. *Journal of Chemical Education*, 64(12), 996. <https://doi.org/10.1021/ed064p996>
- Sigma-Aldrich. (2023). *Sikkerhetsdata—Hydrochloric acid solution (12M)*. Sigma-Aldrich. <https://www.sigmaaldrich.com/NO/no/sds/saj/13-1683>
- Slocum, L. E., & Jacobsen, E. K. (2010). Lab Reports. *Journal of Chemical Education*, 87(7), 658–659. <https://doi.org/10.1021/ed100498b>
- Steen, B. G., Fimland, N., & Juel, L. A. (2022a). *Aqua 2 Grunnbok* (2. utg.). Gyldendal.
- Steen, B. G., Fimland, N., & Juel, L. A. (2022b). *Aqua 2 Studiebok* (2. utg.). Gyldendal.
- Supelco. (2023). *Sikkerhetsdata—Hydrochloric acid solution (6 M)*. Sigma-Aldrich. <https://www.sigmaaldrich.com/NO/no/sds/mm/143007>
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261–292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
- UDIR. (2021a). *Fagets relevans og sentrale verdier—Læreplan i kjemi (KJE01-02)*. <https://www.udir.no/lk20/kje01-02/om-faget/fagets-relevans-og-verdier>
- UDIR. (2021b). *Grunnleggende ferdigheter—Læreplan i kjemi (KJE01-02)*. <https://www.udir.no/lk20/kje01-02/om-faget/grunnleggende-ferdigheter>
- UDIR. (2021c). *Kjerneelementer—Læreplan i kjemi (KJE01-02)*. <https://www.udir.no/lk20/kje01-02/om-faget/kjerneelementer>
- UDIR. (2021d). *Kompetansemål etter kjemi 2—Læreplan i kjemi (KJE01-02)*. <https://www.udir.no/lk20/kje01-02/kompetansemaal-og-vurdering/kv533?lang=nob>

- Vernier mini GC Plus—User Manual*. (2018). Vernier Software & Technology. Tilgjengelig fra: <https://www.vernier.com/files/manuals/gc2-mini.pdf>
- Warner, D. L., Brown, E. C., & Shadle, S. E. (2016). Laboratory Instrumentation: An Exploration of the Impact of Instrumentation on Student Learning. *Journal of Chemical Education*, 93(7), 1223–1231. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00566>
- Wibetoe, G., & Egeland, E. S. (2023). Tynnsjikt-kromatografi – TLC. I *Store norske leksikon*. [https://snl.no/tynnsjikt-kromatografi\\_-\\_TLC](https://snl.no/tynnsjikt-kromatografi_-_TLC)

# Appendiks

Tabell 4 viser massen for innveid tert-butanol, det teoretiske utbyttet, det faktiske utbyttet fra syntesen og utbyttet i prosent ved 15 minutter med risting.

Tabell 4: Massen i gram for innveid tert-butanol, det teoretiske utbyttet, det faktiske utbyttet fra syntesen og utbyttet i prosent for syntesen med 15 minutter med risting. Dette ble gjort fem ganger.

15 minutter risting	Innveid tert-butanol (g)	Teoretisk utbytte (g)	Utbytte (g)	Utbytte (%)
1	2,883	3,6	0,794	22,05
2	3,992	4,985	2,587	51,89
3	4,01	5,008	1,759	35,12
4	4,024	5,0256	2,924	58,18
5	4,004	5	2,159	43,17

Tabell 5 viser massen for innveid tert-butanol, det teoretiske utbyttet, det faktiske utbyttet fra syntesen og utbyttet i prosent ved fem minutter med risting

Tabell 4: Massen i gram for innveid tert-butanol, det teoretiske utbyttet, det faktiske utbyttet fra syntesen og utbyttet i prosent for syntesen med fem minutter risting. Dette ble gjort fem ganger

5 minutter risting	Innveid tert-butanol (g)	Teoretisk utbytte (g)	Utbytte (g)	Utbytte (%)
1	4,035	5,039	2,506	49,72
2	4,027	5,029	2,557	50,84
3	4,018	5,0171	1,952	38,89
4	4,032	5,0356	2,358	46,83
5	4,007	5,004	2,056	41,08

Tabell 6 viser dataanalysen gjort av Excel for *F-Test: To utvalg for varianser* for verdiene i tabell 4 og 5. Variabel 1 er data fra tabell 4 og variabel 2 er data fra tabell 5

Tabell 5: *F*-testen for verdiene i tabell 4 og 5. Variabel 1 er data fra tabell 4 og variabel 2 er data fra tabell 5

	Variabel 1	Variabel 2
Gjennomsnitt	45,472	42,082

Varians	27,82937	201,56917
Observasjoner	5	5
fg	4	4
F	0,13806362	
P(F<=f) en side	0,0405808	
F-kritisk, en side	0,15653781	

Tabell 6 viser dataanalysen gjort av Excel for F T-Test: To utvalg med antatt like varianser for verdiene i tabell 4 og 5. Variabel 1 er data fra tabell 4 og variabel 2 er data fra tabell 5

*Tabell 6: F-testen for verdiene i tabell 4 og 5. Variabel 1 er data fra tabell 4 og variabel 2 er data fra tabell 5*

	<i>Variabel 1</i>	<i>Variabel 2</i>
Gjennomsnitt	45,472	42,082
Varians	27,82937	201,56917
Observasjoner	5	5
Gruppevarians	114,69927	
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	8	
t-Stat	0,500483052	
P(T<=t) ensidig	0,315105418	
T-kritisk, ensidig	1,859548038	
P(T<=t) tosidig	0,630210837	



T-kritisk, tosidig	2,306004135	
--------------------	-------------	--

Tabell 8 viser maks signal (mV), retensjonstid for ineksjon av 0,3 og 0,4 µL av tert-butylklorid på de fire instrumentene.

Tabell 7: Rådata, gjennomsnitt, standardavvik og relativ standardavvik for testing av maks signal og retensjonstid for ineksjon av 0.3 µL og 0.4 µL tert-butylklorid

#### Instrument 1

0,3	Signal (mV)	Retensjonstid (min)	0,4	Signal (mV)	Retensjonstid (min)
1	64,7	0,975	1	128,2	1,005
2	87,89	0,93	2	96,44	1,015
3	65,92	1,01	3	67,14	1,005
4	64,7	1,045	4	196,5	0,965
5	67,14	1,015	5	112,3	1,02
Gjennomsnitt	70,07	0,995	6	95,21	1,015
Standaravvik	10,01291166	0,044017042	7	95,21	1,015
Relativ std %	14,28986965	4,423823332	Gjennomsnitt	113	1,005714286
			Standaravvik	41,25958757	0,018803495
			Relativ std %	36,51290936	1,869665708

#### Instrument 2

0,3	Signal (mV)	Retensjonstid (min)	0,4	Signal (mV)	Retensjonstid (min)
1	585,9	0,95	1	889,9	0,955
2	470	0,95	2	872,8	0,97
3	477,3	0,96	3	831,3	0,96
4	489,5	0,955	4	789,8	0,98
5	477,3	0,955	5	805,7	0,98
6	531	0,97	Gjennomsnitt	837,9	0,969
Gjennomsnitt	505,1666667	0,956666667	Standaravvik	42,76686802	0,011401754
Standaravvik	45,21166516	0,007527727	Relativ std %	5,104053946	1,176651625
Relativ std %	8,949851236	0,786870369			

#### Instrument 3

0,3	Signal (mV)	Retensjonstid (min)	0,4	Signal (mV)	Retensjonstid (min)
1	421,1	0,995	1	512,7	1,045
2	274,7	1,005	2	566,4	1,035
3	192,9	1,005	3	432,1	1,03
4	290,5	1,025	4	470	1,04
5	266,1	1,025	5	561,5	1,025
6	223,4	1,035	Gjennomsnitt	508,54	1,035
Gjennomsnitt	278,1166667	1,015	Standaravvik	58,09098897	0,007905694
Standaravvik	78,75207722	0,015491933	Relativ std %	11,42309139	0,763835184
Relativ std %	28,31620203	1,526298856			

## Instrument 4

0,3	Signal (mV)	Retensjonstid (min)	0,4	Signal (mV)	Retensjonstid (min)
1	114,7	0,99	1	385,7	1,035
2	81,79	0,98	2	321	1,03
3	349,1	0,965	3	366,2	1,185
4	96,44	1	4	338,1	1,17
5	93,99	0,98	5	308,8	1,18
6	108,6	1,01	6	328,4	1280
Gjennomsnitt	140,77	0,9875	Gjennomsnitt	341,3666667	1,146666667
Standaravvik	102,7113435	0,016046807	Standaravvik	29,10784545	0,096936405
Relativ std %	72,96394365	1,624993067	Relativ std %	8,526856395	8,453756274

Tabell 9 viser en oversikt over antall gjennomføringer og gjennomsnittlig for maks signal (mV) ved injeksjon av 0.3 µL og 0.4 µL tert-butylklorid.

Tabell 8: Oversikt over antall gjennomføringer, gjennomsnitt (mV) og standardavvik (mV) for maks signal ved injeksjon av 0.3 µL og 0.4 µL tert-butylklorid.

Instrument	Injeksjonsvolum	Gjennomføringer	Gjennomsnitt (mV)	Standardavvik (mV)
1	0.3 µL	5	20	10
	0.4 µL	7	49	20
2	0.3 µL	6	455	45
	0.4 µL	5	788	43
3	0.3 µL	6	228	79
	0.4 µL	5	459	58
4	0.3 µL	6	91	102
	0.4 µL	6	291	29

# Vedlegg

## Vedlegg 1. Den opprinnelige forsøksbeskrivelsen

### S<sub>N</sub>1: Synthesis of *tert*-Butyl Chloride

Alkyl halides can be prepared from their corresponding alcohols via an acid catalyzed substitution reaction. The mechanism of these acid catalyzed substitution reactions are labeled as S<sub>N</sub>1 (substitution, nucleophilic, unimolecular) and S<sub>N</sub>2 (substitution, nucleophilic, bimolecular). Tertiary alcohols follow the S<sub>N</sub>1 route, primary alcohols follow the S<sub>N</sub>2 route, and secondary alcohols can follow either path.

Under acidic conditions, the mechanism (Figure 1) of the S<sub>N</sub>1 reaction involves rapid protonation of the alcohol, followed by the loss of water as the rate-determining step. This generates a relatively stable carbocation which is then attacked by the halide ion to form the alkyl halide. S<sub>N</sub>1 reactions are favored by tertiary alcohols because they tend to form more stable carbocations.

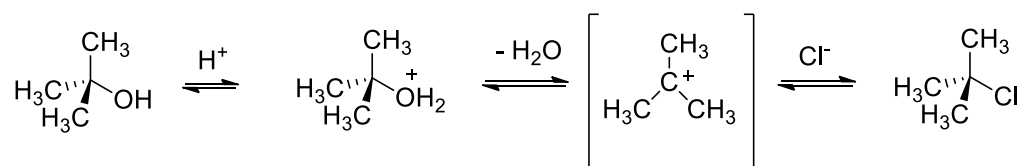


Figure 1 Conversion of *t*-butanol into *t*-butyl chloride by an S<sub>N</sub>1 mechanism

The product will be verified by gas chromatography by comparing the chromatograms of the starting material, *tert*-butyl chloride standard, and your product. Confirmation of your product, *tert*-butyl chloride, can also be performed by reacting the product with a solution of silver nitrate in ethanol. The tertiary alkyl halide will react by means of an S<sub>N</sub>1 mechanism with the silver nitrate to form an insoluble silver halide. The appearance of a precipitate indicates a positive result indicating the presence of a tertiary alkyl halide.

## OBJECTIVES

In this experiment, you will

- Synthesize *tert*-butyl chloride via an S<sub>N</sub>1 reaction.
- Confirm the presence of a tertiary alkyl halide using the silver nitrate test.
- Verify the product by gas chromatography.

## MATERIALS

### Part I Synthesis of *tert*-Butyl Chloride

25 mL graduated cylinder  
10 mL graduated cylinder  
50 mL beaker  
250 mL beaker

two 10 mL glass vials and caps  
hydrochloric acid, concentrated  
*tert*-butanol, reagent grade  
saturated sodium bicarbonate solution

125 mL Erlenmeyer flask  
separatory funnel apparatus  
glass funnel  
disposable Pasteur pipets and bulb

saturated sodium chloride solution  
sodium sulfate, anhydrous  
DI water  
ice

#### Part II Analyze by Gas Chromatography

LabQuest or computer interface  
LabQuest App or Logger *Pro*  
Vernier Mini GC  
1  $\mu$ L glass syringe  
Kimwipes® or paper towel

acetone  
*tert*-butanol, reagent grade  
*tert*-butyl chloride  
product from Part I

#### Part III Silver Nitrate Test for Tertiary Alkyl Halides

three 13  $\times$  100 test tubes  
test tube rack  
disposable Pasteur pipets and bulb  
*tert*-butyl chloride

product from Part I  
DI water  
1% ethanolic silver nitrate solution

## PROCEDURE

### Part I Synthesis of *tert*-butyl chloride

1. Obtain and wear goggles. Protect your arms and hands by wearing a long-sleeve lab coat and gloves. Conduct this reaction in a fume hood.
2. Obtain 15 mL of concentrated hydrochloric acid using a graduated cylinder and carefully transfer to a 50 mL Erlenmeyer flask. **CAUTION:** *Handle the hydrochloric acid with care. Can cause painful burns if it comes in contact with the skin.*
3. Prepare an ice water bath in a 250 mL beaker and cool the flask containing the acid.
4. Set up the reaction in a separatory funnel.
  - a. Clamp the support ring onto a ring stand, place the separatory funnel into the ring, and insert a funnel.
  - b. Carefully transfer the cooled acid to the separatory funnel.
  - c. Weigh 4.0 g of *tert*-butanol and transfer to the separatory funnel. Record the actual mass to the nearest 0.001 g.
5. Swirl the solution in the separatory funnel for five minutes. **Note:** Leave the funnel uncapped as you swirl to allow the gases to escape.
6. Cap the separatory funnel, invert it, and immediately open the stopcock to release the pressure. When venting the funnel, point the tip towards the back of the fume hood and open the stopcock to release the pressure.
7. Shake the funnel for 15 minutes. Vent occasionally to prevent pressure buildup.
8. Place the funnel in the support ring and allow the solvent and aqueous layers to separate. Leave the funnel uncapped.
9. Drain the lower aqueous layer into a 125 mL Erlenmeyer flask. Be sure to label the flask as waste.

10. Prepare to wash the solution.
  - a. Wash the organic layer with 30 mL of a saturated sodium bicarbonate solution. Add the sodium bicarbonate solution slowly. Swirl the funnel several times until the bubbling has stopped.
  - b. Cap the funnel, invert, shake, and immediately vent.
  - c. Place the uncapped funnel in the support ring and allow the layers to separate.
  - d. Drain the aqueous layer into the waste beaker.
11. Repeat Step 10 with 30 mL of a saturated sodium chloride solution.
12. Prepare to dry the product.
  - e. Place a pea-sized amount of anhydrous sodium sulfate in a 10 mL vial.
  - f. Transfer the organic layer into the vial and swirl until clumps form.
  - g. Cap the vial and wait five minutes to allow the sodium sulfate to dry the product.
13. While waiting, weigh a clean and dry 10 mL vial. Record the mass in your data table.
14. Carefully pipet the product into the clean vial and weigh. Be careful not to transfer any of the sodium sulfate. Record the mass in your data table.
15. Cap the product and save for analysis in Part II.

**Part II Analyze by Gas Chromatography**

16. Prepare the Vernier Mini GC for data collection:
  - a. Turn on the Mini GC and connect it to the USB port on your computer or LabQuest.
  - b. Choose New from the File menu of the data collection program.
  - c. To bring up the Temperature-Pressure profile, tap ► in LabQuest or click Collect in Logger *Pro*.
  - d. Set the Temperature-Pressure values to:

Start temperature	40°C
Hold time	3 min
Ramp rate	5°C/min
Final temperature	45°C
Hold time	1 min
Total length	5.0 min
Pressure	7.0 kPa

- e. Select Done to initiate the Mini GC warm up. Continue with Step 17 during warm up.
17. Clean and flush the syringe with acetone. **Important:** The glass syringe and needle are fragile. Handle with care. Never pull the plunger back more than 50% of its total volume.
18. Follow the process in Step 17 to clean and flush the syringe with *tert*-butanol.

19. Prepare for injection and the start of data collection.
  - a. Collect 0.5  $\mu\text{L}$  of *tert*-butanol for injection.
  - b. The Mini GC should now have reached the correct start temperature and pressure and the LED turned to green.
  - c. Insert the needle of the syringe into the injection port as shown in Figure 2.
  - d. Simultaneously, depress the syringe plunger and select Collect to begin data collection. Pull the needle out of the injection port immediately.

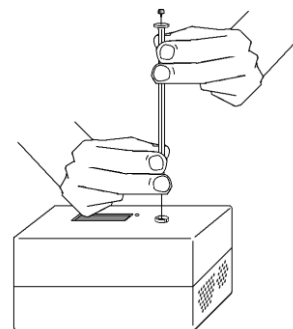


Figure 2

20. While the data collection proceeds, repeat Step 17 to thoroughly clean the syringe and needle.
21. Analyze your chromatogram to determine the retention times and record your results. Store the run.
22. Repeat the necessary steps above to inject and analyze *tert*-butyl chloride and your product from Part I.
23. Save the file, if desired.
24. When you have completed your final data-collection run, turn off the Mini GC.

### Part III Silver Nitrate Test for Tertiary Alkyl Halides

25. Set up the reaction.
  - a. Obtain three 13  $\times$  100 test tubes and label 1–3.
  - b. Pipet 10 drops of distilled water into Test Tube 1.
  - c. Pipet 10 drops of *tert*-butyl chloride into Test Tube 2
  - d. Pipet 10 drops of your product into Test Tube 3.
26. Add approximately 1 mL of the 1% ethanolic silver nitrate solution to each test tube. Swirl each test tube to mix the contents. The appearance of a white precipitate indicates the presence of a 3° halide. Record your observations in the data table. **Note:** Avoid getting the  $\text{AgNO}_3$  solution on your skin.
27. At the end of the experiment, discard the solutions as directed by your instructor.

## DATA TABLE

### Part I Synthesis of *tert*-butyl chloride

Mass of <i>tert</i> -butanol (g)	
Mass of vial (g)	
Mass of vial and product (g)	
Mass of product (g)	

### Part II Analyze by Gas Chromatography

Compound	Retention time (min)
<i>tert</i> -butanol	
<i>tert</i> -butyl chloride	
Product	

### Part III Silver Nitrate Test for Alkyl Halides

Test tube	Compound	Observations
1	water	
2	<i>tert</i> -butyl chloride	
3	product	

### DATA ANALYSIS

1. What is the theoretical yield of *tert*-butyl chloride in your synthesis? What is the percent yield?
2. Why is it necessary to conduct the reaction under acidic conditions?
3. What experimental evidence proves your product is *tert*-butyl chloride?
4. In the reaction observed in Part III, where is the slow step?
5. Do you expect the reaction in Part III to be faster for *tert*-butyl chloride or 2-chloropropane and why?

### Vedlegg 2. Informasjonsskriv av samtykkeskjema

#### Vil du delta i forskningsprosjektet

***”Utvikling av undervisningsopplegg om organisk syntese og deteksjon med Vernier mini gasskromatograf”?***

Dette er et spørsmål til deg om å delta i et forskningsprosjekt (masterprosjekt) hvor formålet er å utvikle et undervisningsopplegg knyttet til en laboratorieoppgave som benytter seg av Vernier mini gasskromatograf. I dette skrivet gir vi deg informasjon om målene for prosjektet og hva deltakelse vil innebære for deg.

### **Formål**

Formålet er å lage et undervisningsopplegg der en laboratorieoppgave beregnet på elever i kjemi 2, der elevene gjennomfører en organisk syntese og påviser produktet kvalitativt med Vernier mini gasskromatograf videreutvikles og testes ut. Det skal også utvikles pre- og postlaboppgaver.

### **Hvem er ansvarlig for forskningsprosjektet?**

Universitetet i Oslo er ansvarlig for prosjektet.

### **Hvorfor får du spørsmål om å delta?**

Mastereleven som gjennomfører prosjektet, skal teste ut laboratorieoppgaven i KJM3050 våren 2023. Mastereleven kommer til å observere gjennomføringen, og be deltagerne om å fylle ut et anonymt spørreskjema i etterkant. Mastereleven kommer også til å få utdelt anonymiserte svar fra deltagerne på pre- og postlaboppgaver og analysere disse.

### **Hva innebærer det for deg å delta?**

Hvis du velger å delta i prosjektet, innebærer det at du fyller ut et anonymt spørreskjema i etterkant av innleveringen fra laboratorieundervisningen 28.2. Spørreskjemaet inneholder spørsmål om utførelsen av laboratorieoppgaven. Hvis du velger å delta i prosjektet, innebærer det også at mastereleven får utdelt anonymiserte papirkopier av din prelab og innlevering fra laboratorieoppgaven.

### **Det er frivillig å delta**

Det er frivillig å delta i prosjektet. Hvis du velger å delta, kan du når som helst trekke samtykket tilbake uten å oppgi noen grunn. Det vil ikke ha noen negative konsekvenser for deg hvis du ikke vil delta eller senere velger å trekke deg.

### **Ditt personvern – hvordan vi oppbevarer og bruker dine opplysninger**



Vi vil bare bruke opplysningene om deg til formålene vi har fortalt om i dette skrivet. Vi behandler opplysningene konfidensielt og i samsvar med personvernregelverket.

### **Dine rettigheter**

Så lenge du kan identifiseres i datamaterialet, har du rett til:

- innsyn i hvilke opplysninger vi behandler om deg, og å få utlevert en kopi av opplysningene
- å få rettet opplysninger om deg som er feil eller misvisende
- å få slettet personopplysninger om deg
- å sende klage til Datatilsynet om behandlingen av dine personopplysninger

Hvis du har spørsmål til studien, eller ønsker å vite mer om eller benytte deg av dine rettigheter, ta kontakt med:

- Universitetet i Oslo ved Svein Tveit, sveint@kjemi.uio.no

Med vennlig hilsen

Svein Tveit  
(Veileder)

---

## **Samtykkeerklæring**

Jeg har mottatt og forstått informasjon om prosjektet «Utvikling av undervisningsopplegg om organisk syntese og deteksjon med Vernier mini gasskromatograf», og har fått anledning til å stille spørsmål. Jeg samtykker til:

- å delta ved å fylle ut spørreskjema
- å delta ved å la mastereleven få tilgang til anonymiserte versjon av min prelab og postlab

---

(Signert av prosjektdeltaker, dato)

**Vedlegg 3. Prelab utarbeidet til utprøving**

## **Pre-lab for syntese av 2-klor-2-metylpropan**

- 1) Risiko vurder kjemikaliene i forsøket ved å gjøre rede for hva som er risikoen med kjemikaliene (faresetninger/H-setninger), hvordan vi kan forbygge for at det ikke skal gå galt og hva som skal gjøres ved uhell.

Kjemikalie	Risiko	Forebyggende tiltak	Ved uhell
2-metylpropan-2-ol			
2-klor-2-metylpropan			
Konsentrert saltsyre			

- 2) Hva er en elektrofil og nukleofil? Hvilken forbindelse er elektrofil og nukleofil i forsøket?
- 3) Finn ut hva tettheten til vann, 2-metylpropan-2-ol og 2-klor-2-metylpropan er. Vis med en enkel figur hvor den organiske og den vandige fasen er i skilletrakten etter steg 9 og 12.

Forbindelse	H <sub>2</sub> O	2-metylpropan-2-ol	2-klor-2-metylpropan
Tetthet			

- 4) Hva kan man bruke en gasskromatograf til?
- 5) Hva er den mobile fasen som brukes i denne mini GC-en?
- 6) Hvordan separeres de ulike forbindelsene når stasjonærfase er upolar?
- 7) Hva forventer du at retensjonsrekkefølgen blir? Begrunn svaret kort. Kokepunktet for 2-metylpropan-2-ol er 82°C og for 2-klor-2-metylpropan er kokepunktet 51°C.

#### Vedlegg 5. Forsøksbeskrivelsen til utprøving

## Syntese av 2-klor-2-metylpropan

**NB:** Forsøket skal gjennomføres i et avtrekkskap!

Målet med dette forsøket er å syntetisere *tert*-butylklorid via en substitusjonsreaksjon og gjøre en kvalitativ analyse av produktet. Forsøket er delt i to deler. I del 1 syntetiserer dere 2-klor-2-metylpropan fra 2-metylpropan-2-ol og i del 2 kjører dere produktet i gasskromatografen.

### Teoretisk bakgrunn

*Nyttige begreper:*

**Koeluring:** kjemiske forbindelser som kommer samtidig ut slik at de forekommer som en topp i kromatogrammet

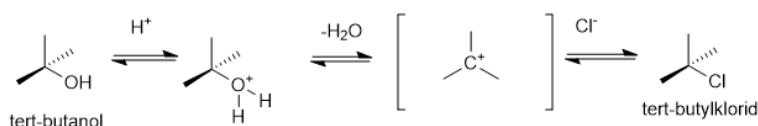
**Retensjonstid:** Tiden fra injeksjon til deteksjon for forbindelsene.

**Retensjonsrekkefølgen:** Rekkefølgen for deteksjon for forbindelsene

### **Substitusjonsreaksjoner**

Halogenerte alkaner kan lages ved at den korresponderende alkoholen gjennomgår en syre katalysert *substitusjonsreaksjon*. En substitusjonsreaksjon er en reaksjon hvor et atom eller en funksjonell gruppe byttes ut med et annet atom eller funksjonelle gruppe, ved at elektronparbindinger brytes og dannes. Før vi kan snakke om denne elektronoverføringen må vi definere begrepene *elektrofil* og *nukleofil*. En nukleofil er en forbindelse som danner en binding med en elektrofil ved å donere et elektronpar. Negativt ladde ioner eller molekyler som har ledige elektronpar som den kan gi fra seg er nukleofiler.

I denne syntesen starter med en rask protonering av alkoholen etterfulgt av avspalting av vann. Dette lager en relativ stabil elektrofil som danner en binding til  $\text{Cl}^-$ , en nukleofil, for å danne det halogenerte alkanet.



Figur 8: Reaksjonstrinn for dannelsen av t-butyklorid fra t-butanol ved en  $\text{S}_{\text{N}}1$  reaksjon

### **Væske-væske ekstraksjon**

Ved væske-væske ekstraksjon dannes det to faser, en polar og en upolar fase eller en vandig og en organisk fase.

### **Gasskromatografi**

Kvalitativ analyse for å verifisere dannelsen av produkt gjøres med Vernier Mini GC Plus. Kromatogrammet til produktet sammenliknes med kromatogrammet til 2-metylpropan-2-ol og 2-klor-2-metylpropan. Ved kromatografi brukes en mobil fase og en stasjonær fase for å separere stoffer fra hverandre i en prøve. For at forbindelsene i prøven ikke skal koelulerer. I en gasskromatograf brukes gass som den mobile fasen. For Vernier Mini GC Plus er bæregassen luften i rommet, mens en vanlig gasskromatograf ville typisk tatt i bruk en bæregass som  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$  eller  $\text{He}$ .

Kravet for den stasjonære fasen er at den ikke kan reagere irreversibelt med forbindelsene i prøven og at den må være termisk stabil. Den stasjonære fasen i Vernier Mini GC Plus er upolar. Det vil si at forbindelsene i prøven som blir injisert, i hovedsak, separeres fra hverandre etter stigende kokepunkt. Når kokepunktene til forbindelsene i prøven er langt nok fra hverandre vil separasjonen være bedre siden retensjonstiden vil være ulik. Det blir dermed mulig å bestemme retensjonsrekkefølgen til forbindelsene siden forbindelser med lavere kokepunkt har kortere retensjonstid og vil komme først ut.

Mini gasskromatografen bruker en kjemisk detektor kalt «chemicapacitive» sensor og er en selektiv detektor. Sensoren gir lite respons på hydrokarboner og andre upolare forbindelser, og er best egnet for polare forbindelser.

### **Del 1: Syntese av 2-klor-2-metylpropan**

#### *Kjemikalier og utstyr*

25 mL målesylinder	10 mL glass vial med lokk
50 mL målesylinder	Saltsyre, konsentrert 37%
50 mL begerglass	2-metylpropan-2-ol
Krystallisasjonsskål	Mettet natriumhydrogenkarbonat løsning
50 mL Erlenmeyerkolbe	Mettet natriumklorid løsning
250 mL Erlenmeyerkolbe	Natriumsulfat, vannfritt
Skilletrakt med propp og stativ med ring	Is til isbad
Glass trakt	
Plast pipette	

#### *Fremgangsmåte:*

1. Lag et isbad i en krystallisasjonsskål. Isbadet skal kunne dekke halvparten av et 50 ml begerglass.
2. Mål opp 15 mL konsentrert saltsyre med en målesylinder og overfør til et 50 mL begerglass. Begerglasset settes i isbadet.
3. Plasser skilletrakten i ringen på stativet og sett en 250 ml Erlenmeyerkolben under skilletrakten. Dette vil være avfallsflasken. Pass på at ventilen til trakten er stengt.
4. Overfør den avkjølte syren forsiktig over i skilletrakten
5. Vei opp 4.0 g 2-metylpropan-2-ol og overfør til skilletrakten. Noter ned vekten til nærmeste 0.001 g.
6. Beveg skilletrakten i sirkelbevegelser slik at stoffene blandes i fem minutter uten propp på skilletrakten for at gass skal slippe ut.

7. Sett på proppen, snu trakten opp ned og åpne ventilen med en gang for å frigjøre trykket. Hold i proppen med hånden. Husk å peke enden av skilletrakten mot veggen i avtrekkskapet når du ventilerer.
8. Rist trakten i 5 minutter. Gjør steg 7 med jevne mellomrom for å unngå trykkoppbygning. Husk å ha ventilen lukket når du har ristet ferdig.
9. Sett skilletrakten tilbake til ringen og ta ut proppen. Vent til det dannes to faser.
10. Tøm det nedre vandige laget i Erlenmeyerkolben som er under trakten. Sørg for å merke kolben som avfall.
11. Overfør *sakte* 30 mL mett natriumhydrogenkarbonat løsning til skilletrakten for å nøytralisere den organiske fasen. Beveg skilletrakten uten propp i sirkelbevegelser til det slutter å bruse.
12. Sett på proppen, snu trakten opp ned, rist og ventiler. Sett så skilletrakten tilbake i ringen, ta av proppen og vent til fasene skiller seg. Tøm vannfasen i avfall.
13. Gjenta steg 11 og 12 med 30 mL mett natriumklorid løsning for å få vann som er løst i den organiske fasen ned til vannfasen.
14. Overfør den gjenværende organiske fasen til en 50 mL Erlenmeyerkolbe. Tilsett en spatelspiss med vannfritt natriumsulfat for å tørke produktet og rist. Vent i 5 minutter. Det kan hende at du trenger mer og da gjentar du prosessen med samme mengde til du ser frie krystaller.
15. Mens du venter vei opp et 10 mL vial med lokk. Noter massen.
16. Overfør det tørkede produktet til vialen uten å overføre tørkemiddelet. Vær forsiktig siden produktet kan hoppe ut av pipetten. Noter massen til vialen med produkt.

## **Del 2: Kvalitativ analyse av produkt**

### *Kjemikalier og utstyr*

Logger <i>Pro</i> program	Aceton
Vernier mini GC Plus	2-metylpropan-2-ol
1 uL glass sprøyte	2-klor-2-metylpropan
Kimwipes®	Produkt fra del 1

*Fremgangsmåte:*

1. Slå på Mini GC og koble den til pc-en via USB
2. Start opp Logger pro og velg *New* fra *File* menyen
3. Trykk på *Collect* og sett verdien til dette:

Start temperature	40° C
Hold time	3 min
Ramp rate	5° C/min
Final temperature	45° C
Hold time	1 miin
Total length	5.0 min
Pressure	7.0 kPa

Velg *Done* for å starte oppvarmingen av GC-en. Gjør steg 4 mens du venter

4. Vask og skylle sprøyten med aceton ved å fylle den opp til 0.5 µL og tøm i avfall. Vær forsiktig siden sprøyten og nålen er veldig skjør. Gjenta to ganger.
5. Gjenta steg 4 med 2-metylpropan-2-ol.
6. Når GC-en er ferdig oppvarmet vil LED blir grønn. Fyll sprøyten med **0.3 µL** 2-metylpropan-2-ol for injeksjon. Sett sprøyten i injeksjonsporten.
7. Trykk stemplet ned samtidig som du trykker på *Collect* for å begynne datainnsamlingen. Trekk sprøyten ut umiddelbart etter injeksjon.
8. Gjenta steg 4 for å vaske sprøyten mens analysen foregår og kromatogrammene lages.
9. Når kromatogrammet er ferdig trykk deg inn på *Peak Integration* i *Analyze* for å bestemme retensjonstiden. Noter resultat og lagre data ved å lagre *run*.

10. Gjenta de nødvendige stegene for injeksjon og analyse av 2-klor-2-metylpropan og produktet ditt fra del 1.

11. Lagre filen og slå av GC-en når du er ferdig

Data

Del 1

2-metylpropan-2-ol (g)	Vial (g)	Vial og produkt (g)	Produkt (g)

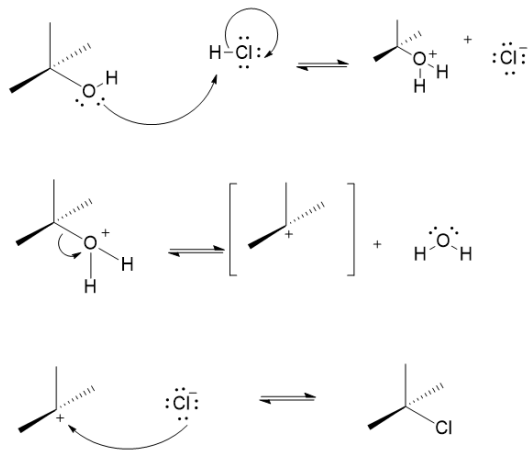
Del 2

Forbindelse	Retensjonstid (min)
2-metylpropan-2-ol	
2-klor-2-metylpropan	
Produkt	

**Vedlegg 5. Etterarbeid utarbeidet til utprøving**

## **Etterarbeid for syntese av 2-klor-2-metylpropan**

1. Sett inn kromatogrammet fra forsøket, datatabell med retensjonstider og indikerer hvilken forbindelsene som er hvilken topp.
2. Hva ble retensjonsrekkefølgen og hvordan samsvarte dette med forventet retensjonsrekkefølge fra pre-laben?
3. Bruk det du vet om elektrostatiske krefter til å forklar hva som skjer i reaksjonsmekanismen



4.
  - a) Hva er det teoretiske utbytte for din syntese? Hva ble utbytte i prosent?
  - b) Hva kan være årsaken til at utbyttet ikke er 100%?
5. Hvorfor må syntesen skje under sure betingelser?
6. Hvilke stoffer forventer du å finne i den organiske fasen og hvilke stoffer i den vandige fasen?
7. Diskuter mulige feilkilder som kan påvirke kromatogram og/eller utbytte.

### Vedlegg 6. Spørreundersøkelsen



# Spørreskjema om organisk syntese og gasskromatograf laben 28.februar

Obligatoriske felter er merket med stjerne \*

Nedenfor er det påstander om pre-lab (1.X), gjennomføring laben (2.X) og innlevingen (3.X). Ta stilling til påstandene. Skriv gjerne litt mer enn "ja" og "nei" i kommentar feltet

1 er helt uenig

2 er delvis uenig

3 er verken enig eller uenig

4 er delvis enig

5 er helt enig

1.1 Risikovurderingen i pre-laben gjorde at jeg var mer selvsikker når jeg jobbet med kjemikalierne \*



Verdi



Kommentar til 1.1 \*

1.2 Spørsmålet i pre-laben om hvilken fase som er hvor i skilletrakten hjalp meg da jeg skulle ekstrahere den organiske fasen fra den vandige \*



Verdi



1.3 Spørsmålene i pre-laben var relevante til forsøket \*



Verdi



Kommentar til 1.3 \*

1.4 Det at jeg identifisere hva som var elektrofili og hva som var nukleofili i prelabben hjalp meg i arbeidet med forsøket. \*



1.5 Det hadde vært bedre hvis pre-laben var i form av en canvas quiz med flervalg der alle svarene må være riktige før lab \*



Verdi



Kommentar til 1.5 \*

1.6 I pre-laben er det følgende spørsmål om GC: "Hva kan man bruke en gasskromatograf til?", "Hva er den mobile fasen som brukes i denne mini GC-en?" og "Hvordan separeres de ulike forbindeslene når stasjonærfase er upolar". Gjorde disse spørsmålene deg forberedt med å jobbe med gasskromatograf og mini gasskromatografen? Hvis ja, hvordan? Hvis nei, er det noen andre spørsmål du kunne ha tenkt å deg hadde vært bedre? \*

1.7 Spørsmålene i pre-laben var ikke relevant til innleveringen \*



Verdi



Kommenter til 1.7 \*

1.8 Prelaben gjorde meg godt forberedt til laboratorietøkten \*



Verdi



2.1 Forsøksbeskrivelsen var tydelig og lett å følge \*



Verdi



Kommentar til 2.1 \*

2.2 Instruksjonene om bruk av skilletrakt i forsøksbeskrivelsen var lette å forstå \*



Verdi



2.3 Demonstrasjonen hjalp meg å forstå hvordan jeg skulle bruke mini gasskromatografen \*



Kommentar til 2.3 \*

2.4 Jeg syntes det var lett å bruke gasskromatografen med utgangspunktet i forsøksbeskrivelsen \*



Verdi



Kommentar til 2.4 \*

2.5 Det var vanskelig å forstå hvordan reaksjonen hadde gått basert på resultatene fra mini gasskromatografen \*



Kommentar til 2.5 \*

2.6 Jeg føler meg trygg på hvordan jeg bruker skilletrakt riktig \*



Verdi



3.1 Oppgaven om reaksjonsmekanismen var vanskelig \*



Verdi



Kommentar til 3.1 \*

3.2 Jeg forstod reaksjonsmekanismen for den organiske syntesen \*



Verdi



3.3 Oppgavene i innleveringene var relevante til forsøket \*



Verdi



Kommentar til 3.3 \*

3.4 Det var for mange oppgaver i innleveringen \*



Verdi



3.5 Det var lett å forklare hvorfor syntesen måtte skje under sure betingelser \*



Verdi



Kommentar til 3.5 \*

3.6 Det var lett å identifisere at det var dannet 2-klor-2-metylpropan ved hjelp av kromatogrammet. \*



Verdi



Kommentar til 3.6 \*

3.7 Etterarbeidet var tidkrevende \*



Verdi

3.8 Etterarbeidet var vanskelig \*



Verdi

Kommentar til 3.8 \*

3.9 Er det noen av spørsmålene i innleveringen du tenker ikke er relevante for forsøket? Begrunn gjerne svaret. \*

3.10 Er det noen andre spørsmål du tenker hadde vært mer relevant i innleveringen? Begrunn gjerne svaret. \*

3.11 Instrumentet som ble brukt i forsøket var en mini GC. Føler du at innlevingen hadde et fokus rettet mot mini GC-en? Er det noen spørsmål du tenker kunne ha stilt om mini GC-en i innlevingen? \*

4. Er det andre ting du savner i forsøksbeskrivelsen og/eller i pre-lab/innleveringen? \*

## Vedlegg 7. Revidert prelab

### Pre-lab for syntese av tert-butyklorid

1. Les gjennom forsøksbeskrivelsen. Skisser fremgangsmåten i grove trekk og noter ned relevant informasjon. Tenk at du ikke skal trenge forsøksbeskrivelsen på lab. Lag tabeller for relevante data du skal samle inn.
2. Risiko vurder kjemikaliene i forsøket ved å gjøre rede for hva som er risikoen med kjemikaliene (faresetninger/H-setninger), hvordan vi kan forbygge for at det ikke skal gå galt og hva som skal gjøres ved uhell. Du kan finne sikkerhetsdatablad ved å bruke CAS-nummeret.

Kjemikalie	Risiko	Forebyggende tiltak	Ved uhell
Tert-butanol CAS: 71-65-0			
Tert-butyklorid CAS: 507-20-0			
Konsentrert saltsyre CAS: 7647-01-0			

3. Hva er en elektrofil og nukleofil? Hvilken forbindelse er elektrofil og nukleofil i forsøket? Hvilken type reaksjon er det som skjer mellom elektrofilen og nukleofilen i dette forsøket?
4. Finn ut hva tettheten til vann, tert-butanol og tert-butyklorid er. Vis med en enkel figur hvor den polare og den upolare fasen er i skilletrakten etter steg 9 og 12.

Forbindelse	H <sub>2</sub> O	tert-butanol	tert-butyklorid
Tetthet			

5. Hva kan man bruke en gasskromatograf til? Hvorfor er tert-butanol og tert-butyklorid egnet som forbindelser som blir injisert i en gasskromatograf?
6. Tegn et blokkdiagram for instrumentering av gasskromatograf og sett navn på de ulike delene. Hva er den mobile fasen og den stasjonære fasen som brukes i Vernier mini GC Plus?
7. Hvordan separeres de ulike forbindeslene når stasjonærfase er upolar?
8. Hva forventer du at retensjonsrekkefølgen blir? Begrunn svaret kort. Koepunktet for tert-butanol er 82°C og for tert-butyklorid er koepunktet 51°C.

## Vedlegg 8. Revidert forsøksbeskrivelsen

# Syntese av tert-betylklorid

**NB:** Forsøket skal gjennomføres i et avtrekkskap! Tert-betylklorid er samme forbindelse som 2-klor-2-metylpropan og tert-butanol er samme forbindelse som 2-metyl-propan-2-ol

Målet med dette forsøket er å syntetisere tert-betylklorid via en substitusjonsreaksjon og gjøre en kvalitativ analyse av produktet. Forsøket er delt i to deler. I del 1 syntetiserer dere tert-betylklorid fra tert-butanol og i del 2 gjør dere en kvalitativ analyse av produktet for å sjekke om dere har klart å syntetisere tert-betylklorid.

### Teoretisk bakgrunn

*Nyttige begreper:*

*Koeluering:* kjemiske forbindelser som kommer samtidig ut slik at de forekommer som en topp i kromatogrammet

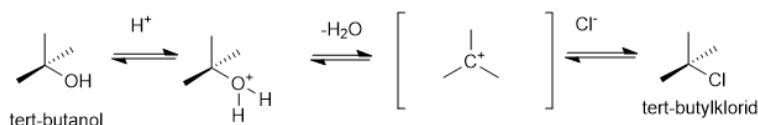
*Retensjonstid:* Tiden fra injeksjon til deteksjon for forbindelsene.

*Retensjonsrekkefølgen:* Rekkefølgen for deteksjon for forbindelsene

### Substitusjonsreaksjoner

Halogenerte alkaner kan lages ved at den korresponderende alkoholen gjennomgår en syre katalysert *substitusjonsreaksjon*. En substitusjonsreaksjon er en reaksjon hvor et atom eller en funksjonell gruppe byttes ut med et annet atom eller funksjonelle gruppe, ved at elektronparbindinger brytes og dannes. Før vi kan snakke om denne elektronoverføringen må vi definere begrepene *elektrofil* og *nukleofil*. En nukleofil er en forbindelse som danner en binding med en elektrofil ved å donere et elektronpar. Negativt ladde ioner eller molekyler som har ledige elektronpar som den kan gi fra seg er nukleofiler. En elektrofil er en forbindelse som danner en binding med en nukleofil ved å ta imot et elektronpar. Typiske elektrofiler er karbokation og  $H^+$ . Elektron tettheten til en nukleofil er høy sammenliknet med elektron tettheten til en elektrofil.

I denne syntesen starter med en rask protonering av alkoholen etterfulgt av avspalting av vann. Dette lager en relativ stabil elektrofil som danner en binding til  $Cl^-$ , en nukleofil, for å danne det halogenerte alkanet.



Figur 9: Reaksjonstrinn for dannelsen av tert-betylklorid fra t-butanol ved en substitusjonsreaksjon

### Væske-væske ekstraksjon

Ved væske-væske ekstraksjon dannes det to faser, en polar og en upolar fase eller en vandig og en organisk fase, og ved bruk av en skilletrakt kan den ene fasen tappes ut.

### Gasskromatografi



Kvalitativ analyse for å verifisere dannelsen av produkt gjøres med Vernier Mini GC Plus. Kromatogrammet til produktet sammenliknes med kromatogrammet til tert-butanol og tert-butylklorid. Ved kromatografi brukes en mobil fase og en stasjonær fase for å separere stoffer fra hverandre i en prøve. For at forbindelsene i prøven ikke skal koeluleres er det viktig at de har ulik retensjonstid. I en gasskromatograf brukes gass som den mobile fasen. For Vernier Mini GC Plus er bæregassen luften i rommet, mens en vanlig gasskromatograf ville typisk tatt i bruk en bæregass som  $H_2$ ,  $N_2$  eller  $He$ .

Kravet for den stasjonære fasen er at den ikke kan reagere irreversibelt med forbindelsene i prøven og at den må være termisk stabil. Den stasjonære fasen i Vernier Mini GC Plus er upolar. Det vil si at forbindelsene i prøven som blir injisert, i hovedsak, separeres fra hverandre etter stigende kokepunkt. Når kokepunktene til forbindelsene i prøven er langt nok fra hverandre vil separasjonen være bedre siden retensjonstiden vil være ulik. Det blir dermed mulig å bestemme retensjonsrekkefølgen til forbindelsene siden forbindelser med lavere kokepunkt har kortere retensjonstid og vil komme først ut.

Mini gasskromatografen bruker en kjemisk detektor kalt «chemicapacitive» sensor, som er en selektiv detektor. Sensoren gir lite respons på hydrokarboner og andre upolare forbindelser, og er best egnet for polare forbindelser.

## Del 1: Syntese av tert-butylklorid

### *Kjemikalier og utstyr*

25 mL målesylinder	10 mL glass vial med lokk
50 mL målesylinder	Saltsyre, konsentrert 37%
50 mL begerglass	Tert-butanol
Krystallisasjonsskål	Mettet natriumhydrogenkarbonat løsning
50 mL Erlenmeyerkolbe	Mettet natriumklorid løsning
250 mL Erlenmeyerkolbe	Natriumsulfat, vannfritt
Skilletrakt med propp og stativ med ring	Is til isbad
Glass trakt	
Plast pipette	

### *Fremgangsmåte:*

17. Lag et isbad i en krystallisasjonsskål. Isbadet skal kunne dekke halvparten av et 50 ml begerglass.

18. Mål opp 15 mL konsentrert saltsyre med en målesylinder og overfør til et 50 mL begerglass. Begerglasset settes i isbadet.
19. Plasser skilletrakten i ringen på stativet og sett en 250 ml Erlenmeyerkolben under skilletrakten. Dette vil være avfallsflasken. Pass på at ventilen til trakten er stengt.
20. Overfør den avkjølte syren forsiktig over i skilletrakten
21. Vei opp 4.0 g tert-butanol og overfør til skilletrakten. Noter ned vekten til nærmeste 0.001 g.
22. Beveg skilletrakten i sirkelbevegelser slik at stoffene blandes i fem minutter uten propp på skilletrakten for at gass skal slippe ut.
23. Sett på proppen, snu trakten opp ned og åpne ventilen med en gang for å frigjøre trykket. Hold i proppen med hånden. Husk å peke enden av skilletrakten mot veggen i avtrekkskapet når du ventilerer.
24. Rist trakten i 5 minutter. Gjør steg 7 med jevne mellomrom for å unngå trykkoppbygning. Husk å ha ventilen lukket når du har ristet ferdig.
25. Sett skilletrakten tilbake til ringen og ta ut proppen. Vent til det dannes to faser.
26. Tøm det nedre vandige laget i Erlenmeyerkolben som er under trakten. Sørg for å merke kolben som avfall.
27. Overfør *sakte* 30 mL mett **natriumhydrogenkarbonat** løsning til skilletrakten for å nøytralisere den organiske fasen. Beveg skilletrakten uten propp i sirkelbevegelser til det slutter å bruse.
28. Sett på proppen, snu trakten opp ned, rist en gang og ventiler. Sett så skilletrakten tilbake i ringen, ta av proppen og vent til fasene skiller seg. Tøm vannfasen i avfall.
29. Gjenta steg 11 og 12 med 30 mL mett **natriumklorid** løsning for å få vann som er løst i den organiske fasen ned til vannfasen.

30. Overfør den gjenværende organiske fasen til en 50 mL Erlenmeyerkolbe Tilsett en spatelspiss med vannfritt natriumsulfat for å tørke produktet og rist. Vent i 5 minutter. Det kan hende at du trenger mer og da gjentar du prosessen med samme mengde til du ser frie krystaller.
31. Mens du venter vei opp et 10 mL vial med lokk. Noter massen.
32. Overfør det tørkede produktet til vialen uten å overføre tørkemiddelet. Vær forsiktig siden produktet kan hoppe ut av pipetten. Noter massen til vialen med produkt.

## Del 2: Kvalitativ analyse av produkt

### *Kjemikalier og utstyr*

Logger <i>Pro</i> program	Aceton
Vernier mini GC Plus	Tert-butanol
1 uL glass sprøyte	tert-butyklorid
Kimwipes®	Produkt fra del 1

### *Fremgangsmåte:*

12. Slå på Mini GC og koble den til pc-en via USB
13. Start opp Logger pro og velg *New* fra *File* menyen
14. Trykk på *Collect* og sett verdien til dette:

Start temperature	40° C
Hold time	3 min
Ramp rate	5° C/min
Final temperature	45° C
Hold time	1 miin

Total length	5.0 min
Pressure	7.0 kPa

Velg *Done* for å starte oppvarmingen av GC-en. Gjør steg 4 mens du venter

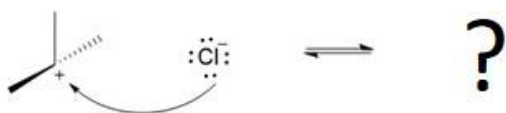
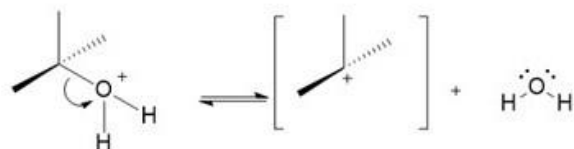
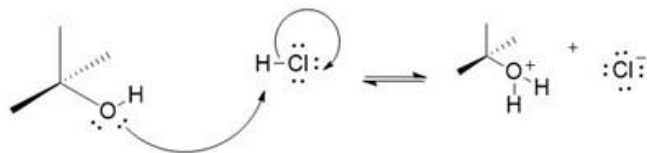
15. Vask og skylt sprøyten med aceton ved å fylle den opp til 0.5  $\mu\text{L}$  og tøm i avfall. Vær forsiktig siden sprøyten og nålen er veldig skjør. Gjenta to ganger.
16. Gjenta steg 4 med tert-butanol.
17. Når GC-en er ferdig oppvarmet vil LED blir grønn. Fyll sprøyten med 0.5  $\mu\text{L}$  tert-butanol for injeksjon. Sett sprøyten i injeksjonsporten.
18. Trykk stemplet ned samtidig som du trykker på *Collect* for å begynne datainnsamlingen. Trekk sprøyten ut umiddelbart etter injeksjon.
19. Gjenta steg 4 for å vaske sprøyten mens analysen foregår og kromatogrammene lages.
20. Når kromatogrammet er ferdig trykk deg inn på *Peak Integration* i *Analyze* for å bestemme retensjonstiden. Noter ned retensjonstiden og lagre data ved å lagre *run*.
21. Gjenta de nødvendige stegene for injeksjon og analyse av tert-butylklorid og produktet ditt fra del 1.
22. Lagre filen og slå av GC-en når du er ferdig

## Vedlegg 9. Revidert etterarbeid

### Etterarbeid for syntese av 2-klor-2-metylpropan

1. Hva var hensikten med forsøket? Var det avvik fra forsøksbeskrivelsen når du gjennomførte forsøket?
2. Sett inn kromatogrammet og **lag** en tabell for retensjonstidene til forbindelsene.
3. Hva ble retensjonsrekkefølgen og hvordan samsvarte dette med forventet retensjonsrekkefølge fra pre-laben? Hvorfor ble rekkefølgen som den ble?
4. Bruk datatabellen med retensjonstider til å forklare hvilken forbindelse produktet er.
5. Hva er det teoretiske utbytte for din syntese? Hva ble utbytte i prosent?
6. Hvorfor måtte syntesen skje under sure betingelser?

7. Bruk det du vet om elektrostatiske krefter til å forklar hva som skjer i reaksjonsmekanismen og bestem hva den ukjente forbindelsen er. Husk å bruke begrepene elektrofil og nukleofil i forklaringen.



8. Forklar hvordan prøven beveger seg gjennom en gasskromatograf med en upolar stasjonær fasen med blokkdiagrammet fra prelaben. Husk å snakke om hvordan kjemiske og fysiske egenskaper til forbindelsene i en prøve påvirker separasjonen.

9. Vurder og forklar hvilke steg i fremgangsmåten og det du har gjort kan påvirke utbytte og renhet i syntesen.