

Utvikling av et undervisningsopplegg om grønn kjemi og organisk oksidasjon

*Et kontekstbasert opplegg om grønn kjemi og
oksidasjon av benzaldehyd til benzosyre for
kjemiundervisning i videregående skole*

Henrik Paulsrud Tangen



Masteroppgave i kjemididaktikk
(Lektorprogrammet)
30 studiepoeng

Kjemisk institutt
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

UNIVERSITETET I OSLO

Våren 2021

Utvikling av et undervisningsopplegg om grønn kjemi og organisk oksidasjon

*Et kontekstbasert opplegg om grønn kjemi og
oksidasjon av benzaldehyd til benzosyre for
kjemiundervisning i videregående skole*

Henrik Paulsrud Tangen

© 2021 Henrik Paulsrud Tangen

Utvikling av et undervisningsopplegg om grønn kjemi og organisk oksidasjon

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

Trykk: Reprosentralen, Universitetet i Oslo

Sammendrag

I denne oppgaven blir det utviklet et kontekstbasert undervisningsopplegg om grønn kjemi og organisk oksidasjon. Opplegget går ut på at elever skal gjennomføre en av tre forskjellige metoder for å oksidere benzaldehyd til benzosyre. Etter gjennomføringen skal elevene diskutere de tre metodene, og bli enige om hvilken metode som egner seg best med tanke på følgende elementer

- Utbytte.
- Pris.
- Prinsipp 1 for grønn kjemi - Unngå avfall.
- Prinsipp 2 for grønn kjemi - Atomeffektivitet.
- Prinsipp 3 for grønn kjemi - Mindre farlig syntese.
- Prinsipp 5 for grønn kjemi - Tryggere løsemidler.
- Prinsipp 6 for grønn kjemi - Energieffektivitet.
- Prinsipp 12 for grønn kjemi - Tryggere prosesser.

Det er bred enighet om at kontekstbasert undervisning er et nyttig virkemiddel i kjemiundervisningen, og flere studier har vist at kontekstbasert undervisning har en positiv effekt for både læringsutbytte og motivasjon hos elever.

Undervisningsopplegget passer med det kontekstbaserte rammeverket til to større studier i Tyskland og Nederland, som indikerer at opplegget kan ha god effekt på elever.

Undervisningsopplegget bygger i stor grad på seks av de tolv prinsippene om grønn kjemi. Grønn kjemi er et svært viktig og fremgangsrikt område, og har nå sitt inntog i den norske kjemiundervisningen gjennom fagfornyelsen LK20.

De tre metodene er videreutviklet, testet og optimalisert for en skolesituasjon.

Denne oppgaven gjør i stor grad rede for hvorfor undervisningsopplegget ser ut som det gjør.

Forord

Denne masteroppgaven er den siste oppgaven i mitt studie på lektorprogrammet, med fagene kjemi og matematikk. I løpet av studiet har jeg lært masse om kjemi, matematikk og undervisning, og ikke minst, fått mange gode venner. Det siste året har spesielt tre ting preget livet mitt: Masteroppgaven, mange nye jobberfaringer som lærer og Covid-19-pandemien. Det har vært utfordrende å prioritere tiden til de forskjellige oppgavene, mens verden har vært et vanskeligere sted å leve i. Jeg håper at avslutningen på masteroppgaven markerer begynnelsen på en lysere tid, uten pandemi og med et rikt og givende arbeidsliv.

Denne siste skrive dagen har definitivt fått et ekstra løft av keeper Allison Beckers avgjørende scoring for Liverpool på overtid mot WBA.

Det er mange som har vært med å gjøre denne oppgaven mulig. Først og fremst vil jeg takke mine to veiledere Karoline Fægri og Svein Tveit ved Seksjon for kjemididaktikk, som har stått på langt mer enn forventet for å få dette til. Jeg vil også rette en stor takk til Massoud Kaboli og Mats Tilset som har hjulpet meg med organisk kjemi, og lånt ut både utstyr og kurslaboratoriet til oss.

Jeg vil takke studentene, lærerne og elevene som har organisert og deltatt i elevtestingen i oppgaven.

Jeg vil også takke Benedicte Brøyn ved SiO Helse som har støttet meg, oppmuntret meg og motivert meg gjennom de siste ukene.

Jeg vil takke venner og familie som har holdt humøret mitt oppe, og tilbudt hjelp på alle områder. Det gjelder særlig min studiekamerat Amanda Christiansen, mine foreldre Anne Mari Paulsrud og Dag Østvold Tangen, mine søstre Maren Paulsrud Tangen, Frida Tangen Lie og Ingvild Tangen Abel.

Den aller største takken rettes til min samboer Kari Hageland. Uten henne ville ikke denne oppgaven vært mulig. Hennes tålmodighet og hjelp har vært uvurderlig.

Noen nevnt, noen glemt.

Oslo, 16. mai 2021.

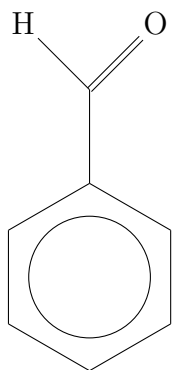
Henrik Paulsrud Tangen
YNWA

Innhold

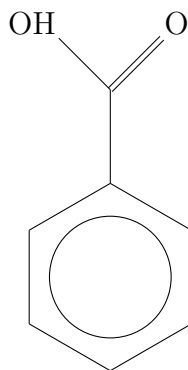
1	Introduksjon	1
1.1	Bakgrunn for oppgaven	1
1.2	Hensikt med oppgaven	1
1.3	Teori	3
1.3.1	Teori om kontekstbasert undervisning	3
1.3.2	Teori om grønn kjemi	6
1.3.3	Teori om oksidasjon av benzaldehyd	11
2	Metode	14
2.1	Utstyr og kjemikalier i metoden	15
2.2	Utprøving som metode	16
2.2.1	Kaliumpermanganat	16
2.2.2	Kalsiumhypokloritt	16
2.2.3	Oxone® som oksidasjonsmiddel	17
2.2.4	Andre metoder	18
2.3	Elevtesting som metode	20
2.4	Optimaliseringen som metode	21
2.4.1	Kalsiumhypokloritt	21
2.4.2	Oxone®	21
3	Utviklingen av undervisningsopplegget	23
3.1	Konteksten i undervisningsopplegget	23
3.2	Grønn kjemi i undervisningsopplegget	26
3.3	Strukturen i undervisningsopplegget	30
3.4	Undervisningsoppleggets relevans i videregående skole	30
4	Resultat og diskusjon	33
4.1	Resultater fra utprøving	33
4.1.1	Kaliumpermanganat	33
4.1.2	Kalsiumhypokloritt	33
4.1.3	Oxone®	34
4.1.4	Andre metoder	36
4.2	Resultater fra elevtestingen	36
4.2.1	Endringer som følge av elevtestingen.	36
4.2.2	Elevenes utbytte under elevtestingen	37
4.2.3	Elevenes rangering av metodene ut ifra prinsippene for grønn kjemi.	38

4.3	Resultater fra optimalisering	40
4.3.1	Kalsiumhypokloritt	40
4.3.2	Oxone®	41
5	Konklusjon og videre arbeid	43
5.1	Videre arbeid	43
	Referanser	45
	Appendiks	A.1
A	Undervisningsopplegget	A.1
B	Forsøksbeskrivelsen under elevtestingen	A.20
C	Oppsummering av laboratoriearbeidet	A.33
C.1	HTM01	A.33
C.2	HTM02	A.33
C.3	HTM03	A.33
C.4	HTM04	A.33
C.5	HTM05	A.34
C.6	HTM06.1	A.34
C.7	HTM06.2	A.35
C.8	HTM07	A.36
C.9	HTM08	A.36
C.10	HTM09	A.37
C.11	HTM10	A.37
C.12	HTM11-15	A.38
C.13	HTM16	A.39
C.14	HTM17-21	A.39
C.15	Elevtestingen	A.40

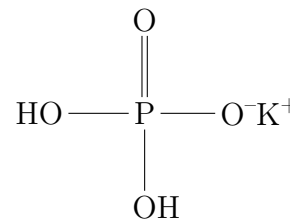
Liste over kjemiske stoffer



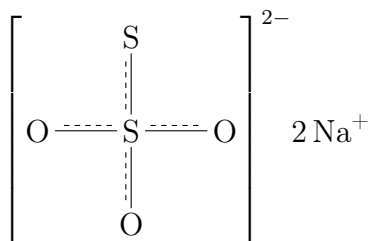
Benzaldehyd
PhCHO
C₆H₅CHO



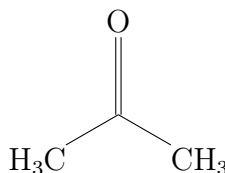
Benzosyre
PhCOOH
C₆H₅COOH



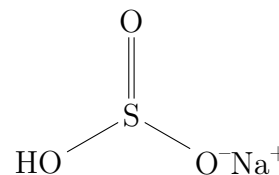
Kaliumhydrogenfosfat
KH₂PO₄



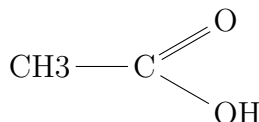
Natriumtiosulfat
Na₂S₂O₃



Aceton
CH₃COCH₃



Natriumhydrogensulfit
NaHSO₃



Eddikksyre
CH₃COOH

Kaliumpermanganat	KMnO ₄
Saltsyre (hydrogenklorid)	HCl
Kalsiumhypokloritt	Ca(ClO) ₂
Jodløsning (Lugol's solution)	I ₂ + 2 KI
Oxone®	2 KHSO ₅ · KHSO ₄ · K ₂ SO ₄
Hydrogenperoksid	H ₂ O ₂
Oksyngengass (oksygen)	O ₂

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Grønn kjemi har blitt et viktig område av kjemien de siste tiårene (Clark, 1999; Anastas & Eghbali 2010). Det er et stadig økende fokus på sikkerhet og bærekraft, og i grønn kjemi er målet å kutte ned, eller slutte å bruke, farlige stoffer (Anastas & Eghbali 2010). Utviklingen av grønn kjemi fører altså til at avfallet bli mindre farlig, og mindre i omfang, noe som gjør at det blir mindre utslipp av skadelige stoffer ut i naturen. I tillegg reduseres risikoen for arbeidsulykker, når færre farlige stoffer blir brukt.

Grønn kjemi har også hatt sitt inntog i skolen, og har blitt en viktig del av den norske læreplanen i kjemi (Utdanningsdirektoratet, 2020), sammen med det tverrfaglige temaet bærekraftig utvikling (Kunnskapsdepartementet, 2020). Ettersom miljø og klimautfordringer kan sies å være en av de største utfordringene vi i dag står ovenfor, begår vi en urett mot elevene om vi kun utdanner dem for å leve i en verden som den vi lever i dag. Det er ytterst relevant å finne måter elevene kan forberede seg på å leve gode og bærekraftige liv (Sinnes, 2019), og innføringen av grønn kjemi i kjemifaget ved videregående skole er et stort steg i riktig retning. Som følge av innføringen av grønn kjemi i læreplanen etter fagfornyelsen, handler nå ett av åtte kapitler i den nyeste versjonen av «Kjemien Stemmer» for kjemi 1 om nettopp grønn kjemi (Knutsen et al., 2021).

I tidligere lærebøker i kjemi på videregående skole, har det vært vanlig med et elevforsøk som benytter kromsyreareagens ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ i svovelsyre) til å oksidere, og deretter påvise alkoholer (Brandt & Hushhøvd, 2011; Grønneberg et al., 2013; Steen et al., 2010). Kromsyre er imidlertid et farlig stoff, som kan være kreftfremkallende (Sigma-Aldrich, 2021). På bakgrunn av dette har miljødirektoratet derfor bestemt at stoffet kun skal brukes ved spesielle behov. Denne bestemmelsen gjelder også for skolen (Tvermyr, 2018), på bakgrunn av ECHA-s (European Chemical Agency) Reach-regelverk (Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals) for EU-land. Det er derfor viktig å finne gode, og like informative, alternativer til forsøket som benytter seg av kromsyreareagens.

1.2 Hensikt med oppgaven

Lærebøkene har allerede begynt å erstatte elevforsøket med andre, mindre farlige, forsøk for å demonstrere organisk oksidasjon (Knutsen et al., 2019). Dette mente jeg og mine veiledere var et område som kunne utvikles videre. Denne oppgaven vil:

- Evaluere kjente oksidasjonsmidler og videreutvikle metoder for oksidasjon av benzaldehyd som kan benyttes i videregående skole.

- Utvikle et undervisningsopplegg som benytter tre metoder for oksidasjon av benzaldehyd, med fokus på grønn kjemi.
- Observere en elevtesting av undervisningsopplegget på elever som tar kjemi 2 og utbedre undervisningsopplegget på bakgrunn av elevtestingen.

I tillegg var det ønskelig å lage et kontekstbasert undervisningsopplegg. Dette med bakgrunn i teori som sier at kontekstbasert undervisning er med på å styrke motivasjon og læringsutbytte hos elever (Childs et al., 2015). Ved å gjøre undervisningsopplegget virkelighetsnært, er målet at relevansen og viktigheten av grønn kjemi tydeliggjøres for elevene, samtidig som de presenteres for forskjellige måter å gjennomføre organisk oksidasjon.

I denne oppgaven vil jeg først presentere relevant teori om kontekstbasert undervisning, grønn kjemi og de kjemiske metodene som blir brukt. Deretter presenteres metoden for utviklingen av elevforsøket, gjennomføringen av en elevtest og optimalisering av metodene.

Neste kapittel handler om utviklingen av undervisningsopplegget i sin helhet, og jeg gjør rede for hvorfor undervisningsopplegget er som det er. Etterpå presenteres og diskuteres resultatene fra utprøvingen, elevtestene og optimaliseringen.

I appendiks kommer undervisningsopplegget i ferdig versjon og versjonen som ble brukt i elevtestingen. Helt til slutt følger en beskrivelse av alt det praktiske som har blitt gjort, samt presentasjon av rådata.

1.3 Teori

I denne delen blir det presentert teori fra andre kilder som er relevante for oppgaven. Først gjør jeg rede for kontekstbasert undervisning, deretter gjør jeg rede for de tolv prinsippene for grønn kjemi, og til slutt gjør jeg rede for teorien bak de metodene som brukes i oppgaven.

1.3.1 Teori om kontekstbasert undervisning

Flere fagpersoner snakker om at kjemiundervisningen bør settes mer i kontekst, for å styrke motivasjon og læringsutbytte hos elevene (Childs et. al. 2015; Parchmann et. al. 2015; Parchmann et. al. 2006; De Jong & Taber 2014). Mange elever opplever at kjemi og naturfag er for virkelighetsfjernt fra det de selv driver med og interesserer seg for. Dette skyldes i noe grad at kjemiundervisningen ofte foregår uten noen særlig sammenheng mellom elevenes hverdag og fagets innhold. Det kan være lurt å endre på dette slik at elevene i større grad kan forstå hva kjemi kan brukes til, hva det har å si for sitt hverdagsliv og hvordan folk jobber med kjemi (Parchmann et al., 2015).

En slik kontekstbasert undervisning blir forsøkt i flere andre land. I Tyskland har det blitt gjennomført et stort prosjekt, kalt ChiK-prosjektet (Chemie im Kontext, kjemi i kontekst) (Parchmann et. al. 2015; Parchmann et. al. 2006) der et kontekstbasert opplegg ble forsøkt i stor skala over hele landet.

Ifølge Parchmann et. al. (2006, s. 1046) kan kontekstbasert undervisning deles i tre kategorier. Hver enkelt av disse kategoriene definerer ikke kontekstbasert undervisning alene, men samlet sett vil undervisning som bygger på *alle* disse kategoriene være kontekstbasert.

- *Kontekst som innhold.* For det første må undervisningen inneholde relevante kontekster, slik at spørsmål stilles og grunnleggende konsepter kan besvares. Denne måten å undervise på hjelper elevene å utvikle andre kompetanser, slik som evnen til å undersøke, presentere resultater og drive eksperimentell utforskning.
- *Kontekst som læringsstimulering.* For å gjøre læringsprosesser gode må læringsmiljøet stimulere elevenes personlige mentale aktivitet.
- *Kontekst som ramme for lokalisert utvikling og anvendelse av kunnskap og kompetanse.* Læringsprosessen i klassen må støtte opp under den (sosiale) utviklingen av kompetanser, spesielt overføringen av læringsutbytte fra en enhet til en annen.

Med det siste punktet mener Parchmann at det faglige innholdet skal rammes inn av konteksten. I samhandling med andre kan da elevene benytte seg av sine kunnskaper om konteksten. ChiK-prosjektet har denne definisjonen for sitt rammeverk med flere kontekstbaserte teknikker (Parchmann 2006):

- Kjemien skal være relevant, og autentiske naturfagsspørsmål skal stilles, for å utvikle kontekstbaserte økter.
- Elevene skal kunne delta med sine egne ideer og aktiviteter i forskjellige faser av en økt.
- Alle elevene skal få bruke sine kompetanser og delta i problemløsningsprosesser. Det skal være en kvalitetssikring av undervisningen gjennom et undervisningsdesign, som følger systematiske sekvenser med naturfaglige aktiviteter i hver økt og som knytter øktene sammen med grunnleggende konsepter som tas opp i hver økt.

Gjennom ChiK-prosjektet fant Parchmann et. al. (2006) at elevene i større grad så nytteverdien av emnet, men kunne oppleve å gå seg vill i konteksten. De peker på at dette kan antyde at konteksten kan bli for generell og for bred til å kunne brukes effektivt.

I Nederland har det også blitt gjennomført et større prosjekt, kalt NC-prosjektet (New Chemistry Project) (Bulte et al., 2006). Dette prosjektet bærer flere likhetstrekk med det tyske ChiK-prosjektet.

I NC-prosjektet skulle elevene undersøke i hvilken grad en engangsbleie kunne absorbere vann. I den første fasen av deres prosjekt skulle konteksten introduseres for elevene slik at de ble motivert til å involvere seg i absorpsjonsevnen til bleien. I den andre fasen skulle elevene erfare at deres forkunnskaper ikke var nok til å svare på hvorfor bleiene kunne ta opp så overaskende mye vann. I den tredje fasen skulle elevene finne informasjon som kunne hjelpe dem med å svare på dette i blant annet læreboka. Her skulle læreren lede elevene til de rette konklusjonene. I den fjerde og siste fasen skulle elevene reflektere over hva de hadde lært om superabsorberende polymerer, og bruke denne kunnskapen til å forklare et annet fenomen, som for eksempel flammehemmende materialer.

De Jong og Taber (2014) har sett på mange kilder om kontekstbasert undervisning. blant annet har de sammenliknet ChiK-prosjektet og NC-prosjektet. De fire fasene til Bulte et al. (2006) likner veldig på ChiK-prosjektets rammeverk. Disse fasene har De Jong og Taber (2014) slått sammen til tabell 1.

I sammenheng med kontekstbasert undervisning beskriver Childs et. al., (2015) "hverdagskjemii"(everyday chemistry) som relaterer til fire sider av elevenes hverdagsliv:

Materialer. Hverdagskjemii er kjemi som omhandler materialer elevene kjenner til og bruker i hverdagen. Eksempler på dette kan være maling, insektmidler, klær, plast, kosmetikk og byggematerialer. Et godt eksempel er Michael Faradays kjente forelesning fra 1848 kalt "The Chemical History of a Candle", der Faraday forklarer flere kjemiske konsepter med utgangspunkt i hvordan et stearinlys brenner (Childs et. al., 2015).

Samfunnsproblemer. Det er mange samfunnsdebatter som angår kjemien. Hverdagskjemii tar for seg disse elementene og trekker inn denne debatten. Eksempler på områder

Tabell 1: Firefasersmodellen for kontekstbasert kjemiundervisning.

Fase for kontekstbasert undervisning.	Mål for fasen.
<i>Fase 1</i> Introdusere konteksten.	Orienterer elevene om innholdet. Motivere elevene til å involvere seg.
<i>Fase 2</i> Strukturere meningsfulle spørsmål. Foreslå søkemetoder.	Frembringe et ønske om å vite. Forberede elevene til å finne svar.
<i>Fase 3</i> Veilede elevenes utforskning. Veilede presentasjoner og diskusjoner.	Utvide elevenes kunnskaper om kjemi. Kommunisere denne kunnskapen.
<i>Fase 4</i> Støtte elevenes refleksjoner. Foreslå etterfølgende kontekster.	Gi elevene dypere kunnskap. Frembringe et ønske om å bruke kunnskapen.

Note: Oversatt fra "The Many Faces of High School Chemistry" av O. de Jong og K. S. Taber (2014) i N. G. Lederman og S. K. Abell *Handbook of Research on Science Education volume II* (s. 460), Rutledge (https://www.researchgate.net/profile/O-Jong/publication/273758519_The_many_faces_of_high_school_chemistry/links/550aa39c0cf290bdc10fd5fc/The-many-faces-of-high-school-chemistry.pdf) Copyright 2014 ved Taylor & Francis

kan være olje- og gassutvinning, genmanipulasjon og vannforurensing. Dersom en lærer tar utgangspunkt i en avisartikkel og bruker det for å undersøke kjemien bak, er det eksempel på hverdagskjemi.

Aktiviteter og interesser. Sport, matlaging og underholdning kan også være gode utgangspunkter for hverdagskjemi læreren kan bruke for å undersøke kjemien bak.

Utstyr og teknologi. På samme måte som materialer, kan teknologien og utstyr forbundet med materialene brukes som utgangspunkt for hverdagskjemien.

Van Aalsvoorts (2004) beskriver mye av det samme som de ovennevnte tilnærmingene til hverdagskjemi, men fokuserer også på konteksten profesjonelle metoder. Van Aalsvoort (2004) mener at elever bør lære om hvordan kjemikere jobber i det profesjonelle arbeidsliv. Denne konteksten mener ham er relevant fordi videregående skole bør forberede elevene på en rolle som profesjonelle arbeidere i offentlig eller privat sektor, og gi dem et bilde av hvordan kjemiindustrien foregår. For eksempel kan en kjemisk analyse relatere til å utforske kvaliteten til forskjellige typer vann (grunnvann, overflatevann etc.) gjøre nettopp dette. I en av Van Aalsvoorts moduler på seks seksjoner skal elevene (1) diskutere behovet for vann, (2) hvilke råmaterialer som egner seg for å produsere drikkevann, (3) hvordan produsere drikkevann, (4) utføre kvalitetskontroll og (5) forbedre kvaliteten til drikkevann før de til slutt (6) diskuterer forskjellige eksisterende vannverk og sammenlikner de.

Effekten av kontekstbasert undervisning.

Det er flere som har undersøkt hva slags effekt kontekstbasert undervisning har på elever. Ramsden (1997) så på et kurs som ble gjort både kontekstbasert og mer tradisjonelt ved en videregående skole i Storbritannia. Ramsden fant ingen forskjell i elevenes forståelse av kjernebegrepene, men resultatene indikerte at en kontekstbasert metode vil, i noe grad, styrke elevenes motivasjon.

Barker og Millar (2000) undersøkte også britisk videregående (high school), og fant at læringsutbyttet var vesentlig bedre hos elevene som gjennomgikk kontekstbasert undervisning om kjemiske bindinger og termodynamikk. De fant at kontekstbasert undervisning utviklet elevenes ideer om kjemiske bindinger og ga motivasjon til en majoritet av elevene.

Vaino et al. (2012) så på elevers motivasjon, ved estisk videregående skole. De fant at elevene som gjennomgikk kontekstbasert undervisning var mye mer villige til å engasjere seg enn da de samme elevene gjennomgikk mer tradisjonell undervisning.

1.3.2 Teori om grønn kjemi

Anastas og Eghbali (2010) definerer grønn kjemi som "design av kjemiske produkter og prosesser for å redusere eller eliminere bruken og genereringen av farlige stoffer." (oversatt fra Anastas & Eghbali, 2010, s. 301). Videre sier de at design er det viktigste for grønn kjemi. I og med at man ikke kan designe noe med et uhell, krever grønn kjemi systematisk gjennomgang og planlegging. Når kjemikere designer en syntesemetode eller en annen prosedyre, bør de legge til grunn de 12 prinsippene for grønn kjemi. Disse prinsippene vil fungere som designregler, og vil hjelpe kjemikere til å gjøre nye prosesser bærekraftig. Prinsippene blir brukt over alle industrisektorer, for bærekraft er noe de aller fleste vil oppnå. Videre følger de 12 prinsippene for grønn kjemi, fra Anastas og Eghbalis (2010) artikkel. De prinsippene som blir brukt videre i denne oppgaven, er forklart i større detalj. Disse er: 1. Unngå avfall, 2. Atomeffektivitet, 3. Mindre farlige synteser, 5. Tryggere løsemidler, 6. Energieffektivitet og 12. Tryggere prosesser.

Prinsipp 1. Unngå avfall. Å rydde opp avfallsstoffer kan være strevsomt, kostbart og skadelig for folk og miljø. Derfor bør man i størst mulig grad unngå å generere avfall. Alle stoffer som ikke har en bruksverdi, samt tap av ubrukt energi kan regnes som avfall. Disse formene for avfall kan påvirke omgivelsene forskjellig, ut ifra hvor giftig stoffet er.

Konseptet E-faktor (Environmental impact factor, miljøpåvirkningsfaktor) ble introdusert av Roger Sheldon i 1992. E-faktoren vil tallfeste hvor mye avfall som blir produsert per kilo produkt (likning 1). Dette inkluderer løsemidler som ikke er vann. Dette kan inngå i vurderingen av om en produksjonsprosess er miljøvernmessig akseptabel. E-faktoren har blitt tatt i bruk av mange, og tydeliggjør hvor ineffektive noen kjemiske prosesser er.

$$\text{E-faktor} = \frac{m_{\text{inngangsstoffer}} - m_{\text{produkter}}}{m_{\text{produkter}}} \quad (1)$$

Dersom man i en kjemisk prosess ikke kan unngå biprodukter, må andre innovative løsninger vurderes. For eksempel kan disse biproduktene isoleres og brukes i andre prosesser, slik at de kan få nytt liv. Dette gjøres blant annet i produksjon av biodrivstoff.

Prinsipp 2. Atomeffektivitet. Atomeffektivitet (AE, Atom Economy) er et konsept som ble introdusert av Barry Trost i 1990. AE er et mål på hvor stor andel av atomene fra reaktantene som ender opp i det ønskede produktet (likning 2). AE måler hvor effektiv en reaksjon er, raskt og enkelt.

$$\text{AE} = \frac{M_{m, \text{produkter}}}{\sum M_{m, \text{reaktanter}}} \quad (2)$$

Prinsipp 3. Mindre farlige synteser. Etter mye innovativt arbeid innen organisk kjemi, fins det nå mange nye synteseveier. De siste ti årene har det blitt utviklet mange nye grønne reaksjoner. Det er viktig at denne utviklingen fortsetter, og at fokuset er på grønn kjemi.

De grønnere syntesene som bør benyttes skal designes til å bruke og generere stoffer som er mindre giftige, eller ikke giftige i det hele tatt, for både menneskers helse og miljøet.

Man bør sette opp en liste over stoffer som brukes og dannes, og inkluderer faremomentene i denne. På den måten kan man lage seg et bilde av hvor farlig en reaksjon er. Dersom man så kan erstatte ett eller flere kjemikalier, på bakgrunn av prinsippene for grønn kjemi, vil man kunne forbedre reaksjonen (Knutsen et al., 2021).

Prinsipp 4. Designe tryggere kjemikalier. En del reaksjoner og prosesser bruker reagenser som er farlige, miljøskadelige el. Det bør designes nye reagenser som kan erstatte disse på en tryggere måte for omgivelsene.

Prinsipp 5. Tryggere løsemidler. Et av de viktigste temaene i forskning på grønn kjemi er løsemidler. Fordi de ofte står for majoriteten av avfallet som blir produsert i synteser og prosesser, representerer de en viktig utfordring innenfor grønn kjemi. Mange vanlige løsemidler er etsende, sterkt brennbare eller giftige. Deres flyktighet, og evne til å løse andre stoffer har ført til forurensninger og ulykker. De er vanskelig å gjenbruke, for det kreves ofte en energikrevende destillasjon og en slik prosess fører noen ganger til kontaminering i en eventuell ny reaksjon. Det har blitt utviklet mange forskjellige

løsninger for å adressere disse problemene, blant annet løsemiddelfrie systemer, ioniske væsker, superkritiske fluider og mer omfattende bruk av vann som løsemiddel.

Bruk av vann har mange signifikante fordeler, det er et ufarlig stoff, og det vanligste molekylet på planeten. På grunn av hydrofobe effekter, og at organiske stoffer ofte ikke kan løses i vann, blir det mye brukt i separasjonsprosesser i storskalaproduksjon, og har gitt forbedrede utbytter.

Prinsipp 6. Energieffektivitet. Siden oljelagrene tømmes og energiforbruket i samfunnet øker, settes fokuset på at prosesser skal bli mer energieffektive, og bruk av fornybare energiresurser. Disse fornybare ressursene er ressurser som ikke vil gå tomme i løpet av menneskets eksistens. Ubrukt energi kan også regnes som avfall, som nevnt i det første prinsippet. Det er ønskelig å bruke reaksjoner og prosesser som ikke krever et høyt energiforbruk.

Å velge reaktanter som fremprovoserer den ønskede reaksjonen ved romtemperatur eller å senke aktiviseringsenergien til en reaksjon er to eksempler på hvordan kjemikere kan redusere bruken av energi, med alle fordelene som følger med. I tillegg er det viktig å bruke alternative energiformer. Av fornybare energiformer er sol-, vann- og vindkraft viktige bidragsyttere. Kjemikere kan både utvikle materialer som kan fange opp fornybar energi, og senke energibruken i prosessene. Kjemikere spiller dermed en viktig rolle for å løse klimautfordringene.

Prinsipp 7. Fornybare råmaterialer. Hvis mulig bør reaktanter som ikke inngår i produktet, eller andre biprodukter komme fra fornybare råmaterialer, som for eksempel fra planter og ikke fossile kilder.

Prinsipp 8. Mindre derivatisering. Derivatisering, altså modifisering av stoffer slik at de lettere kan benyttes i for eksempel analyse, bør unngås. Det er fordi slike metoder vil kreve flere reaktanter og kan generere mer avfall.

Prinsipp 9. Katalysatorer. Det er bedre å bruke katalysatorer, som går ut av reaksjonen uendret fra før reaksjonen, enn å bruke andre reaktanter som tar del i reaksjonen og er endret etterpå. Katalysatorer kan nemlig brukes om igjen.

Prinsipp 10. Designe nedbrytbare kjemikalier. Kjemiske produkter bør være nedbrytbare, slik at etter endt levetid kan de brytes ned og ikke være en fare for miljøet.

Prinsipp 11. Sanntidsanalyse for å unngå forurensning. Kjemisk analyse bør utvikles til å *in situ* overvåke og kontrollere, før forurensning skjer.

Prinsipp 12. Tryggere prosesser. Antallet farlige prosesser og kjemikalier som brukes har økt kraftig. Å forebygge skader starter med å identifisere og peke på faren, i følge “Chemical accident prevention and the clean air act amendment” fra 1990. Alle farer bør adresseres i design av kjemikalier og prosesser, være seg giftighet, fysisk fare som brennbarhet eller eksplosivitet eller globale farer, slik at ulykker kan unngås.

UCLA-ulykken, som fant sted i januar 2009 er et nylig og sjokkerende eksempel på disse farene. Det vanlige stoffet butyllitium, som også er sterkt brennbart, førte til at en forskningsassistent mistet livet. Mange kjemikalier som brukes i dag er svært farlige og bør byttes ut med tryggere alternativer for å unngå ulykker. Denne ulykken bør være en sterk påminnelse på dette.

Mange fremskritt i kjemien har brukt rammeverket med de tolv prinsippene for grønn kjemi. Disse prinsippene har ikke vært ment som tolv individuelle mål, men heller et integrert designsystem som må ses på i sammenheng. En fullstendig bærekraftig prosess bruker alle de tolv prinsippene.

Roger Sheldon som utviklet konseptet E-faktor (Sheldon, 2007; Anastas & Eghbali, 2010) undersøkte i 2007 i hvilken grad konseptet hadde blitt implementert i industrien (Sheldon, 2007). Det var allerede kjent at legemiddelindustrien og småskala kjemiproduksjon genererte mye avfall, men å tallfeste dette med E-faktoren, åpnet virkelig øynene til disse industriene. Tabell 2 ble publisert, og det førte til et paradigmeskifte for disse industriene fra et fokus på å utelukkende få best utbytte, til å maksimere bruken av råmaterialene.

E-faktoren har blitt tatt i bruk over hele linja innenfor kjemisk industri, og ikke bare blant legemiddelprodusenter eller i småskala produksjon. Forhåpentligvis vil det fortsette å spille en stor rolle, og vil spre seg til flere og flere områder innenfor faget. Mindre farlige og giftige prosesser vil bli laget, og materialene som brukes vil i mindre grad utvinnes fra fossile kilder. Bionedbrytbare stoffer, og stoffer som ikke skader miljøet blir også i større grad brukt med grønne katalyseprosesser og vil med det senke E-faktorene til de forskjellige industriene.

Tabell 2: Noen eksempler på E-faktor i ulik kjemisk industri.

Industri	Produkt i tonn/år	E-faktor
Oljeraffinering	100.000.000	< 0, 1
Kjemikalier storskala	1.000.000	1 – 5
Kjemikalier småskala	10.000	5 – 50
Legemidler	1000	25-100

Note: Oversatt fra The E factor: fifteen years on. Av Sheldon, R. A. (2007) i *Green Chemistry*, 9(12), 1273-1283.

Det har blitt vidt akseptert av myndigheter, industri og generelt i befolkningen at bærekraftig utvikling er et helt nødvendig mål for å bevare samfunnet og miljøet (Clark, 1999). For å oppnå dette målet spiller kjemien en viktig rolle, både i industrien, og i forskning og utdanning. Det viser seg faktisk at hele 60 % av europeere i 1994 hadde en dårlig oppfatning av kjemiindustrien i et miljøperspektiv. Kjemisk industri viste seg å være oppfattet som dårligere for miljøet enn olje-, gass-, strøm-, treværk- og papirindustrien, og mindre enn en tredjedel trodde at folk som drev kjemisk industri er opptatt av å beskytte miljøet og jobber hardt for å utvikle teknikker som forbedrer industriens klimaavtrykk.

Kjemisk fremstilte produkter og materialer utgjør en uvurdelig del av vår livskvalitet, der de største fabrikkene kan produsere 500 000 tonn produkt per år (Clark, 1999). Baksiden av dette, er at det blir også produsert flere millioner tonn avfall. En typisk Friedel-Craft-acyleringsreaksjon, som vil si å sette en CO-R-gruppe på et organisk molekyl, kan produsere 880 kg avfall per 120 kg produkt. Avfallsreduksjon er nå en sentral del av utviklingen til den kjemiske industrien. Industrien blir også motivert økonomisk til å redusere avfall, for det blir dyrere og dyrere å kvitte seg med. Allerede i 1992 ble det brukt 115 milliarder dollar i USA på å behandle og avhending av avfall fra kjemisk industri. Dersom vi ikke får redusert avfallsmengden fra kjemisk industri, vil bransjen i beste fall bli sett på som en nødvendig onde i samfunnet, samtidig som det blir mindre og mindre lønnsomt.

Det er helt avgjørende at kjemikere og andre som utvikler prosedyrer, lager prosesser som gagnar samfunnet og miljøet (Clark, 1999). Dette krever en helt ny tilnærming til hvordan vi utvikler syntesemetoder og andre prosesser, som oppdagelser av nye synteseveier, og endring av vilkårene for hvordan løsemidler benyttes. Kjemikalier som brukes må også være mindre giftig og ellers tryggere.

Duangpummet et al. (2019) utførte et undervisningsopplegg om grønn kjemi på elever ved videregående (high school) i Thailand, og undersøkte hvilke effekter det hadde på elevene. Forfatterne mente at opplegg om grønn kjemi kunne inspirere elevene til å undersøke grønn kjemi mer, og bli mer oppmerksomme på utviklingen av bærekraftige nye innovasjoner.

Duangpummet et al (2019) presenterte for elevene de tolv prinsippene for grønn kjemi, siden de mente at dette temaet egner seg godt for elever på videregående skole. En annen grunn var å lære elevene hvordan man kan implementere slike prinsipper i praksis. Dette fordi grønn kjemi har vært et av de mest aktive forskningsfeltene innenfor naturfag de siste ti årene. Labeksperimenter, kursmoduler og demonstrasjonsforsøk har blitt utviklet i stor grad, og av disse har laboratorieeksperimenter blitt mye brukt som et pedagogisk verktøy til å illustrere bruken av, og hvordan grønn kjemi kan brukes i en virkelighetsnær

kontekst.

Et av de tre forsøkene som ble utført på elevene i studien (Duangpummet et al. 2019), handlet om esterifisering. De fleste eksperimenter og metoder av denne typen bruker en syrekatalysert reaksjon, der katalysatoren ofte ikke kan gjenbrukes. I senere tid har det blitt utviklet metoder for esterifisering både med gjenbrukbar katalysator, og reaksjoner satt igang av mikrobølger. I dette opplegget ble det utført en esterifisering med enzymet lipase som katalysator, der enzymet kunne gjenutvinnes og gjenbrukes.

Etter forsøkene skulle elevene holde en presentasjon der de skulle diskutere egenskapene ved esterene de syntetiserte, hvilke av de tolv prinsippene for grønn kjemi som var relevant for denne syntesen, hva som gikk imot de tolv prinsippene og hvordan forsøket kunne forbedres for å imøtekomme de tolv prinsippene i enda større grad. Til slutt skulle elevene reflektere rundt hva de hadde lært. Ved å dele og diskutere resultatene sine med venner, kunne elevene prosessere en større mengde læringsinnhold på kort tid (Duangpummet et al., 2019).

Denne undersøkelsen viste med stor sikkerhet at elevene lærte en hel del. De fikk en bedre forståelse av lipaselatalysert esterifisering og om grønn kjemi. Elevene fikk også et positivt syn på grønn kjemi. De fikk forståelse av hvor viktig grønn kjemi er, og at det bør implementeres i andre områder i kjemien (Duangpummet et al., 2019).

Også i Norge rettes fokuset mot grønn kjemi. I læreplanen for Kjemi 1 som innføres sommeren 2021 står det at elevene skal “gjøre rede for prinsipper for grønn kjemi og drøfte hvordan bruk av prinsippene kan bidra til bærekraftig utvikling” (Utdanningsdirektoratet, 2020). I læreplanen for kjemi 2, som innføres sommeren 2022 står det at elevene skal “gi eksempler på produksjon, gjenvinning, deponering og nedbryting av noen metaller og noen typer plast, og drøfte tiltak som er i samsvar med prinsipper for grønn kjemi” (Utdanningsdirektoratet, 2020) Disse læreplanmålene refererer tydelig til Anastas’ og Eghbalis (2010) tolv prinsipper for grønn kjemi. Lærebøkene har også inkludert grønn kjemi. I Kjemien stemmer 1 (Knutsen et al., 2021) er ett av åtte kapitler dedikert til grønn kjemi og de tolv prinsippene.

I overordnet del av læreplanen er bærekraftig utvikling ett av tre tverrfaglige temaene. Elevene skal forstå dilemmaer rundt klimaendringene, se utviklingstrekk i samfunnet og hvordan de kan håndteres. De skal kunne ta ansvarlige valg og handle etisk og miljøbevisst (Kunnskapsdepartementet, 2020).

1.3.3 Teori om oksidasjon av benzaldehyd

Det er flere måter å syntetisere benzosyre. Flere av disse er å oksidere benzaldehyd, med forskjellige oksidasjonsmidler. I denne oppgaven blir det presentert fem mulige oksidasjonsmidler. Først en metode som bruker kaliumpermanganat som oksidasjonsmiddel,

så en metode som bruker kalsiumhypokloritt som oksidasjonsmiddel, deretter en metode som bruker Oxone® som oksidasjonsmiddel. Til slutt nevnes to andre oksidasjonsmidler, oksyngengass og hydrogenperoksid.

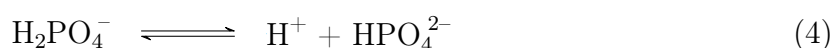
Kaliumpermanganat

I en lærebok for kjemi 2 for norsk videregående skole, Kjemien Stemmer 2 (Knutsen et al., 2019), blir det presentert en metode for å oksidere benzaldehyd til benzosyre. I denne metoden blir kaliumpermanganat brukt som oksidasjonsmiddel. Reaksjonen er beskrevet i likning 3.



Det blir også tilsatt kaliumhydrogenfosfat (KH_2PO_4) som bidrar i reaksjonen med en H^+ (likning 4) for å skape et surt miljø.

H^+ kommer fra KH_2PO_4 med molar masse: 136 g/mol



Det kan skje at reaksjonen ikke gjennomføres fullstendig. For å redusere resten av permanganatet, tilsettes natriumtiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). Alt manganet blir da på formen brunsten ($\text{MnO}_2 (s)$) som filtreres vekk. En del benzosyre vil fortsatt være løst i løsningen, mens noe har fellet ut. For å felle ut så mye som mulig blir det tilsatt litt saltsyre. Når mesteparten av benzosyren har fellet ut, kan råproduktet filtreres ut med büchnertrakt og filterpapir. Produktet renses ved omkrystallisering.

Kalsiumhypokloritt

Nwaukwa og Keehn (1982) oppdaget at de kunne oksidere alkoholer og aldehyder ved hjelp av kalsiumhypokloritt med godt utbytte. Dette oksidasjonsmiddelet mente de burde kunne konkurrere med både kromater og permanganat som oksidasjonsmiddel. Kalsiumhypokloritt er nemlig billig, lett tilgjengelig og lett å lagre trygt. I motsetning til hva som er vanlig når man utfører reaksjoner med dikromat eller permanganat, kan kalsiumhypokloritt brukes ved lave temperaturer, og fortsatt gi godt utbytte uten biprodukter. Selv om reaksjonen skjer med eddiksyre til stede, vil ikke dette påvirke reaksjonen negativt.

Nwaukwa og Keehn (1982) beskriver metoden de brukte for å oksidere aldehyder til karboksylsyrer med m-nitrobenzaldehyd. Metoden for de andre aldehydene er tilsvarende. I en løsning med kalsiumhypokloritt (7.0 g, 33 mmol) i vann (100 mL) ble det tilsatt konsentrert eddiksyre (10 mL) dråpevis til all reagens var løst. Denne gule løsningen ble

så tilsatt dråpevis, og ved romtemperatur, til en løsning av m-nitrobenzaldehyd (5 g, 33 mmol) i acetonitril (40 mL) som røres kontinuerlig. Denne fikk stå og røre i 16 timer over natten, og gulfargen forsvant mens løsningen ble blakket. Løsningen ble fortynnet med vann (50 mL) og ekstrahert med eter. Eterfasen ble vasket med natriumbikarbonat (2×50 mL) og så tilsatt konsentrert saltsyre. m-nitrobenzosyre (4.62 g, 86 %) fellte ut, og løsningen ble filtrert og produktet ble vasket og tørket i vakuumovn.

Da Nwaukwa og Keehn (1982) utførte denne reaksjonen, viste flere tester at produktet var så godt som helt rent. For reaksjonen benzaldehyd \rightarrow benzosyre ble det isolerte utbyttet 86 %.

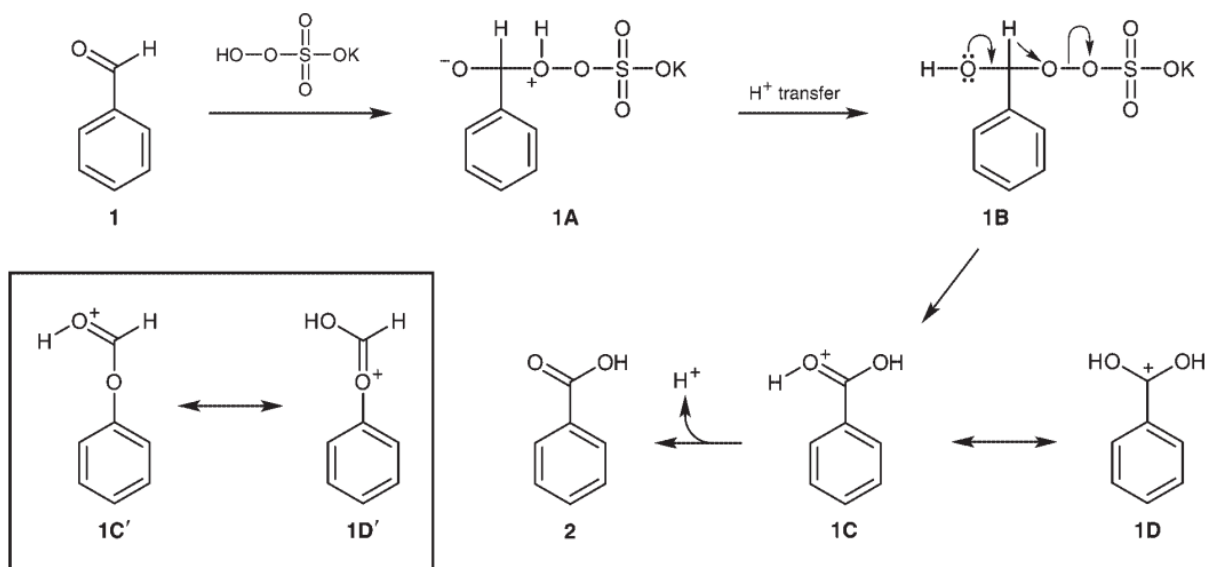
Oxone®.

Oxone® er et trisalt av KHSO_5 , KHSO_4 og K_2SO_4 i molforholdet 2:1:1. Det er et vannløselig salt, som er miljøvennlig og som ikke er giftig (Gandhari et al., 2007). Gandharis et al. metode var å blande 1 g benzaldehyd, 7,25 g Oxone® og 25 mL vann i en rundkolbe, sette kolben ned i et vannbad på $70 - 80^\circ\text{C}$ med røring og kjøler, for så å overføre det til et isbad. Deretter ble råproduktet filtrert fra, tørket og veid, før det ble omkrystallisert.

Gandhari et al. (2007) beskriver reaksjonsmekanismen til syntesen av benzosyre fra benzaldehyd med Oxone®. De beskriver en mulig reaksjon som likner Baeyer-Villiger-oksidasjon (figur 1). Et av saltene i Oxone® er kaliumpersulfat KHSO_5 . Det er antatt å være den aktive oksidanten som produserer peroksyacetal-intermediatet (1B) sammen med benzaldehyd. O–O-bindingen er den svakeste av bindingene, så hydridmigrasjonen fører til at denne brytes, og vi ender opp med oxoniumionintermediatet (1C) som igjen mister et proton til benzosyreproduktet (2). Intermediatet 1C har 1D som et mindre stabilt resonansbidrag. En slik resonans (1D') er ikke en mulig resonans, slik at 1C er foretrukket i reaksjonen foran 1C'.

Andre metoder

Det er beskrevet at syntese av benzosyre fra benzaldehyd kan foregå på to andre måter. Den ene er med oksyngengass som oksidasjonsmiddel, og katalysatorer med lys til stede (McNesby & Heller, 1954). Den andre er med hydrogenperoksid som oksidasjonsmiddel, med natriumwolframat som katalysator. (Noyori et al., 2003; Sato et al., 1997)



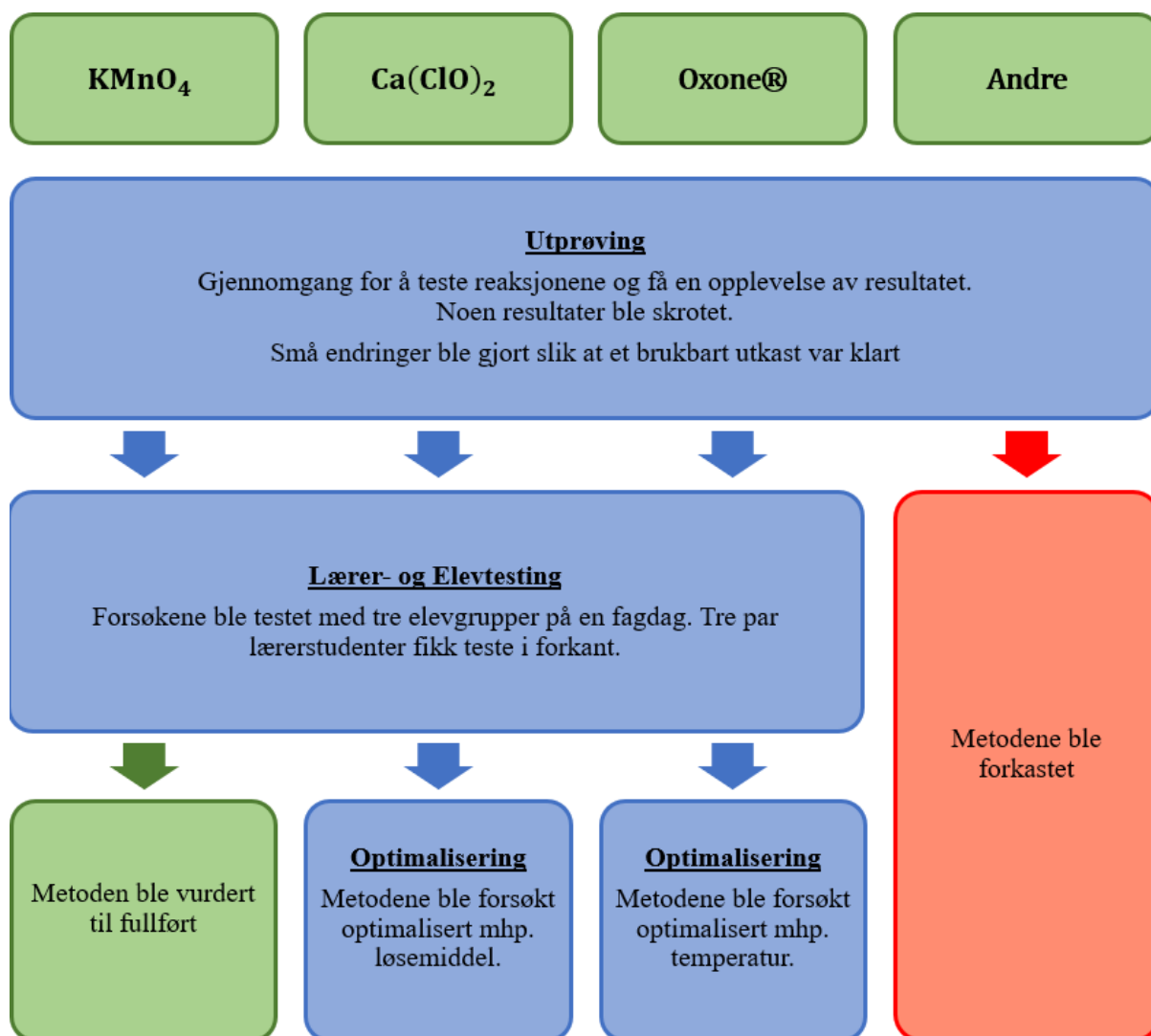
Figur 1: Reaksjonsmekanismen til Oxone®-reaksjonen (Gandhari et al., 2007)

2 Metode

I læreboka *Kjemien stemmer 2* (Knutsen et al., 2019) er det beskrevet et forsøk for å oksidere benzaldehyd til benzosyre ved hjelp av kaliumpermanganat. Denne oppgava har i hovedsak bestått av laboratoriearbeid i form av å utvikle et undervisningsopplegg med utgangspunkt i metoden som er beskrevet i *Kjemien stemmer 2*. Den praktiske delen, den som omhandler å utføre og la andre utføre reaksjonene, er delt inn i tre bolker som visualiseres i figur 2.

I utprøvdingsdelen ble metodene testet første gang. Dette ble gjort for å få en opplevelse av hvordan forsøkene og resultatene skulle se ut, samt gjøre litt enkel testing av de nye metodene. Metoden der KMnO₄ ble brukt som oksidasjonsmiddel ble vurdert til ferdig, siden den allerede sto i en lærebok og var antatt godt nok testet og optimalisert for skolen. Videre ble metodene med Oxone® og Ca(ClO)₂ testet ut på ulike vis. Oxone®-metoden ble basert på artikkelen til Gandhari et al. (2007) og forsøkt tilpasset skolen. Ca(ClO)₂-metoden ble basert på en laboppgave Seksjon for organisk kjemi ved UiO bruker i sin undervisning. De har igjen fått metoden fra Nwaukwa og Keehm (1982) og tilpasset det noe.

Andre metoder ble testet i mindre grad. Det ble forsøkt å bruke hydrogenperoksid (H₂O₂) og oksyngengass (O₂) som oksidasjonsmidler, men de ble ikke gått videre med.



Figur 2: Illustrasjon av metodestrukturen

2.1 Utstyr og kjemikalier i metoden

Utover vanlig glassutstyr ble utstyret beskrevet i tabell 3 brukt. Kjemikaliene som ble brukt er beskrevet i tabell 4

Tabell 3: Utstyr som ble brukt i oppgaven

Utstyr	Type
Vekt	Highland® HCB123
Varmeplate med termostat	IKA® C-mag HS 7 (lånt fra Organisk kjemi)
Termostat	IKA® ETS D5 (lånt fra Organisk Kjemi)
Magnetrorer	IKA® LAB DISC S40
Varmeplate uten termostat	TMA Magnetic Stirrer Art.-Nr.: 42071004 IKA®-COMBIMAG RET

Tabell 4: Kjemikalier som ble brukt i oppgaven

Kjemikalie	Kvalitet	Leverandør
Benzaldehyd	for synthesis	Merck (Darmstadt, Tyskland)
Kaliumhydrogenfosfat		KPT naturfag (Kristiansund, Norge)
Kaliumpermanganat		MND (Oslo, Norge)
Natriumtiosulfat	PURIFIED	VWR (Oslo, Norge)
Saltsyre	for analysis	Merck (Darmstadt, Tyskland)
Kalsiumhypokloritt		Alfa Aesar (Kandel, Tyskland)
Aceton	GPR RECTAPUR	VWR (Oslo, Norge)
Eddiksyre	GPR RECTAPUR	VWR (Oslo, Norge)
Natriumhydrogensulfitt		UIO, Oslo, Norge)
Kaliumjodid	for analysis	Merck (Darmstadt, Tyskland)
Jod	for analysis	J. T. Baker Chemicals (Deventer, Holland)
Oxone® [®] , monopersulfat		Alfa Aesar (Kandel, Tyskland)

2.2 Utprøving som metode

Alle forsøkene har fått en kode på formen $HTMn$, der $n \in [01, 02, \dots, 99]$ og er unik for hvert forsøk. Noen forsøk er delt inn i underforsøk, og kalles derfor $HTMnm$ der $m \in [a, b, c, \dots]$. HTM står for Henrik Tangens Masterprosjekt. Alle forsøkene er notert i en laboratoriejournal, med korrekt kode som referanse.

2.2.1 Kaliumpermanganat

Metoden med kaliumpermanganat, slik som den er beskrevet i læreboka Kjemien Stemmer 2 (Knutsen et al., 2019) ble gjennomført en gang. Den ble vurdert til ferdig utprøvd og optimalisert for skolen.

2.2.2 Kalsiumhypokloritt

Metoden med kalsiumhypokloritt ble først forsøkt med en tilsvarende forsøksbeskrivelse som for kaliumpermanganat, der kaliumpermanganat ble byttet ut med kalsiumhypokloritt. Deretter ble metoden som Seksjon for organisk kjemi bruker i sin undervisning forsøkt, med noen tilpasninger, og den ble etablert. Metoden var i sin tid hentet fra Nwaukwa og Keehn (1982), som blandet 7.0 g kalsiumhypokloritt og 10 mL eddiksyre

i 100 mL vann med 5 g n-nitrobenzaldehyd i 40 mL acetonitril. Reaksjonen fikk foregå over natten, og produktet ble isolert.

Metoden som ble brukt av Seksjon for organisk kjemi brukte acetonitril (CH_3CN) som løsemiddel. Dette ble erstattet med aceton (CH_3COCH_3). I denne metoden ble det blandet 0.82 g $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, 5 mL aceton, 0.39 g PhCHO og 20 mL 1M CH_3COOH i en 100 mL erlenmeyerkolbe, og blandingen ble rørt i 15 min, så tilsatt 2 mL kons. saltsyre. Blandingen ble satt i isbad i 5 minutter. Deretter ble produktet filtrert i en büchnertrakt med filtrerpapir.

Acetonitril er ikke et vanlig løsemiddel man finner i skolen. Aceton ble valgt i stedet for acetonitril på bakgrunn av det, fordi det er vannløselig og fordi det ikke lar seg oksidere av de vanlige oksidasjonsmidlene, som for eksempel alkoholer ville ha gjort.

Etter noen gjennomganger ble metoden som elevene fikk presentert slik: 1 g $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ og 30 mL vann ble blandet i en 50 mL målekolbe, og deretter tilsatt en røremagnet. Denne blandingen skulle røre i isbad mens neste blanding ble forberedt. 1 g PhCHO, 5 mL aceton og 3 mL kons. eddiksyre ble blandet i et begerglass. Denne blandingen ble dråpevis overført til erlenmeyerkolben i løpet av ca. 3 minutter. Reaksjonsblandingen skulle så røre utenfor isbad i 15 minutter. 1 mL 2.5 % NaHSO_3 ble tilsatt, og jodtesten ble gjennomført. Deretter ble 2 mL kons. saltsyre tilsatt og benzosyren ville felle ut. 5 minutter senere kunne råproduktet filtreres av med büchnertrakt og omkrystalliseres.

Tabell 5 viser hvilke justeringer som ble utprøvd i denne delen.

Tabell 5: Justeringer som ble forsøkt i utprøvsdelen for kalsiumhypokloritt

Hva som ble testet
Samme metode som for kaliumpermanganat, men byttet ut kaliumpermanganat med kalsiumhypokloritt.
Samme metode som for kaliumpermanganat, uten kaliumhydrogenfosfat (KH_2PO_4).
Med og uten aceton.
Med og uten jodtest.
OmkrySTALLISERING i sandbad og i erlenmeyerkolbe på varmeplate.

2.2.3 Oxone® som oksidasjonsmiddel

Gandharis et al. (2007) metode var å blande 1 g benzaldehyd, 7,25 g Oxone® og 25 mL vann i en rundkolbe, sette kolben ned i et vannbad på 70-80 °C med røring og kjøler, for så å overføre det til et isbad. Deretter ble råproduktet filtrert fra, tørket og veid, før det ble omkrystallisert. Tilpasningene som ble gjort i første omgang var at koketiden ble redusert fra 75 minutter til 15 minutter, etterfulgt av isbad i 5 minutter i stedet

Tabell 6: Justeringer som ble forsøkt i utprøvingsdelen for Oxone®-metoden

Hva som ble testet.
Liebigkjøler versus luftkjøler oppå reaksjonsflasken.
Erlenmeyerkolbe (250 mL) stående på bunn i vannbadet med magnet for reaksjonen.
Type-2-vann versus springvann i reaksjonsblandingen.
60 min med 60-70 °C + 10 min i isbad (som Gandhari et al. 2007)).

for 15 minutter. Dette for å gjøre metoden mer passende til en skolesituasjon. Det er verdt å bemerke at det ble brukt analog termometer i vannbadet for å kontrollere reaksjonstemperaturen. Flere mindre utprøvinger er presentert i tabell 6.

Etter flere av de ovennevnte utprøvingene kom vi frem til metoden som den ble presentert til elevene: Elevene skulle forberede et vannbad med magnetrører først, og sette på varmen. 1 g benzaldehyd ble plassert i en 50 mL rundkolbe og festet over vannbadet. 7.5 g Oxone (®), 20 mL type-2-vann og en røremagnet ble blandet i en erlenmeyerkolbe, og rørt i et minutt. Løsningen i erlenmeyerkolben ble helt over i rundkolben, og skylt med 5 mL vann. Vannkjøler ble satt på, og reaksjonsblandingen ble ført ned i vannbadet, der den skulle røre i 20 minutter. Vannbadet skulle holde 80 – 85 °C. Etter 20 minutter ble vannbadet byttet ut med isbad. Benzosyren ville felle ut, og kunne filtreres fra med büchnertrakt med filterpapir. Råproduktet skulle omkrystalliseres.

Tabell 6 viser hvilke justeringer som ble utprøvd i denne delen.

Utstyret var satt opp på følgende måte for alle gjennomgangene med Oxone®-metoden, utenom to ganger da andre ting ble forsøkt. Reaksjonsblandingen var i en 50 mL rundkolbe med en liten røremagnet. Til rundkolben var det festet en liebigkjøler, med vanngjennomstrømming. Vannet kom inn på toppen og ut nederst. Rundkolben var senket ned i et vannbad slik at væsknivået i rundkolben var lavere enn væsknivået i vannbadet. I vannbadet var det plassert en større røremagnet. Disse røremagnetene rørte gjennom hele prosessen. Magnetene i vannbadet skapte en homogen temperatur for bedre kontroll. Både rundkolben og liebigkjøleren var festet til et stativ for god stabilitet. Skjøte mellom rundkolben, den eventuelle overgangen og kjøleren var smurt med fett for å sikre at de var tette. Figur 3 viser hvordan utstyret var satt opp.

2.2.4 Andre metoder

Det var ønsket å finne flere metoder for syntesen med andre oksidasjonsmidler. Det ble forsøkt å dryppe hydrogenperoksid (H_2O_2) i benzaldehyd for å se etter bunnfall. Det ble også forsøkt å gjennomføre metoden etter forsøksbeskrivelsen for kaliumpermanganat, men bytte ut kaliumpermanganat med hydrogenperoksid. Sistnevnte ble forsøkt både med



Figur 3: Oppsett for Oxone®-metoden

og uten kaliumhydrogenfosfat (KH_2PO_4).

Det ble også forsøkt å holde ren benzaldehyd med kun oksyngengass til stede. Ca 0.40 g benzaldehyd ble plassert i en GC-vial, en liten flaske med tett kork og septum. En ballong fylt med oksyngengass ble festet til en sprøyte med kanyle, og stukket ned i GC-vialen. En tom kanyle ble også stukket ned i GC-vialen for å gi gassen en vei ut. Det ble forsøkt med kanyler i forskjellig størrelse. Kanylen som tok oksygen inn i vialen var alltid lik eller større enn kanylen som tok gass ut. Denne metoden er inspirert av metoden for et inert miljø i Harwood et al. (1999, s. 89)

2.3 Elevtesting som metode

Tre par med studenter i emnet KJM5050 ved UiO gjennomførte deler av undervisningsopplegget med Kjemi 2-elever fra en offentlig videregående skole i Oslo-området. En til to uker i forkant fikk studentene prøve ut metodene selv med forfatteren til stede. Studentene kunne stille forfatteren spørsmål og alle spørsmål ble notert og brukt til å utbedre forsøksbeskrivelsene. Den aktuelle versjonen av forsøksbeskrivelsen finnes i appendiks B på side A.20.

Elevene besøkte universitetet på en fagdag, og brukte laboratoriet som Seksjon for organisk kjemi vanligvis bruker, med deres utstyr. De fleste kjemikalier ble tatt med fra skolelaboratoriet, så de var de samme som jeg brukte under mine gjennomganger. Unntakene er aceton, eddiksyre og saltsyre.

Elevene innad i hver klasse gjennomførte syntesen i grupper på to til tre elever. Når syntesen var gjennomført ble nye grupper satt sammen. De nye gruppene bestod av elever som hadde gjennomført forskjellige synteser, dermed kunne de sammenlikne metodene og diskutere dem med hensyn på de fem prinsippene om grønn kjemi som var aktuelle da. Disse var: 1. Unngå avfall, 2. Atomeffektivitet, 5. Tryggere løsemidler, 6. Energieffektivitet, 12. Tryggere kjemikalier og prosesser.

Elevene gjennomførte opplegget over tre fagdager, med en hel klasse hver dag. Klassene var alle Kjemi 2-klasser fra samme videregående skole i Oslo-området. Studentene som holdt undervisningen, klassens faglærer, veileder og forfatteren var tilstede gjennom fagdagene. Elevene hadde anledning til å spørre alle de ovennevnte om hjelp, og alle de ovennevnte ble oppfordret til å gjenta spørsmålet til forfatteren. Disse ble notert og brukt til å utbedre forsøksbeskrivelsen. Elevenes utbytter ble notert. Elevenes diskusjoner i etterarbeidet ble observert, og plakaten de laget for sin metode ble samlet inn og/eller fotografert.

Kun laboratoriearbeidet ble utført blant disse elevene. De diskuterte også metodene opp mot hverandre, men ikke i lys av casen beskrevet i appendiks A.

Under elevtestingen ble elevene observert, og studentene og læreren ble oppfordret til å videreformidle alle spørsmål slik at jeg kunne notere de, for å endre undervisningsopp- legget. Elevene kunne også stille spørsmål direkte til meg. Med disse endringene ønsker jeg å unngå misforståelser i senere gjennomganger. Jeg var til stede alle fagdage, men ikke hele tiden.

På bakgrunn av observasjonene og spørsmålene fra elevene ble prinsipp 3 for grønn kjemi, “mindre farlige synteser.” Samtidig ble prinsipp 12 endret noe i elevteksten. Dette ble gjort for å styrke fokuset på stoffer som kan være skadelige for miljøet, men fortsatt bevare fokuset på helseskadelige stoffer og prosesser. Dette diskuteres ytterligere.

2.4 Optimaliseringen som metode

Etter utprøvingen og elevtestingen ble metodene med kalsiumhypokloritt og Oxone® forsøkt optimalisert, som beskrevet nedenfor.

2.4.1 Kalsiumhypokloritt

Det skulle vurderes om metoden virket like godt uten organisk løsemiddel som med. Det var blitt forsøkt med hell hos Seksjon for organisk kjemi, derfor var det interessant å vurdere om det kunne fjernes fra metoden, og med det gjøre metoden litt grønnere.

To replikater ble utført samtidig. Et replikat med aceton, og et uten. Dette ble gjentatt fem ganger. For hver av de fire siste gjentakelsene, ble det brukt identisk glassutstyr for de to replikatene. Ingenting erstattet acetonet, så reaksjonsblandingen uten aceton inneholdt 5 mL mindre væske. Metoden ble utført slik som det står i seksjon 2.2.2 på side 16 og i appendiks B.

2.4.2 Oxone®

Det skulle vurderes hvilket temperaturområde som ville gi beste kombinasjon av høy- est og renest utbytte. Både jeg og elevene hadde erfart at høyere temperatur ga større, men mer forurenset utbytte. Likeledes ga lavere temperatur mindre, men renere utbytte. For å få mer nøyaktige tester, ble det brukt varmeplater med termostat i vannbadet. Det ble gjennomført tre forskjellige replikater simultant. De tre replikatene ble repetert seks ganger. Første sett med replikater ble prøvd ved 75 °C, 80 °C og 85 °C. Som tildi- gere nevnt, gjennomførte elevene reaksjonen ved 80 °C. De siste fem settene ble prøvd ved 85 °C, 90 °C og 95 °C. Utover forskjellene listet i tabell 7 ble settene forsøkt utført identisk, og replikatene innad i hvert sett ble forsøkt utført identisk. Forsøksbeskrivelsen i appendiks B, som er beskrevet i seksjon 2.2.3 på side 17 ble brukt, med unntak av

at temperaturen i vannbadene skulle ha nådd den ønskede temperaturen før rundkolben med reaksjonsblandingen ble senket ned i vannbadet.

Tabell 7: Feil og andre inkonsekventheter som ble gjort i optimaliseringsprosessen for Oxone®-metoden

Sett	Hva som ble testet
HTM16	Det ble brukt springvann i stedet for type-2-vann.
HTM19	Det ble målt temperatur med både analogt glasstermometer og digitalt termometer tilknyttet varmeplata.
HTM20 HTM21	Etter at råproduktet var kjølt ned i isbadet ble det stående i reaksjonsflasken i tre dager. Råproduktet var enda ikke filtrert ut fra reaksjonsblandingen.

3 Utviklingen av undervisningsopplegget

Hoveddelen av denne oppgaven var å utvikle et undervisningsopplegg om grønn kjemi og oksidasjon av benzaldehyd til benzosyre for kjemi 2 på videregående skole.

Den første versjonen som ble utviklet, som elevene fikk utdelt på fagdagene under elevtestingen, finnes i appendiks B. Denne versjonen ble først skissert av veilederen min, og satt sammen for fagdagene. Etter fagdagene og optimaliseringen ble undervisningsopplegget revidert på bakgrunn av erfaringene jeg gjorde meg da jeg observerte fagdagene, samt resultatene fra optimaliseringsprosessen. Den oppdaterte versjonen finnes i appendiks A.

3.1 Konteksten i undervisningsopplegget

Det var ønskelig å sette undervisningsopplegget i en kontekst for elevene, slik at de kunne se nytteverdien av å sammenlikne syntesemetoder. Det ble derfor valgt en case elevene skulle sette seg inn i før de utførte undervisningsopplegget. Casen består av at elevene jobber i en bedrift som trenger en ny metode for å syntetisere benzosyre, siden den forrige metoden er regnet som farlig.

Elevene har, i casen, fiksjonelle ledere, HMS-ansvarlige og investorer rundt seg. Casen forklarer at kundene krever at den gamle metoden for oksidering av benzaldehyd til benzosyre, som bruker kromsyre som oksidasjonsmiddel, ikke kan brukes lenger. Derfor har arbeiderne (elevene) fått i oppdrag av sine ledere å finne en ny metode for å produsere benzosyre, og de skal teste tre ulike metoder. Kundene presser for at metoden skal være mest mulig miljøvennlig. Arbeidstilsynet og HMS-ansvarlig presser på at metoden skal være tryggest for arbeiderne. Investorene presser på at metoden skal produsere mest mulig benzosyre per krone som benyttes. Arbeiderne (elevene) skal velge ut den beste metoden, og argumentere for hvorfor akkurat denne ble valgt.

Denne casen er med på å sette undervisningsopplegget i kontekst, slik at elevene simulerer en situasjon fra arbeidslivet, slik som Van Aalsvoort (2004) beskriver at er gunstig for elever som tar kjemi.

Casen presenterer også stoffet benzosyre som brukes som konserveringsmiddel i mat. Det kan i tillegg brukes til å produsere parabener som også brukes som konserveringsmidler («Benzosyre», 2021). Dette putter stoffet i kontekst fordi elevene kjenner til konserveringsmidler, og noen interesserer seg for nettopp dette. Childs et al. (2015) kaller dette for hverdagskjemi, fordi stoffet er relevant både for materialer elevene kjenner til, men også samfunnsdebatten som flere har hørt om, samt om interesser elever har for matlaging og kosthold. Casen presenterer også en forskningsrelatert situasjon, som bygger på nyere teknologi.

I De Jong og Tabers (2014) sammensetning av Bultes et al. (2006) og Parchmanns et al.

(2006) fire faser for kontekstbasert kjemiundervisning, passer casen med deres første fase, der konteksten blir presentert. Denne casen orienterer om innholdet, og vil forhåpentligvis skape motivasjon for å delta i denne undervisningsøkten.

Andre fase i De Jong og Tabers (2014) fire faser handler om at elevene strukturerer meningsfulle spørsmål. Denne treffer i den form at elevene får tildelt tre metoder de skal undersøke, og blir nøye guidet gjennom spørsmålene elevene skal finne svar på i undersøkelsen. Disse spørsmålene vil elevene lage når de har forstått oppgaven. Forhåpentligvis vil spørsmålene angå hvilke deler av metoden som er bra eller mindre bra med tanke på grønn kjemi, og hva andre metoder må inneholde for å være bedre eller dårligere. Idéelt sett skulle elevene funnet frem til metodene selv, men i dette tilfellet ville det krevd dager med søking og mye mer forkunnskaper om organisk syntese. Jeg mener opplegget som beskrevet setter rammer for forsøket som gjør det praktisk mulig innenfor et realistisk tidsskjema, og begrenser utstyrsbehovet til hva som er realistisk å finne på en videregående skole i Norge.

Selv om spørsmålene elevene skal stille er delvis styrt av oppgavebeskrivelsen, vil de forberede elevene til å finne svar, slik som De Jong og Tabers (2014) fire faser foreslår. Det kan også argumenteres for friheten i denne delen av oppgaven med at elevene selv bestemmer hvor de vil legge vekten i sin diskusjon. Oppgaven er ikke presentert med en fasit, og selv jeg som utvikler, er usikker på hvilken av metodene som ville vært mest hensiktsmessig å gå videre med i en produksjonssituasjon.

I tredje fase i De Jong og Tabers (2014) fire faser skal elevene utforske og presentere funnene sine. Når elevene analyserer metoden etter forsøket, vil de finne svar på spørsmålene de har stillt seg før gjennomgangen. De diskuterer også disse funnene med hverandre, og kommer frem til en felles konklusjon. I både denne fasen, og fase to, vil elevene forhåpentligvis utvikle ny kunnskap om grønn kjemi og hvordan den kan anvendes.

I fjerde fase i De Jong og Tabers (2014) fire faser skal læreren støtte elevenes refleksjoner. Elevene skal også foreslå etterfølgende kontekster. I dette undervisningsopplegget foregår denne prosessen samtidig som fase tre. Læreren oppfordres til å lytte til de forskjellige gruppenes diskusjoner, og komme med innspill som flytter diskusjonen i en mer lærerik retning, dersom det er ønskelig. Ved å aktivt bruke seks av de tolv prinsippene for grønn kjemi (fra Anastas og Eghbali (2010)), vil de utvikle dypere kunnskap om prinsippene, om utfordringene knyttet til disse samt om hvordan prinsippene kan og bør anvendes. For noen elever vil dette kanskje skape et ønske om å bruke de tolv prinsippene for grønn kjemi i andre forsøk, og i andre områder av kjemifaget, for å lete etter mulige forbedringer. Kanskje kan dette undervisningsopplegget bidra til at elever i fremtiden utvikler nye og grønnere kjemiske prosesser.

Basert på det ovennevnte mener jeg at dette undervisningsopplegget ville passet inn

i ChiK-prosjektets rammeverk for kontekstbasert undervisning (Parchmann et al., 2006). Opplegget bærer også tydelige strukturelle likhetstrekk med NC-prosjektet (Bulte et al., 2006). Begge disse prosjektene har vært suksessfulle, så det er ingen grunn til at dette opplegget ikke skal være både lærerikt og motiverende for elevene.

Videre sammenliknes undervisningsopplegget med Parchmanns et al. (2006, s. 1046) tre definisjoner av kontekstbasert undervisning:

Undervisningsopplegget bygger på relevante kontekster fra arbeidslivet, og trekker samtidig inn benzosyre som et materiale elevene kjenner bruksområdet til. Ut ifra konteksten har elevene mulighet til å tenke ut faglige spørsmål knyttet til denne konteksten, og de vil også bli hjulpet til å stille de samme spørsmålene for å skape en fruktbar diskusjon. Elevene vil utvikle kompetanse innen grønn kjemi, organisk oksidasjon, undersøkning, presentasjon av resultater og eksperimentell utforsking.

Undervisningsopplegget legger opp til en kontinuerlig utforsking, med tanke på hvilken av metodene som vil egne seg best med tanke på grønn kjemi. Elevene vil ha noen spørsmål i hodet gjennom hele prosessen. Disse vil være en drivkraft for undersøkelsene. At elevene jobber i grupper, vil gi elevene noen å snakke med, og dele sine tanker med underveis, som stimulerer til en sosiokulturell læring. Dette understreker Duangpummet et al. (2019) viktigheten av.

Ved hjelp av casen i begynnelsen av elevteksten, og spesielt dersom læreren bruker casen som en ramme for hele opplegget, vil konteksten stå i fokus gjennom hele prosessen. Elevene vil kunne knytte fagstoffet opp mot konteksten og bruke det i sine samtaler med medelever, og de vil kunne støtte hverandre og overføre kunnskap seg i mellom. I disse diskusjonene vil kanskje noen av elevene bevare sin "rolle" som arbeider til en viss grad, noe som vil støtte opp under konteksten.

Siden det er bred enighet om at kontekstbasert undervisning bør implementeres mer i skolen (Parchmann et al., 2006; Parchmann et al., 2015; Bulte et al., 2006; Val Allsvooort, 2004; Childs et al., 2015; De Jong & Taber, 2014) og enighet om at kontekstbasert undervisning har en positiv effekt på både motivasjon og læringsutbytte hos elevene (De Jong & Taber, 2014; Ramsden, 1997; Barker & Millar, 2000; Vaino et al., 2012) var det ønskelig for meg å benytte dette i undervisningsopplegget. Etter å ha jobbet med kontekstbasert undervisning tidligere, har jeg fått øynene opp for hvor nyttig det kan være dersom det brukes riktig.

For å svare på oppgaven i casen, skal elevene diskutere utbyttene sine, og sammenlikne med de andre metodene. Dette vil være viktig for den fiktive bedriften, for det vil avgjøre om metoden er økonomisk bærekraftig. Det er også nyttig for elevene å regne ut utbyttet for å se på effekten av eget laboratoriarbeid. På den måten kan de vurdere jobben de har gjort, og tenke gjennom hva de ville gjort neste gang, for å få enda bedre utbytte.

Utbyttet er også avgjørende for å regne ut E-faktoren som diskuteres senere. Et lavt utbytte vil gi svært høy E-faktor, høyt utbytte vil gi lavere E-faktor, selv om det er flere andre ting som spiller inn.

Konteksten som er satt for dette undervisningsopplegget er at elevene skal finne den beste metoden for en bedrift. I en slik situasjon er prisen helt avgjørende. I tabell A.2 i undervisningsopplegget på side A.8 er prisene til alle stoffene som brukes i reaksjonen oppgitt. Prisene er hentet fra nettbutikken til Sigma Aldrich (sigmaaldrich.com/norway), og er ment å brukes i elevenes diskusjon. Tabellen oppgir stoff, Sigma Aldrichs artikkelnummer (SKU), størrelse på beholder og pris på beholderen. For stoffer som skal brukes i en annen konsentrasjon enn konsentrasjonen ved innkjøp, eller for salter som er løst, er det oppgitt hvor mye løsning av den aktuelle konsentrasjonen som kan lages. Dette vil gjøre det en del lettere for elevene når de skal regne ut prisen per gram benzosyre.

Casen beskriver at metoden elevene velger skal brukes i firmaets videre produksjon av benzosyre. Når prisene ble oppgitt var det hensiktsmessig å oppgi den billigste utgaven per størrelsesenhet. Det er for eksempel oppgitt prisen på 50 kg kaliumhydrogenfosfat. I metoden skal det brukes 0.5 g. Det betyr at en slik beholder er nok til 100 000 gjennomføringer (ikke medregnet svinn). Med tanke på konteksten mener jeg det er fornuftig med en så stor beholder, fordi det er ikke utenkelig at en slik bedrift kommer til å trenge så store mengder over en lengere periode.

Casen introduserer navnet Grønne Kjemikalier AS. Den 15. mai 2021 fantes det ingen bedrifter registrert i Brønnøysundregistrene som het Grønne Kjemikalier AS, eller noe med umiddelbar likhet.

3.2 Grønn kjemi i undervisningsopplegget

I tillegg til casen som bidrar til at undervisningsopplegget er kontekstbasert, er grønn kjemi et viktig fokus i denne oppgaven. Elevene skal diskutere seks av prinsippene i opplegget. Her følger en diskusjon rundt hvorfor akkurat disse seks har blitt valgt ut og hvorfor de seks andre er utelatt.

Prinsipp 1. Unngå avfall

Avfallsproduksjon er et stort problem i kjemisk industri (Sheldon, 1992; Clark, 1999; Anastas & Eghbali, 2010). Det er viktig at kjemikere får ryddet opp i prosessene slik at de kan generere mindre avfall. Alle tre metodene i dette undervisningsopplegget genererer avfall, i varierende grad. Det var derfor hensiktsmessig å inkludere dette prinsippet.

E-faktor og avfallsreduksjon er lett å anvende i dette opplegget, og det vil gi elevene viktig kunnskap om avfallsforebygging til deres videre utdanning og karriere. Det viste

seg å være noe komplisert for elevene, spesielt med alt annet de lærte den dagen, men i fremtiden, når prinsippene for grønn kjemi undervises i skolen, vil det forhåpentligvis være lettere for elevene å forstå konseptet E-faktor, samt at det vil gi dem en ekstra mulighet til å lære det grundig.

Prinsipp 2. Atomeffektivitet

Atomeffektivitet er relatert til avfallsreduksjon, i form av at begge fokuserer på å benytte færre reagenser, og generere færre biprodukter. Det siste er kanskje mer relevant i prinsipp to. Dessuten fokuserer atomeffektiviteten på reaksjonslikningen, og ikke på faktisk utbytte, slik som E-faktoren gjør. Det betyr at atomeffektiviteten er beregnet ut ifra det teoretiske utbyttet. I alle tre reaksjonslikningene i undervisningsopplegget er det flere produkter enn benzosyre og vann. Dette gjør at atomeffektiviteten er relevant å regne ut og diskutere.

Likevel, dersom noen i en videreutvikling av dette undervisningsopplegget skulle finne gode grunner til å redusere antall prinsipper som skal diskuteres, er kanskje prinsipp to det første som skal nedprioriteres. Dette er fordi det bærer en del likheter med prinsipp en. Konsekvensene av dårlige prosesser, med hensyn på disse prinsippene, er ganske like.

Prinsipp 3. Mindre farlige synteser

Dette prinsippet var ikke med i undervisningsopplegget da det ble testet med elever. For å separere farlig utstyr og farlige kjemikalier, og få litt fokus over på miljøvennlige kjemikalier, ble dette prinsippet inkludert. Prinsipp 12 ble endret litt slik at det kun fokuserer på tryggere prosesser og trygt utstyr. Dette er ikke helt i tråd med Anastas og Eghbalis tolv prinsipper, men betydningen er ikke endret, fokuset er kun flyttet litt for å oppnå en bredere diskusjon rundt stoffenes effekt på menneskers helse og klima samt utstyr og instrumenters effekt på det samme.

Reaksjonene i undervisningsopplegget er synteser, og det er naturlig å se på kjemikalierne som blir brukt i forbindelse med det, og avgjøre hvor trygge de er for både menneskers helse og miljøet. Dette prinsippet åpner diskusjonen rundt nettopp dette.

Prinsipp 4. Designe tryggere kjemikalier

Et eksempel på anvendelse av dette prinsippet for reaksjonen benzaldehyd \rightarrow benzosyre, ville vært å designe et nytt oksidasjonsmiddel som virker på en grønnere måte ut ifra de andre prinsippene. Det er ikke en oppgave som egner seg i videregående skole, utenom kanskje som et tankeeksperiment. Derfor ble dette prinsippet ikke inkludert i undervisningsopplegget.

Prinsipp 5. Tryggere løsemidler

I metoden med $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ blir det brukt et organisk løsemiddel. Det er uheldig ut ifra prinsipp 5. Dette gir en mulighet for å la elevene utforske løsemidler dypere, og vurdere de negative konsekvensene av løsemidlene.

Dersom en ny optimaliseringsprosess skulle vise seg å gjøre denne metoden mulig uten aceton, vil dette prinsippet ikke lenger være relevant.

Prinsipp 6. Energieffektivitet

Strøm- og energiforbruk er et viktig tema i klimadebatten. Fordi mye av strømmen som brukes i dag kommer fra ikke-fornybare og forurensende kilder er energikrevende prosesser uheldig. Intill all strøm som produseres er fornybar og ikke-forurensende, må prosesser som krever energi reduseres. Oxone®-metoden foregår ved høy temperatur, som bruker energi som de andre metodene ikke bruker. Alle tre metodene inneholder omkrystallisering, som forårsaker en runde med oppvarming, men for Oxone® er det enda en oppvarming gjennom selve reaksjonen.

Det er gunstig å la elevene tenke gjennom at slike produksjonsprosesser bruker mye energi til å gjennomføre reaksjoner ved høy varme. Det er også gunstig å reflektere over hvilke metoder som bruker mindre energi.

En måte for å forbigå dette prinsippet vil være å argumentere for å opprette en fornybar energikilde. Prosessen kan drives frem av jordvarme, en fabrikk kan legges ved en foss og hente vannkraft derfra, eller solceller kan skape nok energi til å holde den høye temperaturen. Dette er imidlertid ressurskrevende, og argumentene for må være gode.

Prinsipp 7. Fornybare råmaterialer

Reaktantene bør stamme fra fornybare råmaterialer, som for eksempel planter. I et slikt skoleforsøk er det begrenset tilgang til kjemikalier, så dette prinsippet ses på som mindre relevant for dette undervisningsopplegget.

Prinsipp 8. Mindre derivatisering

Det foregår ingen derivatisering i disse metodene, så dette prinsippet er dermed ikke relevant. Derivatisering er heller ikke relevant med hensyn på læreplanen i kjemi på videregående (Utdanningsdirektoratet, 2020).

Prinsipp 9. Katalysatorer

Katalysatorer er også nevnt i diskusjonen om prinsipp 7. Ingen av de tre metodene bruker katalysator, så dette prinsippet er ikke relevant. Metoden med hydrogenperoksid (Noyori

et al., 2003) bruker katalysator. Dersom den metoden implementeres i fremtiden, bør dette prinsippet vurderes på nytt.

Prinsipp 10. Designe nedbrytbare kjemikalier

Noen av stoffene som brukes i undervisningsopplegget kunne kanskje vært diskutert om de er nedbrytbare, men det blir sett på som mindre relevant, og nedprioritert for denne oppgaven.

Prinsipp 11. Sanntidsanalyse for å unngå forurensning Undervisningsopplegget bygger ikke på analyse, så dette prinsippet er ikke relevant.

Prinsipp 12. Tryggere prosesser Anastas og Eghbali (2010) har kalt dette prinsippet for “Inherently Safer Chemistry for Accident Prevention.” som kan oversettes til “Tryggere kjemi for ulykkesforebygging.” Jeg har valgt å endre fokuset litt, og fokusere mer på utstyret og prosessene rundt, og ikke på kjemikaliene, som nevnt i diskusjonen om prinsipp 3. Dette er for å gjøre det tydeligere hva elevene skal fokusere på, og unngå at diskusjonene gjentar seg.

For dette undervisningsopplegget er det ikke så mange farlige prosesser. Det er varme varmeplater, og glassutstyr som kan knuse. Casen i forsøksbeskrivelsen antyder at elevene skal tenke på metodene i form av storskalaproduksjon. En svær maskin som varmer opp store mengder stoff for å reagere kan derimot være farligere. På bakgrunn av dette har jeg valgt å la elevene diskutere dette prinsippet.

I dette undervisningsopplegget skal elevene diskutere hele seks prinsipper for grønn kjemi. Jeg ønsker ikke at oppgaven skal bli for stor for elevene. Selv om noen av de andre seks prinsippene kunne vært diskutert, ble de valgt bort av hensyn til tidsbruk og for å forhindre kognitiv overbelastning hos elevene.

At elevene skulle diskutere metodene sine opp mot de tolv prinsippene for grønn kjemi er støttet av Duangpummet et al. (2019) prosjekt, der elevene også diskuterte og presenterte forsøket de hadde utført opp mot grønn kjemi og de tolv prinsippene. Duangpummet et al. (2019) viser til signifikant bedre motivasjon, læringsutbytte og entusiasme for grønn kjemi hos de elevene som testet opplegget. Derfor er det hensiktsmessig å gjennomføre en diskusjon og en presentasjon også i undervisningsopplegget om benzaldehyd. Det vil i tillegg fungere som en konsolideringsøkt, der elevene får gått gjennom stoffet en gang til, og lært det bedre.

3.3 Strukturen i undervisningsopplegget

Strukturelt sett, kunne denne oppgaven vært gjennomført på flere måter. Elevene kunne gått sammen i tre større grupper, slik at hver metode kun ble gjennomført en gang, eller de kunne brukt tre dager, og alle elevene kunne prøvd alle metodene. Det ble likevel anbefalt at elevene går i grupper på to til tre, og hver gruppe blir tildelt en metode. I klasser større enn ni elever, vil flere grupper gjøre samme metode, men ingen grupper vil gjøre mer enn en metode. På denne måten vil undervisningsopplegget kunne gjennomføres i løpet av en fagdag. Det vil være opp til hver enkelt lærer om opplegget bør omstruktureres og gjøres på en annen måte.

Dette er et omfattende undervisningsopplegg. Under elevtestingen, ble opplegget gjennomført i løpet av en fagdag på seks timer inkludert lunsjpause. Alle elevene jeg observerte rakk å bli ferdige. Med god innlæring av organisk oksidasjon og prinsippene for grønn kjemi i forkant, vil dette opplegget la seg gjøre i løpet av en slik fagdag.

Noen skoler har halve fagdager, altså 3 timers økter. Disse skolene kan gjennomføre undervisningsopplegget over to slike fagdager. Alternativt kan man bruke en vanlig time i forkant til introduksjon og forarbeid, og en vanlig time i etterkant til beregninger, diskusjon og presentasjon.

Noen skoler har ikke fagdager. Disse vil, med god planlegging, kunne gjennomføre opplegget på samme måte som de med halv fagdag. Noen ganger vil det i slike tilfeller bli litt knapt med tid, så læreren må vurdere ut ifra elevgruppen om hen tror det er gjennomførbart. Det kan være aktuelt å gi elevene trening i noen av teknikkene som gjennomføres i undervisningsopplegget på forhånd. Dette kan for eksempel være omkrySTALLISERING. Dersom elevene kjenner noe av teknikken, vil de kunne gjennomføre metodene raskere.

Utstyrsmangel vil også kunne være en utfordring. Det vil for eksempel bli vanskelig å gjennomføre Oxone[®]-reaksjonen uten magnetrører. Noen ting kan byttes ut, for eksempel kan liebigkjøleren byttes ut med luftkjøler. Dette vil trolig gi litt lavere utbytte, basert på testene jeg har gjort. Dersom utstyrsmangelen blir for omfattende, er det mulig å forkaste den ene metoden. Da må læreren vurdere relevansen til prinsippene for grønn kjemi, og kanskje velge bort ett eller flere prinsipper.

3.4 Undervisningsoppleggets relevans i videregående skole

Dette undervisningsopplegget vil forhåpentligvis bidra til elevenes motivasjon for å arbeide med kjemi videre i livet. Som tidligere diskutert, vil konteksten bidra til det. I tillegg er grønn kjemi et viktig fagfelt der det er lett å se at mye arbeid gjenstår.

I tillegg til å motivere vil undervisningsopplegget bidra til å utvikle elevenes kunnska-

per om forskjellige deler av kjemifaget. I denne delen skal jeg presentere noen læringsmål (i kursiv), forklare hvordan undervisningsopplegget utvikler kompetansene læringsmålene beskriver og beskrive hvordan læringsmålene henger sammen med noen av læreplanmålene for kjemi 1 og 2 for fagfornyelsen LK20.

Elevene vil lære om *oksidasjon av organiske stoffer*. Reaksjonen som skjer i alle tre metodene i undervisningsopplegget er nettopp dette. Benzaldehyd er et organisk stoff, og det oksiderer for å bli benzosyre. I dette undervisningsopplegget blir det ikke lagt vekt på halvreaksjoner, spenning og slike elektrokjemiske temaer, så jeg mener at undervisningsopplegget ikke utvikler elevenes kompetanser i redoksreaksjoner i særlig stor grad.

Derimot vil elevene lære om *syntesemetoder* og om å vurdere disse. Reaksjonen er en syntese, og en stor del av undervisningsopplegget handler om å vurdere disse metodene opp mot hverandre. Dette stemmer godt overens med læreplanmålet “gjennomføre synteser og gjøre rede for faktorer som påvirker utbytte og renhet i synteser” (Utdanningsdirektoratet, 2020) fra kjemi 2.

Det overnevnte trekker også inn *å beregne utbyttet*, som er en del av dette undervisningsopplegget. Elevene skal beregne utbyttet for sin metode og vurdere dette mot de andre elevenes utbytte. Utbyttet brukes også for beregningen av E-faktoren, når elevene diskuterer det første prinsippet for grønn kjemi.

I læreplanmålene for kjemi 1 står det også at elevene skal “utforske og gjøre beregninger på kjemiske reaksjoner [...]” (Utdanningsdirektoratet, 2020). Dette gjør elevene både når de *beregner utbyttene*, og når de *beregner atomeffektiviteten*. For sistnevnte må nemlig elevene balansere reaksjonslikningen for sin metode, bruke stoffenes molare masse og gjøre beregningene ut ifra dette.

Et stort fokus for dette undervisningsopplegget er grønn kjemi. Elevene vil utvikle sin kompetanse på å *vurdere kjemiske prosesser med hensyn på prinsipper for grønn kjemi*. På denne måten får de dypere forståelse av de aktuelle prinsippene for grønn kjemi, og de får trening i å anvende prinsippene på konkrete prosesser. Et læreplanmål for kjemi 1 er at elevene skal kunne “gjøre rede for prinsipper for grønn kjemi og drøfte hvordan bruk av prinsippene kan bidra til bærekraftig utvikling” (Utdanningsdirektoratet, 2020).

Elevene vil lære noen *laboratorieteknikker*. Eksempler på dette er omkrystallisering, som kan anvendes i mange isoleringsprosesser. De utvikler også kunnskaper om *å vurdere sikkerheten til en metode*. Dette er viktige kunnskaper i et fag med mye laboratoriearbeid, og det gjenspeiles i læreplanmålene for kjemi 1 der elevene skal “bruke informasjon fra sikkerhetsdatablad til å gjøre vurderinger knyttet til helse, miljø og sikkerhet i praktisk arbeid” (Utdanningsdirektoratet, 2020), og i læreplanmålene for kjemi 2 der elevene skal “planlegge og gjennomføre forsøk, drøfte metode og tiltak for å redusere risiko og vurdere

usikkerhet og feilkilder i egne og andres forsøk” (Utdanningsdirektoratet, 2020). Elevene vil ha muligheten til å vurdere sine medelevers metoder kritisk, selv om oppgavespesifikasjonen ikke eksplisitt ber om det.

Elevene får trening i å *diskutere og presentere sine resultater og betydningen av disse* for sine medelever og læreren i den siste delen av undervisningsopplegget. Med dette vil elevene øke sine kompetanser etter læreplanmålene for kjemi 1 der de skal “bruke data, simuleringer og beregninger i tolkninger og til å trekke konklusjoner” og “utforske og gjøre beregninger på kjemiske reaksjoner [...]” (Utdanningsdirektoratet, 2020) og etter læreplanmålet for kjemi 2 “forstå og bruke kjemisk terminologi og fagspråk i faglig kommunikasjon”.

Jeg vil konkludere med at undervisningsopplegget er bredt. Det gir elevene kunnskaper på mange områder innenfor flere læreplanmål og det vil være motiverende for mange elever. Opplegget styrker elevenes bevissthet rundt grønn kjemi og arbeidet som gjøres for at kjemi som fagfelt skal ha mindre ødeleggende innvirkning på miljøet.

4 Resultat og diskusjon

Hovedproduktet i denne oppgaven er undervisningsopplegget i appendiks A på side A.1. Utover det er det mange resultater som var avgjørende for hvordan undervisningsopplegget endte opp.

I denne delen blir først resultatene fra utprøvingene presentert og diskutert. Deretter blir resultatene fra elevtestingene presentert og diskutert, før resultatene fra optimaliseringen blir presentert og diskutert. Dette følger samme struktur som metodedelen.

Det ble plukket ut seks av tolv prinsipper for grønn kjemi: 1. Unngå avfall, 2. Atom-effektivitet, 3. Mindre farlige synteser, 5. Trygge løsemidler, 6. Energieffektivitet og 12. Trygge prosesser. Disse seks er prinsippene elevene skal diskutere i undervisningsopplegget, og vurdere sin metode ut ifra.

4.1 Resultater fra utprøving

4.1.1 Kaliumpermanganat

Som tidligere nevnt var denne metoden allerede etablert i en lærebok (Knutsen et al., 2019), og vurdert til ferdig etter en gjennomgang. Denne gjennomgangen ga et utbytte på 0.175 g benzosyre fra 0.388 g benzaldehyd. Dette ga et relativt utbytte på ca 40 %. Denne metoden ble kun forsøkt en gang, fordi den ble etablert som ferdig på bakgrunn av at metoden allerede er skrevet i en lærebok (Knutsen et al., 2019).

Et utbytte på 40 % er ikke ideelt i et synteseperspektiv, men som metode i et undervisningsopplegg i skolen er det viktig at ikke forsøket tar for lang tid, og at det er gjennomførbart med det utstyret som er tilgjengelig på en typisk videregående skole. Jeg antar at da denne metoden ble utviklet for skolen, ble det gjort en optimaliseringsprosess innenfor disse rammene. Jeg valgte derfor å la metoden stå slik som den står.

4.1.2 Kalsiumhypokloritt

Da reaksjonen ble testet med samme metode som kaliumpermanganat, ble utbyttet lavt. Gjennomgangen med KH_2PO_4 ga 13 % utbytte (0.063 g PhCOOH fra 0.410 g PhCHO), mens gjennomgangen uten KH_2PO_4 ikke ga noen synlige krystaller etter første filtrering.

Andre gjennomgang ble det tilsatt 0.394 g PhCHO og utbyttet ble 0.118 g PhCOOH (26 %), som er dobbelt så mye som ved første gjennomgang.

Siste gjennomgang, før elevtestingen og optimaliseringen, ble det testet slik som det ble beskrevet fra Seksjon for organisk kjemi. Da ble det tilsatt 1.025 g PhCHO og utbyttet ble på 0.307 g PhCOOH (26 %). Denne metoden ble valgt fordi den baserer seg på en

allerede eksisterende metode. Derfor tror jeg denne metoden vil være mer robust enn metoden som ble brukt ved andre gjennomgang. Dette er ikke testet ytterligere, noe som kan være aktuelt å gjøre i fremtiden ved en ny revidering av undervisningsopplegget.

I de første to gjennomgangene ble oksidasjonsmiddelet testet litt på måfå. Den tredje gangen ble det brukt samme metode som seksjon for organisk kjemi brukte, med aceton i stedet for acetonitril. Dette fordi aceton er oftere tilgjengelig i skoler. Det viste seg å fungere greit.

Metoden likner også vesentlig mer på metoden til Nwaukwa og Keehn (1982) som først oppdaget at hypokloritt-salter kunne brukes til oksidasjon av organiske alkoholer og aldehyder. Metoden er dog forenklet en del, og steg som ekstraksjon med eter er tatt bort. En slik ekstraksjon egner seg dårligere i skolen, og går imot prinsipp 5 for grønn kjemi som omhandler at man helst bør unngå bruk av løsemidler forskjellig fra vann, hvis det er mulig. Dersom man må, bør man velge det minst farlige og miljøskadelige alternativet (Anastas & Eghbali, 2010).

En annen forskjell fra metoden til Nwaukwa og Keehn (1982) er at reaksjonen ble gjennomført i isbad. Som Nwaukwa og Keehn forteller, er dette en eksoterm reaksjon. For å beskytte reagenser, utstyr og omgivelser fra varmen ble reaksjonen gjort i isbad.

Reaksjonen kan produsere klorgass, som under kontrollerte forhold kan holdes borte fra folks neser. Denne metoden skal derimot gjøres på mange forskjellige laboratorier, på skoler med varierende utstyrstilgang, og lavere kunnskapsnivå om risikofaktorer og sikkerhet hos de som gjennomfører forsøket. Det kan også hende elever blir nødt til å flytte på løsningene sine. Derfor ble det valgt å tilsette natriumhydrogensulfitt for å fjerne rester av hypokloritt fra løsningen. Når løsningen tilsettes saltsyre, vil nemlig rester av hypokloritt omdannes til klorgass, som er en giftig gass. Fraværet av hypokloritt blir kontrollert med en jodtest for å vurdere om det trengs mer natriumhydrogensulfitt.

4.1.3 Oxone®

Første gangen Oxone®-metoden ble gjennomgått, ble den testet en gang med liebigkjøler (HTM06.2a) og en gang med luftkjøler (HTM06.2b, se figur C.2 på side A.36). Det ble også prøvd en tredje gang, denne gangen ble reaksjonen forsøkt i en 250 mL erlenmeyerkolbe stående i bunn av vannbadet (HTM06.2c). Tabell 8 viser hvor mye benzaldehyd og oxone som ble brukt, hvor mye benzosyre som ble produsert og utbyttet i %.

Selv om resultatene for liebigkjøler og luftkjøler var ganske like, ble det likevel valgt å bruke liebigkjøler videre. Liebigkjøler er en type glassutstyr som følger med destillasjonssett, så jeg tror mange skoler har denne tilgjengelig. På grunn av vannstrømmen gjennom kjøleren, vil nok denne være litt kaldere også, noe som blir et viktig poeng senere, når

Tabell 8: Resultater fra de første tre gjennomgangene med Oxone® som oksidasjonsmiddel.

Kode	m_{PhCHO}	m_{Oxone}	m_{PhCOOH}	Utbytte (%)	Kommentar
HTM06.2a	0.395 g	2.915 g	0.085 g	18.7 g	70 – 80 °C, Luftkjøler
HTM06.2b	0.413 g	2.901 g	0.087 g	18.3 g	60 – 70 °C, Liebigkjøler
HTM06.2c	0.420 g	2.914 g	0.018 g	3.7 g	60 – 70 °C, Erlenmeyerkolbe

temperaturen på vannbadet nærmer seg kokepunktet for vann.

I andre gjennomgang ble det brukt 1.009 g benzaldehyd og 7.2 g Oxone®. Dette er de samme mengdene som Gandhari et al. (2007) bruker i sin metode. Vannbadet var mellom 60 – 70 °C og reaksjonen fikk holde på i 55 minutter. Så sto løsningen ti minutter i isbad før den ble filtrert og omkrystallisert. Utbyttet var ganske lavt (kunne ikke veies), men det så ut som benzosyre.

Neste gang ble metoden gjort fire ganger som vist i tabell 9. Reaksjonstiden var 20 minutter og isbadtiden var 5 minutter

For den første reaksjonen ble det brukt springvann, og for de tre siste ble det brukt type-2-vann.

Tabell 9: Resultater fra HTM09a, b, c og d

Kode	m_{PhCHO}	m_{Oxone}	Temperatur	Utbytte	Utbytte
HTM10a	1.029 g	7.263 g	80 – 90 °C	0.331 g	27.95 %
HTM10b	1.030 g	7.245 g	60 – 80 °C	0,303 g	25.56 %
HTM10c	1.024 g	7.250 g	80 – 90 °C	0.165 g	14.00 %
HTM10d	1.029 g	7.259 g	80 – 90 °C	0.089 g	7.52 %

Det kom frem både da jeg, studentene og elevene gjennomgikk metoden at høyere temperatur ga bedre, men mindre rent. utbytte, Samtidig ga lavere temperatur mindre men renere utbytte. Det så også ut til at type-2-vann ga litt renere utbytte enn springvann.

Hva denne urenheten skyldes, og konsentrasjonen av det er er uvisst. Man kan likevel tydelig se nålestrukturen til benzosyren i stoffet, kun en del missfarget. Før omkrystallisingen varierer den mellom gul og rød. Fargen har også tendert mot lilla, selv om dette er veldig svakt. En vellykket omkrystallisering gjør ofte at stoffet får litt beige glans, men ser ellers fint ut.

Det at missfargingen blir vesentlig mindre etter omkrystallisingen vil virke som et bevis på at teknikken virker, om ikke helt fullstendig. Dette kan være både interessant og lærerikt for disse elevene, og det kan hende teknikken setter seg i hukommelsen deres. Det vil de ha nytte av i senere kjemiutdanning.

4.1.4 Andre metoder

Det endte med å bli lite tid til å teste de andre metodene bedre, og utvikle et egnet laboratorieforsøk. Litteraturen viser at en grønn oksidasjon av aldehyder er mulig med hydrogenperoksid (Noyori et al., 2003). De forsøkene som ble gjort ga lite til ingen resultat, men de var heller ikke basert på litteraturen.

For oksyngengass var resultatene mer lovende. I gjennomgangen med best resultat ble det tilsatt 0.422 g benzaldehyd (4.0 mmol). Det var bortimot umulig å veie utbyttet, men alt stoffet var tilsynelatende oksidert til et fast hvitt salt, som benzosyre er. Selv om metoden ga et godt resultat, tok det lang tid å gjennomføre, og mesteparten av tiden gikk med til venting. Derfor ble metoden vurdert til uinteressant for elever, og ikke egnet for undervisningsopplegg slik som det var. Videre testing var ønskelig, for å se om metoden kunne tilpasses en slik læringssituasjon, men det ble det ikke tid til.

Det ville vært fordelaktig om metoder med hydrogenperoksid og oksyngengass ble testet videre i fremtiden. Det ville vært interessant å putte flere metoder inn i undervisningsopplegget. Metoden med oksyngengass vil ikke produsere avfall, atomeffektiviteten vil være tilnærmet 100 %, det inneholder ingen farlige stoffer, utenom benzaldehydet selv og reaksjonen er løsemiddelfri. Det eneste som kan være litt skummelt er at nålene som brukes er spisse, og kan overføre kjemikalier til blodet til brukeren hvis brukeren stikker seg. Videre utvikling av metode vil kanskje eliminere behovet for nåler også. Andre ulemper med denne metoden er at det går med mye oksyngengass per gjennomgang, som kan føre til høy pris, og at metoden tar lang tid.

Det ville også vært interessant å lete etter andre oksidasjonsmidler enn de fem som er presentert i denne oppgaven.

4.2 Resultater fra elevtestingen

4.2.1 Endringer som følge av elevtestingen.

En endring som ble gjort etter studentenes forberedelsesøker var å rette en formuleringsfeil i Oxone[®]-metoden. Det viste seg også at Oxone[®]-metoden fungerte dårlig da studentene skulle prøve, så det ble forsøkt å sette rundkolben i kaldt vannbad, starte varmeplata, og telle tiden fra temperaturen nådde 80 °C. Dette så ut til å løse problemet, selv om kontrollen over temperaturen gikk delvis tapt.

Blandt elevenes spørsmål spurte en om avfall, og hvordan det skal kastes. Det står ikke i forsøksbeskrivelsene hvordan avfall behandles. Det vil avhenge av praksisen på skolen der undervisningsopplegget gjennomføres, og det er derfor lurt at læreren vurderer dette selv på den enkelte skole. I stedet ble alle blandingsene som genereres i undervisningsopp-

legget og hva de inneholder, beskrevet i lærerveiledningen, slik at læreren kan gjøre klart avfallsbeholdere i henhold til skolens praksis.

En elev spurte om hva alt det forskjellige utstyret er. En fremtidig forbedring av undervisningsopplegget kan inkludere en slik beskrivelse, hvis forfatteren ser det hensiktsmessig. Jeg har vurdert det til nok at læreren vet hva utstyret er, og kan svare på dette dersom en elev lurer på det.

Notater fra fagdagene er ført i appendiks C på side A.40. Flere av spørsmålene som ble stillt har ført til små justeringer i forsøksbeskrivelsene, som forhåpentligvis fører til færre misforståelser i fremtiden. Disse er presentert her:

- Målesylinder ble inkludert i utstyslisten
- Det ble presisert at produktet skal ligge på filtrerpapiret i büchnertrakten i 1-2 minutter
- Beskrivelsen av fargen til kaliumpermanganatløsningen ble endret fra rosa til rosa/lilla.
- Massene til alle reagensene ble lagt til for å gjøre beregningene av E-faktorene lettere.
- Det ble presisert at til omkrystalliseringen skulle det brukes maksimalt 12 mL vann i KMnO_4 -metoden og maksimalt 20 mL i de andre metodene.
- Det ble rettet opp i en feil der det ikke var presisert at det skulle brukes type-2-vann i Oxone[®]-metoden.
- Det ble presisert at filtreringen i glasstrakt i KMnO_4 -metoden skulle gjøres over et begerglass.
- Det var beskrevet “det lille begerglasset” to steder i forsøksbeskrivelsene. Dette ga ikke mening i forhold til resten av beskrivelsen, og ble rettet.

4.2.2 Elevenes utbytte under elevtestingen

På grunn av min tilstedeværelse ble kun utbyttene registrert for en av dagene. Utbyttene er registrert i tabell 10

Utbyttene elevene fikk er ikke kjempegode, men noen ligger i samme område som utbyttene under utprøvingen og optimaliseringen. De aller fleste fikk noe utbytte, som ga dem grunnlag for å diskutere. Flere av utbyttene var rundt 30 %, som jeg mener er godt nok i en skolesammenheng. Alle tre metodene var representert rundt 30 %. Dersom dette skulle vise seg å være representativt, vil nok elevenes diskusjoner i ettertid dreie seg mindre om utbytte, og mer om de andre faktorene, som prinsippene for grønn kjemi.

Tabell 10: Utbytte fra den ene klassen under elevtestingen

Gruppe	Metode	Utbytte	Kvalitet
1	Oxone®	13.5 %	Fin sølvhvit (litt beige).
2	Oxone®	30 %	Som over, noe mer gul/oransje.
3	KMnO ₄	N/A	Mistet utbyttet.
4	Ca(ClO) ₂	30 %	Fin hvit nålete, noen gule flekker.
5	Ca(ClO) ₂	17.4 %	Kornete, lite nålestruktur.
6	Ca(ClO) ₂	5.3 %	Som over.
7	KMnO ₄	28.1 %	Fine nålete flak, helt hvitt.

Det er vanlig i videregående skole at elever gjør feil som fører til svært lite eller ingen utbytte. Dette er kjedelig for den enkelte elev, men svært vanskelig å unngå. Både i utvikling av undervisningsopplegg, men også for hver enkelt lærer.

Som tabell 10 viser, fikk flere av elevgruppene produkter som ikke liknet på benzosyre, i hvertfall ikke ren benzosyre. Benzosyre skal se ut som små hvite nåler som klumper seg sammen. Det er tydelig at disse produktene ikke er rene. Dette kan skyldes at elevene er uerfarne og har gjort feil ut ifra forsøksbeskrivelsen. Produktene fra Oxone®-metoden liknet produktene jeg fikk. Dette er ikke optimalt for metoden, men kan skape en diskusjon om metoden trenger enda mer isolering.

Gjennomføringen av fagdagene gikk ikke problemfritt, noen elever fikk ikke utbytte i det hele tatt, og noen fikk godt pent utbytte. Metoden med KMnO₄ gikk mindre bra enn vi håpet. Metoden med Ca(ClO)₂ gikk ganske bra for de fleste, men noen fikk kun et salt som ikke så ut som benzosyre. Det var hvitt og kornete, og manglet den karakteristiske nålstrukturen. Metoden med Oxone® gikk begge veier. Elevene opplevde det samme som meg, at kaldere vannbad ga tilsynelatende renere, men lavere utbytte, enn de høye temperaturene.

Tidsbruken på de forskjellige metodene var noenlunde lik. Så det ble bestemt å forsøke å ikke endre koke- og kjøletidene.

4.2.3 Elevenes rangering av metodene ut ifra prinsippene for grønn kjemi.

I diskusjonene kom mange av gruppene frem til at metoden med KMnO₄ var mest hensiktsmessig, for der var det lite oppvarming og nedkjøling, i tillegg til at det ikke var brukt aceton som løsemiddel. Oxone® var også sett på som mest hensiktsmessig av flere grupper, for selv med flere oppvarminger og mer energibruk, var det lite avfall, og ingen skumle løsemidler. Det kan virke som at elevene ikke var klar over hvordan tungmetaller som mangan påvirker miljøet dersom det slippes ut. Det ble også lagt lite vekt på utbyttet, noe jeg tror skyldes formuleringen i forsøksbeskrivelsen.

Elevene var litt uenige om hvilken metode de syntes var best. Noen elever mente

KMnO₄-metoden var best, fordi de vektla sikkerheten og energieffektiviteten høyt Andre mente at Oxone®-metoden var best, for den genererte mindre avfall, var mer atomeffektiv, og de mente at stoffene som ble brukt ikke var så farlige. Alle var enige om at Ca(ClO)₂ var dårligst. Elevene gjorde følgende bemerkninger på hver av de fem prinsippene for grønn kjemi som er beskrevet av Anastas og Eghbali (2010).

Prinsipp 1. Unngå avfall Elevene regnet ut E-faktoren for alle reaksjonene. I klassen jeg registrerte utbyttene fra, registrerte jeg også E-faktorene. For KMnO₄ var E-faktorene 14 og 28. For Ca(ClO)₂ var E-faktorene 32, 57, 186. For Oxone® var E-faktorene 23 og 52. Det så ikke ut til at elevene fokuserte særlig på dette prinsippet. Det var mye nytt å lære om grønn kjemi, så det kan hende elevene ikke hang med på hva E-faktoren egentlig viser, men heller brukte krefter på å bruke formelen for utregningen. Når grønn kjemi kommer inn i læreplanen (Utdanningsdirektoratet, 2020) og lærebøkene (Knutsen et al., 2021), vil kanskje dette stoffet være mer kjent og håndgripelig for elevene.

Prinsipp 2. Atomeffektivitet Elevene regnet ut atomeffektiviteten ut ifra reaksjonslikningen for reaksjonen. For KMnO₄ ble AE regnet ut til 40 %. For Ca(ClO)₂ var AE 24 % og for Oxone® var AE 17 %. I likhet med prinsipp 1, ble atomeffektiviteten sett mer på som en bonus dersom den var høy, men ikke like avgjørende for valg av oksidasjonsmiddel. Også her sto kanskje utregningen og formelbruken mer i fokus enn hva det faktisk betyr, noe som flere forkunnskaper kan bidra til å løse.

Prinsipp 5. Tryggere løsemidler Det var kun metoden med Ca(ClO)₂ som brukte et annet løsemiddel enn vann. Dette slo negativt ut for metoden. Det var lite rom for å diskutere dette, fordi det var lett å se at dette var en ulempe for reaksjonen.

Prinsipp 6. Energieffektivitet Dette prinsippet var nok årsaken til at Oxone®-metoden havnet på annenplass og ikke første for noen. Det ble også lagt mye vekt på i diskusjonen at Oxone®-metoden inneholdt en oppvarming mer enn de andre, og dermed krevde over dobbelt så mye energi. Årsaker til at dette ble lagt mer vekt på enn prinsipp 1 og 2 kan være at konseptet energieffektivitet, i likhet med tryggere løsemidler, var lettere å forstå for elevene, som var på slutten av en lang og innholdsrik dag. Energibruk er jo kanskje det mest omtalte temaet innen miljødebatten. Av de fem prinsippene som elevene diskuterte har kanskje dette størst direkte effekt mot klimaendringene.

Prinsipp 12. Mindre farlige prosesser Oxone®-metoden brukte få farlige stoffer, det gjorde KMnO₄-metoden også. Likevel stakk KMnO₄ av med seieren i dette prinsippet.

Jeg la merke til at en av gruppene så på faresetningene for de ulike stoffene, og telte piktogrammer, uten å lese særlig inn på selve faresetningene for stoffene. På den måten ble Oxone® sett på som et mye skumlere stoff enn kaliumpermanganat. To av faresetningene for Oxone® er “Farlig ved svelging.” og “Gir alvorlige etseskader på hud og øyne.” Disse har direkte innvirkning på hvordan stoffet bør brukes i praksis, men med rett sikkerhetstiltak kunne være forholdsvis uproblematisk, mens den siste faresetningen “Giftig, med langtidsvirkning, for liv i vann.” er mindre betydningsfull enn kaliumpermanganats ene faresetning “Meget giftig, med langtidsvirkning, for liv i vann.”

Det er helt klart viktig at syntesene gjøres tryggest mulig for arbeiderne som utfører de, og jeg synes det er gode poenger elevene presenterte. Likevel var det tydelig at fokuset var på deltakerenes egen sikkerhet fremfor miljøet. Jeg observerte ingen som snakket om tiltak for å bedre sikkerheten, på den måten at miljøet kommer tydeligere frem. Årsaken til dette er muligens at fokuset i teksten elevene hadde fått utdelt (Appendiks B) også var på deltakerenes sikkerhet. Den nye versjonen, med seks prinsipper (Appendiks A), skifter fokuset på sikkerhet noe, for å også inkludere sikkerhet for miljøet jf. prinsipp 3. Mindre farlig syntese.

4.3 Resultater fra optimalisering

4.3.1 Kalsiumhypokloritt

Under optimaliseringen ble det testet om det var nødvendig med organisk løsemiddel (acetone). Resultatene vises i tabell 11. Prøvene HTM13 og HTM15 uten acetone ble ødelagte av aluminiumsfolien som dekket løsningen under tørking. Aluminiumsfolien oksiderte, trolig pga. rester av kalsiumhypokloritt, smuldret opp og blandet seg med produktet. Utbyttet i HTM12 uten acetone var tilnærmet 0.

I HTM11 var utbyttet bedre for testene uten acetone enn i de senere forsøkene. Derimot med acetone var utbyttet mye lavere enn i de senere forsøkene. Fordi dette var første gjennomgangen på en stund, ble det gjort litt feil. Acetone ble tilsatt litt sent i prosessen, og det var problemer med magnetrøreren underveis. Dette kan være årsaken til de lave utbyttene. For forsøket uten acetone er det ingen kjent årsak til at utbyttet ble bedre enn de senere forsøkene.

I gjennomsnitt ble det relative utbyttet uten acetone $4\% \pm 5\%$ og for utbyttene med acetone $36\% \pm 8\%$.

Det ble diskutert om det var noe vits å forsøke metoden uten organisk løsemiddel. Det hadde blitt gjort tidligere av noen andre på instituttet, så jeg visste det var mulig. Det ble derimot stilt spørsmål ved om metoden uansett skal inneholde organisk løsemiddel, for at elevene skal få diskutere dette opp mot prinsipp 5 for grønn kjemi (Anastas &

Tabell 11: Resultater fra optimaliseringen av metoden med kalsiumhypokloritt, oppgitt som utbytte i gram og prosent

Kode	Uten aceton		Med aceton	
	Utbytte (g)	Utbytte (%)	Utbytte (g)	Utbytte (%)
HTM11	0.144	11.89	0.245	21,35
HTM12	0	0	0.463	40.15
HTM13	N/A	N/A	0.513	44.53
HTM14	0.010	0.86	0.405	35.41
HTM15	N/A	N/A	0.494	41.68

Eghbali, 2010) når de deltar i undervisningsopplegget.

Det ble likevel forsøkt å gjennomføre reaksjonen uten organisk løsemiddel, men resultatene viste at det ble bedre utbytte med aceton. Det kan stilles spørsmålsteget ved optimaliseringsmetoden. For replikatene uten organisk løsemiddel ble to ødelagte og ett ga ingen utbytte. Det kan hende det burde blitt gjort flere ganger for å kompensere for dette, men det var det ikke tid til. Det kan være lurt å gjøre et grundigere forsøk på dette i fremtiden for å skaffe mer pålitelige resultater.

4.3.2 Oxone®

Oxone®-metoden ble forsøkt optimalisert med hensyn på temperatur innenfor tidsrommet som ble brukt under elevtestingen. Tidligere var det indikert at høyere temperatur ga høyere, men mindre rent utbytte. Urenheten blir delvis borte under omkrystalliseringen, så jeg er ikke så bekymret for det.

I optimaliseringsprosessen ble det brukt varmeplate med innebygd termostat, for å holde temperaturen helt konstant ($\pm 0.2^\circ\text{C}$). Det ble i utgangspunktet bestemt å gjennomføre tre paralleler på 75°C , 80°C og 85°C . Første gjennomgang resulterte i lavere og renere utbytte enn forventet, så det ble bestemt å begynne på nytt med 85°C , 90°C og 95°C , og gjenta dette fem ganger.

Det ble gjennomført tre gjentakelser per dag over to dager, og den andre dagen ble det lite tid på slutten, så etter isbadet ble reaksjonsblandingen for de to siste gjentakelsene (HTM20-21) stående etter isbadet over helgen. Disse verdiene ble forkastet. Tabell 12 viser resultatene i denne optimaliseringsprosessen.

Gjennom denne optimaliseringsprosessen ble det tatt stikkprøver av temperaturen med de analoge glasstermometerene som ble brukt tidligere i oppgaven. Det viste seg at de viste ganske forskjellig temperatur fra de digitale termometerene som var koblet til varmeplaten. Det er grunn til å tro at glasstermometerne viser feil, for de hadde stort sprik mellom hverandre. Forskjellen var opp til 5°C . Jeg velger å stole på at de digitale

Tabell 12: Resultater fra HTM17-21

	Utbytte (84 °C)	Utbytte (90 °C)	Utbytte (95 °C)
HTM17	8.52 %	13.53 %	9.49 %
HTM18	7.52 %	8.45 %	10.88 %
HTM19	8.10 %	16.93 %	10.56 %
Gjennomsnitt	8.05 %	12.97 %	10.31 %
Standardavvik	0.4 %	3.5 %	0.6 %

termometerne er mer nøyaktige. Når en lærer gjennomfører undervisningsopplegget, må elevene bruke et termometer som viser riktig temperatur.

Resultatene i tabell 12 viser at 90 °C ga best utbytte, tett etterfulgt av 95 °C. Det er for mye å forvente at elevene greier å holde temperaturen på nøyaktig 90 °C. Det blir derfor endret i forsøksbeskrivelsen til at de skal holde temperaturen mellom 90 – 95 °C.

5 Konklusjon og videre arbeid

Det har blitt utviklet et kontekstbasert undervisningsopplegg om grønn kjemi og organisk oksidasjon. Opplegget går ut på at elever skal gjennomføre en av tre forskjellige metoder for å oksidere benzaldehyd til benzosyre. Etter gjennomføringen skal elevene diskutere de tre metodene, og bli enige om hvilken metode som egner seg best med tanke på følgende elementer

- Utbytte.
- Pris.
- Prinsipp 1 for grønn kjemi - Unngå avfall.
- Prinsipp 2 for grønn kjemi - Atomeffektivitet.
- Prinsipp 3 for grønn kjemi - Mindre farlig syntese.
- Prinsipp 5 for grønn kjemi - Tryggere løsemidler.
- Prinsipp 6 for grønn kjemi - Energieffektivitet.
- Prinsipp 12 for grønn kjemi - Tryggere prosesser.

Det er bred enighet om at kontekstbasert undervisning er et nyttig virkemiddel i kjemiundervisningen (Childs et. al. 2015; Parchmann et. al. 2015; Parchmann et. al. 2006; De Jong & Taber 2014), og flere studier har vist at kontekstbasert undervisning har en positiv effekt for både læringsutbytte og motivasjon hos elever (De Jong & Taber, 2014; Ramsden, 1997; Barker & Millar, 2000; Vaino et al., 2012).

Undervisningsopplegget passer med det kontekstbaserte rammeverket til to større studier i Tyskland og Nederland (Parchmann et al., 2006; Bulte et al., 2006), som indikerer at opplegget kan ha god effekt på elever.

Undervisningsopplegget bygger i stor grad på seks av de tolv prinsippene om grønn kjemi (Anastas & Eghbali, 2010). Grønn kjemi er et svært viktig og fremgangsrikt område (Anastas & Eghbali, 2010; Clark, 1999; Duangpummet et al., 2019; Sheldon, 2007), og har nå sitt inntog i den norske kjemiundervisningen (Utdanningsdirektoratet, 2020; Knutsen et al., 2021)

5.1 Videre arbeid

Undervisningsopplegget bygger på mye bra fagstoff om kontekstbasert undervisning og grønn kjemi, men det er mange detaljer som fortsatt kan utbedres. For det første bør

undervisningsopplegget i større grad testes på elever, og videreutvikles på bakgrunn av grundigere samtaler med elevene og lærerne, gjerne også med en undersøkelse som gir svar på hva elevene lærer.

Det kan og bør utvikles flere metoder som elevene kan gjennomføre. Mitt forslag er å jobbe videre med det jeg begynte på, med hydrogenperoksid og oksyngengass som oksidasjonsmidler. Med flere metoder, kan lærerne lettere velge bort en av metodene dersom skolen skulle mangle nødvendig utstyr og kjemikalier, og elevene kan diskutere bredere rundt grønn kjemi.

Metodene kan også optimaliseres ytterligere. For eksempel kan det undersøkes om det virkelig er nødvendig med type-2-vann og kjøler i Oxone®-metoden.

Jeg er veldig nysgjerrig på hva urenheten i Oxone®-metoden er. Hvis du finner det ut, ta kontakt!

Referanser

- Anastas, P., & Eghbali, N. (2010). Green chemistry: principles and practice. *Chemical Society Reviews*, 39, 301-312.
- Barker, V., & Millar, R. (2000). Students' reasoning about basic chemical thermodynamics and chemical bonding: What changes occur during a context-based post-16 chemistry course? *International Journal of Chemistry Education*, 22, 1171-1200.
- Benzosyre i Store norske leksikon på snl.no. Hentet 13. mai 2021 fra <https://snl.no/benzosyre>
- Brandt, H. & Hushovd, O. T. (2011). *Kjemi 2: studiespesialiserande utdanningsprogram*. Aschehoug.
- Bulte, A. M. W., Westbroek, H. B., de Jong, O., & Pilot, A. (2006) A Research Approach to Designing Chemistry Education using Authentic Practices as Contexts, *International Journal of Science Education*, 28(9), 1063-1086, :<https://doi.org/10.1080/09500690600702520>
- Childs, P. E., Hayes, S. M., & O'Dwyer, A. (2015). Chemistry and Everyday Life: Relating Secondary School Chemistry to the Current and Future Lives of Students. In I. Eilks & A. Hofstein (Eds.), *Relevant Chemistry Education: From Theory to Practice* (pp. 33-54). Sense Publishers.
- Clark, J. H. (1999). Green chemistry: challenges and opportunities. *Green Chemistry*, 1(1), 1-8.
- de Jong, O., & Taber, K. S. (2014). The many faces of high school chemistry. I N. G. Lederman & S. K. Abell (Red.) *Handbook of research on science education* (2. utg. (s. 457-480). Routledge.
- Duangpummet, P., Chaiyen, P., & Chenprakhon, P. (2019). Lipase-catalyzed esterification: an inquiry-based laboratory activity to promote high school students' understanding and positive perceptions of green chemistry. *Journal of Chemical Education*, 96(6), 1205-1211.
- Gandhari, R., Maddukuri, P. P., & Vinod, T. K. (2007). Oxidation of aromatic aldehydes using oxone. *Journal of chemical education*, 84(5), 852.
- Grønneberg, T., Hannisdal, M., Pedersen, B., & Ringnes, V. (2013). *Kjemien stemmer: Kjemi 2 studiebok* (4 utg.). Cappelen Damm.
- Harwood, L. M., Moody, C. J., & Percy, J. M. (1999). *Experimental organic chemistry: standard and microscale*. Blackwell science.
- Knutsen, H., Tveit, S. & Vestli, K. (2019). *Kjemien stemmer: Kjemi 2 studiebok* (5 utg.). Cappelen Damm.
- Knutsen, H., Tveit, S. & Vestli, K. (2021). *Kjemien stemmer: Kjemi 1 grunnbok* (6 utg.).

- Cappelen Damm.
- Kunnskapsdepartementet. (2020). *Overordnet del – verdier og prinsipper for grunnopplæringen*. Hentet 30.04.2021 fra <https://www.udir.no/lk20/overordnet-del/>
- McNesby, J. R., & Heller Jr, C. A. (1954). Oxidation of Liquid Aldehydes by Molecular Oxygen. *Chemical Reviews*, 54(2), 325-346.
- Noyori, R., Aoki, M., & Sato, K. (2003). Green oxidation with aqueous hydrogen peroxide. *Chemical Communications*, (16), 1977-1986.
- Nwaukwa, S. O., & Keehn, P. M. (1982). The oxidation of aldehydes to acids with calcium hypochlorite $\text{Ca}(\text{OCl})_2$. *Tetrahedron Letters*, 23(31), 3131-3134.
- Parchmann, I., Broman, K., Busker, M., & Rudnik, J. (2015). Context-Based Teaching and Learning og Shool and University Level. In J. Garcia-Martinez & E. Serrano-Torregrosa (Eds.), *Chemistry Education: Best Practices, Opportunities and Trends*. Wiley-VCH Verlag Gambh & Co. KGaA.
- Parchmann, I., Gräsel, C., Baer, A., Nentwig, P., Demuth, R., Ralle, B., & ChiK Project Group. (2006). "Chemie im Kontext": A symbiotic implementation of a context-based teaching and learning approach. *International Journal of Science Education*, 28(9), 1041-1062.
- Ramsden, J. M. (1997). How does a context-based approach influence understanding of key chemical ideas at 16+? *International Journal of Science Education*, 19, 697-710.
- Sato, K., Aoki, M., Takagi, J., & Noyori, R. (1997). Organic solvent-and halide-free oxidation of alcohols with aqueous hydrogen peroxide. *Journal of the American Chemical Society*, 119(50), 12386-12387.
- Sheldon, R. A. (2007). The E factor: fifteen years on. *Green Chemistry*, 9(12), 1273-1283.
- Sigma-Aldrich. (2021). *SDS Search and Product Safety Center*. Hentet 10.05.2021 fra <https://www.sigmaaldrich.com/safety-center.html>
- Sinnes, A. (2015). *Utdanning for bærekraftig utvikling - Hva, hvorfor og hvordan?* Universitetsforlaget.
- Steen, B. G., Juel, L. A. & Fimland, N. (2010). *Aqua 2: kjemi 2: studiebok*. Gyldendal undervisning.
- Tvermyr, M. (2018). *Helse- og miljøskadelige kjemikalier som brukes i videregående skole, anbefaling fra Miljødirektoratet*. (Brev - ref. 2018/5155).
- Utdanningsdirektoratet. (2020). *Læreplan i kjemi (KJE01-02)*. Hentet 30.04.2021 fra <https://www.udir.no/lk20/kje01-02>
- Vaino, K., Holbrook, J., & Rannikmäe, M. (2012). Stimulating students' intrinsic motivation for learning chemistry through the use of context-based learning modules. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 410-419.

Van Aalsvoort, J. (2004). Activity theory as a tool to address the problem of chemistry's lack of relevance in secondary school chemical education. *International Journal of Science Education*, 26, 1635-1651.

Appendiks

A Undervisningsopplegget

Organisering og forberedelse

Oppgaven er presentert som en case. Det er opp til hver enkelt lærer hvor mye av undervisningsopplegget hen ønsker å bruke, men casen setter disse metodene og oppgavene i en kontekst som kan gjøre det lettere for elevene å forstå nytteverdien av opplegget, samt gjøre det mer interessant. Det er tre metoder som skal testes. Elevene bør jobbe to og to eller tre og tre. Og metodene blir fordelt mellom gruppene. Det er ikke viktig at like mange grupper tester hver metode. Alternativt kan alle elevene gjennomføre alle tre metodene, over tre dager. Hver gruppe bør ha et avtrekksskap å jobbe i. Følgende kjemikalier må skaffes til opplegget, mengder beregnet per gruppe per metode:

Felles for alle metoder:

- 1 g Benzaldehyd (C_6H_6CHO)
- Springvann

For metoden med Kaliumpermanganat:

- 0.5 g Kaliumhydrogenfosfat (KH_2PO_4)
- 20 mL 3 % Kaliumpermanganat ($KMnO_4$)
- 2-3 mL 0,1 M Natriumtiosulfat ($Na_2S_2O_3$)
- 2 mL Konsentrert saltsyre (HCl)

For metoden med Kalsiumhypokloritt:

- 1 g Kalsiumhypokloritt ($Ca(ClO)_2$)
- 5 mL Aceton
- 3 mL Konsentrert eddiksyre (CH_3COOH)

- 5 mL Natriumhydrogensulfitt (NaHSO_3)
- 5 mL Jodløsning (I_2)
- 2 mL Konsentrert saltsyre (HCl)

For metoden med Oxone®:

- 7.5 g Oxone®
- 25 mL type-2-vann
- 0.5 pose isbiter

Noen løsninger må lages til disse metodene. Tabellen under viser hvordan disse lages.

Løsninger	Brukes i metode	Oppskrift
$\text{KMnO}_3 - 3 \%$	KMnO_3	100 mL: Tilsett 3 g KMnO_3 til en 100 mL målekolbe. Tilsett vann til merket.
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 - 0,1 \text{ M}$	KMnO_3	100 mL: Tilsett 2,5 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ til en 100 mL målekolbe. Fyll med vann til merket.
$\text{NaHSO}_3 - 25 \%$	$\text{Ca}(\text{ClO})_2$	100 mL: Tilsett 25 g NaHSO_3 til en 100 mL målekolbe. Fyll med vann til merket. Filtrer med filterpapir i glasstrakt før bruk.
Jodløsning - 0.02 %	$\text{Ca}(\text{ClO})_2$	250 mL: Tilsett 1 mL jodløsning (5 %) til en 250 mL målekolbe. Tilsett vann til merket.

Det blir generert avfall i disse syntesene. Under følger en liste over blandinger som genereres, slik at læreren kan vurdere hvordan disse skal behandles, ut ifra skolens praksis. Oksidasjonsmiddel står i parantes etter hvert punkt, som beskriver hvilken metode avfallet kommer fra.

- Filtrerpapir med primært brunstein MnO_2 . Også rester av benzaldehyd, benzosyre, kaliumhydrogenfosfat og natriumtiosulfat og andre biprodukter. (KMnO_4).
- Filtrat fra reaksjonen. Inneholder vann, natriumtiosulfat, kaliumhydrogenfosfat og saltsyre samt rester av benzaldehyd, benzosyre, kaliumpermanganat og andre biprodukter. (KMnO_4)
- Fast benzosyre, muligens kontaminert med alle tidligere nevnte stoffer for metoden. (KMnO_4)

- Jodløsning med litt reaksjonsblanding som inneholder benzaldehyd, kalsiumhypokloritt, natriumhydrogensulfat, aceton, eddiksyre, vann, benzosyre og andre biprodukter. ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$)
- Filtrat fra reaksjonen. Inneholder vann, natriumklorid, aceton, eddiksyre, vann samt rester av benzaldehyd, benzosyre og natriumhydrogensulfat. ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$)
- Fast benzosyre, muligens kontaminert med alle tidligere nevnte stoffer for metoden. ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$)
- Filtrat fra reaksjonen. Inneholder vann, kaliumsulfat og Oxone[®] samt rester av benzaldehyd og benzosyre. (Oxone[®])
- Fast benzosyre, muligens kontaminert med alle tidligere nevnte stoffer for metoden. (Oxone[®])

Syntese av benzosyre fra benzaldehyd

Case

Du jobber for bedriften Grønne Kjemikalier AS, som produserer kjemikalier til industrien. Et av deres mest solgte produkt er benzosyre. En annen avdeling i bedriften bruker benzosyren deres til syntese av blant annet parabener, men det meste selger dere. Noe til legemiddelindustrien, men mest til matvareproduksjonen. Benzosyre og dets salt natriumbenzoat er nemlig et vanlig konserveringsmiddel i en del matvarer, med E-nummeret E-210.

Tidligere har dere produsert benzosyre med det miljøskadelige og kreftfremkallende stoffet natriumdikromat ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), men etter press fra kunder har bedriften et ønske om å produsere benzosyren mer miljøvennlig.

Samtidig som kundene ønsker en mer miljøvennlig produksjon, presser investorene bedriften til å utføre syntesene så billig og effektivt som mulig, slik at de kan tjene penger og dele ut bonuser. I tillegg venter nye lønnsforhandlinger om kort tid. HMS-ansvarlig og Arbeidstilsynet følger også nøye med, og presser bedriften til å utføre syntesene på tryggest mulig måte for de ansatte.

Dere har fått i oppgave å teste ut tre metoder for en ny syntese Grønne Kjemikalier AS kan bruke i den videre produksjonen av benzosyre. De tre metodene skiller seg ut ved å bruke forskjellig oksidasjonsmiddel, henholdsvis kaliumpermanganat (KMnO_4), kalsiumhypokloritt ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) og Oxone® ($2\text{KHSO}_5 \cdot \text{KHSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4$). Etter at metodene har blitt testet, skal de vurderes med hensyn på de fire faktorene, miljø, pris, utbytte og sikkerhet. Etterpå skal dere bli enige om hvilken metode dere ønsker at bedriften skal gå videre med, og formulere gode argumenter til investorene, kundene og Arbeidstilsynet om hvorfor dere ønsker denne metoden. Videre følger en beskrivelse av de fire faktorene, og hvilke utregninger man bør gjøre.

Grønn kjemi

Den delen av kjemi som handler om sikkerhet og miljøbevissthet, kalles grønn kjemi. Grønn kjemi handler om å designe kjemiske produkter og prosesser der man i så stor grad som mulig unngår at det brukes eller dannes farlige stoffer. Innenfor grønn kjemi jobber man for økt bærekraft gjennom å forbedre eksisterende kjemiske prosesser og å utvikle nye og mer miljøvennlige prosesser. I den senere tid har mange fått øynene opp for grønn kjemi da det har vist seg at man både kan nå miljømessige og økonomiske mål samtidig

ved å bruke de 12 prinsippene for grønn kjemi når kjemiske prosesser skal designes eller forbedres.

12 prinsipper for grønn kjemi

Det er 12 prinsipper for grønn kjemi. De 12 prinsippene er: 1. Unngå avfall. 2. Atom-effektivitet. 3. Mindre farlige synteser. 4. Designe tryggere kjemikalier. 5. Tryggere løse-midler. 6. Energieffektivitet. 7. Fornybare råmaterialer. 8. Mindre derivatisering. 9. Bruke katalysator. 10. Designe nedbrytbare kjemikalier. 11. Sanntidsanalyse for å unngå for-urensning. 12. Tryggere prosesser. Nedenfor er en kort beskrivelse av fem av prinsippene. Du kan lese om alle de 12 prinsippene her: <https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/principles/12-principles-of-green-chemistry.html>

1. Unngå avfall Det er lettere å unngå avfall enn å rydde opp avfall som har blitt dannet. En mye brukt metode for å vurdere avfallsmengden fra en kjemisk prosess er å beregne E-faktoren. E-faktoren tar utgangspunkt i utbyttet i reaksjonen samt alle ut-gangsstoffer og løsemidler som brukes (man tar ikke med vann). E-faktoren (E) for en reaksjon beregnes med formelen

$$E = \frac{\sum m_r - m_p}{m_p} \quad (\text{A.1})$$

der m_r er massen til hver enkelt reaktant, inkludert løsemidler, og m_p er massen til produktet. Jo høyere E-faktoren er, jo større er avfallsmengden og en høy E-faktor betyr at prosessen har en større negativ miljøpåvirkning. Ved å se på E-faktoren for ulike kjemiske prosesser har man blitt mer bevisst på hvilke av prosessene som skaper mye avfall. Da har man kunnet arbeide med å forbedre de prosessene som skaper mest avfall.

Tabell A.1: Noen eksempler på E-faktor i ulik kjemisk industri.

Industri	Produkt i tonn/år	E-faktor
Oljeraffinering	100.000.000	< 0,1
Kjemikalier storskala	1.000.000	1 – 5
Kjemikalier småskala	10.000	5 – 50
Legemidler	1000	25-100

2. Atomeffektivitet For å sørge for en bærekraftig utvikling, ønsker man å bruke minst mulig råmaterialer i kjemiske reaksjoner. Da er det en fordel om de fleste atomene fra utgangsstoffene ender opp i produktene. Dette kaller vi atomøkonomi eller atomeffektivitet. Atomeffektivitet (AE) gir oss et raskt overblikk over hvor effektiv en reaksjon

er, ved at den viser oss hvor stor andel av atomene i utgangsstoffene som ender opp i produktene. Atomeffektiviteten i prosent (AE (%)) regnes ut med formelen

$$AE (\%) = \frac{n_p \cdot m_{M,p}}{\sum n_r \cdot m_{M,r}} \cdot 100 \% \quad (\text{A.2})$$

der $m_{M,p}$ er den molare massen til produktet og $m_{M,r}$ er den molare massen til reaktantene. n_p og n_r er stoffmengden (forholdstallet i reaksjonslikningen) til henholdsvis produktene og reaktantene.

3. Mindre farlig syntese Når det er praktisk mulig, bør syntesemetoder designes til å bruke og generere stoffer som har liten eller ingen innvirkning på menneskers helse eller miljøet.

Dette er vanskelig å implementere, fordi alle stoffene som brukes er der av en grunn, enten de er farlige eller ikke. Da er det viktig å utvikle nye metoder med mindre farlige stoffer. Det er også viktig å strekke betydningen av den første leddsetningen, “Når det er praktisk mulig”, så langt mot “alltid” som man kan, og ikke motsatt vei.

5. Tryggere løsemidler Å minimere bruken av løsemidler er kanskje det feltet innenfor grønn kjemi der det jobbes aller mest. Mange vanlige løsemidler er giftige, brannfarlige eller etsende. Den store bruken av løsemidler har ført til forurensninger både i luft, jord og vann. Den har også økt risikoen for de som arbeider med disse stoffene, og det har vært flere alvorlige ulykker knyttet til bruken av løsemidler. Det jobbes mye for å lage løsemiddelfrie metoder eller metoder der man kun bruker vann som løsemiddel. Dette regnes som grønne metoder.

6. Energieffektivitet Å redusere energibruken i kjemiske prosesser er både en miljømessig og en økonomisk fordel. Ut ifra prinsippet om energieffektivitet er det en fordel om reaksjoner kan gjennomføres ved romtemperatur.

12. Tryggere Prosesser For å forhindre ulykker er det et mål innenfor grønn kjemi at instrumentene og annet utstyr som benyttes er så lite farlige som mulig. Det er et mål at de ulike arbeidsoperasjonene utgjør så liten risiko som mulig.

Pris

For at syntese skal bli brukt av industrien er kostnadene svært viktige. Vi kan dele inn kostnadene for en syntese i to deler; utstyr og reagenser som kan gjenbrukes, og utstyr og reagenser som går med til reaksjonen (forbruksvarer).

I metodene for denne reaksjonen ser vi spesielt på forbruksvarer, men det er også nyttig å sammenlikne pris på utstyr som gjenbrukes. Dersom en metode krever en type utstyr som er svært mye dyrere enn de andre, vil det ta vesentlig lenger tid å tjene inn igjen det bedriften har brukt på å anskaffe en slik type utstyr.

Når vi sammenlikner pris på forbruksvarer, ser vi først og fremst på de områdene av reaksjonene som skiller seg fra hverandre. For eksempel bruker alle reaksjonene omkrystallisering og filtrering med büchnertrakt. Dermed trenger vi ikke regne med filterpapiret som går med til denne delen. Videre ser vi på hvor mye det koster å produsere 1 gram produkt. Vi ser hvor mye vi bruker av en vare, og regner ut hvor mye det koster for akkurat den mengden (p_r). Deretter deler vi summen av disse på mengden produkt (m_p), og ser hvor mye det koster per gram (p_m).

$$p_m = \frac{\sum p_r}{m_p} \quad (\text{A.3})$$

Tabell A.2 inneholder reagenser, størrelse på beholderen og prisen, hentet fra www.sigmaaldrich.com/norway (SKU er artikkelnummeret fra selger). Vi antar at bedriften har utstyr til å lage type-2-vann og isbiter selv uten videre kostnad.

Tabell A.2: Priser på stoffene som blir brukt i de tre metodene for oksidasjon av benzaldehyd til benzosyre. REF






SKU	Reagenser	Størrelse	Pris (NOK)
For metoden med Kaliumpermanganat:			
B1334	Benzaldehyd (C ₆ H ₅ CHO)	18 kg	3 890,-
104873	Kaliumhydrogenfosfat (KH ₂ P ₄)	50 kg	28 970,-
223468	3 % Kaliumpermanganat (KMnO ₄)	500 g (16 667 mL 3 % løsn- ning)	550,-
217263	Natriumtiosulfat (Na ₂ S ₂ O ₃)	2,5 kg (158 120 mL 0,1 M løsning)	470,-
320331	Konsentrert saltsyre (HCl)	2,5 L	1 640,-
For metoden med Kalsiumhypokloritt:			
B1334	Benzaldehyd (C ₆ H ₅ CHO)	18 kg	3 890,-
211389	Kasiumhypokloritt (Ca(ClO) ₂)	1 kg	554,-
179124	Aceton	20 L	5 040,-
A6283	Konsentrert eddiksyre (CH ₃ COOH)	2,5 L	905,-
243973	Natriumhydrogensulfitt (NaHSO ₃)	2,5 kg (5952 mL mettet løsning)	2 760,-
32922	Jodløsning (5 %) (I ₂)	6×1 L (1500 L 0,02 % løs- ning)	6 030,-
320331	Konsentrert saltsyre (HCl)	2,5 L	1 640,-
For metoden med Oxone®:			
B1334	Benzaldehyd (C ₆ H ₅ CHO)	18 kg	3 890,-
228036	Oxone®	25 kg	5 730,-






Risiko

I forkant av alle forsøk, må alle deltakere foreta en risikovurdering med tanke på helse, sikkerhet og miljø. For en syntese som skal gjøres i et produksjonsselskap er det spesielt viktig at risikoen minimeres av hensyn til de ansatte som skal gjennomføre syntesen gang etter gang i lang tid. Når en syntese gjøres mange ganger, øker risikoen proporsjonalt med antallet gjennomføringer. Derfor bør metoden som velges ha svært lav risiko i utgangspunktet, og alle sikkerhetstiltak bør utføres ytterst nøyaktig. Risikoen til en syntese vurderes vanligvis ut ifra sikkerhetsdatabladet som følger med hver kjemikalie som kjøpes.

Disse kan også lett finnes på nettsiden til leverandørene. Tabell A.3, fra neste side, er en forenklet liste med faremomentene for stoffene som brukes i disse tre syntesemetodene.

Tabell A.3: Faremomenter til stoffene som blir bruk i de tre metodene for oksidasjon av benzaldehyd til benzosyre.

Reagenser	Piktogram	Faresetning
For alle metodene:		
Benzaldehyd (C_6H_5CHO)		Farlig ved svelging eller innånding. Irriterer huden. Gir alvorlig øyeirritasjon. Kan forårsake irritasjon av luftveiene. Skadelig, med langtidsvirkning, for liv i vann.
Benzosyre (C_6H_5COOH)		Irriterer huden. Gir alvorlig øyeskade. Forårsaker organskader (Lunger) ved langvarig eller gjentatt eksponering ved innånding.
For metoden med Kaliumpermanganat:		
Kaliumhydrogenfosfat (KH_2PO_4)		Ikke et farlig stoff eller en farlig blanding i henhold til gjeldende bestemmelser.
3 % Kaliumpermanganat ($KMnO_4$)		Meget giftig, med langtidsvirkning, for liv i vann
Natriumtiosulfat ($Na_2S_2O_3$)		Ikke et farlig stoff eller en farlig blanding i henhold til gjeldende bestemmelser..
Konsentrert saltsyre (HCl)		Kan være etsende for metaller. Gir alvorlige etseskader på hud og øyne. Kan forårsake irritasjon av luftveiene.
For metoden med Kalsiumhypokloritt:		
Kalsiumhypokloritt ($Ca(ClO)_2$)		Kan forsterke brann; oksiderende. Farlig ved svelging. Gir alvorlige etseskader på hud og øyne. Meget giftig for liv i vann.

Aceton		Meget brannfarlig væske og damp. Gir alvorlig øyeirritasjon. Kan forårsake døsigheit eller svimmelhet.
Konsentrert eddiksyre (CH ₃ COOH)		Brannfarlig væske og damp. Gir alvorlige etseskader på hud og øyne.
Natriumhydrogensulfitt (NaHSO ₃)		Farlig ved svelging.
0,02 % Jodløsning (I ₂)		Ikke et farlig stoff eller en farlig blanding i henhold til gjeldende bestemmelser.
Konsentrert saltsyre (HCl)		Kan være etsende for metaller. Gir alvorlige etseskader på hud og øyne. Kan forårsake irritasjon av luftveiene.
For metoden med Oxone®:		
Oxone®		Farlig ved svelging. Gir alvorlige etseskader på hud og øyne. Giftig, med langtidsvirkning, for liv i vann.

Oksidasjon av benzaldehyd med kaliumpermanganat

Fremgangsmåte

Forarbeid

Gjør en risikovurdering for metoden. Hvilke stoffer og hvilket utstyr skal du være ekstra forsiktig med? Se risikovurderingen til alle stoffene på side A.9

Utstyr og reagenser

Utstyr

50 mL begerglass, 2 stk.
50 mL erlenmeyerkolbe
Målesylinder
Magnet
Magnetrører og varmeplate
Glasstrakt
Filtrerpapir
Büchnertrakt med avsug
Dråpetellere i plast, 1 mL
Pinsett

Reagenser

Kaliumhydrogenfosfat (KH_2PO_4)
3 % kaliumpermanganat (KMnO_4)
Benzaldehyd ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$)
Vann
0,1 M natriumtiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)
Konsentrert saltsyre (HCl)

Fremgangsmåte

- Jobb i avtrekk. Vei opp 0.50 g KH_2PO_4 i et 50 mL begerglass. Tilsett 20 mL 3 % KMnO_4 -løsning (0,6 g KMnO_4) og en røremagnet. La det røre til alt er oppløst.
- Vei opp 0.40 g benzaldehyd ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$) i en 50 mL erlenmeyerkolbe. Sett erlenmeyerkolben på magnetrøreren og hell løsningen fra punkt 1 oppi erlenmeyerkolben. Bruk 1-2 mL vann for å få med alt fra begerglasset.
- La røre i 15 minutter.
- Hvis løsningen er rosa/lilla: Tilsett dråpevis $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ -løsning til den rosa/lilla fargen fra KMnO_4 er borte. (Løsningen er fortsatt full av brunstein, MnO_2 (s).)
- Filtrer vekk brunsteinen ved å bruke en glasstrakt med brettet filtrerpapir over et begerglass. Væsken som renner gjennom bør være fargeløs. Hvis den er rosa, tilsetter du litt mer $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

- f) Tilsett 2 mL konsentrert saltsyre (2,4 g). Sett begerglasset med blandingen i isbad. Benzosyren vil felle ut.
- g) Etter 5 minutter kan benzosyren filtreres fra. Bruk en büchnertrakt med flatt filterpapir, og en erlenmeyerkolbe med siderør som kobles til en vannstrålepumpe. Sett først på suget, drypp litt isvann på filterpapiret, slik at det blir fuktig og overfør benzosyren fra begerglasset og ned i trakten, Vask benzosyren med cirka 5 mL isvann. Bruk en dråpeteller. La stoffet ligge i 1-2 minutter med sug på trakten for å tørke.
- h) Ta filteret ut av trakten med en pinsett og la det lufttørke i 5 minutter. Ha benzosyren i et veieskip og vei den.
- i) Omkrystallisering: Skyll det lille begerglasset og overfør benzosyren til det. Regn ut hvor mye vann du skal tilsette - 30 mL vann / gram benzosyre, men maksimalt 12 mL vann. Varm opp blandingen på en varmeplate til alt er løst. Sett løsningen i et isbad for avkjøling. Benzosyren feller ut av løsningen som fine nåleformede krystaller.
- j) Filtrer fra krystallene som beskrevet i punkt g).
- k) La benzosyren lufttørke på filterpapiret i 5 minutter. Vei benzosyren og ha den i et dramsglass med lokk.

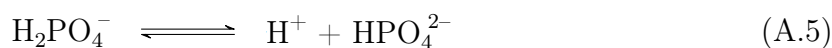
Etterarbeid

Reaksjonsligningen for reaksjonen:



Formel oksidasjonsmiddel: $\text{KMnO}_4 (s)$, molar masse: 158 g/mol.

H^+ kommer fra KH_2PO_4 med molar masse: 136 g/mol



Oppgave 1

Beregn utbytte.

Molar masse benzaldehyd: 106,1 g/mol.

Molar masse benzosyre: 122,1 g/mol.

Oppgave 2

Vurder syntesen ut ifra prinsippene 1, 2, 3, 5, 6 og 12 for Grønn kjemi (se side A.4):

1) Unngå avfall (E-faktor)

2) Atomeffektivitet

3) Mindre farlig syntese

5) Trygge løsemidler

6) Energieffektivitet

12) Tryggere prosesser

Oppgave 3

Vurder syntesen ut ifra pris. Hvor mye koster det å produsere ett gram benzosyre med denne metoden? Se prislister for kjemikalier på side A.6

Oppgave 4

Trekk frem det viktigste fra risikovurderingen dere foretok før syntesen. Hva bør komme frem i diskusjonen om hvilken syntese som er best?

Oksidasjon av benzaldehyd med kalsiumhypokloritt

Fremgangsmåte

Forarbeid

Gjør en risikovurdering for metoden. Hvilke stoffer og hvilket utstyr skal du være ekstra forsiktig med? Se risikovurderingen til alle stoffene på side A.9.

Utstyr og reagenser

Utstyr

50 mL begerglass
50 mL Erlenmeyerkolbe
Målesylinder
Magnet
Filtrerpapir
Büchnertrakt med avsug
Varmeplate med magnetrører
Reagensrør i plast med kork
Dråpetellere i plast, 1 mL

Reagenser

Kalsiumhypokloritt ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$)
Benzaldehyd ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$)
Aceton (CH_3COCH_3)
Konsentrert eddiksyre (CH_3COOH)
25 % natriumbisulfitt (NaHSO_3)
Vann (H_2O)
Konsentrert saltsyre (HCl)
0,002 % jodløsning

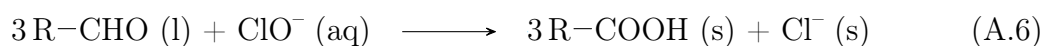
Fremgangsmåte

- Jobb i avtrekk. Vei opp 1,00 g $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ i en 50 mL erlenmeyerkolbe. Tilsett 30 mL vann og en røremagnet. La det røre i et isbad.
- Vei opp 1,00 g benzaldehyd ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$) i et 50 mL begerglass. Tilsett 5 mL aceton (4 g) og 3 mL konsentrert eddiksyre (3 g). Overfør denne løsningen til erlenmeyerkolben på isbadet dråpevis over cirka 3 minutter, dette er for å begrense oppvarmingen fra reaksjonen.
- Ta kolben ut av isbadet og la røre i 15 minutter.
- Fjern overskudd av hypokloritt ved å tilsette 1 mL natriumhydrogensulfittløsning (0,25 g NaHSO_3) mens blandingen fortsatt rører.

- e) Utfør en jodtest for å sjekke at det ikke er noe hypokloritt igjen i blandingen ved å ta 1 mL jodløsning i et reagensrør og tilsette noen dråper reaksjonsblanding. Vent 1-2 minutter og se om løsningen har blitt blank. Er den fortsatt gulbrun, gjenta steg 4 og 5 til løsningen blir blank etter jodtesten.
- f) Tilsett 2 mL konsentrert saltsyre (2,4 g). Sett kolben med blandingen i isbad. Benzoesyren vil felle ut.
- g) Etter 5 minutter kan benzoesyren filtreres fra. Bruk en büchnertrakt med flatt filterpapir, og en erlenmeyerkolbe med siderør som kobles til en vannstrålepumpe. Sett først på suget, drypp litt isvann på filterpapiret, slik at det blir fuktig og overfør benzoesyren fra begerglasset og ned i trakten, Vask benzoesyren med cirka 5 mL isvann. Bruk en dråpeteller. La stoffet ligge i 1-2 min med sug på trakten for å tørke.
- h) Ta filteret ut av trakten med en pinsett og la det lufttørke i 5 minutter. Ha benzoesyren i et veieskip og vei den.
- i) Omkrystallisering: Skyll det lille begerglasset og overfør benzoesyren til det. Regn ut hvor mye vann du skal tilsette - 30 mL vann / gram benzoesyre, men maksimalt 20 mL vann. Varm opp blandingen på en varmeplate til alt er løst. Sett løsningen i et isbad for avkjøling. Benzoesyren feller ut av løsningen som fine nåleformede krystaller.
- j) Filtrer fra krystallene som beskrevet i punkt g).
- k) La benzoesyren lufttørke på filterpapiret i 5 minutter. Vei benzoesyren og ha den i et dramsglass med lokk.

Etterarbeid

Reaksjonsligningen for reaksjonen:



Oppgave 1

Beregn utbytte.

Molar masse kalsiumhypokloritt: 143,0 g/mol.

Molar masse benzaldehyd: 106,1 g/mol.

Molar masse benzosyre: 122,1 g/mol.

Oppgave 2

Vurder syntesen ut ifra prinsippene 1, 2, 3, 5, 6 og 12 for Grønn kjemi (se side A.4):

1) Unngå avfall (E-faktor)

2) Atomeffektivitet

3) Mindre farlig syntese

5) Trygge løsemidler

6) Energieffektivitet

12) Tryggere prosesser

Oppgave 3

Vurder syntesen ut ifra pris. Hvor mye koster det å produsere ett gram benzosyre med denne metoden? Se prislister for kjemikalier på side A.6.

Oppgave 4

Trekk frem det viktigste fra risikovurderingen dere foretok før syntesen. Hva bør komme frem i diskusjonen om hvilken syntese som er best?

Oksidasjon av benzaldehyd med Oxone®

Fremgangsmåte

Forarbeid

Gjør en risikovurdering for metoden. Hvilke stoffer og hvilket utstyr skal du være ekstra forsiktig med? Se risikovurderingen til alle stoffene på side A.9.

Utstyr og reagenser

Utstyr

Vannbad

Isbad

50 mL rundkolbe

50 mL Erlenmeyerkolbe

Målesylinder

Magnet

Vannkjøler med overgang

Filtrerpapir

Büchnertrakt med avsug

Magnetrører og varmeplate

Termometer

Reagenser

Oxone®

Benzaldehyd (C_6H_5CHO)

Type-2-vann (H_2O)

Fremgangsmåte

- Forbered et vannbad ved å fylle vann i et kar, tilsette en røremagnet og sett det på en magnetrører med varme. Plasser et termometer i vannet. Vannbadet skal holde en temperatur mellom 90 og 95 grader under hele syntesen. Sett en jekkeplate under varmeplaten, slik at du lett kan fjerne vannbadet senere.
- Vei opp 1.00 g benzaldehyd (C_6H_5CHO) i en 50 mL rundkolbe. Fest rundkolben til et stativ. Rundkolben skal senere senkes ned i vannbadet.
- Vei inn 7.25 g Oxone® i en 50 mL erlenmeyerkolbe, tilsett 20 mL Type 2 vann og en røremagnet. La røre i ett minutt.
- Hell løsningen med Oxone® over i rundkolben. Bruk 5 mL vann til å få med alt stoffet.

- e) Senk rundkolben ned i vannbadet. La den stå der i 20 minutter. Vannbadet skal holde 80-85 grader gjennom hele syntesen. Dette reguleres ved å senke og heve temperaturen på varmeplaten.
- f) Bytt ut vannbadet med et isbad. Benzosyren vil felle ut.
- g) Etter 10 minutter i isbad kan benzosyren filtreres fra. Bruk en büchnertrakt med flatt filterpapir, og en erlenmeyerkolbe med siderør som kobles til en vannstrålepumpe. Sett først på suget, drypp litt isvann på filterpapiret, slik at det blir fuktig og overfør benzosyren fra begerglasset og ned i trakten, Bruk en dråpeteller til å vaske benzosyren med 20-30 mL isvann. La stoffet ligge i 1-2 min med sug på trakten for å tørke.
- h) Ta filteret ut av trakten med en pinsett og la det lufttørke i 5 minutter. Ha benzosyren i et veieskip og vei den.
- i) Omkrystallisering: Skyll det lille begerglasset og overfør benzosyren til det. Regn ut hvor mye vann du skal tilsette - 30 mL vann / gram benzosyre, men maksimalt 20 mL vann. Varm opp blandingen på en varmeplate til alt er løst. Sett løsningen i et isbad for avkjøling. Benzosyren feller ut av løsningen som fine nåleformede krystaller.
- j) Filtrer fra krystallene som beskrevet i punkt g).
- k) La benzosyren lufttørke på filterpapiret i 5 minutter. Vei benzosyren.

Etterarbeid

Reaksjonsligningen for reaksjonen:



Oppgave 1

Beregn utbytte.

Formel Oxone®: $2 \text{KHSO}_5 \cdot \text{KHSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4$

Molar masse Oxone®: 614.8 g/mol.

Molar masse benzaldehyd: 106,1 g/mol.

Molar masse benzosyre: 122,1 g/mol.

Oppgave 2

Vurder syntesen ut ifra prinsippene 1, 2, 3, 5, 6 og 12 for grønn kjemi (se side A.4):

- 1) Unngå avfall (E-faktor)
- 2) Atomeffektivitet
- 3) Mindre farlig syntese
- 5) Trygge løsemidler
- 6) Energieffektivitet
- 12) Tryggere prosesser

Oppgave 3

Vurder syntesen ut ifra pris. Hvor mye koster det å produsere ett gram benzosyre med denne metoden? Se prisliste for kjemikalier på side A.6.

Oppgave 4

Trekk frem det viktigste fra risikovurderingen dere foretok før syntesen. Hva bør komme frem i diskusjonen om hvilken syntese som er best?

B Forsøksbeskrivelsen under elevtestingen

På de neste tolv sidene følger forsøksbeskrivelsen slik den var beskrevet da elevtestingen ble gjennomført. Det var altså denne elevene fikk utdelt for å utføre de respektive metodene. På side 3 er en liten melding til studentene som skulle gjennomføre undervisningsopplegget for elevene. Denne ble fjernet før elevene fikk utdelt beskrivelsene. Det var litt rom for studentene til å endre på oppsettet av oppgaven utover forsøksbeskrivelsene.

Grønn kjemi

Grønn kjemi handler om å designe kjemiske produkter og prosesser der man i så stor grad som mulig unngår at det brukes eller dannes farlige stoffer. Innenfor grønn kjemi jobber man for økt bærekraft gjennom å forbedre eksisterende kjemiske prosesser og å utvikle nye og mer miljøvennlige prosesser. I den senere tid har mange fått øynene opp for grønn kjemi da det har vist seg at man både kan nå miljømessige mål og økonomiske mål samtidig ved å bruke de 12 prinsippene for grønn kjemi når kjemiske prosesser skal designes eller forbedres.

12 Prinsipper for grønn kjemi

Det er 12 prinsipper for grønn kjemi er. De 12 prinsippene er: 1. Unngå avfall. 2. Atomeffektivitet. 3. Mindre farlige synteser. 4. Designe tryggere kjemikalier. 5. Tryggere løsemidler. 6. Energieffektivitet. 7. Fornybare stoffer. 8. Mindre derivatisering. 9. Bruke katalysator. 10. Designe nedbrytbare kjemikalier. 11. Sanntidsanalyse for å unngå forurensning. 12. Tryggere kjemikalier.

Nedenfor er en kort beskrivelse av fem av prinsippene. Du kan lese om alle de 12 prinsippene her:

<https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/principles/12-principles-of-green-chemistry.html>

1. Unngå avfall

Det er lettere å unngå avfall enn å rydde opp avfall som har blitt dannet. En mye brukt metode for å vurdere avfallsmengden fra en kjemisk prosess er å beregne E-faktoren. E-faktoren tar utgangspunkt i utbyttet i reaksjonen samt alle utgangsstoffer og løsemidler som brukes (man tar ikke med vann).

$$E - faktor = \frac{\text{masse utgangsstoffer inkludert løsemidler} - \text{masse produkt}}{\text{masse produkt}}$$

Jo høyere e-faktoren er, jo større er avfallsmengden og en høy E-faktor betyr at prosessen har en større negativ miljøpåvirkning. Ved å se på E-faktoren for ulike kjemiske prosesser har man blitt mer bevisst på hvilke av prosessene som skaper mye avfall. Da har man kunnet arbeide med å forbedre de prosessene som skaper mest avfall.

Tabellen under viser eksempler E-faktoren i ulik kjemisk industri.

Industri	Produkt i tonn/år	E-faktor
Oljeraffinering	100.000.000	<0,1
Kjemikalier storskala	1.000.000	<1-5
Kjemikalier småskala	10.000	<5-50
Legemidler	1000	25-100

2. Atomeffektivitet

For å sørge for en bærekraftig utvikling, ønsker man å bruke minst mulig råmaterialer i kjemiske reaksjoner. Da er det en fordel om de fleste atomene fra utgangsstoffene ender opp i produktene. Dette kaller vi atomøkonomi eller atomeffektivitet. Atomeffektivitet (AE) gir oss et raskt overblikk over hvor effektiv en reaksjon er, ved at den viser oss hvor stor andel av atomene i utgangsstoffene som ender opp i produktene.

$$AE(\%) = \frac{\text{Molar masse}_{\text{Produkter}}}{\text{Molar masse}_{\text{utgangsstoffer}}} \cdot 100$$

5. Tryggere løsemidler

Å minimere bruken av løsemidler er kanskje det feltet innenfor grønn kjemi der det jobbes aller mest. Mange vanlige løsemidler er giftige, brannfarlige eller etsende. Den store bruken av løsemidler har ført til forurensninger både i luft, jord og vann. Den har også økt risikoen for de som arbeider med disse stoffene, og det har vært flere alvorlige ulykker knyttet til bruken av løsemidler.

Det jobbes mye for å lage løsemiddelfrie metoder eller metoder der man kun bruker vann som løsemiddel. Dette regnes som grønne metoder.

6. Energieffektivitet

Å redusere energibruken i kjemiske prosesser er både en miljømessig og en økonomisk fordel. Ut ifra prinsippet om energieffektivitet er det en fordel om reaksjoner kan gjennomføres ved romtemperatur.

12. Tryggere kjemikalier og prosesser

For å forhindre ulykker er det et mål innenfor grønn kjemi at kjemikaliene som benyttes er så lite farlige som mulig. Alle kjemikalier har et sikkerhetsdatablad der man finner farepiktogrammer, varselord og faresetninger, som gir en rask oversikt over farene ved stoffet.

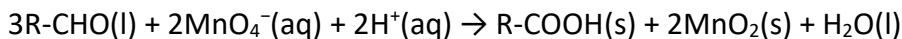
I tillegg til kjemikaliene er det et mål at de ulike arbeidsoperasjonene utgjør så liten risiko som mulig.

Pris

For at syntese skal bli brukt av industrien er kostnadene svært viktige.

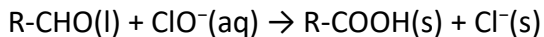
Reaksjonsligninger

Med kaliumpermanganat



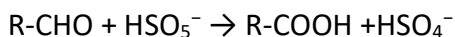
Formel oksidasjonsmiddel: $\text{KMnO}_4(\text{s})$, molar masse: 158 g/mol

Med kalsiumhypokloritt



Formel oksidasjonsmiddel: $\text{Ca(ClO)}_2(\text{s})$, molar masse: 143,0 g/mol

Med Oxone®



Formel oksidasjonsmiddel: $2\text{KHSO}_5 \cdot \text{KHSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4(\text{s})$, molar masse: 614,8 g/mol

Oppgaven slik jeg ser den for meg

To og to: gjennomfør syntesen som beskrevet i fremgangsmåten.

To og to: Vurder syntesen ut ifra grønn kjemi, prinsipp 1, 2, 5, 6 og 12 fra grønn kjemi. Regn også ut pris pr kg produkt. (bruk mal for resultater og vurderinger)

Alle som har brukt samme oksidasjonsmiddel: Gjennomgå resultater og vurderinger i plenumsdebatt. Noter data og vurderinger fra de andre toergruppene. (hensikt: Se at utbytte er ulikt for ulike grupper, forsikre seg om at alle har riktig data med videre)

Seks og seks (to fra hvert oksidasjonsmiddel): Hver toergruppe presenterer sine resultater og vurderinger. Kom i fellesskap frem til den syntesen dere vurderer som best egnet – med en begrunnelse for valget.

Plenum: Hver treer-gruppe presenterer sin vurdering av hvilken syntese som er best egnet. Får vi til konsensus om hvilket oksidasjonsmiddel som er best egnet?

Eksempel på beregning av E-faktor.

I en syntese av benzosyre fra benzaldehyd ble det brukt 0,7 g benzaldehyd, 2 g oksidasjonsmiddel, 4,50 gram butanol, 0,8 g maursyre og 50 g vann. Det ble dannet 0,44 g benzosyre.

$$E - \text{faktor} = \frac{0,7 \text{ g} + 2 \text{ g} + 4,50 \text{ g} + 0,8 \text{ g} - 0,44 \text{ g}}{0,44 \text{ g}} = 17,2$$

En E-faktor på 17,2 forteller oss at det dannes 17,2 kg avfall per kg produkt

Eksempel på beregning av atomeffektivitet

Oksidasjon av benzaldehyd til benzosyre med natriumdikromat.

Reaksjonsligningen er: $3\text{R-CHO(l)} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + 8\text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow 3\text{R-COOH(s)} + \text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 4\text{H}_2\text{O(l)}$

Formel oksidasjonsmiddel: $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7(\text{s})$, molar masse: 262 g/mol

$$\begin{aligned} AE(\%) &= \frac{\text{Molar masse}_{\text{Produkter}}}{\text{Molar masse}_{\text{utgangsstoffer}}} \cdot 100 = \frac{3 \cdot M_{\text{benzosyre}}}{3 \cdot M_{\text{Benzaldehyd}} + M_{\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} + 8 \cdot M_{\text{H}^+}} \cdot 100 \\ &= \frac{3 \cdot 122,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{3 \cdot 106,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 262 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 8 \cdot 1,008 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \cdot 100 = 62,3 \% \end{aligned}$$

Mal for resultater – oksidasjonsmiddel:		Navn:
Prinsipp	Vurdering	Vurdering fra andre grupper
E-faktor (prinsipp 1 – forhindre avfall)		
Atomeffektivitet (prinsipp 2)		
Tryggere løsemidler (prinsipp 5)	Brukes det andre løsemidler enn vann?	
Energieffektivitet (prinsipp 6)	Gjøres reaksjonen i romtemperatur?	
Tryggere kjemikalier og prosesser (prinsipp 12)		
Kjemikalie 1:		
Kjemikalie 2:		
Kjemikalie 3:		
Kjemikalie 4:		
Kjemikalie 5:		
Prosess 1:		

Oksidasjon av benzaldehyd med kaliumpermanganat

Utstyr: <ul style="list-style-type: none">• 50 mL begerglass. 2 stk• 50 mL Erlenmeyerkolbe• Målesylinder• Magnet• Magnetrører og varmeplate• Glasstrakt• Filtrerpapir• Büchnertrakt med avsug• Dråpetellere i plast, 1 mL• Pinsett	Reagenser: <ul style="list-style-type: none">• Kaliumhydrogenfosfat (KH_2PO_4)• 3 % Kaliumpermanganat (KMnO_4)• Benzaldehyd ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$)• Vann• 0,1 M Natriumtiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)• Konsentrert saltsyre (HCl)
--	---

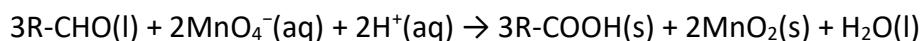
Fremgangsmåte:

1. Jobb i avtrekk. Vei opp 0.50 g KH_2PO_4 i et 50 mL begerglass. Tilsett 20 mL 3 % KMnO_4 -løsning (0,6 g KMnO_4) og en røremagnet. La det røre til alt er oppløst.
2. Vei opp 0.40 g benzaldehyd ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$) i en 50 mL erlenmeyerkolbe. Sett erlenmeyerkolben på magnetrøreren og hell løsningen fra punkt 1 oppi erlenmeyerkolben. Bruk 1-2 mL vann for å få med alt fra begerglasset.
3. La røre i 15 minutter.
4. Hvis løsningen er rosa/lilla: Tilsett dråpevis $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ -løsning til den rosa fargen fra KMnO_4 er borte. (Løsningen er fortsatt full av brunstein, MnO_2 (s).)
5. Filtrer vekk brunsteinen ved å bruke en glasstrakt med brettet filtrerpapir. Væsken som renner gjennom bør være fargeløs. Hvis den er rosa, tilsetter du litt mer $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.
6. Tilsett 2 mL konsentrert saltsyre (2,4 g). Sett begerglasset med blandingen i isbad. Benzosyren vil felle ut.
7. Etter 5 minutter kan benzosyren filtrere fra. Bruk en büchnertrakt med flatt filtrerpapir, og en erlenmeyerkolbe med siderør som kobles til en vannstrålepumpe. Sett først på suget, drypp litt isvann på filtrerpapiret, slik at det blir fuktig og overfør benzosyren fra begerglasset og ned i trakten, Vask benzosyren med cirka 5 mL isvann. Bruk en dråpeteller. La stoffet ligge litt med sug på trakten for å tørke.

8. Ta filteret ut av trakten med en pinset og la det lufttørke i 5 minutter. Ha benzosyren i et veieskip og vei den.
9. Omkrystallisering: Skyll det lille begerglasset og overfør benzosyren til det. Regn ut hvor mye vann du skal tilsette - 30 mL vann / gram benzosyre, men maksimalt 12 mL vann. Varm opp blandingen på en varmeplate til alt er løst. Sett løsningen i et isbad for avkjøling. Benzosyren feller ut av løsningen som fine nåleformede krystaller.
10. Filtrer fra krystallene som beskrevet i punkt 7).
11. La benzosyren lufttørke på filterpapiret i (cirka 5 minutter). Vei benzosyren og ha den i et dramsglass med lokk.

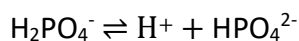
Etterarbeid

Reaksjonsligningen for reaksjonen:



Formel oksidasjonsmiddel: $KMnO_4(s)$, molar masse: 158 g/mol

H^+ kommer fra KH_2PO_4 med molar masse: 136 g/mol



1. Beregn utbytte.

Molar masse benzaldehyd: 106,1 g/mol Molar masse benzosyre: 122,1 g/mol.

2. Vurder syntesen ut i fra prinsippene 1, 2, 5, 6 og 12 for Grønn kjemi – se egen tekst om grønn kjemi:

- 1) Unngå avfall
- 2) Atomeffektivitet
- 5) Trygge løsemidler
- 6) Energieffektivitet
- 12) Tryggere kjemikalier og prosesser

Oksidasjon av benzaldehyd med kalsiumhypokloritt

Utstyr: <ul style="list-style-type: none">• 50 mL begerglass• 50 mL Erlenmeyerkolbe• Målesylinder• Magnet• Filtrerpapir• Büchnertrakt med avsug• Magnetrører og varmeplate• Reagensrør i plast med kork• Dråpetellere i plast, 1 mL	Reagenser: <ul style="list-style-type: none">• Kalsiumhypokloritt ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$)• Benzaldehyd ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$)• Aceton• Konsentrert eddiksyre (CH_3COOH)• 25 % Natriumhydrogensulfitt (NaHSO_3)• Vann (H_2O)• Konsentrert saltsyre (HCl)• 0,02 % jodløsning
--	--

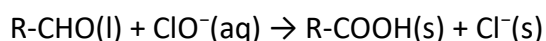
Fremgangsmåte:

1. Jobb i avtrekk. Vei opp 1,00 g $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ i en 50 mL erlenmeyerkolbe. Tilsett 30 mL vann og en røremagnet. La det røre i et isbad.
2. Vei opp 1,00 g benzaldehyd ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$) i et 50 mL begerglass. Tilsett 5 mL aceton (4 g) og 3 mL konsentrert eddiksyre (3 g). Overfør denne løsningen til erlenmeyerkolben på isbadet dråpevis over cirka 3 minutter, dette er for å begrense oppvarmingen fra reaksjonen.
3. Ta kolben ut av isbadet og la røre i 15 minutter.
4. Fjern overskudd av hypokloritt ved å tilsette 1 mL natriumhydrogensulfittløsning (0,25 g NaHSO_3) mens blandingen fortsatt rører.
5. Utfør en jodtest for å sjekke at det ikke er noe hypokloritt igjen i blandingen ved å ta 1 mL jodløsning i et reagensrør og tilsette noen dråper reaksjonsblanding. Vent 1-2 minutter og se om løsningen har blitt blank. Er den fortsatt gulbrun, gjenta steg 4 og 5 til løsningen blir blank etter jodtesten.
6. Tilsett 2 mL konsentrert saltsyre (2,4 g). Sett kolben med blandingen i isbad. Benzosyren vil felle ut.
7. Etter 5 minutter kan benzosyren filtrere fra. Bruk en büchnertrakt med flatt filtrerpapir, og en erlenmeyerkolbe med siderør som kobles til en vannstrålepumpe. Sett først på suget, drypp litt isvann på filtrerpapiret, slik at det blir fuktig og overfør benzosyren fra begerglasset og ned i trakten, Vask benzosyren med cirka 5 mL isvann. Bruk en dråpeteller. La stoffet ligge litt med sug på trakten for å tørke.

8. Ta filteret ut av trakten med en pinset og la det lufttørke i 5 minutter. Ha benzosyren i et veieskip og vei den.
9. Omkrystallisering: Skyll det lille begerglasset og overfør benzosyren til det. Regn ut hvor mye vann du skal tilsette - 30 mL vann / gram benzosyre, men maksimalt 20 mL vann. Varm opp blandingen på en varmeplate til alt er løst. Sett løsningen i et isbad for avkjøling. Benzosyren feller ut av løsningen som fine nåleformede krystaller.
10. Filtrer fra krystallene som beskrevet i punkt 7).
11. La benzosyren lufttørke på filterpapiret i (cirka 5 minutter). Vei benzosyren og ha den i et dramsglass med lokk.

Etterarbeid

Reaksjonsligningen for reaksjonen:



Formel oksidasjonsmiddel: $\text{Ca(ClO)}_2(\text{s})$, molar masse: 143,0 g/mol

1. Beregn utbytte.

Molar masse benzaldehyd: 106,1 g/mol Molar masse benzosyre: 122,1 g/mol.

2. Vurder syntesen ut i fra prinsippene 1, 2, 5, 6 og 12 for Grønn kjemi – se egen tekst om grønn kjemi:

- 1) Unngå avfall
- 2) Atomeffektivitet
- 5) Trygge løsemidler
- 6) Energieffektivitet
- 12) Tryggere kjemikalier og prosesser

Oksidasjon av benzaldehyd med oxone

Utstyr: <ul style="list-style-type: none">• Vannbad• Isbad• 50 mL rundkolbe• 50 mL Erlenmeyerkolbe• Målesylinder• Magnet• Vannkjøler med overgang• Filtrerpapir• Büchnertrakt med avsug• Magnetrører og varmeplate• Termometer	Reagenser: <ul style="list-style-type: none">• Oxone®• Benzaldehyd (C_6H_5CHO)• Type 2 vann (H_2O)
---	---

Fremgangsmåte:

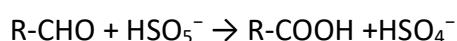
1. Forbered et vannbad ved å fylle vann i et kar, tilsette en røremagnet og sett det på en magnetrører med varme. Plasser et termometer i vannet. Vannbadet skal holde en temperatur mellom 80 og 85 grader under hele syntesen. Sett en jekkeplate under varmeplaten, slik at du lett kan fjerne vannbadet senere.
2. Vei opp 1.00 g benzaldehyd (C_6H_5CHO) i en 50 mL rundkolbe. Fest rundkolben til et stativ. Rundkolben skal senere senkes ned i vannbadet.
3. Vei inn 7.25 g Oxone i en 50 mL erlenmeyerkolbe, tilsett 20 mL Type 2 vann og en røremagnet. La røre i ett minutt.
4. Hell løsningen med Oxone over i rundkolben. Bruk 5 mL vann til å få med alt stoffet.
5. Sett på en vannkjøler og senk rundkolben ned i vannbadet. La rundkolben stå i vannbadet i 20 minutter fra det tidspunktet temperaturen i vannbadet er 80 grader. Vannbadet skal holde 80-85 grader gjennom hele syntesen. Dette reguleres ved å senke og heve temperaturen på varmeplaten.
6. Bytt ut vannbadet med et isbad. Benzosyren vil felle ut.
7. Etter 10 minutter kan benzosyren filtrere fra. Bruk en büchnertrakt med flatt filtrerpapir, og en erlenmeyerkolbe med siderør som kobles til en vannstrålepumpe. Sett først på suget, drypp litt isvann på filtrerpapiret, slik at det blir fuktig og overfør benzosyren fra

begerglasset og ned i trakten, Bruk en dråpeteller til å vaske benzosyren med 20-30 mL isvann. La stoffet ligge litt med sug på trakten for å tørke.

8. Ta filteret ut av trakten med en pinset og la det lufttørke i 5 minutter. Ha benzosyren i et veieskip og vei den.
9. Omkrystallisering: Skyll det lille begerglasset og overfør benzosyren til det. Regn ut hvor mye vann du skal tilsette - 30 mL vann / gram benzosyre, men maksimalt 20 mL vann. Varm opp blandingen på en varmeplate til alt er løst. Sett løsningen i et isbad for avkjøling. Benzosyren feller ut av løsningen som fine nåleformede krystaller.
10. Filtrer fra krystallene som beskrevet i punkt 7).
11. La benzosyren lufttørke på filterpapiret i 5 minutter. Vei benzosyren.

Etterarbeid

Reaksjonsligningen for reaksjonen:



Formel oksidasjonsmiddel: $2\text{KHSO}_5 \cdot \text{KHSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4(\text{s})$, molar masse: 614,8 g/mol

1. Beregn utbytte.

Molar masse benzaldehyd: 106,1 g/mol Molar masse benzosyre: 122,1 g/mol.

2. Vurder syntesen ut i fra prinsippene 1, 2, 5, 6 og 12 for Grønn kjemi – se egen tekst om grønn kjemi:

- 1) Unngå avfall
- 2) Atomeffektivitet
- 5) Trygge løsemidler
- 6) Energieffektivitet
- 12) Tryggere kjemikalier og prosesser

C Oppsummering av laboratoriearbeidet

Alle forsøkene har fått en kode på formen $HTMn$, der $n \in [01, 02, \dots, 99]$ og er unik for hvert forsøk. Noen forsøk er delt inn i underforsøk, og kalles derfor $HTMnm$ der $m \in [a, b, c, \dots]$. HTM står for Henrik Tangens Masterprosjekt. Alle forsøkene er notert i en laboratoriejournal, med korrekt kode som referanse.

C.1 HTM01

HTM01 var første dagen på lab, og den ble brukt til å forsøke å dryppe H_2O_2 til benzaldehyd. Etter litt drypping ble det felt ut noe hvitt salt, men i svært små mengder.

Det ble også forsøkt å blande litt benzaldehyd og litt H_2O_2 . Det ble både prøvd med og uten KH_2PO_4 men begge forsøkene ga lite utfelling.

C.2 HTM02

Forsøket med $KMnO_4$ som oksidasjonsmiddel var allerede etablert og publisert i lærebok (Knutsen et al., 2019), så det ble vurdert til godt nok slik som det var. Likevel var det ønskelig å prøve det ut, for å få erfaring med hvordan utbyttet kunne se ut med en metode jeg visste at fungerte.

0.388 g benzaldehyd ble veid inn for forsøket. Forsøket ble gjennomgått slik som det står i forsøksbeskrivelsen (Knutsen et al., 2019) med følgende endringer. I punkt 5 ble filterpapiret vætet før filtreringen. Etter filtreringen i punkt 5 ble forsøket avsluttet, og tatt opp igjen fem dager senere med punkt 6. Det ferdige produktet ble veid til 0.175 g, som gir et utbytte på 39 %.

C.3 HTM03

Det ble forsøkt å bruke tilsvarende metode som i for $KMnO_4$ men bytte ut $KMnO_4$ med $Ca(ClO)_2$. Det ble forsøkt både med og uten KH_2PO_4 . For forsøket uten KH_2PO_4 ble det ingen synlig utbytte. For forsøket med KH_2PO_4 felte det ut noen få tungtløselige gule krystaller.

C.4 HTM04

Det ble brukt fullpipette til å overføre 10 mL benzaldehyd til fem forskjellige beholdere: a) reagensrør, b) 100 mL erlenmeyerkolbe, c) 100 mL begerglass, d) 70 mL fordampningskar og e) 25 mL begerglass.

Disse prøvene ble stående i avtrekkskap over helgen fra 11.09.20 til 14.09.20

I a) reagensrøret var det lite synlig utbytte. I b) var det en del utbytte, men fortsatt synnlig væske. I c) var det ingen synlig væske, men prøven luktet sterkt av benzaldehyd. I d) var det ingen synlig væske, og prøven luktet ingenting. e) var litt bedre enn a), men fortsatt dårlig. Prøvene c) og d) ble veid. c) veide 4.204 g, et utbytte på 35 %. d) veide 3.67 g, et utbytte på 31 %.

Dette tar for lang tid, og sløser for mye med stoffene til å gjøres i skolen.

C.5 HTM05

Det ble forsøkt å feste en ballong til en sprøyte etter teknikken til Harwood et al. (1999, s. 89), fylle ballongen med ren oksyngengass og feste sprøytens kanyle til en GC-vial med benzaldehyd oppi. Det var også plassert en mindre kanyle for å gi utløp. Tabell C.4 viser prøvene som ble testet, volum på ballongen, kanylestørrelse, hvor lenge reaksjonen fikk foregå og en kommentar med utbyttet.

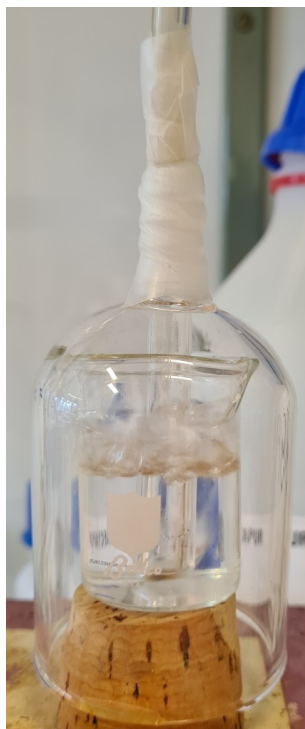
Tabell C.4: Rådata fra HTM05

Nr.	V_{O_2}	m_{PhCHO}	Kanyle inn	Kanyle ut	Tid	Utbytte
1	ca. 1.8 l	0.39 g	0.5×16 mm	0.5×16 mm	helg	Ingen synlig
2	ca. 1.8 l	0.42 g	0.8×50 mm	0.5×16 mm	helg	Godt
3	ca. 5 l	0.40 g	0.6×25 mm	0.6×25 mm	21 min	Ingen synlig
4	ca. 5 l	0.40 g	0.8×50 mm	0.6×25 mm	17 min	Ingen synlig
5	ca. 5 l	0.41 g	1.1×40 mm	0.6×25 mm	22 min	Ingen synlig
8	ca 5 l	0.42 g	0.8×50 mm	0.5×16 mm	61 min	Ingen synlig

For prøve 2 stakk kanylen ned i væsken. For prøve 1 var ballongen tom etter 1-2 timer. Det kan ha vært lekkasje utover kanylen. Prøve 2 viste lovende resultat, dette kan bygges videre på. Kanskje kan katalysator, løsemiddel eller liknende hjelpe. Prøve 8 sto i vannbad.

C.6 HTM06.1

En slags klokke (figur C.1) ble oppdrevet. Det så ut som at den var laget for å føre gass ned i en væske, så det ble forsøkt. 0.40 g benzaldehyd og 20 mL aceton ble blandet i et 25 mL begerglass. Klokken ble koblet til O_2 -tanken, og skjøten ble tettet med parafilm. Etter noen minutter med svak strøm av gass var var tanken tom. Ingen synlig utfelling. Det ble forsøkt å dampe av acetonet i sandbad med svak varme uten resultat.



Figur C.1: “Klokken” i HTM06.1

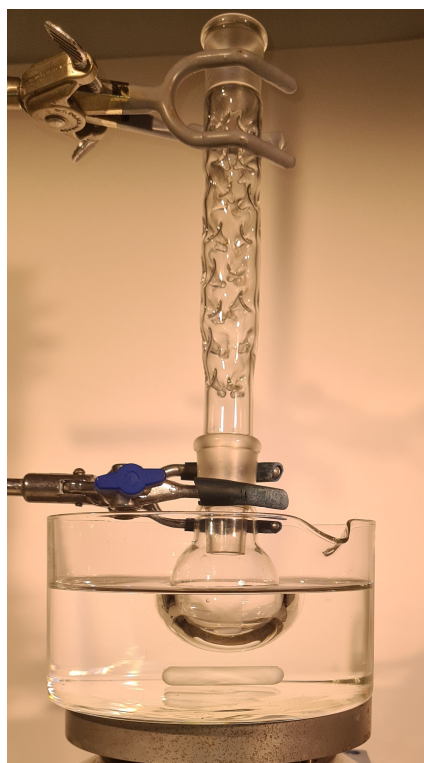
C.7 HTM06.2

I HTM06.2a ble det tilsatt 2.915 g Oxone® og 0.395 g PhCHO i en 100 mL rundkolbe, sammen med en røremagnet. Denne blandingen rørte i et vannbad på $70 - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ i 15 minutter med en luftkjøler (figur C.2a). Deretter ble løsningen satt i isbad i 5 minutter før blandingen ble filtrert med buchnertrakt, og omkrystallisert som beskrevet i forsøksbeskrivelsen for KMnO_4 . Produktet ble filtrert igjen med buchnertrakt, tørket og veid til 0.085 g med utbytte på 19 %.

I HTM06.2b ble det tilsatt 0.413 g PhCHO og 2.901 g Oxone®. Det ble gjennomført på samme måte som i a, men med liebigkjøler i stedet for luftkjøler (figur C.2b). Temperaturen på vannbadet var $60 - 70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Det ble veid inn 0.087 g med utbytte på 18 %.

I HTM06.2c ble det tilsatt 0.420 g PhCHO og 2.914 g Oxone®. Denne gangen ble det forsøkt å ha løsningen i en erlenmeyerkolbe, og plassere denne i bunnen av vannbadet. Temperaturen på vannbadet var $60 - 70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Det ble veid inn 0.018 g med utbytte på 4 %.

I alle forsøkene viste råproduktene seg som ganske gule, men ble betydelig hvitere etter omkrystalliseringen.



(a) Oppsett med luftkjøler



(b) Oppsett med liebigkjøler

Figur C.2: Oppsett for metoden med Oxone®

C.8 HTM07

I dette forsøket ble det forsøkt å blande 0.818 g $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, 0.394 PhCHO og 20 mL 1M CH_3COOH i en 100 mL erlenmeyerkolbe. Dette rørte i 15 minutter, og 2 mL konsentrert HCl ble tilsatt. Blandingen fikk så stå i isbad før den ble filtrert med büchnertrakt. Utbyttet var 0.118 g, 26 %.

C.9 HTM08

Seksjon for organisk kjemi bruker kalsiumhypokloritt ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) som oksidasjonsmiddel når de utfører denne syntesen med sine studenter. Vi har vært så heldige å få bruke den metoden. 1.013 g $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ble veid inn i en 50 mL EM-kolbe. Kolben ble tilsatt en røremagnet og 30 mL vann. EM-kolben ble plassert i et isbad. I et 50 mL begerglass ble 1.025 g PhCHO veid inn, sammen med 5 mL aceton og 3 mL konsentrert eddiksyre. Innholdet i begerglasset ble dryppet med plastpipette over i EM-kolben i isbadet over 3 minutter. EM-kolben med alle reagensene ble så tatt ut av isbadet og blandingen rørte i 15 minutter. Deretter ble 1 mL NaHSO_3 tilsatt for å fjerne rester av hypokloritt og unngå unødig dannelse av klorgass. Etter det ble det utført en jodtest for å se om det

var hypokloritt igjen. Noen dråper reaksjonsblanding ble dryppet i ca 1 mL jodløsning. Dersom den ble blank kunne vi gå videre til neste steg, dersom den forble brun måtte mer NaHSO_3 tilsettes, med påfølgende ny jodtest. Når jodtesten ble blank, ble det tilsatt 2 mL konsentrert saltsyre (HCl) og blandingen ble igjen satt i et isbad i fem minutter. Råproduktet ble filtrert vekk med buchnertrakt, og omkrystallisert. Utbyttet ble veid til 0.307 g, som ga et prosentvis utbytte på 26 %.

C.10 HTM09

Reaksjonen ble forsøkt med Oxone® som reaksjonsmiddel. Denne gangen ble 1.009 g PhCHO veid inn, sammen med 7.247 g Oxone®. Dette er mer i tråd med litteraturen (REF). Temperaturen var mellom $60 - 70^\circ\text{C}$ og reaksjonen fikk holde på i 55 minutter, og fikk stå i isbad i 10 minutter. De første 7 minuttene av kokingen sto blandingen uten kjøler. Råproduktet ble filtrert med Buchnertrakt og omkrystallisert. Dette viste seg å gi for lite produkt til å veies, og det ble ansett som mislykket.

C.11 HTM10

Oxone®-metoden ble forsøkt igjen fire ganger, nå med høyere temperatur. Temperaturen var $80 - 90^\circ\text{C}$, reaksjonstiden 20 minutter og isbadtiden 5 minutter. Vannmengden ble redusert til 25 mL. Råproduktet ble filtrert og omkrystallisert, produktet ble filtrert igjen.

- 1.029 g PhCHO og 7.263 g Oxone® ble brukt. Temperaturen var litt høyere enn planlagt, rundt $90 - 95^\circ\text{C}$. Produktet veide 0.331 g, som ga et utbytte på 28 %. Råproduktet ble gult, og mellom beige og hvit etter omkrystalliseringen.
- 1.030 g PhCHO og 7.245 g Oxone® ble brukt. Denne gangen ble det brukt type-2-vann. Vannbadet var kun 60°C da reaksjonen startet, men nådde 80°C etter fem minutter. Produktet veide 0.303 g som ga et utbytte på 26 %. Produktene så ut som i a.
- 1.024 g PhCHO og 7.250 g Oxone® ble brukt sammen med type-2-vann. Produktet veide 0.165 g som ga et utbytte på 14 %. Produktene så ut som i a.
- 1.029 g PhCHO og 7.259 g Oxone® ble brukt sammen med type-2-vann. Temperaturen ble kontrollert dårligere denne gangen. Produktet veide 0.089 g som ga et utbytte på 8 %. Produktene så ut som i a.

Tabell C.5: Rådata fra HTM11-15

Kode	Tilsatt PhCHO	Utbytte	Utbytte	Kommentar
HTM11a	1.052 g	0.144 g	11.89%	Etter røringen var det en blank væske med gule klumper.
HTM11b	0.997 g	0.245 g	21.35%	Acetonet ble tilsatt etter at løsningene fra begerglasset og EM-kolben ble blandet i isbad. Etter røringen var det en hvit blakket væske.
HTM12a	1.037 g	0 g	0	Etter røringen var det en blank væske med gule klumper. Utbyttet var for lite til å veies
HTM12b	1.002 g	0.463 g	40.15%	Etter røringen var det en hvit skyet væske.
HTM13a	1.029 g	N/A	N/A	Produktet ble kontaminert under tørkingen, fordi rester av oksidasjonsmiddelet oksiderte aluminiumsfolien som dekket produktet.
HTM13b	1.001 g	0.513 g	44.53%	
HTM14a	1.010 g	0.010 g	0.86%	
HTM14b	0.994 g	0.405 g	35.41%	
HTM15a	0.991 g	N/A g	N/A	Produktet ble kontaminert under tørkingen, fordi rester av oksidasjonsmiddelet oksiderte aluminiumsfolien som dekket produktet.
HTM15b	1.030 g	0.494 g	41.68%	Etter 15 minutter med røring viste det seg at magnetrøreren var avskrudd. Det er uvisst hvor lenge den rørte, om i det hele tatt.

Disse gjennomføringene indikerte at reaksjonen fungerte bedre med type-2-vann, og at med høyere temperatur ble utbytte større men mer misfarget. Omkrystalliseringen fjernet mye av misfargingen, men ikke alt.

C.12 HTM11-15

HTM11-15 er alle gjennomført på samme måte, med minimale variasjoner. Hensikten med dette var å undersøke om forsøket med CaClO_2 kunne gjennomføres uten aceton. I alle forsøkene ble a) gjort uten aceton og b) gjort med aceton. Alle andre parametere var like. Forsøkene ble ellers gjort som i HTM08. Resultatene er presentert i tabell C.5

I tabell C.6 er resultatene presentert mer oversiktlig, med gjennomsnittelig utbytte og standardavvik.

Selv om to av prøvene ble ødelagte kan vi tydelig se av tabell C.6 indikasjoner på at forsøket fungerer best med aceton, og det blir stående i forsøksbeskrivelsen.

Tabell C.6: Rådata fra HTM11-15

	Utbytte (a)	Utbytte (b)
HTM11	11.89%	21.35%
HTM12	0.00%	40.15%
HTM13	N/A	44.53%
HTM14	0.86%	35.41%
HTM15	N/A	41.68%
Gjennomsnitt	4.25%	36.63%
Std.av.	0.0541593	0.08188105

Tabell C.7: Rådata fra HTM16

Kode	Tilsatt PhCHO (g)	Utbytte (g)	Utbytte (%)
HTM16a	1.017	0.043	3.67%
HTM16b	1.005	0.047	4.06%
HTM16c	1.000	0.065	5.65%

C.13 HTM16

Det var planlagt å gjennomføre forsøket med Oxone® fem ganger med tre paralleller hver gang med forskjellig temperatur. Etter første gjennomføring (HTM16) ble det bestemt å endre temperaturene. I forsøket ble det brukt IKA C-mag HS7 varmeplate med IKA ETS D5 termostat for mer nøyaktig temperaturmåling. Forsøk A ble gjort på 75 °C, forsøk B på 80 °C og forsøk C på 85 °C. Forsøkene ble ellers gjennomført likt som HTM10, bare at her ble de ikke omkrystallisert, noe som burde føre til et høyere, men mindre rent utbytte. Det ble brukt springvann. Reaksjonsblandingen ble ikke senket ned i vannbadet før den ønskede temperaturen var nådd.

På grunn av de lave utbyttene ble det bestemt at vi skulle gå videre med høyere temperaturer, og begynne på nytt med fem gjennomganger.

C.14 HTM17-21

Forsøkene ble utført på samme måte som HTM16, men med temperaturene 85 °C i løsning A, 90 °C i løsning B og 95 °C i løsning C. Det ble benyttet samme utstyr som i HTM16. HTM20 og 21 ble etter isbadet lagret i tre dager før de ble filtrert og tørket. Det førte til at de reagerte hele tiden, dog noe sakte, og resultatene kan ikke brukes. Det er likevel tre gode gjennomføringer som gir et godt bilde av temperaturenes påvirkning på reaksjonen. De digitale termostaterne ble sammenliknet med glasstermometerne som ble brukt tidligere. Det viste seg at glasstermometerne viste opptil 5 °C forskjellig fra de digitale, som kan forklare noe av ujevnhetene i de tidligere gjennomgangene.

Tabell C.8: Rådata fra HTM17-21

Kode	Tilsatt PhCHO(g)	Utbytte (g)	Utbytte (%)
HTM17a	1.010	0.099	8.52%
HTM17b	1.015	0.158	13.53%
HTM17c	1.035	0.113	9.49%
HTM18a	1.086	0.094	7.52%
HTM18b	1.008	0.098	8.45%
HTM18c	1.014	0.127	10.88%
HTM19a	0.998	0.093	8.10%
HTM19b	1.006	0.196	16.93%
HTM19c	1.012	0.123	10.56%
HTM20a	1.000	0.816	70.91%
HTM20b	0.996	0.534	46.59%
HTM20c	0.999	0.778	67.68%
HTM21a	1.003	1.110	96.17%
HTM21b	1.024	0.432	36.66%
HTM21c	1.019	0.680	57.99%

Tabell C.9: Resultater fra HTM17-21

	Utbytte (a)	Utbytte (b)	Utbytte (c)
HTM17	8.52%	13.53%	9.49%
HTM18	7.52%	8.45%	10.88%
HTM19	8.10%	16.93%	10.56%
Gj.snitt	8.05%	12.97%	10.31%
Std.av.	0.0040835	0.03485245	0.00596974

Produktene fikk den karakteristiske nålestrukturen, og viste seg som gulhvite nåler, som indikerer en noe forurenset benzosyre.

Resultatene fra HTM17-21 er presentert i tabell C.8.

I tabell C.9. Er resultatene presentert mer oversiktlig, med gjennomsnittelig utbytte og standardavvik. HTM20 og 21 er tatt bort.

Det er tydelig at en 90°C gir bedre utbytte enn 85°C , men forskjellen mellom 90°C og 95°C er liten, og verdiene overlapper med ett standardavvik.

C.15 Elevtestingen

Så mange som mulig av elevenes spørsmål ble notert, med formålet å utbedre forsøksbeskrivelsen ytterligere. Metoden ble notert i parentes: (1) for KMnO_4 , (2) for $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ og (3) for Oxone®.

Fagdag 1:

- Erlenmeyerkolber blir svarte (1).
- Spørsmål om avfall.
- Målesylinder i utstyr.
- Noen må tilsette mye tiosulfat, må filtrere igjen (1).
- Saltsyre med dråpeteller.
- Termometer bør henge i samme høyde som kolben.
- Hvor lenge skal den stå i avsug?
- Rosa/lilla (1).
- E-faktor: Vann i ift. saltsyre? Oppgi massene for å gjøre det enklere?
- En gruppe har fått grønt utbytte (3).
- Omkryst. Maks 12/20 mL vann (1/2-3).
- Diskusjon: En sammensatt gruppe. Fikk lavt utbytte, men fokuserer på gruppa som fikk mest.
- “Aceton er jo ikke farlig, for det brukes jo i neglelakkfjerner.”
- “Oxone er best: Lav E-faktor, høyt utbytte, AE (%) = 17, og ikke skadelige stoffer. Løsemiddel: vann. To oppvarminger og nedkjølinger, en mer enn de andre. Lett å holde stabil temp med godt utstyr.”

Fagdag 2:

- Hva er det forskjellige utstyret?
- Fiks type-2-vann (3).
- (1) pkt 5. “Filtrer til et begerglass”
- Brukte isbad uten vann.
- Kaste filtrerpapir.
- (1) Saltsyre i løsningen, ikke i isbadet.
- Overføring til filtrerpapir, vann + vasking.
- “Det lille begerglasset” - noe uklart (1/2).

Fagdag 3:

- (3) Få med røremagnet i rundkolben.
- Gjenta filtreringen hvis mye går igjennom.
- Fukte filtrerpapiret (1(2-3)).
- Noen teller stoffer med faresetning og avgjør mtp. det - differensiering.
- Konklusjon: Oxone/KP prioriterer miljø, Oxone prioriterer miljø, Oxone er tryggest, Ca - værstingen. Oxone/KP er begge bra. Oxone best.