

Madelene Losvik Berntsen

## «For temperaturen kan jo ikke forandre seg fra det ene termometeret til det andre»

En gruppe kjemielevers møte med naturvitenskapens egenart gjennom historien om hvordan termometeret ble utviklet

Masteroppgave i Lektorutdanning i realfag for trinn 8–13

Veileder: Annette Lykknes

Medveileder: Camilla Berge Vik

Juni 2021



Madelene Losvik Berntsen

## **«For temperaturen kan jo ikke forandre seg fra det ene termometeret til det andre»**

En gruppe kjemielevers møte med naturvitenskapens egenart gjennom historien om hvordan termometeret ble utviklet

Masteroppgave i Lektorutdanning i realfag for trinn 8–13  
Veileder: Annette Lykknes  
Medveileder: Camilla Berge Vik  
Juni 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for samfunns- og utdanningsvitenskap  
Institutt for lærerutdanning



Kunnskap for en bedre verden



## Sammendrag

Denne studien har som formål å undersøke hva kjemielever opplever å lære om naturvitenskapens egenart gjennom historien om termometerets utvikling.

Det ble laget et undervisningsopplegg som handlet om hvordan Henri Regnault (1810–1878) arbeidet på 1800-tallet for å finne et nøyaktig termometer. Opplegget var ment å lære elevene noe om hvilke mål og verdier forskere har, samt hvilke praksiser og metoder som brukes i forskningsarbeid. Opplegget ble gjennomført i en kjemi 1-klasse, og for å få et bedre innblikk i hva elevene opplevde å ha lært, ble det gjennomført tre gruppeintervjuer i etterkant av undervisningen.

Studien er kvalitativ, og datamaterialet består av elevdiskusjoner fra selve undervisningsopplegget, samt gruppeintervjuer som ble avholdt i etterkant av undervisningen.

Resultatet indikerer at elevene opplevde at historien om termometeret lærte dem noe om forskningsarbeid. De trakk eksplisitt frem hvordan Regnault var systematiske i undersøkelsene sine, at han var nøyaktig, og at han publiserte resultatene sine, og sa at dette også var noe man gjorde i dag. Dette så elevene også på som sentrale deler av dagens forskningsarbeid. Historien om termometerets utvikling egner seg altså godt til å belyse enkelte sider med NOS.



## Abstract

The aim of this study is to investigate what ideas about NOS could be learned from the historical context: the development of thermometers in the 18<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> century.

A chemistry lesson about Henri Regnault's (1810–1878) work on the thermometer in the 19<sup>th</sup> century was developed. The lesson's aim was to highlight features of NOS, using the selected historical context. The lesson was tested in a chemistry class, and eight students were interviewed after.

The study is qualitative, and the data consists of group discussions from the class activities, and group interviews that were held after class.

The result indicates that the students learned some aspects of how scientists do their research. During the interviews, the students explicitly pointed out that Regnault was systematic and accurate during his research, and he also published his results. According to the students these are still features of scientific research today. The history of the thermometer's development is thus well suited to illuminating some aspects of NOS.





## Forord

Jeg vil gjerne bruke forordet til å takke støttespillerne mine dette semesteret.

Først og fremst må jeg gi en stor takk til veilederen min Annette Lykknes, samt medveileder Camilla Berge Vik, som har gitt meg verdifulle tilbakemeldinger og mye god hjelp gjennom hele semesteret. En veiledningstime med dere ga meg alltid nytt mot.

Jeg vil også takke gjengen på lesesal, samt mitt fantastiske kollektiv, som har bidratt med hygge og kos i en travel masterhverdag. Takk til mamma, Lukas og Stian som har hjulpet meg underveis – enten ved å komme med innspill til oppgaven, eller med oppmuntrende ord.

Avslutningsvis vil jeg sende en stor takk til kjemilæreren som lot meg gjennomføre studiens undervisningsopplegg, og takk til alle elever som deltok.

Trondheim, mai 2021

Madelene Losvik Berntsen



# Innholdsfortegnelse

<b>Sammendrag</b> .....	<b>i</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>iii</b>
<b>Forord</b> .....	<b>v</b>
<b>1 Introduksjon</b> .....	<b>1</b>
1.1 Utviklingen av undervisningsopplegget .....	2
1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål .....	3
1.3 Oppgavens oppbygning .....	3
<b>2 Teori</b> .....	<b>4</b>
2.1 Hva er naturvitenskap? .....	4
2.1.1 <i>Scientific literacy</i> og naturvitenskapelig kompetanse .....	5
2.2 Ulike syn på naturvitenskapens egenart .....	7
2.2.1 Family Resemblance Approach (FRA).....	11
2.3 Undervisning av NOS.....	23
2.3.1 NOS gjennom en vitenskapshistorisk kontekst.....	24
2.3.2 Oppsummering av forskningslitteraturens anbefalinger .....	27
<b>3 Historien om utviklingen av termometeret</b> .....	<b>28</b>
3.1 Valg av historisk kontekst .....	28
3.2 <i>Inventing Temperature</i> av Hasok Chang .....	29
3.3 Utviklingen av termometeret og valg av termometerfluid .....	29
3.4 Hvilke FRA-kategorier kan historien om termometeret belyse?.....	34
<b>4 Undervisningsopplegget: Utviklingen av termometeret</b> .....	<b>38</b>
4.1 Læreplanen i kjemi og NOS .....	38
4.2 Målet med undervisningsopplegget.....	39
4.3 Utarbeidelse og beskrivelse av undervisningsopplegget .....	40
4.4 Forhåndstest av undervisningsopplegget.....	46
<b>5 Kvalitativ metode</b> .....	<b>47</b>
5.1 Forskningsdesign .....	47

5.2	Sted og deltakere .....	48
5.3	Datamateriale .....	49
5.3.1	Gruppeintervju .....	50
5.4	Dataanalyse av intervju .....	52
5.5	Forskningsetiske betraktninger .....	54
5.6	Studiens kvalitet .....	54
<b>6</b>	<b>Resultat og analyse .....</b>	<b>56</b>
6.1	Forskning handler om å «finne ut av ting» .....	58
6.1.1	Regnault brukte sammenliknbarhetsprinsippet for å finne det beste termometeret .....	58
6.1.2	Regnault var systematisk og sjekket en og en variabel .....	61
6.1.3	I forskning må man må teste og ikke bygge på løse antakelser .....	63
6.1.4	Oppsummering av funn fra hovedtema 1 .....	66
6.2	Publisering er viktig for å underbygge og utvikle kunnskap .....	66
6.2.1	Publisering er viktig fordi andre kan sjekke om resultatene er riktig .....	66
6.2.2	Publisering er viktig for at kunnskap skal kunne utvikle seg .....	67
6.2.3	Oppsummering av funn fra hovedtema 2 .....	69
6.3	Vitenskapshistorie gir innsikt i hvordan naturvitenskap foregår .....	69
6.3.1	Gjennom historiske måldata fikk vi innblikk i hvordan forskere tenker .....	70
6.3.2	Oppsummering av funn fra hovedtema 3 .....	72
<b>7</b>	<b>Drøfting og kritikk av studien .....</b>	<b>73</b>
7.1	Drøfting av resultater .....	73
7.1.1	Forskning handler om å «finne ut av ting» .....	73
7.1.2	Publisering er viktig for å underbygge og utvikle kunnskap .....	75
7.1.3	Vitenskapshistorie gir innsikt i hvordan naturvitenskap foregår .....	76
7.2	Svar på forskningsspørsmålene .....	77
7.2.1	Hva opplever elevene at de har lært om naturvitenskapens mål og verdier? .....	77
7.2.2	Hva opplever elevene at de har lært om naturvitenskapens praksiser? .....	78
7.2.3	Hva opplever elevene at de har lært om naturvitenskapens metoder og metodologiske regler? .....	79
7.2.4	Hvilke deler ved undervisningsopplegget trekker elevene frem som lærerike? .....	80

7.3	Kritikk av studien .....	80
<b>8</b>	<b>Konklusjon, implikasjon og videre studier .....</b>	<b>83</b>
8.1	Svar på problemstilling.....	83
8.2	Implikasjoner .....	84
8.3	Videre studier .....	84
	<b>Litteraturliste.....</b>	<b>86</b>
	<b>Vedlegg .....</b>	<b>91</b>

## Figuroversikt

Figur 1:	Illustrasjon av familielikhet (family resemblance) som prinsipp.....	11
Figur 2:	Sammenlikning av konsensussynet og <i>Family Resemblance Approach</i> (FRA). .....	12
Figur 3:	NOS-kategoriene i FRA-rammeverket.....	13
Figur 4:	Utforskende arbeidsmetode illustrert som en syklisk prosess .....	18
Figur 5:	Aktiviteten med måledataene: kvikksølvtermometre av ulike glasstyper .....	44
Figur 6:	Aktiviteten med måledataene: lufttermometre med ulik lufttetthet.....	45
Figur 7:	Studiens forløp.....	48
Figur 8:	Eksempel på en kodegruppering. ....	53
Figur 9:	En oversikt over studiens resultater.....	56

## Tabelloversikt

Tabell 1:	De fire læringstrådene.....	6
Tabell 2:	Konsensussynet som rammeverk til naturvitenskapens egenart (NOS) .....	7
Tabell 3:	Tidsplan for undervisningsopplegget.....	41
Tabell 4:	Oversikt over refleksjonsoppgaver i undervisningsopplegget .....	43
Tabell 5:	Oversikt over elever som deltok i tre av undervisningens gruppediskusjoner .....	49
Tabell 6:	Oversikt over de tre intervjugruppene . .....	49
Tabell 7:	Transkripsjonskoder med tilhørende forklaring.....	51
Tabell 8:	Eksempel på empirinær åpen koding.....	52

# 1 Introduksjon

Som alle andre fag skal kjemiundervisningen bidra til elevenes allmenndannelse. Dette betyr at elevene skal utvikle seg til selvstendige, reflekterte og kritiske individer, som er i stand til å delta i et demokratisk samfunn (Sjøberg, 2009, s. 41). Siden samfunnsdebatter ofte har naturvitenskapelige aspekter ved seg, argumenterte Driver allerede i 1996 for at elevene må lære noe om hva som kjennetegner naturvitenskapen; elevene må lære noe om *naturvitenskapens egenart*. Å lære om naturvitenskapens egenart (*Nature of Science*, NOS) handler blant annet om hvordan hypoteser, teorier, metoder og modeller utvikles og brukes innenfor de ulike naturvitenskapelige disiplinene. Dette er kunnskap som blir vektlagt i både kommende og gjeldende læreplan i kjemi gjennom kjerneelementet «praksiser og tenkemåter» i kommende læreplan, og hovedområdet «metoder og forsøk» i gjeldende læreplan (Utdanningsdirektoratet, 2006, 2020). Læreplanen i kjemi tydeliggjør at kjemilærere må lære elevene noe om NOS, på lik linje som etablert kjemisk kunnskap.

Mange forskere mener at NOS bør læres gjennom en kontekst dersom undervisningen skal være effektiv (Allchin et al., 2014; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Klassen, 2006; Osborne et al., 2003). En mulig måte å kontekstualisere NOS på er gjennom vitenskapshistorie (Tolvanen et al., 2014; Williams & Rudge, 2019). Gjennom vitenskapshistorie kan man lære hvordan forskere har arbeidet for å finne frem til ny kunnskap, og hvilke utfordringer de møtte på underveis i dette arbeidet. Et eksempel som kan illustrere både forskernes mål og metoder, samt forskningens utfordringer, er historien om hvordan termometeret ble utviklet på 17- og 1800-tallet. Én av utfordringene knyttet til arbeidet med termometeret var å velge hvilket stoff som skulle være inni termometeret, det såkalte termometerfluidet (Chang, 2004, s. 59). En mann som bidro i arbeidet med å finne et godt egnet termometerfluid, var franskmannen Henri Regnault (1810–1878). Denne studien har som formål å undersøke hvilke sider ved NOS den vitenskapshistoriske konteksten «utviklingen av termometeret» kan belyse. Historien om utviklingen av termometeret, med fokus på valg av termometerfluid, blir nærmere presentert i kapittel 3. Som et rammeverk for NOS tar jeg utgangspunkt i det såkalte *Family Resemblance Approach* (FRA) som blir presentert i kapittel 2.

For å kunne studere hvilke sider ved NOS historien om utviklingen av termometeret kan belyse, har jeg først utviklet et undervisningsopplegg basert på vitenskapshistorisk forskning og FRA-rammeverket. Dernest har jeg gjennomført undervisningsopplegget og undersøkt hva kjemielever opplever å ha lært om naturvitenskapens egenart. Underveis i gjennomføringen av

undervisningen ble det flere gruppediskusjoner tatt opp med lydopptaker, og i etterkant av undervisningsopplegget ble det gjennomført gruppeintervjuer med elever som hadde deltatt. Med dette datamaterialet skal jeg belyse følgende problemstilling: *Hvordan opplever kjemielever at utviklingen av termometeret på 1700- og 1800-tallet kan belyse NOS-aspektene naturvitenskapens mål og verdier, naturvitenskapelig praksis og naturvitenskapens metoder og metodologiske regler?*

### 1.1 Utviklingen av undervisningsopplegget

Som tidligere nevnt kan vitenskapshistorie være et nyttig verktøy for å fremme NOS i klasserommet. Blant annet mener flere at en historisk kontekst kan bidra til at elever får innblikk i naturvitenskapen som prosess, der ulike forskere samarbeider for å utvikle kunnskap (Allchin et al., 2014; Leite, 2002). Spesielt fremheves det at naturvitenskapens tentative karakter kommer særlig godt frem ved at elever lærer om hvordan nyere forskning har bidratt til en ny forståelse, og at tidligere ideer har blitt forkastet (Allchin et al., 2014). Selv om vitenskapshistorie er blitt fremmet som et potensielt godt verktøy for å undervise NOS, har forskningslitteratur påpekt at vitenskapshistorien må presenteres på en grundig måte dersom NOS-undervisningen skal være effektiv (Allchin, 2003; Milne, 1998). Ifølge Allchin (2003) vil en svært forenklet og overfladisk versjon av historien virke mot sin hensikt, ved at elevene får et naivt syn på hvordan kunnskap utvikles. Giunta (2001) trekker frem heltedyrkelse av tidligere forskere som én av fallgruvene ved å bruke vitenskapshistorie. Han påpeker at det ofte er de over gjennomsnittet suksessrike forskerne som fremmes i skolen, og at «den gjennomsnittlige forskeren» ikke blir representert. Giunta (2001) mener dette kan gi elevene et feilaktig syn på både naturvitenskap og forskere. I tidligere lærebøker i naturfag finner vi flere eksempler på vitenskapshistoriske tekster, men flere studier har pekt på at disse tekstene ofte gir en begrenset fremstilling av naturvitenskapen og NOS (Knain, 2001; Moreno-Martínez & Lykknes, 2019). Giunta (2001) påpeker også at vitenskapelige feil sjeldent er en del av historiene som elever møter på i klasserommet, noe som kan gi elevene en forestilling om at forskning foregår uten komplikasjoner, og naturvitenskapelige metoder alltid fører til sannheten. For at studiens undervisningsopplegg skulle ta hensyn til hvordan forskningslitteratur har anbefalt å bruke vitenskapshistorie som kontekst til NOS, samt unngå fallgruvene, var det hensiktsmessig å utvikle et helt eget undervisningsopplegg som var basert på vitenskapshistorisk forskning og FRA-rammeverket. I arbeidet med studiens undervisningsopplegg satte jeg meg derfor godt inn i utviklingen av termometeret som vitenskapshistorisk kontekst gjennom å lese *Inventing Temperature* (2004) av Hasok Chang, en

anerkjent vitenskapsfilosof og kjemihistoriker. Jeg satte meg tilsvarende godt inn i ulike rammeverk for NOS (se kapittel 2), valgte meg FRA-rammeverket og gjorde en grundig analyse av hvilke NOS-aspekter historien om utviklingen av termometeret på 1700- og 1800-tallet kunne belyse. På denne måten kunne jeg sikre at jeg fikk en god oversikt og forståelse for den vitenskapshistoriske konteksten, samt hvilke NOS-elementer den historiske konteksten kunne belyse. Dersom jeg hadde tatt utgangspunkt i en historie fra en lærebok i kjemi eller fra internett, ville jeg trolig ikke fått et godt nok grunnlag for å presentere historien på en måte som fremmer NOS.

## 1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål

Etter at undervisningsopplegget var ferdigstilt ble det gjennomført i en kjemi 1-klasse slik at jeg kunne undersøke hvilke aspekter ved NOS kjemielever opplever at undervisningsopplegget belyser. I denne delen av masteroppgaven skal problemstillingen belyses. Problemstillingen er delt inn i følgende forskningsspørsmål:

- Hva opplever elevene at de har lært om naturvitenskapens mål og verdier?
- Hva opplever elevene at de har lært om naturvitenskapens praksiser?
- Hva opplever elevene at de har lært om naturvitenskapens metoder og metodologiske regler?
- Hvilke deler ved undervisningsopplegget trekker elevene frem som lærerike?

Allchin et al. (2014) påpeker at hvilke NOS-aspekter som kan belyses, avhenger av type historie, derfor er de utvalgte aspektene ved NOS blitt valgt på bakgrunn av hvilken historie jeg har tatt utgangspunkt i. Siden vitenskapshistorie av flere er blitt fremmet som et nyttig verktøy for å kontekstualisere NOS, er det interessant å se hva elevene selv opplever å lære gjennom vitenskapshistorie. Det er ikke gitt at elevene opplever å lære noe om NOS, selv om jeg som lærer kan identifisere NOS-elementer i historien.

## 1.3 Oppgavens oppbygning

Kapittel 2 forklarer hva som ligger i begrepet naturvitenskapens egenart (NOS) og hvordan NOS kan undervises. Kapittel 3 presenterer historien om utviklingen av termometeret, og hvilke NOS-aspekter historien kan belyse. Studiens undervisningsopplegg blir redegjort for i kapittel 4. Kapittel 5 beskriver studiens design og metoder. Resultatene presenteres i kapittel 6 og diskuteres i kapittel 7. Kapittel 8 avslutter oppgaven ved at problemstillingen besvares og implikasjoner og videre arbeid blir drøftet.



## 2 Teori

I dette kapittelet presenterer jeg det teoretiske rammeverket for studien. For å kunne diskutere NOS er det nødvendig å først definere hva naturvitenskap er, samt gjøre rede for hva slags kunnskap om naturvitenskap som tradisjonelt blir trukket frem som viktig for å bli *scientific literate*. Det finnes ulike syn på hva som bør inngå i skolens NOS-undervisning, og flere rammeverk til NOS er derfor foreslått. For å kunne argumentere for at jeg valgte *Family Resemblance Approach* som NOS-rammeverk, vil jeg diskutere to andre rammeverk til NOS; konsensus synet (*consensus view*) og *whole science*. Avslutningsvis gjøres det rede for hvordan tidligere studier har brukt vitenskapshistorie for å undervise NOS, og hvilken effekt dette har hatt for læring om hva naturvitenskap er. De empiriske studiene danner grunnlaget for hvilke valg jeg har tatt da jeg utarbeidet studiens undervisningsopplegg om termometerets utvikling.

### 2.1 Hva er naturvitenskap?

Det er vanskelig å gi en enkel forklaring på hva naturvitenskap er. Ifølge Kragh (2008, s. 11) kan selv vitenskapsmenn ha vanskeligheter med å forstå hva naturvitenskap innebærer. Dette skyldes blant annet at hva som blir ansett som naturvitenskap endrer seg med tid og sted. Det som tidligere er blitt ansett som vitenskapelig, kan ha mistet sin «vitenskapelige status» med tiden. Et eksempel på dette er blant annet frenologi som i dag er blitt stemplet som pseudovitenskap, altså noe som utgir seg for å være vitenskapelig uten at det er det (Bowler & Morus, 2005, s. 360-361; Daempfle, 2013, s. 111). Frenologi gikk ut på at menneskets ulike egenskaper og ferdigheter ble bestemt fra distinkte lokasjoner i hjernen, og at hjernens struktur, samt skallens form, endret seg etter hvor utviklet ferdighetene var. Dermed kunne man forklare egenskapene til en person, ved å avlese formen på skallen. Frenologi ble relativt raskt forkastet, men teorien var særlig populær omkring 1820-tallet (Bowler & Morus, 2005, s. 419). Det historiske eksempelet er kun ett av mange eksempler som viser at naturvitenskapen stadig er under utvikling, og at teorier kan bli forkastet i lys av ny evidens. Chalmers (2013, s. 28-29) påpeker at teknologiske fremskritt er én av faktorene som kan bidra til å fremskaffe ny evidens.

På 1600-tallet ble det sentralt å basere kunnskap på empirisk evidens, og derfor kan det sies at det var på denne tiden at den moderne naturvitenskapen vokste frem (Bowler & Morus, 2005, s. 23; Kragh, 2008, s. 13). På denne tiden fantes det ikke et skille mellom ulike naturvitenskapelige fagdisipliner, da det meste av forskningsarbeid gikk under det som omtales som naturfilosofi. I dag finnes det derimot et mangfold av ulike fagdisipliner og forskningsfelt (Kragh, 2008, s. 27). Eksempler på ulike fagområder er fysikk, biologi, geologi og kjemi. Kjemi

kan videre inndeles i ulike forskningsfelt som organisk kjemi og analytisk kjemi, og disse har igjen forskjellig spesialiseringsområder. Siden 1950-tallet har graden av spesialisering innenfor fagdisipliner eskalert, og dette er også med på å gjøre naturvitenskap vanskelig å definere (Kragh, 2008, s. 11). Kragh (2008, s. 12) definerer naturvitenskap som en fellesbetegnelse på alle de vitenskapelige disiplinene som undersøker naturen på en bestemt måte.

Kragh (2008, s. 11) påpeker at den moderne naturvitenskapen er et komplekst system som inkluderer en rekke metoder, praktiske teknikker og institusjoner, som samhandler for å utvikle kunnskap om naturlige fenomener. For å få en viss forståelse for hva naturvitenskap faktisk innebærer, trekker Kragh (2008, s. 11) frem at man bør få kunnskap om hvilke fagområder som inngår i naturvitenskapen, og hvilke metoder og tankemåter som kjennetegner naturvitenskapelig forskning.

### 2.1.1 *Scientific literacy* og naturvitenskapelig kompetanse

Det å være *scientific literate* handler om å være en kritisk tenker, i stand til å anvende den naturvitenskapelige kunnskapen man har i møte med ulike situasjoner (Driver, 1996). I dag har naturvitenskapen en sentral rolle i flere aktuelle problemstillinger og derfor er det enighet om at elever bør opparbeide en naturvitenskapelig kompetanse (Driver, 1996; Sjøberg, 2009). Driver (1996, s. 13) deler naturvitenskapelig kunnskap inn i tre dimensjoner; naturvitenskapens produkter, naturvitenskapens prosesser og naturvitenskapen som sosial institusjon. Naturvitenskapens produkter er et annet ord for naturvitenskapelige tanker, ideer, begreper, lover og teorier, med andre ord det vi anser som etablerte sannheter om naturen. Innenfor kjemifaget kan dette være kunnskap om blant annet atomets oppbygning, syre-base-reaksjoner og løseligheten til ulike stoffer. Naturvitenskapens prosesser handler om hvordan naturvitenskapen praktiseres. Det finnes et mangfold av metoder og praksiser innenfor naturvitenskapelig forskning, blant annet på grunn av ulike fagfelt, og høy grad av spesialisering innenfor vært fagfelt (Kragh, 2008, s. 27-33). Samtidig finnes det en rekke anerkjente metoder, teknikker og prosesser forskere benytter for å finne frem til holdbar kunnskap. Det er gjennom de ulike naturvitenskapelige metodene og prosessene at naturvitenskapen utvikler seg. Hvilke metoder som benyttes avhenger av fagfelt og hva som skal undersøkes. Eksempler på tradisjonelle metoder som er blitt brukt innenfor kjemisk forskning er titrering, kromatografi og kalorimetri. Dette er tre ulike teknikker, men alle tre regnes som anerkjente innenfor forskningsdisiplinen. Den siste dimensjonen, naturvitenskapen som sosial institusjon, legger blant annet vekt på naturvitenskap som profesjon, samt hvordan naturvitenskapen påvirker samfunnet og omvendt (Sjøberg, 2009, s. 184). Den

naturvitenskapelige virksomheten er i seg selv et sosialt system der forskere arbeider i fellesskap og i sosiale institusjoner. Erduran og Dagher (2014, s. 137) argumenterer for viktigheten av å inkludere naturvitenskapens sosiale dimensjon i skolens naturfag. De mener at dersom undervisningen utelater denne dimensjonen vil elevene få en begrenset forståelse av hvordan den naturvitenskapelige virksomheten fungerer, og hvordan sosiale strukturer er med på å påvirke utviklingen av naturvitenskapen. I denne dimensjonen fremheves det blant annet at det naturvitenskapelige fellesskapet er avhengig av fagfellevurderinger og åpenhet for å sikre holdbar kunnskap. For få en god forståelse for hva naturvitenskap er, er det naturlig å tilegne seg kunnskap om alle tre dimensjonene. Naturvitenskapens egenart er integrert i hver dimensjon, og for å bli *scientific literate* kreves det kunnskap om alle tre dimensjoner ifølge Driver (1996).

I likhet med Driver, har også Nielsen og Nielsen (2004, s. 156) beskrevet ulike sider ved naturvitenskapen. De påpeker at skolens naturfag bør belyse de ulike sidene fordi det blir for snevert å kun fremstille naturvitenskapen som en «sum av viten». For å legge til rette for et naturfagsklasserom som inkluderer naturvitenskapens ulike sider presenterer Holt og Kvammen (2010, s. 152) fire læringstråder som oppsummerer hvilke naturvitenskapelige kompetanser elevene bør sitte igjen med etter grunnutdanning (se Tabell 1). Læringstrådene er basert på revidert forskningslitteratur og er ment å bidra til å gi en videre ramme for hva det innebærer å beherske naturvitenskap. For at elevene skal beherske naturvitenskap i vid og dyp forstand, anbefales det at naturfagundervisningen fletter alle de fire læringstrådene sammen, slik at hver læringstråd kan bidra til fremgang i de andre. McComas og Clough (2020, s. 5) definerer naturvitenskapens egenart som «en beskrivelse av hvordan den naturvitenskapelige virksomheten fungerer». Dersom man har kunnskap om naturvitenskapens egenart, har man altså kunnskap om hvordan forskere arbeider for å utvikle kunnskap. Med dette kan det argumenteres for at de fire læringstrådene utgjør en stor del av hva naturvitenskapens egenart innebærer.

Tabell 1: De fire læringstrådene (Holt & Kvammen, 2010, s. 152)

---

<b>Læringstråd 1</b>	Forstå, bruke og tolke naturvitenskapelige forklaringer
<b>Læringstråd 2</b>	Produsere og vurdere naturvitenskapelige forklaringer og evidens
<b>Læringstråd 3</b>	Reflektere over hvordan naturvitenskapelig kunnskap utvikles
<b>Læringstråd 4</b>	Delta produktivt i naturvitenskapelig praksis og diskurs

---

## 2.2 Ulike syn på naturvitenskapens egenart

Som tidligere nevnt endres naturvitenskapen med tid og sted, det gjør også begrepet NOS (Lederman et al., 2002). Naturvitenskapen er også en kompleks virksomhet, noe som har ført til diskusjon rundt hva som bør inngå i begrepet NOS og skolens NOS-undervisning (McComas, 2020b, s. 38). NOS er blitt forsket på i mer enn 60 år og det er kommet en rekke forslag til rammeverk som fremhever hvilke NOS-elementer som bør inkluderes i skolens naturvitenskapelige fag (Lederman et al., 2014, s. 973). Jeg vil i det følgende drøfte styrker og svakheter ved konsensusstyret, *whole science* og *family resemblance approach* som rammeverk for NOS-undervisning.

Et mye brukt rammeverk for NOS som har vokst frem er det som omtales som konsensusstyret (*consensus view*). Konsensusstyret presenteres av flere som en liste med påstander som beskriver hva som bør inngå i skolens NOS-undervisning. Det finnes flere varianter av denne listen, noe som er naturlig fordi NOS-begrepet i seg selv er gjenstand for diskusjon. En oversikt over påstander som McComas (2020b, s. 40) har fremhevet i sin versjon av konsensusstyret er gitt i Tabell 2.

Tabell 2: Konsensusstyret som rammeverk til naturvitenskapens egenart (NOS). Hentet fra (McComas, 2020b, s. 40)

- 
- Naturvitenskap skiller seg fra teknologi
  - Naturvitenskapelig kunnskap er tentativ, holdbar og selvkorrigerende.
  - Naturvitenskapen har sine begrensninger
  - Naturvitenskapelig kunnskap baseres på evidens
  - Det er et samspill mellom teorier og lover, men de er ulike kunnskapsformer
  - Det finnes ikke én universell vitenskapelig metode.
  - Forskning innebærer kreativitet
  - Forskning preges av noe subjektivitet
  - Naturvitenskapen påvirkes av sosiokulturell kontekst og omvendt
- 

Lederman et al. (2014, s. 973) og McComas (2020a, s. 24) påpeker at det er blitt brukt mye tid på å diskutere hva som bør inngå i NOS, noe som har forhindret implementering av NOS i skolen. En av de positive sidene med konsensuslisten som fremheves av McComas (2020a) er at den gir undervisere et verktøy for å evaluere NOS-læring, samtidig som den gir både lærer og elever konkrete NOS-elementer som de kan fokusere på. Med et slikt verktøy kan det ifølge McComas bli lettere å inkludere NOS i klasserommet. Lederman et al. (2014) argumenterer for at konsensuslisten er nyttig, fordi listen i seg selv kan bidra til å strukturere komplekse ideer.

Ifølge Lederman et al. (2014, s. 987) kan konsensusliste gjøre NOS mer oversiktlig ved at hver påstand illustrerer et nøkkelaspekt ved NOS. Nøkkelpåstanden kan brukes til å utdype enkelte sider ved naturvitenskapen. For å understreke hvor essensielle lister er i forbindelse med undervisning, påpeker Lederman et al. (2014) at også læreplaner består av lister med læringsmål. Eksempelvis finner vi i den kommende læreplanen i kjemi 17 kompetansemål som elevene skal kunne etter endt opplæring i kjemi 1 (Utdanningsdirektoratet, 2020). Kompetansemål i læreplaner brukes av læreren både til å planlegge undervisning, og vurdere elevene. På samme måte kan konsensusnet ifølge Lederman et al. (2014) bidra til å legge opp til planlagt NOS-undervisning.

Clough (2007) og Matthews (2012, s. 18) mener det er problematisk å liste opp NOS-elementer som deskriptive påstander. En av utfordringene med dette er at NOS kan bli redusert til å være kunnskap som overføres fra lærer til elev, heller enn at elevene får undersøke dem i naturfagsklasserommet. På den måten blir NOS noe elevene skal vite om og kjenne til, istedenfor noe de skal forstå. Clough (2007) har derfor foreslått å gjøre om påstandene i konsensusnet til spørsmål, slik at rammeverket i større grad legger til rette for diskusjon og refleksjon rundt de ulike NOS-elementene. Schwartz et al. (2012) presiserer imidlertid at konsensusnet er ment som et verktøy som kan hjelpe læreren å fremme NOS i klasserommet, noe som betyr at læreren også må ta hensyn til hva forskningslitteraturen sier om hvordan NOS bør undervises. Eksempelvis viser flere studier til at elevene aktivt må reflektere rundt NOS for en effektiv NOS-undervisning (Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Rudge & Howe, 2009). Dermed mener Schwartz et al. (2012) at konsensuslisten ikke er ment som en liste elevene skal få gjengitt, men at læreren skal bruke den for å lettere å kunne legge opp til diskusjon rundt NOS-elementene.

Det kan sies at konsensusnet tar utgangspunkt i domene-generelle aspekter ved NOS, altså aspekter som er felles for alle naturvitenskapelige disipliner. Dette kan være grunnen til at de fleste forskere er enig i at påstandene som inngår i konsensusnet beskriver kun deler av den naturvitenskapelige virksomheten. Hodson (2014, s. 924), Irzik og Nola (2010) og van Dijk (2011) mener at konsensusnet gir en monolittisk fremstilling av naturvitenskapen ved å utelate ulikhetene mellom de forskjellige naturvitenskapelige disiplinene. Eksempelvis er observasjon viktig i alle naturvitenskapelige disipliner, men observasjonens rolle varierer både på tvers av de ulike fagdisiplinene og innenfor hver fagdisiplin. Innenfor biologi kan man for eksempel bruke direkte observasjon for å finne ut hvordan ulike arter opptrer i sitt naturlige miljø, men innenfor fysikk blir direkte observasjon noe mer vanskelig (Kragh, 2008, s. 36-37).

Samtidig kan ikke alle forskningsfelt innenfor biologi undersøkes ved hjelp av direkte observasjon, eksempelvis brukes det flere eksperimentelle teknikker innenfor moderne celle- og molekylærbiologi. Ulikheter innenfor hver fagdisiplin kan knyttes til en høy grad av spesialisering innenfor hvert naturvitenskapelige fagfelt (Bowler & Morus, 2005, s. 254; Kragh, 2008, s. 11) Matthews (2012, s. 18) har foreslått å endre fokus fra *Nature of Science* (NOS) til *Features of Science* (FOS) fordi han mener at påstandene gitt i Tabell 2 er en snever beskrivelse av naturvitenskapens egenart (NOS). Dersom påstandene heller blir sett på som enkelte karaktertrekk (*features*) ved naturvitenskapen, vil det ifølge Matthews være mer tilrettelagt for å inkludere flere karaktertrekk. FOS blir dermed et mer åpent begrep, sammenliknet med NOS. Erduran og Dagher (2014, s. 7) mener at Matthews har gode argumenter for å utvide NOS, men at han ikke gir et tilstrekkelig rammeverk slik at FOS kan implementeres i skoleundervisning. Erduran og Dagher (2014) påpeker at det kan være fordelaktig å gruppere karaktertrekkene under bredere temaer og gi instruksjoner på hvordan karaktertrekkene kan velges ut for å fremme diskusjon om NOS i klasserommet.

Allchin (2011) ser på konsensuslisten som problematisk fordi påstandene ikke kontekstualiseres, noe som kan føre til at påstandene forvrenges eller misbrukes. Et eksempel på dette kan være påstanden «naturvitenskapelig kunnskap er tentativ», som uten kontekst kan brukes for å avfeie den vitenskapelige konsensusen om miljøfarene ved menneskeskapt klimaendring. Schwartz et al. (2012) mener på sin side at Allchin har misforstått ideen bak konsensusnet, og at listen med NOS-påstander ikke er ment å brukes som en oppramsende liste i klasserommet. Som tidligere nevnt må underviseren også ta utgangspunkt i hvordan forskningslitteraturen anbefaler å undervise NOS. Flere av studiene som har undersøkt NOS-undervisning med utgangspunkt i konsensusnet, har brukt vitenskapshistorie eller autentiske lab-oppgaver som kontekst (Khishfe, 2008; Rudge et al., 2014). Både Khishfe (2008) og Rudge et al. (2014) observerte en positiv utvikling av elevenes forståelse av NOS gjennom sine studier.

Som et alternativ til konsensusnet, har Allchin (2011, 2017) foreslått det han omtaler som *whole science*. Allchin mener selv at *whole science* gir et mer nyansert bilde av hva naturvitenskap innebærer. Dette NOS-rammeverket baserer seg på å opparbeide kompetanse i å vurdere påliteligheten til naturvitenskapelige forskningsresultater, samt hvordan påliteligheten opprettholdes. Med tanke på allmenndannelse kan en slik kritisk evne være essensiell ifølge Kolstø (2006). Tanken bak *whole science* er at rammeverket skal gi et innblikk i hvordan naturvitenskapen fungerer, og hvordan den til tider ikke fungerer. Kipnis (2011) påpeker blant annet at feil (*scientific errors*) er en naturlig del av det å forske, og det finnes

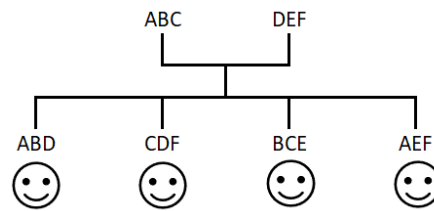
flere eksempler gjennom historien der forskere har gjort feil. Antoine-Laurent Lavoisier (1743–1794) regnes som én av de som oppdaget grunnstoffet oksygen, og han er et godt eksempel på en velkjent naturfilosof (forsker) som også har gjort feil, sett med dagens kjemiøyne. Blant annet behandlet han varme som et stoff og kalte det kalorikk, dette stoffet inkluderte han i sin grunnstofftabell i 1789 (Chang, 2004, s. 65). Kalorikkteorien var anerkjent på begynnelsen av 1800-tallet, men denne ble gradvis erstattet med klassisk termodynamikk senere samme århundre. Siden feil er en naturlig del av naturvitenskapen og kan forekomme gjennom hele forskningsprosessen, mener flere at det er fordelaktig at elever også lærer noe om hvordan disse feilene oppstår og hvordan forskning innebærer usikkerheter (Allchin, 2012; Giunta, 2001; Kipnis, 2011; Kolstø, 2008). Det er imidlertid ikke bare *whole science* som kan ta tak i dette. Konsensus synet inkluderer blant annet påstanden om at naturvitenskapen er tentativ, noe som innebærer at teorier med tiden kan bli forkastet i lys av ny evidens.

*Whole science* vektlegger at elever skal få kompetanse i å vurdere og tolke naturvitenskapelig informasjon. Flere dagsaktuelle saker som man møter på i media har en naturvitenskapelig dimensjon ved seg, eksempler på dette kan være avisartikler om vaksinerings, oljeutslipp eller økologiske matvarer. For å kunne vurdere naturvitenskapelig informasjon trekker flere frem at elever bør få kunnskap om hva som skiller gode argumenter, fra argumenter som i liten grad er underbygget av vitenskapelige metoder (Kolstø, 2006, 2008; Mork & Erlie, 2017, s. 131; Sjøberg, 2009, s. 292-293). Argumentasjon fremmes av flere som en viktig drivkraft for å utvikle pålitelig naturvitenskapelig kunnskap, og derfor må også elever få kompetanse i å vurdere denne argumentasjonen (Daempfle, 2013, s. 33; Mork & Erlie, 2017, s. 18-19; Osborne, 2010). Schwartz et al. (2012) kritiserer *whole science* for å fremstille NOS som et sett med ferdigheter, eksempelvis ferdigheter i argumentasjon. Dette ser de på som lite gunstig fordi de mener at begrepet NOS innebærer mer enn ferdigheter i naturvitenskapelige praksiser. Schwartz et al. mener at NOS er noe man skal ha kunnskap om, og denne kunnskapen kan videre brukes for å vurdere gyldigheten til argumenter eller kilder.

Irzik og Nola (2010) har kritisert konsensus synet fordi den etter deres oppfatning kun omfatter naturvitenskapelig epistemologi, altså hva som kjennetegner den kunnskapen som utvikles. Som et alternativt rammeverk til NOS foreslår Irzik og Nola (2010) det de kaller Family Resemblance Approach (FRA). Jeg vil nå presentere dette rammeverket nærmere og gå inn på hvilke styrker dette rammeverket har, sammenliknet med konsensus synet og *whole science*. Med dette vil jeg underbygge hvorfor jeg har valgt nettopp FRA fremfor de andre NOS-rammeverkene til denne studien.

### 2.2.1 Family Resemblance Approach (FRA)

I en familie er ingen medlemmer identiske, men alle medlemmer deler enkelte likhetstrekk som gjør at de tilhører den samme familien. De har en viss familielikhet (*family resemblance*). På samme måte kan også naturvitenskapelige fag grupperes sammen. Selv om kjemi, biologi og fysikk er tre ulike fag, regnes alle som naturvitenskapelige fordi de har noen likheter, de har en familielikhet (Driver, 1996, s. 26).



Figur 1: I en familie er ingen medlemmer helt identiske, men alle medlemmer deler enkelte likhetstrekk. På samme måte kan også ulike naturvitenskapelige disipliner grupperes sammen.

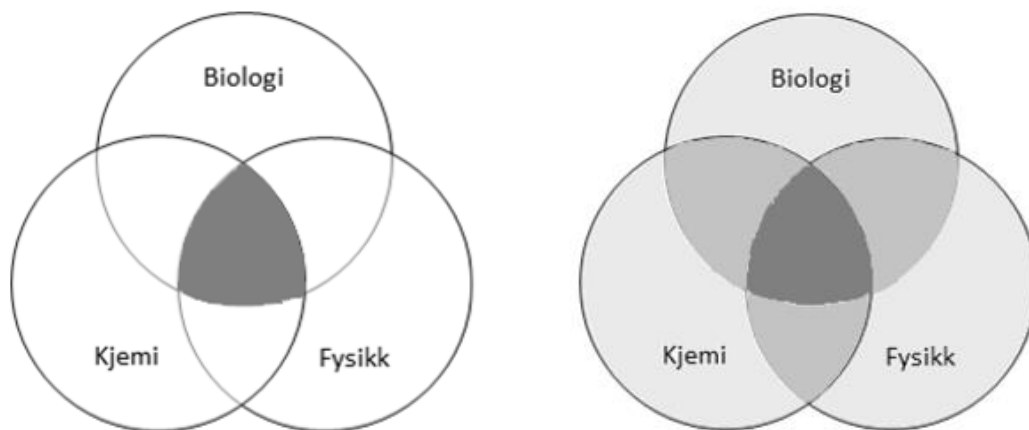
Dette prinsippet har jeg illustrert i Figur 1. Irzik og Nola (2010) brukte prinsippet om familielikhet som et rammeverk for å beskrive NOS, og de kalte rammeverket *Family Resemblance Approach* (FRA). FRA-rammeverket identifiserer ulike NOS-elementer og plasserer dem i åpne kategorier. Kategoriene ble delt inn i to overordnede systemer: *kognitiv-epistemisk system* og *sosio-institusjonelt system*.

Da Irzik og Nola (2010) introduserte FRA-rammeverket tok de utgangspunkt i de fire kognitiv-epistemiske kategoriene: *mål og verdier*, *naturvitenskapelig praksis* (som de omtalte som *activities*), *metoder og metodologiske regler* og *naturvitenskapelig kunnskap*. Noen år etter utvidet Irzik og Nola (2014) rammeverket ved å inkludere de fire sosio-institusjonelle kategoriene *profesjonell aktivitet*, *naturvitenskapelig etos*, *verifisering og formidling*, samt *sosiale verdier*. Basert på Irzik og Nola (2010, 2014) har Erduran og Dagher (2014) videreutviklet FRA-rammeverket ved å supplere tre nye kategorier til det sosio-institusjonelle systemet: *sosiale organisasjoner og interaksjoner*, *politiske maktstrukturer* og *økonomiske systemer*. I tillegg til å utvide rammeverket, har Erduran og Dagher (2014) forsøkt å omsette FRA-rammeverket til skolens naturfagspraksis, ved å gi konkrete forslag til måter å benytte rammeverket i NOS-undervisning.

Erduran og Kaya (2019) mener at en stor fordel med FRA-rammeverket er at det er mulig å fremheve både fellestrekk og ulikheter ved forskjellige naturvitenskapelige disipliner. Med andre ord inkluderer FRA-rammeverket både domenegenerelle og domenespesifikke NOS-elementer. Dette skyldes at FRA kun angir åpne kategorier for NOS, i motsetning til konsensusynet som presenterer konkrete, mer lukkede NOS-påstander. De åpne NOS-kategoriene gir hver underviser mulighet til å velge ut NOS-elementer som passer til undervisningens kontekst, enten de er domenegenerelle eller domenespesifikke. Dersom temaet for en undervisningstime er periodesystemet, kan for eksempel læreren fremme NOS ved å



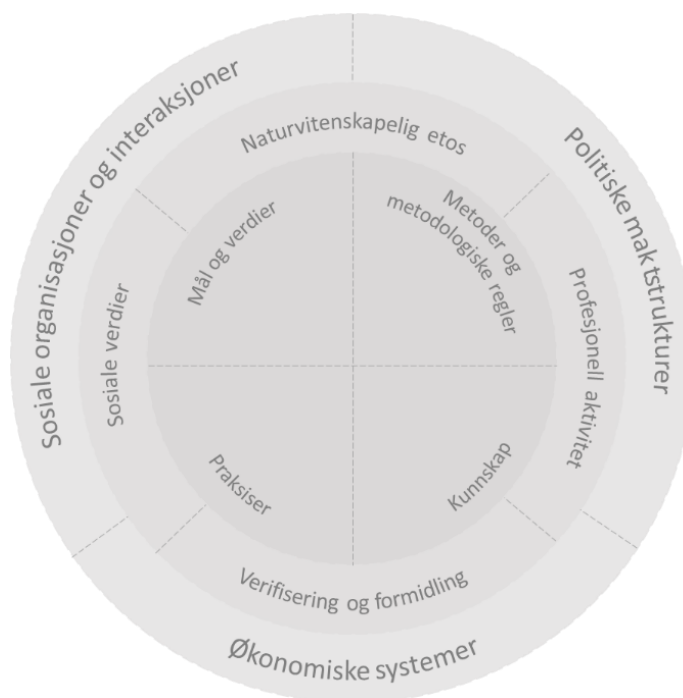
inkludere hvordan periodesystemet har blitt utviklet gjennom tiden. Historien om periodesystemets utvikling er av flere blitt fremmet som et godt utgangspunkt for å belyse NOS (Ledeman et al., 2020, s. 323; Moreno-Martínez & Lykknes, 2019; Niaz, 2016, s. 9-10). I Figur 2 er min egen fremstilling der jeg sammenlikner mengden NOS-elementer som inngår i konsensusynet, og mengden NOS-elementer som kan inngå i FRA-rammeverket. Figuren tar utgangspunkt i tre utvalgte naturvitenskapelige disipliner, og viser at FRA-rammeverket inkluderer flere NOS-elementer enn konsensusynet. Dette ser jeg på som fordelaktig når jeg skal identifisere NOS-elementer i vitenskapshistorie.



Figur 2: Min egen sammenlikning av konsensusynet (til venstre) og Family Resemblance Approach (til høyre). Konsensusynet inkluderer domenegenerelle NOS-elementer. FRA inkluderer både domenegenerelle og domenespesifikke NOS-elementer.

Et viktig poeng for Erduran og Dagher (2014) er at de ulike kategoriene i FRA-rammeverket må behandles som en helhet for å gi et holistisk bilde av naturvitenskapen. Hver kategori belyser ulike dimensjoner av den naturvitenskapelige virksomheten, og det er derfor ikke tilstrekkelig å lære om kun én kategori. Det å få kunnskap om flere sider av naturvitenskapen ble også fremhevet av Driver (1996, s. 13) som sa at kunnskap om både naturvitenskapens produkter, praksiser og sosiale prosesser, er viktig for å oppnå *scientific literacy* (se kapittel 2.1.1). Ifølge Erduran og Dagher (2014, s. 30) bør læreren være klar over samspillet mellom kategoriene i FRA, og tydeliggjøre dette samspillet for elevene i NOS-undervisningen. På samme tid vil det være vanskelig å belyse alle NOS-kategorier i løpet av én undervisningstime, og læreren må derfor velge ut og variere hvilke kategorier som belyses i hver time, over en lenger tidsperiode (Erduran & Dagher, 2014, s. 36) På den måten kan samspillet mellom NOS-kategorier fremheves i løpet av skoleåret, eller over flere klassetrinn.

For å tydeliggjøre at de ulike kategoriene i FRA-rammeverket opptrer som deler av et sammenvevd nettverk har Erduran og Dagher (2014, s. 28) utarbeidet en sirkulær modell som de mener gir et godt bilde på hvordan kategoriene samhandler. Jeg har oversatt og laget en adaptasjon av modellen som er gitt i Figur 3. Modellen består av sirkelskiver som kan vris på etter hvilke kategorier man ønsker å belyse. De stiplede linjene mellom hver kategori skal illustrere at kategoriene flyter over i hverandre.



Figur 3: Kategoriene i «Family Resemblance Approach» (FRA) illustrert som et hjul med roterende sirkelskiver.

Jeg har i forbindelse med studien utviklet et undervisningsopplegg som

skal forsøke å belyse NOS-kategoriene *mål og verdier*, *metodologi og metodologiske regler* samt *naturvitenskapelig praksis*. Jeg vil derfor gi en grundigere beskrivelse av disse kategoriene. De andre kategoriene beskrives kun kortfattet.

### Naturvitenskapens mål og verdier

Erduran og Dagher (2014, s. 52) har foreslått flere mål og verdier som de mener er viktige i skolens NOS-undervisning og som lærerne kan velge å ta utgangspunkt i. Blant disse er målet om å være objektiv, nyskapende, nøyaktig og empirisk underbygge påstander. Flere av disse målene beskrives også av Allchin (2011) som sentrale verdier innenfor forskningsarbeid. I forbindelse med målet om å empirisk underbygge påstander presiserer Erduran og Dagher (2014, s. 98) at det også bør fremheves at empirisk evidens kan fremskaffes på mange ulike måter. Enkelte ganger kan man innhente direkte evidens fra observasjon eller eksperimentering, andre ganger må man lene seg på historisk evidens (*historical evidence*), slik eksempel paleoantropologer gjør. Samtidig som det å empirisk underbygge data er et mål innenfor forskningsarbeid, påpeker Kuhn (1996, s. 23) at forskere arbeider innenfor et forskningsparadigme, der enkelte kunnskaper blir satt til grunn for forskningsarbeidet og legger rammer for hva som kan bygges videre på. Dette kan innebære anerkjente naturvitenskapelige praksiser enten det er lover, teori, eksperimenter eller instrumenter. Synet på universets

oppbygning er et eksempel på et paradigme. I antikken dominerte det som ble omtalt som ptolemeiske verdensbilde som enkelt sagt var en teori om at himmellegemene kretset rundt sola. Dette var en teori som stemte bra med datidens kunnskap, men på 1500- og 1600-tallet ble denne teorien erstattet med det kopernikanske verdensbildet, som sa at jorda og de andre planetene i solsystemet kretset rundt sola (Thurén, 2009, s. 151). En slik helomvelting av et teoretisk utgangspunkt kalles gjerne et paradigmeskift.

Mål og verdier spiller en naturlig rolle i forskningsarbeid, og preger fremveksten og utviklingen av naturvitenskapelig kunnskap (Erduran & Dagher, 2014, s. 42). Det finnes et mangfold av mål og verdier innenfor den naturvitenskapelige virksomheten som forskere styres av. Verdier er blant annet med på å påvirke forskernes teoretiske utgangspunkt, metoder eller innfallsvinkler. Hva som regnes som naturvitenskapelig mål og verdier har som alle andre aspekter ved naturvitenskapen endret seg med tiden. Som tidligere nevnt kan det sies at den moderne vitenskapen vokste frem på 1600-tallet (Bowler & Morus, 2005, s. 23). På denne tiden ble det viktig at kunnskap skulle baseres på observasjoner og erfaringer, og dermed ble det å underbygge påstander gjennom observasjon og eksperimentering et mål innenfor forskning.

På grunn av mangfoldet av mål og verdier finnes det uenighet rundt hvilke mål og verdier forskere skal forholde seg til. Hvilke mål og verdier det tas utgangspunkt i vil også variere mellom de ulike naturvitenskapelige fagfeltene. På grunn av uenigheten er det vanskelig å gi en oppsummerende beskrivelse av hvilke mål og verdier som er en del av naturvitenskapen (Allchin, 1999; Erduran & Dagher, 2014, s. 48). Dette kan også føre til at det blir vanskelig å belyse naturvitenskapens mål og verdier i klasserommet. Som tidligere nevnt åpner FRA-rammeverket opp for at læreren selv kan velge NOS-elementer som passer til undervisningens kontekst, dette gjelder også for kategorien *mål og verdier*. Læreren må selv ta en vurdering på hvilke mål og verdier som kan belyses i løpet av en undervisningstime, samt hvilke elementer som er mulig å belyse gjennom for eksempel en valgt vitenskapshistorisk kontekst.

### **Naturvitenskapelig praksis**

Naturvitenskapelig praksis handler om hvordan forskere arbeider for å finne svar på spørsmål om den naturlige verden. Erduran og Dagher (2014, s. 69) trekker frem observasjon, eksperimentering og klassifisering som veletablerte praksiser innenfor naturvitenskapelige forskning, og det er disse tre som oftest tas opp i klasserommet. Samtidig pekes det på at de naturvitenskapelige praksisene ikke kommer godt nok frem i klasserommet, fordi de utforskende aktivitetene elevene møter på ikke likner ekte forskning (Chinn & Malhotra, 2002).

Såkalte kokebokforsøk der elever blir fortalt hva forskningsspørsmålet er, hvilken prosedyre de skal bruke, hvilken data som skal samles og hvordan dataene skal analyseres speiler i liten grad hvordan forskning drives, men er tradisjonelt sett mye brukt i skolen (Hofstein & Kind, 2012, s. 197).

Ifølge Chalmers (2013, s. 19) har flere en oppfatning av at observasjon er en passiv, privat affære. Med passiv mener han at noen forstår observasjon som simpelthen å åpne øynene og rette blikket mot noe. Med privat mener han at observasjonen blir prosessert og tolket inni vårt eget hode, uten at andre påvirker den. En oppfatning av observasjon som passiv og privat gir lite innsyn i hvordan forskere faktisk benytter seg av observasjon. Observasjon innebærer blant annet å gjøre en fortolkning av det som observeres. Det er ikke alltid at samme fenomen blir oppfattet likt hos alle forskere, noe som kan føre til at ulike forskere trekker forskjellig konklusjoner. Kragh (2008, s. 36) påpeker at hvordan forskere fortolker observasjonene sine avhenger at hvilke forventninger de har på forhånd, samt valg av teoretisk grunnlag. Observasjon og eksperimentering blir ofte sett på som to ulike måter å undersøke naturlige fenomener på (Brandon, 1994). Ifølge Brandon (1994) kommer dette skillet gjerne av tanken om at eksperimentering, i motsetning til observasjon, innebærer en form for manipulering av det som undersøkes. Brandon (1994) mener at skillet mellom observasjon og eksperimentering ikke er så distinkt, men at praksisene går gradvis over i hverandre.

Darian (2003, s. 63) påpeker at klassifikasjon er et sentralt verktøy for å kunne forstå naturen. Det å klassifisere handler om å gruppere sammen erfaringer på en meningsfylt måte (Kwasnik, 1999). Gjennom å klassifisere og organisere kunnskap kan forskeren reflektere, oppdage og skape ny kunnskap. Et eksempel på bruk av klassifisering er hvordan forskere ordnet grunnstoffene og utviklet periodesystemet. Dmitrij Mendelejev (1834–1907) har fått mye av æren for å utvikle periodesystemet som vi bruker i dag, men det skal påpekes at det også var mange andre bidragsytere i utviklingsprosessen, blant annet flere kvinner (Moreno-Martínez & Lykknes, 2019; Niaz, 2016, s. 9; Van Tiggelen & Lykknes, 2019). Dagens periodesystem sorterer grunnstoffene etter økende atomnummer, altså etter økende antall protoner i atomkjernen. På 1860-tallet da Mendelejev organiserte sin grunnstofftabell, plasserte han de grunnstoffene som var kjent i rekkefølge etter økende atomvekt. Det var også blitt observert at grunnstoffenes egenskaper varierte periodisk, så Mendelejev grupperte også grunnstoffer med liknende egenskaper sammen. Periodesystemet gjorde det mulig for datidens kjemikere å forutsi egenskaper til ulike grunnstoffer, samt at det ble et nyttig verktøy for å oppdage nye grunnstoff, eller få en bedre forståelse for de allerede kjente grunnstoffene (Kwasnik, 1999).

Historien om utviklingen av periodesystemet er derfor et godt eksempel på hvordan klassifikasjon har ført til ny kunnskap. Periodesystemet har utviklet seg etter Mendelejev. På Mendelejev sin tid var det omkring 60 kjente grunnstoffer, men med tiden har stadig nye grunnstoff blitt oppdaget. I dagens periodesystem finner vi 118 grunnstoff (Lykknes, 2019). Det å plassere nyoppdagede grunnstoff har vært en utfordring helt siden 1860-tallet. Erduran og Dagher (2014, s. 71) påpeker at skolen ofte reduserer klassifikasjon til en sorteringsaktivitet, og retter lite oppmerksomhet mot hvordan det er et verktøy for å forutsi og utvikle ny kunnskap, noe som er lite heldig da det gir et ufullstendig bilde på hva klassifisering innebærer.

For å få et helhetlig bilde av naturvitenskapelig praksis argumenterer Erduran og Dagher (2014, s. 80) for at elever bør lære om hvordan forskere benytter både observasjon, eksperimentering og klassifikasjon om hverandre, for å utvikle ny kunnskap. Sammen utgjør disse praksisene det Erduran og Dagher kaller kognitiv-epistemiske praksiser. Erduran og Dagher (2014, s. 80) påpeker også at de kognitiv-epistemiske praksisene samhandler med de sosio-institusjonelle praksisene (eksempelvis argumentasjon og verifisering av forskningsresultater) for å utvikle ny kunnskap. Dette er noe læreren bør belyse i undervisningen, ifølge Erduran og Dagher (2014, s. 86)

### **Naturvitenskapens metoder og metodologiske regler**

FRA-kategorien metoder og metodologiske regler handler om konkrete metoder forskere benytter for å finne frem til ny kunnskap, altså metoder som blir brukt for å observere eller eksperimentere (Erduran & Dagher, 2014, s. 91). Dette kan for eksempel være hvordan en klinisk utprøving av legemiddel foregår eller hvordan kjemikere forsøker å syntetisere nye stoffer ved bruk av ulike laboratorieteknikker. Det finnes en rekke metoder innenfor forskning, og valg av metode er blant annet avhengig av hva som skal undersøkes og hvilke mål og verdier forskeren har. Eksempelvis har det tradisjonelt sett vært lite eksperimentering gjennom manipulasjon av variabler innenfor astronomi. Kjemisk forskning er derimot mer åpen for eksperimentering. En gitt metode er begrenset og kan bare besvare et begrenset antall spørsmål. Dette er noe Erduran og Dagher (2014, s. 105) mener er viktig at elevene blir gjort oppmerksomme på gjennom naturfagundervisningen.

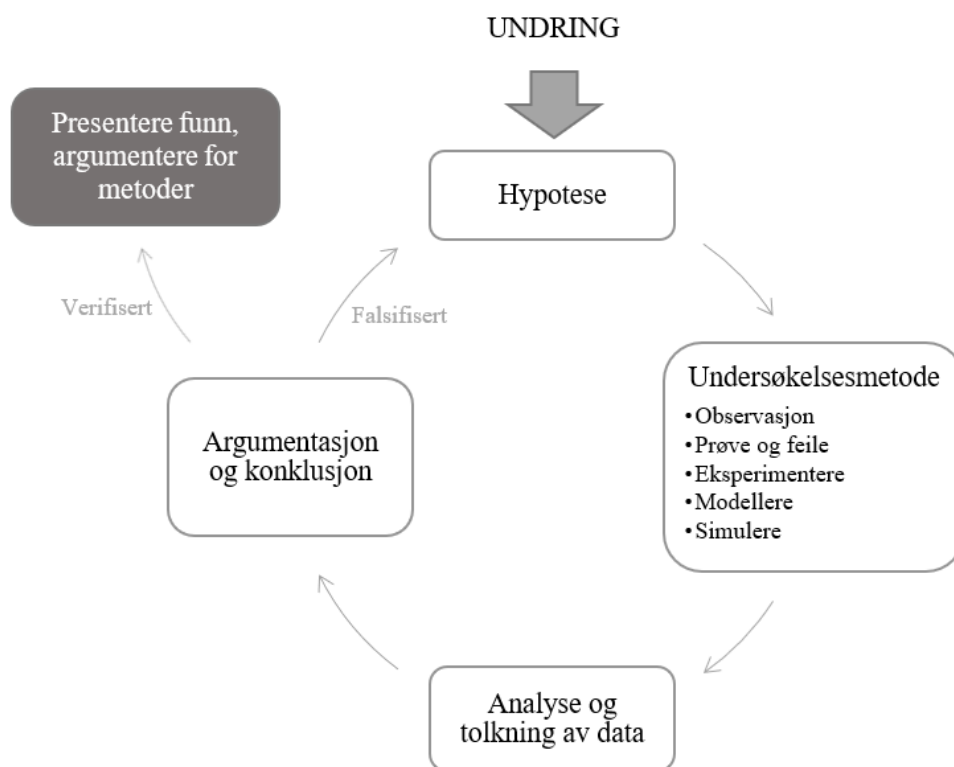
Det å si at det finnes en fastsatt, universell metode innenfor naturvitenskapen er urealistisk, fordi metodene varierer både mellom fagdisipliner og innad i en disiplin (Chalmers, 2013, s. 149-150). Blant annet kan kjemifaget deles inn i eksempelvis biokjemi, materialkjemi og fysikalsk kjemi, der hver innebærer egne teknikker som passer til det som skal undersøkes. Som

tidligere nevnt er naturvitenskapen også stadig i forandring, noe som gjør at metoder innenfor forskning kan gradvis endre seg. Et eksempel fra historien som viser dette er oppfinnelsen av teleskopet på 1600-tallet. Tidligere hadde naturfilosofer som forsket på verdensrommet kun brukt sine egne sanser for å beskrive himmellegemer (Kragh, 2008, s. 37). Da teleskopet ble oppfunnet ble det mulig å forsterke de menneskelige sansene, og måten man observerte verdensrommet på endret seg. Blant annet ble det mulig for Galileo Galilei (1564-1642) å observere mørke flekker på solas overflate (Shapin, 1996, s. 15-16). Galilei var imidlertid ikke sikker på hva disse mørke flekkene var, men observerte at de var i bevegelse. Flere av samtidens naturfilosofer forklarte at de mørke flekkene med var planeter som gikk med en betraktelig avstand i bane rundt sola, men gjennom matematiske beregninger konkluderte Galileo med at de mørke flekkene måtte være på, eller i umerkbar liten avstand fra sola. De mørke flekkene som Galilei observerte, er det vi i dag kjenner som solflekker. Historien viser at fremveksten av nye vitenskapelige instrumenter kan føre til at metoder innenfor en fagdisiplin endrer seg. I dag brukes det flere instrumentelle analysemetoder innenfor kjemisk forskning, blant annet kjernemagnetisk resonans-spektroskopi (NMR) og massespektrometri (MS).

Naturvitenskapelig forskning består som tidligere nevnt av et mangfold av metoder som forskere tar i bruk for å samle inn data som kan være med på å utvikle ny kunnskap. En misoppfatning elever ofte har er at det finnes en universell steg-for-steg metode som alle forskere bruker når de arbeider (Erduran & Dagher, 2014, s. 92; McComas, 2020b, s. 50). I flere lærebøker står det ofte formulert *den vitenskapelige metoden*, i bestemt form entall. Det finnes flere eksempler på dette i norske lærebøker. Eksempelvis skriver *Kosmos SF* fra 2020 følgende i en uthevet faktaramme «Den naturvitenskapelige metoden er en måte å jobbe systematisk på. Den kan fremstilles slik: hypotese → undersøkelser/eksperimenter/observasjoner → resultater → analyse/tolkning → konklusjoner» (Heskestad et al., 2020, s. 12). Her blir naturvitenskapelig metode beskrevet som en standard lineær prosedyre, noe som ifølge flere er ganske vanlig i skolens naturfag (Abd-El-Khalick et al., 2008; Lunetta et al., 2007, s. 396; McComas, 2020b, s. 49). Mange er kritiske til denne måten å presentere forskningsmetoder på, fordi de mener at den gir et naivt syn på hva forskning innebærer (Erduran & Dagher, 2014, s. 93; Giunta, 2001; McComas, 2020b, s. 49).

Flere mener at mangfoldet av naturvitenskapelige metoder bør fremheves i skolen (Erduran & Dagher, 2014; Irzik & Nola, 2010). For å få til dette argumenteres det for at læreren bør presisere at naturvitenskapelig kunnskap blir konstruert og utviklet gjennom kritisk tenkning og bruk av utforskende arbeidsmetoder. En slik fremstilling gis i noen grad av læreboka

*Naturfag SF* fra 2020, ved at begrepet «den naturvitenskapelige metoden» ikke blir benyttet. Boka bruker heller begrepet «utforskende arbeidsmetode», og presiserer at en undersøkelsesmetode kan involvere «observasjon, prøve og feile, eksperimentere, modellere og simulere» (Brandt et al., 2020, s. 10). På den måten synliggjøres ulike metoder og tilnæringer under forskningsarbeidet til en viss grad. Samtidig skal det sies at *Naturfag SF* illustrerer utforskende arbeidsmetode gjennom en sirkulær figur der man begynner med undring og en hypotese, og avslutter med å verifisere eller falsifisere hypotesen. Jeg har laget en adaptasjon av denne illustrasjonen, den er gitt i Figur 4. Giunta (2001) mener at en slik sirkulær modell kan være misvisende, fordi man kan få inntrykk av at forskning innebærer en ordnet progresjon. Giunta (2001) anbefaler heller at elevene får innblikk i hvordan de naturvitenskapelige metodene er deler av et stort nettverk, der observasjoner gjort av én forskergruppe, kan bidra til nye hypoteser eller eksperimenter hos andre forskergrupper. I tillegg påpeker Brandon (1994) at ikke alle eksperimenter innebærer hypotesetesting. Dette kommer i liten grad frem fra modellen i Figur 4, da det ser ut som det alltid er en hypotese som skal undersøkes.



Figur 4: Utforskende arbeidsmetode illustrert som en syklisk prosess. Basert på Brandt et al. (2020, s. 10)

I tillegg til et mangfold av metoder, finnes det en rekke metodologiske regler knyttet til forskningsarbeid. Erduran og Dagher (2014, s. 91) fremhever blant annet å konstruere testbare hypoteser, velge teorien med best forklaringssevne, forkaste teorier som ikke stemmer overens

med funn og å bruke blindprøver som kontrolltest ved forskning på mennesker som metodologiske regler innenfor naturvitenskapen. De metodologiske reglene innenfor naturvitenskapen kan være av ulik art (Erduran & Dagher, 2014, s. 104). Eksempelvis kan noen metodologiske regler ha en etisk dimensjon, andre fokuserer på hvordan undersøkelser skal gjøres for å redusere muligheten for feil. Allchin (2012) presenterer ulike typer feil som kan forekomme under forskningsarbeidet, og hvordan disse kan reduseres ved hjelp av ulike metoder. Eksempelvis trekker Allchin frem placeboeffekten som en mulig feilkilde innenfor medisinsk forskning. For å undersøke mulig placeboeffekt under kliniske studier av legemidler kan forskere benytte seg av blindprøver. Allchin (2012) foreslår å bruke vitenskapshistorie for å lære elever at kunnskapen vår stadig er under utvikling, og hvordan naturvitenskapen arbeider for å avdekke feil for å forbedre kunnskapen. Kipnis (2011) fremhever praktiske oppgaver i klasserommet som en mulig måte å lære elevene noe om hvordan feil kan forekomme, og unngås, innenfor forskningsarbeid. Kipnis mener at læreren bør gå vekk fra praktiske oppgaver der målet er å få resultater som ligger nærmest mulig teorien, da dette kan gi en misoppfatning av at feil aldri skal skje. I stedet foreslår Kipnis at læreren oppmuntrer elevene til å forklare hvorfor resultatene avviker fra teorien. På den måten kan elever lære noe om hvordan resultater avhenger av valg av instrument, materiale og eksperimentell fremgangsmåte. Erduran og Dagher (2014, s. 105) foreslår at elever selv planlegger og gjennomfører eksperimenter i klasserommet, slik at de kan tilegne seg kunnskap om de ulike metodene forskere tar i bruk. En slik tilnærming kan knyttes opp mot begrepet utforskende aktiviteter som blant annet vektlegger at elever skal «prøve ut og vurdere egne formuleringer» (Mestad, 2019, s. 238)

Erduran og Dagher (2014, s. 109) mener at elever kan få en dypere forståelse av hva forskning innebærer, og hvor komplekst vitenskapelig arbeid kan være, dersom de lærer om mangfoldet og sammenhengen mellom ulike vitenskapelige metoder.

### **Resterende kategorier i FRA-rammeverket**

Kategorien *naturvitenskapelig kunnskap* omhandler de ulike formene for kunnskap som naturvitenskapen utvikler. Teorier, modeller og lover (TLM) er kunnskapsformer som har ulike roller, men som henger sammen og utfyller hverandre slik at ny kunnskap kan utvikles og valideres (Erduran & Dagher, 2014, s. 113). En teori forsøker å gi en dypere forståelse av verden rundt oss, ved for eksempel å forklare hvorfor naturlig fenomener opptrer (Kragh, 2008, s. 54). Teorier kan også være veldig ulike og noen teorier er mer akseptert enn andre. Evolusjonsteorien er et godt eksempel på en veletablert teori som er akseptert i forskermiljøet, teorien om kald fusjon er imidlertid mindre akseptert (Erduran & Dagher, 2014, s. 117). En



naturvitenskapelig lov viser til en empirisk sammenheng, den gir kun en beskrivelse av hva som er observert, og ikke en forklaring på hvorfor det observerte skjer (Sjøberg, 2009, s. 73). Samtidig påpeker Scerri (2000) at begrepet «lov» ikke er entydig fordi ulike naturvitenskapelige fagfelt er forskjellig. Innenfor kjemien anser man den periodiske lov som en vitenskapelig lov. Den periodiske lov viser at kjemiske egenskaper gjentas etter bestemte intervaller dersom grunnstoffene er ordnet i rekkefølge etter stigende atomnummer. Dette vil kanskje ikke bli regnet som en lov innenfor fysikk, fordi den ikke defineres ved hjelp av matematikk. Fysiske lover, for eksempel Newtons lover, defineres ved hjelp av matematikk. Et eksempel på TLM innenfor kjemifaget er atomteorien, den periodiske lov og atommodeller. I klasserommet blir det sjeldent presisert hva som er forskjellen på teori og lov (Erduran & Dagher, 2014, s. 114), og det er kanskje ikke nødvendig for elevene heller, men det kan være et poeng å fremheve at det finnes ulike former for vitenskapelige teorier, og at disse er akseptert i ulik grad i forskersamfunnet. I tillegg mener flere at elever bør få et innblikk i hvordan ulike teorier og lover har utviklet seg gjennom tiden.

Kategorien *profesjonelle aktiviteter* tar for seg aktivitetene forskere gjør i et profesjonelt forskerfellesskap. Dette innebærer blant annet å delta på konferanser, presentere funn, publisere funn, skrive prosjektbeskrivelser og søke om økonomisk støtte (Irizik & Nola, 2014, s. 1006). Erduran og Dagher (2014, s. 139) mener at det er gjennom de profesjonelle aktivitetene at forskere i stor grad kvalitetssikrer hverandres arbeid. Det kan sies at naturvitenskapen ble profesjonalisert omkring det 18. århundre gjennom blant annet universitetene, som på denne tiden begynte med å inkludere naturvitenskapelige fag. Med dette ble det etablert egne lønnede stillinger for folk som kunne undervise naturvitenskap (Sjøberg, 2009, s. 249). Dermed kan det sies at det å drive med naturvitenskap ikke lenger var en hobby, men et yrke. Erduran og Dagher (2014, s. 139) foreslår at elever kan lære om den profesjonelle dimensjonen av naturvitenskapen ved å gjennomføre liknende profesjonelle aktiviteter i klasserommet, og trekke linjer til hva forskere gjør. Dette kan for eksempel gjøres ved at elevene skal finne et tema de ønsker å undersøke, for deretter å skrive en prosjektbeskrivelse. Dersom elevene får gjennomført undersøkelsene sine, kan de presentere funnene for resten av klassen gjennom noe som kan likne en forskningskonferanse. På den måten kan elevene bli mer bevisst på hvordan forskere opptrer, tenker og kommuniserer med hverandre.

*Det naturvitenskapelige etos* innebærer et sett med holdninger som det forventes at forskere følger både i sitt eget forskningsarbeid, og i møte med kollegaer og andre forskere (Irizik & Nola, 2014, s. 1007). Merton (1973) beskriver fire normer som utgjør det naturvitenskapelige

etos: kommunisme, universalisme, nøytralitet og organisert skeptisisme. Universalisme går ut på at resultatet av forskningen skal være uavhengig av hvem som gjør forskningen (Merton, 1973, s. 270). Dette betyr at sosial bakgrunn, kjønn, etnisitet eller nasjonalitet ikke skal ha påvirkning på hvordan forskningen vurderes. Alle forskere skal bli vurdert etter kriterier som er satt på forhånd av forskningsprosessen. Kommunisme handler om at den naturvitenskapelige kunnskapen i utgangspunktet skal deles med alle (Merton, 1973, s. 273). Ved at kunnskap offentliggjøres og informasjon utveksles, blir det i større grad mulighet for andre å videreutvikle kunnskapen. Samtidig påpeker Erduran og Dagher (2014, s. 142) at dagens naturvitenskap kan påvirkes av konkurranse mellom forskningsgrupper, noe som kan føre til et visst hemmelighold av resultater. Nøytralitet handler om at alle forskere skal søke å være objektive under arbeidet sitt (Merton, 1973, s. 276). Dette betyr at egeninteresser ikke skal påvirke forskningen. Organisert skeptisisme handler om kvalitetssikring av forskningsresultater gjennom systematisk kritikk av forskningsarbeidet (Merton, 1973, s. 277). Både Irzik og Nola (2014, s. 1007) og Erduran og Dagher (2014, s. 140) trekker frem Mertons normer som en grunnleggende del av kategorien *den naturvitenskapelige etos*. Allchin (2012) peker på at læreren bør belyse hvordan forskere analyserer eget og andres arbeid for feil, altså gi elevene et innblikk i organisert skeptisisme. Ved at elever lærer om naturvitenskapens etiske normer kan elever få en dypere forståelse av kvalitetssikring, samt påliteligheten til kunnskapen som utvikles.

Etter at forskere har gjennomført vitenskapelige undersøkelser vil arbeidet deres bli gransket og validert av det naturvitenskapelige fellesskapet, disse prosessene inngår i kategorien *sosial verifikasjon og formidling* (Erduran & Dagher, 2014, s. 141). Gjennom konferanser og artikler blir vitenskapelige funn gjennomgått, kritisert og evaluert. Når forskere kritiserer hverandres resultater er det som regel fordi det er blitt oppdaget svakheter ved eller begrensninger i forskningsresultatet. De fleste forskere synes derfor at det er nyttig å få kritikk, fordi det bidrar til å forbedre arbeidet (Mork & Erlien, 2017, s. 131). Som tidligere nevnt er også det å ta feil en naturlig del av naturvitenskapen, og feil kan skje gjennom hele forskningsprosessen. Gjennom fagfellevurderinger før publisering av forskningsresultater kan man bidra til å sikre pålitelige resultater, og faglig kvalitet, ved at eksperter på fagfeltet vurderer forskningens metoder og konklusjoner (Mork & Erlien, 2017, s. 19; Sjøberg, 2009, s. 249). Prosessene knyttet til publisering av vitenskapelige funn kan sies å være et resultat av organisert skeptisisme, som tidligere er blitt beskrevet som en norm innenfor den naturvitenskapelige virksomheten.

Den naturvitenskapelige virksomheten forholder seg ikke bare til kognitiv-epistemiske verdier, men også *sosiale verdier*. Irzik og Nola (2014, s. 1008) fremhever frihet, respekt for miljøet og nytte for samfunnet som noen av de viktigste sosiale verdiene som forskere streber etter å ivareta.

Kategorien *sosiale organisasjoner* handler om at naturvitenskapen er sosialt organisert gjennom ulike institusjoner (Erduran & Dagher, 2014). Det innebærer at forskere arbeider sammen i institusjoner som universitet, forskningssentre og private bedrifter. Kategorien gir et innblikk i hva det innebærer for en forsker å være ansatt, eller ansetter, samt hvordan institusjonens struktur og dynamikk påvirker hvordan forskerne arbeider sammen.

*Politisk maktstruktur* handler om at naturvitenskapen påvirkes av det politiske systemet som den opptrer i. Dette kan være politiske føringer (statlig myndighet) eller føringer om rase og kjønn (Erduran & Dagher, 2014, s. 146). Vitenskapshistorie gir flere eksempler på hvordan blant annet kvinner har blitt ekskludert fra naturvitenskapen. Royal Society i London (etablert i 1660) og Académie des Sciences i Paris (etablert i 1666) ble utover 1700-tallet betydningsfulle institusjoner for å praktisere, formidle og profesjonalisere vitenskap (Bowler & Morus, 2005, s. 35; Brandt & Nordal, 2010). Kvinner ble imidlertid nektet medlemskap, selv om de hadde bidratt med vitenskapelige fremskritt (Schiebinger, 2003, s. 187; Watts, 2007, s. 187). Selv Marie Curie (1867–1934), som hadde vunnet to nobelpriser (en i kjemi og en i fysikk) ble aldri tatt opp i Académie des Sciences. Det skulle ta over to århundrer før de to vitenskapselskapene tok opp sine første kvinnelige medlemmer. Royal Society fikk sitt første kvinnelige medlem i 1945, og Académie des Sciences tok opp sitt første kvinnelige medlem i 1979. Naturvitenskapen har ikke bare diskriminert kvinner opp gjennom historien, men naturvitenskapelige teorier har også blitt brukt for å rettferdiggjøre rasisme (Sjøberg, 2009, s. 284). Et eksempel på dette er frenologien på 1800-tallet. Som tidligere nevnt var frenologi en teori som gikk ut på at en persons oppførsel kunne avleses fra hodeskallen (Bowler & Morus, 2005, s. 360-361). Dersom en person var velutviklet og intelligent ville hodeskallen være stor, og en mindre intelligent person ville ha mindre hodeskalle (Bowler & Morus, 2005, s. 421). Teorien ble brukt som grunnlag for å utnevne europeere som overlegen andre etnisiteter. I avsnittet om det vitenskapelige etos ble det sagt at naturvitenskapen skal forsøke å være objektiv og nøytral, men forskerne preges også av samfunnet og de politiske maktstrukturene som forskningen skjer i. Dette mener Erduran og Dagher (2014, s. 148) at elevene bør få et innblikk i.

Kategorien *økonomiske systemer* fremhever hvordan forskning er avhengig av finansiering. Dersom et forskningsprosjekt ikke får økonomisk støtte, vil det være vanskelig å gjennomføre prosjektet. Kragh (2008, s. 78-82) trekker frem at det på 1900-tallet skjedde en voldsom utvikling innenfor fagfeltet fysikk, mye takket være fremveksten av nye og sofistikerte naturvitenskapelige instrumenter. Dette førte til at forskere i større grad ble avhengig av finansiering. Kolstø (2008) er også blant dem som påpeker at dagens forskere i stor grad er avhengig av økonomisk støtte fordi forskningsprosjekter ofte er omfattende og krever dyre instrumenter. I tillegg skal det påpekes at forskere som regel er ansatt ved en institusjon, og får lønn for å delta i forskningsprosjekter. Erduran og Dagher (2014, s. 149) mener at det er viktig å lære elevene noe om hvilken rolle økonomi har innenfor forskning. Elever skal i skolen utvikle seg til selvstendige individer som kan delta i et demokratisk samfunn. Dette kan blant annet innebære at man må ta stilling til hva slags prosjekter staten skal støtte økonomisk.

### 2.3 Undervisning av NOS

Flere forskere har argumentert for, og empirisk underbygget, at NOS bør undervises på en eksplisitt og refleksiv måte (Bell et al., 2003; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Rudge & Howe, 2009; Williams & Rudge, 2016). Eksplisitt undervisning av NOS refererer til planlagte undervisningsaktiviteter som behandler NOS-aspekter på en åpen måte i klasserommet. Det betyr at læring av NOS ikke er et biprodukt av undervisningen, men en intensjonell del av det læreren planlegger. I tillegg er det slik at elever sjeldent oppdager NOS-aspekter som dukker opp i undervisningen helt på egenhånd. Derfor mener blant annet Khishfe og Abd-El-Khalick (2002) at læreren bør hjelpe til å belyse NOS-aspektene elevene møter på i klassen. Refleksiv undervisning av NOS handler om å gi elevene mulighet til å reflektere over sin egen NOS-læring. En mulig måte å gjøre dette på er å først introdusere NOS-elementer for elevene, for deretter å gi dem muligheten til å reflektere over NOS gjennom for eksempel en naturfaglig aktivitet (Ledeman et al., 2020). Clough (2020, s. 519) er enig i at læreren må assistere elevene slik at de kan reflektere over NOS.

Khishfe og Abd-El-Khalick (2002) undersøkte hvor effektiv NOS-undervisningen var på to elevgrupper. Den ene gruppen deltok i en implisitt undervisning av NOS, som innebar at NOS ikke er et planlagt læringsmål, men blir et biprodukt av undervisningen. Med en slik metode hjelper læreren sjeldent elevene med å oppdage NOS-aspekter. Gruppe nummer to fikk en eksplisitt-refleksiv NOS-undervisning. Resultatet viste at gruppen som fikk eksplisitt-refleksiv NOS-undervisning viste bedre forståelse av NOS-aspektene som studien hadde fokusert på.

### 2.3.1 NOS gjennom en vitenskapshistorisk kontekst

Forskningsslitteraturen er rik på eksempler som fremhever at vitenskapshistorie kan bli brukt for å undervise NOS. Allchin et al. (2014) er blant dem som taler for å bruke vitenskapshistorie for å undervise NOS. Han mener at vitenskapshistorie spesielt er godt egnet for å gi et innblikk i naturvitenskapens prosesser, i tillegg til å vise naturvitenskap som en virksomhet der forskere arbeider for å finne ut av noe. Kolstø (2008) trekker frem at vitenskapshistorie kan belyse hvordan naturvitenskapen blir påvirket av samfunnet, og motsatt. Et eksempel på dette finner vi blant annet i forbindelse med andre verdenskrig, og hvordan forskere arbeidet under Manhattan-prosjektet for å utvikle atombomben. Manhattan-prosjektet kan regnes som en av de første store, statlig finansierte vitenskapsbaserte prosjektene (Reed, 2014, s. 437). Det historiske eksempelet er med på å illustrere hvordan politiske og institusjonelle interesser kan styre hva det forskes på gjennom økt finansiering til ett forskningsområde. Jeg vil derfor argumentere for at historien bak Manhattan-prosjektet gir innblikk i økonomiske systemer, politiske maktstrukturer og sosiale organisasjoner. Et annet eksempel som også kan illustrere de sosio-institusjonelle systemene er romkappløpet mellom USA og Sovjetunionen, som oppstod i kjølvannet av «Sputnik-sjokket» i 1957 (Bowler & Morus, 2005, s. 482).

Flere studier har vist at vitenskapshistorie kan hjelpe elevene å få en bedre forståelse av hvordan empirisk evidens legger grunnlaget for naturvitenskapelig kunnskap, hvordan forskere benytter seg av eksperimentering, hvordan forskernes tolkning av naturvitenskapelige funn ikke er fullstendig objektiv, og hvordan naturvitenskapen påvirkes av den sosiokulturelle konteksten den drives i (Irwin, 2000; Kim & Irving, 2010; Lin & Chen, 2002; Rudge et al., 2014). Irwin (2000) undersøkte hvor effektiv NOS-undervisning var på to «testgrupper» og én kontrollgruppe. Alle gruppene bestående av 14 år gamle elever. Alle gruppene fikk innføring i atomteori, men vitenskapshistorie ble kun implementert i undervisningen hos de to testgruppene. Resultatene viste at de tre gruppene hadde tilsvarende forståelse av hva atomteori gikk ut på, men testgruppene viste bedre forståelse for hva vitenskapelige teorier er, samt at naturvitenskapelig kunnskap er tentativ. Lin og Chen (2002) undersøkte fordelene med å undervise kjemi gjennom vitenskapshistorie på lærerstudenter. Deres resultater viste at lærerstudentene som hadde blitt undervist gjennom rike vitenskapshistoriske kontekster hadde en bedre forståelse av hvordan naturvitenskapelige observasjoner er teoriladd og hvilken funksjon teorier her. Kim og Irving (2010) undersøkte effekten av å inkludere vitenskapshistorie i undervisning om genetikk. Deltakerne var elever i 10. klasse. Testgruppen arbeidet med genetikk innenfor en historisk kontekst, de ble introdusert for tidligere ideer om

arvelighet og Gregor Mendels sitt arbeid, samt at det ble benyttet flere elevaktiviteter underveis. Kontrollgruppen ble ikke introdusert for vitenskapshistorie. Begge gruppene viste en bedre forståelse for genetik etter endt kurs. Testgruppen var imidlertid den gruppen som i størst grad viste en bedret forståelse av flere NOS-elementer: empirisk underbygge kunnskap, kreativitetens rolle, at observasjon er teoriladd.

Allchin et al. (2014) mener at vitenskapshistorie i seg selv ikke er tilstrekkelig for å gi en god forståelse av NOS, og derfor trekker de frem at vitenskapshistorie bør kombineres med dagsaktuelle saker (*contemporary cases*) eller utforskende arbeidsmåter (*inquiry*). Ved å kombinere ulike tilnæringer til NOS kan NOS-elementene bli grundigere belyst. Klassen og Klassen (2014) mener blant annet at dersom læreren bruker elevaktiviteter som supplement til vitenskapshistorie, kan det bidra til å belyse historiens naturvitenskapelige spørsmål, problemstillinger og utfordringer. Neumann et al. (2020, s. 328) og Clough (2020, s. 519) mener at det er best om NOS-undervisningen integreres som en del av det kjemifaglige innholdet, altså knytte kjemifaglig kunnskap sammen med diskusjon rundt NOS.

Flere trekker frem at det å bruke vitenskapshistorie som en kontekst til NOS, kan være utfordrende, fordi det krever at historien blir presentert på en nyansert og grundig måte (Allchin, 2003; Milne, 1998). Dette krever at læreren har både kunnskap innenfor fagfeltet NOS, og innenfor vitenskapshistorie. Flere har påpekt at mange vitenskapshistoriske fortellinger er romantisert og gir en svært forenklet fremstilling av den naturvitenskapelige prosessen (Allchin, 2004; Klassen & Klassen, 2014, s. 1521). Selv om fortellingen er basert på virkelige hendelser gir de et forvridt bilde av den naturvitenskapelige virksomheten. Allchin kaller slike fortellinger pseudohistorie, da de utgir seg for å være historie uten egentlig å gi et riktig bilde av selve historien. Allchin mener pseudohistorie, som pseudovitenskap, kan fremme falske ideer om naturvitenskapen. Pseudovitenskap gir gjerne et forvrengt bilde av naturvitenskapelige produkter, pseudohistorie på sin side gir gjerne feil bilde av NOS.

Som tidligere nevnt unnlater ofte vitenskapshistorien som presenteres i klasserommet å snakke om feil og blindspor i naturvitenskapen, noe som er ugunstig i forbindelse med læring om NOS (Leite, 2002; Milne, 1998; Tolvanen et al., 2014). Dette kan gi et bilde av naturvitenskapen som en kumulativ prosess der naturvitenskapen gradvis utvikler seg til det bedre, og at nye teorier uten problemer erstatter gamle (Bowler & Morus, 2005, s. 1-2; Klassen & Klassen, 2014). Astrologi, alkymi og frenologi anses i dag som pseudovitenskap, men en gang i tiden ble disse ansett som vitenskapelige (Allchin, 2012; Bowler & Morus, 2005, s. 34, 419). Selv om disse ikke anses som vitenskap i dag kan slike tilfeller gi et godt utgangspunkt for å lære elevene noe

om hva som gjør moderne naturvitenskap til *naturvitenskap*. Det å ta feil en naturlig del av all forskning, og en del av kunnskap utviklingsprosessen. Dersom elevene ikke lærer om hvor vanlig det er med slike blindspor, vil de kunne få et naivt syn på hva forskning innebærer, og hvordan kunnskap blir til og blir etablert. (Allchin, 2004)

Flere studier har pekt på at vitenskapshistorie i lærebøker gir et forvrengt bilde på NOS (Knain, 2001; Leite, 2002; Moreno-Martínez & Lykknes, 2019). Et eksempel på dette er måten lærerens bok av Naturfag 8 (Steiniger et al., 2020) fremstiller utviklingen av periodesystemet. I lærerens bok står det følgende: «På midten av 1800-tallet visste kjemikerne om 63 grunnstoffer. Etter mer enn ti år med grundige studier av disse lagde russeren Mendelejev en tabell over grunnstoffene (...) Mendelejev brukte det han visste om de 63 kjente grunnstoffene, til å sortere dem i grupper (...)». I fortellingen blir det ikke nevnt en eneste annen forsker i forbindelse med utviklingen av periodesystemet, selv om det i realiteten kan fremmes hele seks «oppdagere» av periodesystemet (Lykknes, 2019). Det at flere forskere på samme tid arbeidet med å systematisere grunnstoffene skyldtes blant annet at antall oppdagede grunnstoffer hadde økt, samt at historiens første kjemikongress i 1860 opprettet et felles system for molekylformler og atomvektbestemmelser. Måten lærerens bok av Naturfag 8 fremstiller Mendelejev som eneste mann som arbeidet med å systematisere grunnstoffene, gir lite innsyn i datidens vitenskapelige kontekst.

Flere trekker frem at det ofte er lett å fremstille vitenskapshistorie gjennom en *Whiggish* tilnærming (Klassen, 2006). Dette betyr at man ser tidligere kunnskap i lys av ny kunnskap, med en implisitt antakelse om at den nye kunnskapen er overlegen den gamle. Denne måten å fremstille vitenskapshistorie på har blitt kritisert fra flere hold (Mayr, 1990). Grunnen til den sterke kritikken er at *whiggish* historiefortelling ikke tar hensyn til at tidligere forskere arbeidet under en helt annen sosiokulturell kontekst, med helt andre standarder og muligheter enn dagens forskere. Klassen og Klassen (2014) mener at læreren bør presentere vitenskapshistorie på en slik måte at forskeren som portretteres i historien blir respektert. Videre mener de at det er viktig at vitenskapshistorie blir behandlet innenfor sin sosiokulturelle kontekst.

### 2.3.2 Oppsummering av forskningslitteraturens anbefalinger

#### **Anbefalinger for NOS-undervisning**

- Kontekstualisere NOS, eksempelvis gjennom vitenskapshistorie
- Eksplisitt og reflektiv NOS-undervisning
- NOS som en integrert del av det kjemifaglige

#### **Anbefalinger knyttet til å bruke vitenskapshistorie som inngang til NOS**

- Ikke presentere historien anekdotisk
- Unngå heltedyrkelse
- Unngå *Whig History*
- Godt presentert vitenskapshistorie kan bidra til å belyse både kognitiv-epistemiske og sosio-institusjonelle NOS-aspekter



### 3 Historien om utviklingen av termometeret

I dette kapittelet vil den vitenskapshistoriske konteksten for studiens undervisningsopplegg bli presentert. Siden *Inventing Temperature* av Hasok Chang (2004) legger grunnlaget for historien som presenteres, vil ikke den bli referert til i løpende tekst i dette kapittelet. Kilder som er brukt som supplement vil bli sitert fortløpende. Innledningsvis gjør jeg rede for hvorfor utviklingen av termometeret ble valgt som historisk kontekst (3.1). Videre blir boken *Inventing Temperature* presentert (3.2), før utvalgte episoder fra historien om termometeret bli presentert (3.3). Episodene er blitt valgt på bakgrunn av hva jeg så på som relevant å bruke som kontekst i et undervisningsopplegg for kjemielever. Enkelte deler av historien som Chang har presentert så jeg på som for komplisert og krevende å bygge et undervisningsopplegg rundt. Avslutningsvis blir historiens NOS-elementer identifisert ved hjelp av FRA-rammeverket (3.4). Dette legger grunnlaget for undervisningsopplegget som bruker historien om termometeret som inngang til naturvitenskapens egenart (se kapittel 4).

#### 3.1 Valg av historisk kontekst

De fleste har ett eller flere termometre hjemme. Det kan være et termometer som måler inne- eller utetemperaturen, et termometer for å måle kroppstemperaturen når vi er syke, eller et steketermometer for å sikre at maten blir akkurat passelig stekt. Termometrene, enten de er digitale eller analoge, angir en tallverdi for hvor høy eller lav temperaturen er. Høy temperatur indikerer at noe er varmt, og lav temperatur indikerer at noe er kaldt. Termometeret vi i dag benytter har utviklet seg gjennom over hundre år og det har gjennom historien vært flere utfordringer knyttet til måling av temperatur. Det å måle temperaturer i dag tar vi gjerne for gitt, og min oppfatning er at de fleste ikke tenker over alt arbeid som ligger bak et slikt praktisk, og tilsynelatende enkelt instrument. Siden de fleste elever har kjennskap til hva et termometer er og gjerne har brukt det i flere anledninger, mener jeg at termometerets utvikling er et fint utgangspunkt for et undervisningsopplegg som skal fremme NOS.

Historien om å utvikle et termometer kan til tider være krevende for kjemielever, da historien innebærer et nettverk av både praktiske og teoretiske utfordringer. Jeg har valgt ut episoder fra historien om termometeret som jeg mener ikke er for komplisert for å introdusere i en kjemi 1-klasse. Når vitenskapshistorie skal benyttes i NOS-undervisning anbefaler forskningslitteratur at elevene skal settes inn i den historiske konteksten, og forskernes arbeid ut fra datidens premisser (Klassen, 2006). Dermed er det ikke viktig at elevene har kunnskap om moderne termodynamikk og dagens forståelse av fenomenet temperatur. I det følgende vil det bli synlig

at historien om termometerets utvikling også er rik på NOS-elementer i de utvalgte NOS-kategoriene: mål og verdier, naturvitenskapelig praksis og metoder og metodologiske regler.

### 3.2 *Inventing Temperature* av Hasok Chang

Gjennom forskningsboka *Inventing Temperature* (2004) gjør vitenskapsfilosof og kjemihistoriker Hasok Chang et dypdykk i historien om temperatur og utviklingen av termometeret. Boka er inndelt i seks kapitler der de fire første tar for seg ulike historiske utfordringer ved å etablere en standardisert temperaturskala. Kapittel 1 tar utgangspunkt i utfordringen med å velge faste referansepunkter som termometeret kunne skaleres ut fra. Etter flere år med arbeid ble det bestemt at fryse- og kokepunktet til vann skulle benyttes, og dette var starten på det som ble omtalt som centigrad-skalaen (forgjengeren til celsius-skalaen). Kapittel 2 tar utgangspunkt i utfordringen om å velge hvilket stoff som skulle brukes inni termometeret, et såkalt termometerfluid. Ulike typer termometer, som baserte seg på forskjellige termometerfluid, viste ulik temperatur når de målte samme situasjon. Siden man mente at det kun fantes én sann temperatur for en gitt situasjon, var det problematisk at ulike termometer ga ulike verdier. Dermed begynte arbeidet med å finne det termometerfluidet som ga målinger tilsvarende den «sanne» temperaturen. Kapittel 3 handler om å utvide temperaturskalaen til ekstreme temperaturer. Ved ekstremt kalde, eller varme, temperaturer kunne det være utfordrende å avlese riktig temperatur ved hjelp av de eksisterende termometrene. Et eksempel på dette er at kvikksølv, som var det foretrukne termometerfluidet i lang tid, fryser ved omkring  $-39^{\circ}\text{C}$ , og derfor er kvikksølvtermometeret ubrukelig ved så lave temperaturer. Kapittel 4 omhandler overgangen til termodynamikk og den moderne definisjonen av temperatur. Her blir blant annet William Thomson (1824–1907) sitt arbeid om å definere absolutt temperatur belyst. Kapittel 5 og 6 tar opp epistemologiske ideer og hvordan vitenskapshistorie i seg selv kan benyttes som «complementary science» for å utvikle eller forbedre naturvitenskapelig kunnskap. Ifølge Hasok Chang kan naturvitenskapelige arbeid i seg selv være utilstrekkelig for å komme fram til kunnskap, og da kan vitenskapshistorie være et nyttig verktøy. I det følgende vil utvalgte utfordringer knyttet til valg av termometerfluid bli presentert, da dette ble valgt som tema for studiens undervisningsopplegg.

### 3.3 Utviklingen av termometeret og valg av termometerfluid

Det kan sies at utviklingen av termometeret begynte for fullt på 1600-tallet. I starten ble det utviklet instrumenter som kvalitativt kunne måle temperaturforskjeller, disse ble kalt termoskop. Videre ble det utarbeidet en rekke skalerte termometre, da man tenkte at temperatur var kvantifiserbart. På slutten av 1600-tallet var termometeret et utbredt instrument i

overklassens hjem, men problemet med disse termometrene var at de ikke var standardisert. Ulike termometre kunne gi ulike måleverdier når de målte samme situasjon, noe datidens naturfilosofer så på som ulogisk. Tanken på denne tiden var at en gitt situasjon kun hadde én «sann temperatur». Dermed startet den lange og krevende oppgaven om å finne et standard termometer som kunne måle «sann temperatur». Dette arbeidet tok over hundre år, og kan sies å ha nådd et slags endepunkt da termodynamikken vokste frem på midten av 1800-tallet. Jeg skal her ta utgangspunkt i hvordan naturfilosofene kunne bestemme hvilket stoff som egnet seg best som termometerfluid: alkohol, kvikksølv eller luft?

### **Kvikksølv eller alkohol som termometerfluid?**

I begynnelsen av 1700-tallet antok de fleste at alle stoffer utvidet seg uniformt med økende temperatur, men en rekke observasjoner fra ulike hold skulle utfordre dette synet. Herman Boerhaave (1668–1738) bestilte i 1732 to ulike termometre av den tyske fysikeren og instrumentmakeren Gabriel Daniel Fahrenheit (1686–1736). Boerhaave ønsket seg ett termometer som var basert på alkohol, og et annet basert på kvikksølv. Da termometrene var ferdige, oppdaget Boerhaave at termometrene ga ulike måleverdier selv om de var kalibrert etter samme referansepunkter, og på samme vis. Ut fra synet på temperatur ga ikke dette mening, og Boerhaave ønsket derfor en forklaring på denne variasjonen. Fahrenheit mente at det var brukt ulike glasstyper i de to termometrene og at dette var årsaken til at de varierte. Boerhaave aksepterte denne forklaringen. En annen naturfilosof som oppdaget variasjoner blant de ulike termometrene, var franskmannen R. A. F. de Réaumur (1683–1757). Han var medlem av det franske vitenskapsselskapet og en anerkjent naturfilosof i første halvdel av det 18. århundre. Han var aristokrat og ansett som en dyktig instrumentmaker. Réaumur lagde flere termometre, og i 1739 utga han en rapport som stadfestet at kvikksølvtermometrene og alkoholtermometrene ikke stemte overens med hverandre. Dette avviket forklarte han med at de ulike væskene utvidet seg ulikt. Både Boerhaave og Réaumur observerte, fra hvert sitt land, at ulike typer termometre ikke stemte overens. Siden flere publikasjoner dokumenterte at temperaturmålinger gjort med ulike termometre varierte, ble det nødvendig å undersøke antakelsen om at ulike termometerfluid utvidet seg på samme måte ved økende temperatur.

Siden termometre som benyttet ulike termometerfluid ikke ga like temperaturmålinger, ble det diskusjon om hvilket fluid som skulle benyttes for å få et nøyaktig termometer. Mange ulike stoffer ble foreslått, blant annet saltvann, olivenolje og svovelsyre, men det var særlig tre stoffer som skilte seg ut som bedre alternativer: kvikksølv, etylalkohol (også referert til som «spirit») og atmosfærisk luft. Flere bidragsyttere var med på å finne ut hvilket stoff som egnet seg best å

bruke i termometeret. I Vedlegg A er en tidslinje med utvalgte personer som bidro i utviklingen av termometeret. Tidslinjen har jeg laget for å gi et bilde på hvor tidkrevende arbeidet med termometeret var, samt at det krevde mange bidragsytere.

### **De Luc og «blandingsmetoden»**

For å finne ut hvilket stoff som egnet seg best i termometeret, ble det foreslått å bruke den såkalte «blandingsmetoden». Den gikk ut på å blande lik mengde iskaldt vann (0°C) og kokende vann (100°C) i en isolert beholder. Dersom termometeret målte 50°C mente man at det målte riktig. For å teste andre temperaturer kunne man endre blandingsforholdet mellom kokende og iskaldt vann. Jean-André De Luc (1727–1817) var én av dem som benyttet seg av blandingsmetoden, blant annet for å sjekke nøyaktigheten til kvikksølvtermometeret. Han regnet ut hva «sann temperatur» i blandingen skulle være, og sammenliknet den beregnede verdien med målingene gjort av kvikksølvtermometeret. Han brukte ikke nøyaktig kokepunkt til vann, men en litt kaldere temperatur. Argumentasjonen for dette valget var at det var vanskelig å måle presist volum av kokende vann, fordi en del av vannets masse vil gå tapt ved fordamping. Avviket mellom beregnet temperatur og empirisk temperatur var svært liten, noe som førte til at De Luc konkluderte med at kvikksølv var godt egnet som termometerfluid. De Luc gjorde imidlertid flere antakelser underveis i undersøkelsen av kvikksølvtermometrene. Blant annet antok han at mengden varme som skal til for å øke temperaturen til en gitt mengde vann, var proporsjonal med temperaturendringen. De Luc mente med dette at mengden varme som skal til for å øke temperaturen til en gitt mengde vann med én enhet er uavhengig av temperatur, altså den spesifikke varmen til vann var uavhengig av temperatur.

Under arbeidet med termometeret undersøkte De Luc også ulike alkoholtermometre. I dette arbeidet observerte han at ulike alkoholtermometre viste forskjellige temperaturer når de målte samme situasjon. Dette sto i konflikt med synet på temperatur, og dermed måtte alkoholtermometeret forkastes.

### **Kalorikkteorien**

På 1800-tallet blomstret det som omtales som kalorikkteorien. Denne teorien fantes i et par ulike varianter, men felles for dem var at varme ble ansett som et stoff, kalt kalorikk, som både var altgjennomtrengende og (nesten) vektløst. Antoine-Laurent Lavoisier (1743–1794) var en av forkjemperne til kalorikkteorien og i 1789 utga han *Elements of Chemistry*, der kalorikk ble inkludert i grunnstofftabellen. Sammen med flere andre naturfilosofer mente Lavoisier at kalorikk kunne inngå i kjemiske forbindelser av et stoff for å øke fluiditeten (hvor lett det

beveger seg) til stoffet («bundet» kalorikk). Ved kondensering og koagulering ville kalorikk frigjøres («fri» kalori). Forkjemperne for kalorikkteorien mente at det bare var fri kalorikk som påvirket termometermålingene, og at den bundne kalorikken ikke kom til syne. Derfor trengte man å vite forholdet mellom mengden bundet kalorikk og mengden fri kalorikk for å kunne bestemme nøyaktigheten til termometeret. Dette var imidlertid vanskelig, fordi det var uenighet om hvordan kalorikken gikk over fra fri til bundet tilstand. Dersom man ikke visste mengden varme som gikk til bundet kalorikk, kunne man heller ikke si noe som helst teoretisk om den spesifikke varmen til stoffet. Siden blandingsmetoden lente seg på den teoretiske antakelsen om at spesifikk varme er uavhengig av temperatur, ble det satt spørsmålsteget ved gyldigheten til blandingsmetoden.

Kalorikkteorien utfordret De Luc sin konklusjon om at kvikksølvtermometeret var godt egnet, og diskusjonen om hvilket termometer som var best ble gjenåpnet. Selv om De Luc var en forkjemper for blandingsmetoden, anerkjente han at det var usikkerheter knyttet til metoden. Med usikkerheten rundt kvikksølvtermometeret rettet noen vitenskapsmenn blikket mot lufttermometeret.

### **Lufttermometeret og Henri Regnault**

Joseph-Louis Gay-Lussac (1802) og John Dalton (1802) gjorde individuelle observasjoner av hvordan luft utvidet seg ved økende temperatur. Fra resultatene trakk begge konklusjonen at all type luft utvidet seg med lik volumfraksjon ved en gitt temperaturøkning. Både Dalton og Gay-Lussac påpekte at observasjonene deres ikke ga noe informasjon om hvorvidt luften utvidet seg lineært med temperaturøkningen. Dette var nødvendig å undersøke nærmere. Pierre-Simon Laplace (1749–1827) – matematiker, fysiker og astronom – argumenterte i en utgivelse fra 1805 for lufttermometeret. Ifølge Chang (2004, s. 70) hadde Laplace vage formuleringer som «i det minste veldig sannsynlig» og «hvis vi tenker oss at (...) vil det være naturlig å tro at (...)». I tillegg til å argumentere for lufttermometeret forsøkte Laplace å gi en matematisk forklaring på temperatur og varme (kalorikk), men den matematiske teorien hans var bygd på mange antakelser og hadde lite rotfeste, ifølge Chang.

Utover 1800-tallet mente stadig flere at lufttermometeret virket som det beste alternativet, men det var ingen som hadde klart å argumentere for dette synet uten å lene seg på teoretiske antakelser. Franskmannen Henri Regnault (1810–1878) skulle endre på dette. Regnault er kanskje mindre kjent i dag, men på sin tid var han en anerkjent eksperimentell naturfilosof. Han fikk rikelig med finansiering for å kunne gjennomføre undersøkelsene sine, noe som var viktig

siden mange av instrumentene han brukte var meget dyre. Chang (2004, s. 174) omtaler Regnault som en «mester i presisjon», fordi Regnault var svært opptatt av å være nøyaktig både før, under og etter det eksperimentelle forskningsarbeidet sitt. Regnault jobbet for å teste alle påstander uten å være avhengig av teoretiske antakelser. Eksempelvis ville ikke Regnault benytte seg av blandingsmetoden for å teste lufttermometeret, fordi denne metoden var avhengig av at spesifikk varme var uavhengig av temperatur (en teori som ikke er vitenskapelig argumentert for, altså en teoretisk antakelse). For å kunne trekke en konklusjon om hvilket termometerfluid som var best egnet benyttet Regnault seg av det som kan omtales som sammenliknbarhetsprinsippet. Tanken bak sammenliknbarhetsprinsippet var at dersom et termometer virkelig viste «sann temperatur» så må noen krav kunne stilles. Først og fremst måtte det kreves at et termometer ga like målinger dersom man gjentok en måling under like betingelser som forrige måling. I tillegg måtte alle termometre av samme type gi like resultater ved måling av det samme. Dette var to essensielle krav Regnault stilte til et godt termometer. Den eneste antakelsen sammenliknbarhetsprinsippet bygde på var at det kun fantes én temperaturverdi for en gitt situasjon, noe som videre blir kalt énverdiprinsippet. Chang mener énverdiprinsippet er et godt eksempel på det han omtaler som et ontologisk prinsipp (*ontological principle*). Ontologiske prinsipper er de antakelsene som blir ansett som helt essensielle trekk ved virkeligheten, og grunnleggende for at verden skal kunne forstås. Disse antakelsene kan ikke begrunnes verken ved hjelp av logikk eller empiriske undersøkelser.

Med sammenliknbarhetsprinsippet som utgangspunkt gjorde Regnault mange målinger med blant annet ulike kvikksølvtermometre og ulike lufttermometre. Ved å sammenlikne de ulike temperaturmålingene kunne han se om termometrene oppfylte sammenliknbarhetsprinsippet eller ikke. Regnault gjorde blant annet målinger med kvikksølvtermometre av ulike glasstyper og observerte at forskjellen mellom termometrene økte med temperaturen. Siden kvikksølvet inni termometeret var likt for alle termometrene kunne det se ut som at glasset påvirket. Dette hadde Fahrenheit påstått en del år tidligere. På denne tiden hadde man ikke kunnskap om hvordan man skulle lage og behandle glassene slik at de ble identiske, dermed var det vanskelig å få alle kvikksølvtermometre helt like. Siden kvikksølvtermometre av ulike glasstyper ikke samstemte, kunne Regnault forkaste kvikksølv som termometerfluid.

Det viste seg at temperaturmålingen gjort av lufttermometeret var mindre avhengig av glasset. Regnault undersøkte dermed andre mulige variabler. Blant annet undersøkte Regnault lufttermometre med ulik lufttetthet, og observerte om de var sammenliknbare. Resultatet viste at lufttermometrene med ulik lufttetthet inni termometersøylen ga relativt like

temperaturmålinger gjennom hele skalaen. Variasjonen mellom temperaturmålingene var alltid under 0,1% av den målte verdien, noe som kunne tyde på at lufttermometrene var sammenliknbare. Noe som også styrket denne konklusjonen var at variasjonen mellom målingene ikke fulgte et spesielt mønster, slik som variasjonen mellom kvikksølvtermometrene gjorde. Ut fra en rekke undersøkelser konkluderte Regnault med at lufttermometeret var det mest nøyaktige, fordi det oppfylte sammenliknbarhetsprinsippet i størst grad. Han påpekte riktignok at dette ikke sa noe om temperaturmålingene viste «sann temperatur».

Regnault forsøkte også å finne ut om man kunne benytte en hvilken som helst gass som termometerfluid. Han observerte at lufttermometeret var relativt sammenliknbart med både hydrogengass-termometer og karbondioksidgass-termometer. Termometrene som brukte svovelsyre-gass var imidlertid ikke sammenliknbart med lufttermometre. Dette var én av observasjonene som førte til at Regnault konkluderte med at man ikke kunne benytte ulike gasser som termometerfluid. Chang (2004) påpeker at Regnault ikke diskuterte hvorvidt de andre gassene oppfylte sammenliknbarhetsprinsippet, men at dette trolig skyldtes praktiske og økonomiske hensyn.

Regnault konkluderte til slutt med at luft var det beste av de tre termometerfluidene som ble undersøkt: alkohol, kvikksølv og luft.

### 3.4 Hvilke FRA-kategorier kan historien om termometeret belyse?

Siden formålet med undervisningsopplegget er å gi elevene en dypere forståelse for NOS, har jeg brukt FRA-rammeverket til å identifisere NOS-aspekter som historien om termometeret kan belyse. Som blant annet Allchin et al. (2014) påpeker, kan vitenskapshistorie brukes for å løfte frem at naturvitenskapen i seg selv drives av mennesker, og at de jobber for å finne ut hvordan verden rundt oss fungerer. Historien om utviklingen av termometeret involverer flere ulike bidragsyttere, fra flere ulike land, som arbeidet for å finne et godt termometer. Historien egner seg derfor godt til å belyse mangfoldet av forskere som deltar i naturvitenskapelig kunnskapsutvikling.

Nedenfor har jeg kun pekt på elementer innenfor de FRA-kategoriene som jeg har valgt ut for studien, og som jeg så på som relevante i forbindelse med å utvikle et undervisningsopplegg for en kjemiklasse på VG2.

## Mål og verdier

Mål og verdier spiller en naturlig rolle i forskningsarbeid, og preger fremveksten og utviklingen av naturvitenskapelig kunnskap (Erduran & Dagher, 2014, s. 42). Historien om termometeret viser at et mål med det å drive med forskning er å finne svar på spørsmål om naturen, eller løse problemstillinger knyttet til naturlige fenomener (Kragh, 2008, s. 11). Historien om termometeret er et godt eksempel på hvordan ulike forskere, fra forskjellige nasjoner arbeidet for å finne et termometer som kunne måle «sann temperatur». De arbeidet altså med å utvikle et instrument som kunne beskrive et naturlig fenomen. Målet om å lage et termometer ble preget av datidens tanke om at temperatur er kvantifiserbart. Det å utvikle et termometer var heller ikke enkelt, da det innebar å løse flere praktiske og teoretiske utfordringer. Dette kan være med å synliggjøre at naturvitenskapelig mål ofte er sammensatt, at forskere ofte må løse flere delmål underveis.

Erduran og Dagher (2014, s. 52) trekker frem det å empirisk underbygge påstander som et mål innenfor naturvitenskapelig forskning. Dette målet belyser historien om termometeret i aller høyeste grad. Historien involverer flere forskere som på ulike måter undersøker termometere for å finne svar på hvilket termometer som egnet seg best. Metoden de har benyttet har variert. De Luc brukte blandingsmetoden, Laplace brukte matematikk og Regnault sammenliknet termometermålinger, alle tre forsøkte å underbygge påstandene sine med data, men på ulike måter.

Det at kunnskap skal bygges opp ved hjelp av empirisk evidens kommer også frem i forbindelse med undersøkelsene til Herman Boerhaave (1668–1738) og R. A. F. de Réaumur (1683–1757). De oppdaget begge avvik mellom alkohol- og kvikksølvtermometre, og derfor ble det behov for å gjøre nærmere undersøkelser av hva denne variasjonen skyldtes – naturfilosofene trengte mer evidens. Her kan det også være nyttig å trekke frem NOS-elementet fra konsensusynet om at naturvitenskapelige teorier kan endres eller forkastes dersom ny evidens dukker opp (dette har Erduran og Dagher (2014, s. 91) plassert innenfor FRA-kategorien metodologisk regler). Denne episoden er også interessant med tanke på at Boerhaave og Réaumur hadde ulik forklaring på avviket. Boerhaave godtok Fahrenheit sin forklaring om at det skyldtes ulike glass, Réaumur på sin side mente det skyldtes de ulike termometerfluidene. Dermed er man inne på det Erduran og Dagher (2014, s. 42) påpeker om at forskernes ulike verdier påvirke forskernes teoretiske utgangspunkt, metoder eller innfallsvinkler. I forbindelse med dette er det også nyttig å snakke om at forskere i utgangspunktet strever etter å være objektive, da dette er en verdi, og en vitenskapelig etos i naturvitenskapen (Erduran & Dagher, 2014, s. 52; Merton, 1973, s. 276).



Men siden forskerne formes av sine tidligere erfaringer og verdiene de har, vil det dog ikke være mulig være fullstendig objektiv.

I studiens undervisningsopplegg (se kapittel 4) tas det utgangspunkt i Regnault og hvordan han undersøkte termometrene sine. Regnault var svært opptatt av å være nøyaktig både før, under og etter det eksperimentelle forskningsarbeidet sitt. Det å være nøyaktig trekker Erduran og Dagher (2014, s. 52) frem som et mål innenfor naturvitenskapelig forskning. En måte Regnault var nøyaktig på var å ikke avrunde temperaturmålingene. Han var også opptatt av å ikke lene seg på teoretiske antakelser, og benyttet derfor ikke blandingsmetoden for å undersøke termometrene. Her kan elevene få synliggjort at mål og metode ofte henger sammen: målet om å være nøyaktig påvirket metodevalgene til Regnault.

Som sagt er det å underbygge påstander med empirisk evidens gjerne et mål innenfor naturvitenskapen, men det må problematiseres noe. Blant annet er introduserer Hasok Chang énverdiprinsippet – et ontologisk prinsipp som ikke kan verifiseres ved hjelp av undersøkelser eller logikk. Det er en grunnleggende tanke for at verden rundt oss skal gi mening. I den forbindelse kan man også utvide å prate om det Kuhn (1996, s. 23) kaller forskningsparadigmer - enkelte kunnskaper blir satt til grunn for forskningsarbeidet.

### **Naturvitenskapelig praksis**

I forbindelse med Regnault sitt arbeid er det mest fokus på hvordan forskere kan benytte seg av målinger for å observere et fenomen, altså er observasjon en sentral del av historien. De Luc brukte i større grad eksperimentering, da han blandet ulike mengder varmt og kaldt vann, samtidig som han beregnet teoretiske verdier. Det å blande vann for å oppnå en bestemt temperatur, kan ses på som en form for manipulering av temperaturen. I forlengelse av dette er det mulig å fremheve forskjeller på ren observasjon og eksperimentering. Kanskje også sette et spørsmålstegn til om det er så distinkt forskjell. Brandon (1994) mener at skillet mellom observasjon og eksperimentering ikke er så distinkt, men at praksisene går gradvis over i hverandre. Dette er et synspunkt det kan være interessant å drøfte i et klasserom.

Flere av naturfilosofene nevnt i historien utga publikasjoner der de dokumenterte funnene sine. Publisering er i dag en sentral prosess som er med på å sikre kvalitet på forskningsarbeidet. Gjennom fagfellevurderinger før publisering av forskningsresultater kan man bidra til å sikre pålitelige resultater, og faglig kvalitet, ved at eksperter på fagfeltet vurderer forskningens metoder og konklusjoner (Mork & Erlien, 2017, s. 19; Sjøberg, 2009, s. 249). Ifølge Chang (2004, s. 70) hadde Laplace vage formuleringer som «i det minste veldig sannsynlig» og «hvis

vi tenker oss at (...) vil det være naturlig å tro at (...)». Med dette som utgangspunkt kan man diskutere hva som kjennetegner gode argumenter fra, mindre vitenskapelig, og man kan drøfte påliteligheten til resultatene. Ved å vise til alle publiseringene som de tidligere naturfilosofene utga, kan man diskutere hvilken rolle publisering har og drøfte hva publisering faktisk innebærer.

### **Naturvitenskapelig metode og metodologiske regler**

FRA-kategorien metoder og metodologiske regler handler om konkrete metoder forskere benytter for å finne frem til ny kunnskap, altså metoder som blir brukt for å observere eller eksperimentere (Erduran & Dagher, 2014, s. 91). Tidligere ble det påpekt at det var en viss forskjell i graden av eksperimentering mellom Regnault sin metode som baserte seg på sammenliknbarhetsprinsippet og De Luc sin blandingsmetode. På samme måte som verdier påvirker teoretisk utgangspunkt, påvirker også mål og verdier hvilke metoder forskeren velger Erduran og Dagher (2014, s. 105).

Det finnes en rekke metoder innenfor forskning, og valg av metode er blant annet avhengig av hva som skal undersøkes og hvilke mål og verdier forskeren har (Erduran & Dagher, 2014, s. 105). Det at De Luc brukte blandingsmetoden og Regnault sammenliknbarhetsprinsippet kan gi et lite innsyn i mulig fremgangsmåter å angripe et naturvitenskapelig spørsmål på. I tillegg synliggjør denne historien hvordan valg av ulike metoder kan påvirke resultat og konklusjon.

Selv om De Luc var en forkjemper for blandingsmetoden, anerkjente han at det var usikkerheter knyttet til metoden. Her er det aktuelt å trekke frem hvordan all forskning kan innebære feil. Dette kan både være menneskelige feil, tilfeldige feil, instrumentelle feil og liknende. I forbindelse med at metoder innebærer en viss usikkerhet, kan det være aktuelt å snakke om mulige måter å forhindre at feil oppstår. De metodologiske reglene innenfor naturvitenskapen kan være med på å redusere mulige feilkilder (Erduran & Dagher, 2014, s. 104).

Både Laplace og De Luc benyttet matematikk som en metode. Laplace forsøkte å gi en matematisk beskrivelse av temperatur og vare. De Luc brukte matematikk for å bestemme teoretiske temperaturer. Det å benytte matematikk som metode viser også mangfoldet av metoder.

## 4 Undervisningsopplegget: Utviklingen av termometeret

I dette kapittelet blir utviklingen av undervisningsopplegget om termometeret beskrevet. Først vil jeg kort gjøre rede for hvordan NOS kommer til uttrykk i læreplanen i kjemi (4.1). Deretter presenterer jeg målet med undervisningsopplegget (4.2), før selve oppleggets forløp og innhold blir beskrevet (4.3). Avslutningsvis gjør jeg kort rede for hvordan undervisningsopplegget ble forhåndstestet før det ble gjennomført i studiens kjemiklasse (4.4).

### 4.1 Læreplanen i kjemi og NOS

Både gjeldende og kommende læreplan i kjemi fremhever aspekter ved NOS som skal læres i skolens kjemifag. Den nåværende læreplanen i kjemi 1 trekker frem *metoder og forsøk* som et hovedområde i kjemifaget. Utdraget nedenfor beskriver hva hovedområdet innebærer, og jeg har selv uthevet det jeg identifiserer som NOS-elementer i teksten.

Hovedområdet [metoder og forsøk] handler om at **kunnskaper i kjemi bygges opp gjennom prosesser med hypoteser, forsøk, observasjoner, vurderinger og begrunnede konklusjoner**. Videre dreier det seg om at kjemi er et praktisk fag der det blir brukt laboratorieutstyr og utført **analyser**, og om hvordan **teorier og modeller blir testet** og illustrert gjennom **forsøk** (Utdanningsdirektoratet, 2006).

Dette hovedområdet legger spesielt vekt på at elevene skal lære hvordan kunnskap underbygges ved hjelp av ulike prosesser, noe som både innebærer å lære om mål og verdier, praksiser og ulike metoder innenfor kjemisk forskningsarbeid. I den kommende læreplanen i kjemi fremheves fire kjerneelementer i faget: «Praksiser og tenkemåter i kjemi», «Kjemiske bindinger og strukturer», «Kjemiske reaksjoner» og «Anvendt kjemi» (Utdanningsdirektoratet, 2020). Alle kjerneelementene inneholder elementer av NOS, men det er særlig «Praksiser og tenkemåter» som rettes direkte mot NOS ved å spesifisere at elevene skal lære om: det å utvikle og bruke hypoteser, teorier, metoder og modeller, samt vurdere metodevalg og innsamlet data. De andre tre kjerneelementene er i større grad rettet mot å lære det som omtales som naturvitenskapelig produkt, men inneholder likevel også et par NOS-elementer. NOS er altså en del av kjemifaget og kjemiundervisningen, på lik linje med det som omtales som de naturvitenskapelige produktene.

Undervisningsopplegget for denne studien følger LK06 som er gjeldende læreplan for kjemi. Termometer som måleinstrument og temperatur blir ikke nevnt som en del av kompetansemålene i kjemi 1. Elevene skulle imidlertid gjennom undervisningen både vurdere og tolke Regnault sine resultater, og med det kan opplegget knyttes til kompetansemålet «planlegge og gjennomføre forsøk og vurdere risiko, feilkilder og resultater»

(Utdanningsdirektoratet, 2006). Ny læreplan i kjemi vil bli innført høsten 2021. Dersom undervisningsopplegget skal gjennomføres under ny læreplan i kjemi kan det knyttes til kompetansemålene: «planlegge og gjennomføre forsøk, estimere usikkerhet og vurdere feilkilder, presentere resultater og argumentere for gyldigheten av resultater og konklusjoner» samt «bruke data, simuleringer og beregninger i tolkninger og til å trekke konklusjoner» (Utdanningsdirektoratet, 2020).

#### 4.2 Målet med undervisningsopplegget

I en undervisningsøkt er det vanskelig å belyse alle aspekter ved NOS, og som lærer må man derfor velge hvilke aspekter man ønsker å belyse (Erduran & Dagher, 2014, s. 166). Dette er også gjort i empiriske studier som undersøker elevenes læring av NOS. Blant annet valgte Khishfe og Abd-El-Khalick (2002) ut tre NOS-elementer fra konsensusstyret (naturvitenskapen er tentativ, kunnskapen er empirisk underbygd og forskere må være kreative) da de undersøkte forskjellen mellom implisitt og eksplisitt-refleksiv NOS-undervisning. Jeg valgte å ta utgangspunkt i de kognitiv-epistemiske kategoriene i FRA-rammeverket, nærmere bestemt skal undervisningsopplegget belyse elementer innenfor kategoriene mål og verdier, praksiser og metoder og metodologiske regler. Det å velge ut enkelte deler man ønsker å fokusere på er ikke unikt for NOS-undervisning, men gjelder også generelt når man planlegger undervisning. Øyehaug (2019, s. 45) påpeker at det å arbeide grundig med få utvalgte områder vil være med på å fremme dybdelæring. Dybdelæring defineres som «det å gradvis utvikle kunnskap og varig forståelse av begreper, metoder og sammenhenger i fag og mellom fagområder. Det innebærer at vi reflekterer over egen læring og bruker det vi har lært på ulike måter i kjente og ukjente situasjoner, alene eller sammen med andre» (Utdanningsdirektoratet, 2019). Med fagfornyelsen er dybdelæring blitt vektlagt i stor grad.

I undervisningen blir NOS kontekstualisert gjennom å bruke vitenskapshistorie. Jeg valgte å ta utgangspunkt i Regnault og hans søken etter å finne det beste termometeret. Regnault utførte omfattende empiriske undersøkelser for å sjekke om ulike termometre var sammenliknbare. Sammenliknbarhetsprinsippet var nyttig fordi det kun tok utgangspunkt i ideen om at en gitt situasjon kun kan ha én temperatur. Dette omtales i undervisningsopplegget som énverdiprinsippet. Gjennom opplegget ønsket jeg at elevene skulle sitte igjen med følgende kunnskap:

- *Mål og verdier:*
  - Regnault hadde som mål å finne et nøyaktig termometer, og dette er et eksempel på hvorfor forskere forsker – de har som mål å finne ut noe, eller løse en utfordring
  - Regnault baserte konklusjonene sine på empirisk evidens, og dette er et eksempel som viser at forskere retter seg etter verdier.
- *Metoder og metodologiske regler:*
  - Regnault benyttet sammenliknbarhetsprinsippet som sa at (1) termometre av samme type må gi like temperaturmålinger i en gitt situasjon og (2) et termometer må kunne gi samme resultat dersom man gjentar samme måling.
  - Regnault gjorde ulike varianter av et forsøk der han testet ut én og én variabel systematisk – altså er han et eksempel på en forsker som følger noen metodologiske regler
- *Praksiser:*
  - Regnault publiserte alle resultatene sine, og dette var med på å styrke påliteligheten til resultatet

Som enhver undervisningsøkt bør det komme klart og tydelig frem for elevene hva målet for timen er. Det å lage tydelige læringsmål trekkes frem som viktig for blant annet å fremme forståelse og dybdeløring (Øyehaug, 2019, s. 45). Derfor er det nyttig å lage konkrete læringsmål. Under gjennomførelsen av undervisningsopplegget ble elevene informert om at målet med timen var å se på hvilke mål og verdier Regnault rettet seg etter og hvilke metoder som ble brukt for å finne «det beste termometeret».

### 4.3 Utarbeidelse og beskrivelse av undervisningsopplegget

Undervisningsopplegget ble utarbeidet på grunnlag av hvilke anbefalinger forskningslitteratur peker på for en effektiv NOS-undervisning. Anbefalingene er tidligere beskrevet og oppsummert i egen tekstboks i kapittel 2.3. Oppsummert sørget jeg under planleggingen av undervisningsopplegget å legge til rette for eksplisitt-refleksiv NOS-undervisning, samt unngå en romantisert og *whiggish* fremstilling av vitenskapshistorien.

Gjennom å lese forskningsboka *Inventing Temperature* (2004) satte jeg meg godt inn i undervisningsoppleggets vitenskapshistoriske kontekst; utviklingen av termometeret. Jeg valgte deretter at undervisningsopplegget skulle fokusere på utfordringen om «valg av termometerfluid». Ved kun å ta utgangspunkt i én problematikk knyttet til å utvikle et godt

termometer, forsikret jeg med om at den valgte historien kunne belyses grundig. Dette var viktig da flere har påpekt at en overfladisk og anekdotisk fremstilling av vitenskapshistorie er ugunstig i forbindelse med NOS-undervisning (Allchin, 2004; Klassen & Klassen, 2014, s. 1521). Samtidig som jeg leste meg opp på historien om termometeret, leste jeg også forskningslitteratur om NOS og NOS-undervisning. Dette brukte jeg for å utarbeide innhold, presentasjon og læringsaktiviteter for undervisningsopplegget. En oversikt over undervisningsoppleggets forløp er gitt i Tabell 3. I det følgende vil jeg gi en beskrivelse av opplegget del for del.

Tabell 3: Tidsplan for undervisningsopplegget

Tid	Hva?
08:00-08:15	<p><b>Introduksjon</b> (lysbilde 1-3)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Introdusere mål for timen</li> <li>- Plenumsdiskusjon om <i>måling</i> – knytte tematikken til tidligere kjemikunnskap</li> </ul>
08:15-08:35	<p><b>Problematikken på 1700-tallet</b> (lysbilde 4-7)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Introduksjon av vitenskapsmenn på 1700- og 1800-tallet og utfordringene med termometeret. Én utfordring: å velge type termometer«fluid» som skulle brukes</li> <li>- Underveis diskuterer elever problemstillinger som vitenskapsmennene på 1700- og 1800-tallet også stod overfor - <b>Refleksjonsoppgaver</b></li> <li>- <b>Begreper:</b> <i>énverdi prinsippet, pålitelige resultater, teoretiske antakelser og sammenliknbarhet</i></li> </ul>
08:35-08:45	<p><b>Alkoholtermometeret</b> (lysbilde 8)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Introduksjon av De Luc</li> <li>- Gruppediskusjon der elevene vurderer De Luc sine målinger med alkoholtermometre med varierende alkoholkonsentrasjon.</li> </ul>
08:45-08:50	<b>Pause</b>
08:50-09:10	<p><b>Kvikksølvtermometeret</b> (lysbilde 9)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Introduksjon av Regnault</li> <li>- <b>Aktivitet med måledata:</b> Gruppediskusjon der elevene vurderer Regnault sine målinger med kvikksølvtermometre med ulike termometerglass.</li> </ul>
09:10-09:25	<p><b>Luft-termometeret</b> (lysbilde 10-11)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Aktivitet med måledata:</b> Gruppediskusjon der elevene vurderer Regnault sine målinger med lufttermometre.</li> </ul>
09:25-09:35	<p><b>Oppsummering</b> (lysbilde 12-13)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Oppsummering om Regnault sitt arbeid</li> <li>- Høre hva elevene har lært ilt. timen og trekke linjer til NOS-elementer</li> </ul>

I forbindelse med undervisningsopplegget ble det utarbeidet en lysbildefremvisning og tilhørende notater til læreren. Dette er vedlagt i Vedlegg B.

*Introduksjon* handlet om å knytte termometeret og måling av temperatur til noe kjent innenfor kjemi. Flere har påpekt at vitenskapshistorien burde presenteres som en integrert del av det kjemifaglige som elever skal lære (Clough, 2020, s. 519). Temperatur og termometer i seg selv står ikke eksplisitt i læreplanen i kjemi, men det å gjøre målinger er absolutt en del av kjemifaget, da det å gjennomføre ulike typer målinger kan være en sentral måte å undersøke et fenomen på (Brandon, 1994). Målinger er en form for data som kan vurderes og tolkes for å fremskaffe kunnskap. Rett før jeg skulle gjennomføre undervisningsopplegget hadde elevene lært om syre-base-titrering i kjemiundervisningen, og de hadde selv gjennomført en titrering på skolelaboratoriet. Under gjennomføring av titrering gjør man flere målinger underveis, og dette brukte jeg som en inngang for å starte opp med undervisningens tema.

*Problematikken på 1700- og 1800-tallet* gikk ut på å sette elevene inn i den historiske konteksten. Dette var viktig fordi flere anbefaler at vitenskapshistorien ikke skulle bli fremstilt *whiggish* (Klassen, 2006; Mayr, 1990). Tidligere forskere arbeidet under en helt annen sosiokulturell kontekst, og dette ønsket jeg å få frem. Videre i presentasjonen ble utfordringen om at termometre ikke viste samme temperatur når de målte samme situasjon introdusert, og det ble vist et utvalg mennesker som bidro i arbeidet med termometeret. Dette var viktig for å ikke fremstille Regnault som en individuell forsker, overlegen alle andre, som på egenhånd fant frem til et godt termometer. Giunta (2001) trekker frem heltedyrkelse av tidligere forskere som én av fallgruvene ved å bruke vitenskapshistorie, og at dette kan gi elevene et feilaktig syn på både naturvitenskap og forskere. Dette var noe jeg forsøkte å unngå ved å inkludere andre bidragsyttere. I denne delen ble elevene også presentert for sammenliknbarhetsprinsippet, som et kriterium for et godt termometer. Underveis i denne delen av presentasjonen ble det gitt flere refleksjonsoppgaver der elevene skulle diskutere ulike problemstillinger, som også naturfilosofene på 1700- og 1800-tallet måtte ta stilling til. En samlet oversikt over refleksjonsoppgavene er gitt i Tabell 4. Ved å legge til rette for refleksjoner rundt ulike problemstillinger underveis, samt belyse dem i plenum etterpå, bidro til å gi en eksplisitt-refleksiv undervisning av NOS, noe som anbefales av blant annet Rudge og Howe (2009).

Tabell 4: Oversikt over refleksjonsoppgaver i undervisningsopplegget

- 
- Kan du komme på om du har målt noe på lab'en noen gang?
  - Hva er titrering? Og hvordan gjennomføres det?
  - Hvilke krav tenker dere at et pålitelig termometer må oppfylle?
  - Hva kan vi si om de kjemiske/fysiske egenskapene til alkohol, kvikksølv og luft?
  - Har alkohol, kvikksølv og luft noen likheter/ulikheter?
  - Hvordan kan vi avgjøre hvilket termometer som er best?
- 

Delen om *alkoholtermometeret* innebar å tolke og vurdere en grafisk fremstilling av temperaturmålinger gjort av ulike alkoholtermometre. Målingene viste faktiske resultater som var gjort av De Luc, og elevene skulle vurdere om alkoholtermometrene var sammenliknbare.

I delen om *kvikksølvtermometeret* og *lufttermometeret* fikk elevene først en liten introduksjon om hvem Regnault var, før de fikk utdelt oppgaveark med måledata. Oppgavearkene er gitt Figur 5 og Figur 6. Dette var en aktivitet som gikk ut på at elevene skulle vurdere og tolke Regnault sine måledata fra 1800-tallet. Måledataene i Figur 5 er temperaturmålinger gjort med kvikksølvtermometre av ulike glasstyper, og måledataene i Figur 6 er temperaturmålinger gjort med lufttermometre med ulik lufttetthet inni termometersøylen. Under begge oppgavene skulle elevene ut fra dataene vurdere hvorvidt termometrene var sammenliknbare. Aktiviteten med måledataene ble utviklet som en del av undervisningsopplegget fordi det å kombinere vitenskapshistorie med elevaktiviteter er blitt trukket frem som nyttig for å få elevene til å interagere med den historiske konteksten. Klassen og Klassen (2014) mener blant annet at elevaktiviteter som introduseres som en del av vitenskapshistorien, kan bidra til å belyse historiens naturvitenskapelige spørsmål, problemstillinger og utfordringer.

*Oppsummering* handlet om å samle opp løse tråder og fremheve viktige poeng fra undervisningen.



# KVIKKSØLVTERMOMETERET

H. Regnault (1847) var ivrig etter å være nøyaktig både før, under og etter arbeidet sitt. Blant annet gjennomførte han flere paralleller av samme måling. I tillegg gjennomførte han ulike «målingsvarianter» med én type termometerfluid. Et eksempel på dette er temperaturmåling med kvikksølvtermometre. Han testet 11 ulike kvikksølvtermometre der termometerglasset varierte. Når Regnault skulle publisere resultatene sine inkluderte han alle måledataene, og ikke bare gjennomsnittsverdier.

- Diskuter hva Regnault gjorde for å styrke resultatenes pålitelighet, og begrunn hvorfor påliteligheten ble styrket
- Tenker dere at publisering er en viktig del av forskningsarbeidet? Hvorfor/Hvorfor ikke?

H. Regnault (1847) gjennomførte målinger med kvikksølvtermometre av ulike glasstyper. På den måten kunne han se om de var sammenliknbare. Nedenfor er resultatet for én parallell. Se på resultatet til de fire ulike kvikksølvtermometrene og diskuter spørsmålene under.

- Er de ulike kvikksølvtermometrene *sammenliknbare*? Hvorfor/hvorfor ikke?
- Kan resultatene i seg selv si noe om «termometeregenskapene» til kvikksølv? Hvorfor/hvorfor ikke?
- Dersom man hadde valgt én glasstype, ville resultatene blitt sammenliknbare da?

Luft-termometer	Kvikksølv med «Choisy-le-Roi» crystal	Kvikksølv med «vanlig» glass	Kvikksølv med grønt glass	Kvikksølv med svensk glass
(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
100	100	100	100	100
150	150,4	149,8	150,3	150,15
200	201,25	199,7	200,8	200,5
250	253	250,05	251,85	251,44
300	305,72	301,08	-	-
350	360,5	354	-	-

Figur 5: Aktiviteten med måledataene der elevene skulle diskutere temperaturmålinger gjort med kvikksølvtermometre av ulike glasstyper.

# LUFT-TERMOMETERET

Samtidig som Regnault konkluderte med at de ulike kvikksølvtermometrene ikke var sammenliknbare, ønsket han konkrete (*observerbare*) data for å underbygge påstanden om at «luft-termometeret var best».

Fra resultatene til De Luc så man at ulik alkoholkonsentrasjon påvirket temperaturmålingene. Kanskje dette også gjaldt luft? Regnault testet derfor om ulik luft-tetthet i termometrene påvirket temperaturmålingene.

- **Regn ut og kommenter** temperaturdifferansen
  - Er de to termometrene med ulik luft-tetthet sammenliknbare? Hvorfor/hvorfor ikke?
- Dersom termometrene er sammenliknbare, kan man konkludere med at lufttermometeret viser *sann temperatur*?

Luft-termometer (A)		Luft-termometer (A')		Temperatur-differanse (A – A')
Trykk (mmHg)	Temperatur (°C)	Trykk (mmHg)	Temperatur (°C)	
762,75	0	583,07	0	
1027,01	95,57	782,21	95,57	
1192,91	155,99	911,78	155,82	
1346,99	212,25	1030,48	212,27	
1421,77	239,17	1086,76	239,21	
1534,17	281,07	1173,28	280,85	
1696,86	339,68	1296,72	339,39	

Figur 6: Aktiviteten med måledataene der elevene skulle diskutere temperaturmålinger gjort med lufttermometre med ulik lufttetthet.

#### 4.4 Forhåndstest av undervisningsopplegget

Før undervisningsopplegget ble gjennomført, testet jeg opplegget på en naturfagelev på VG1. Testen ble gjennomført digitalt som en-til-en-undervisning. Ved å teste undervisningsopplegget kunne jeg få tilbakemelding og innspill på hvordan opplegget kunne forbedres, noe som jeg så på som veldig verdifullt. Underveis i testopplegget ba jeg eleven om å si ifra dersom jeg formulerte meg utydelig, eller kom med vanskelig teori. På den måten kunne jeg endre ordlyden i forklaringen, eller forberede meg på å komme med tilleggsinformasjon. Eleven stilte flere spørsmål underveis i testopplegget, noe som førte til at jeg ble nødt til å utdype hva jeg hadde sagt. Med dette ble jeg bedre forberedt på mulige spørsmål som kunne komme i klasserommet under selve gjennomføringen.

Siden testopplegget ble gjennomført én-til-én fikk jeg ikke lagt opp til gruppediskusjon, verken i forbindelse med refleksjonsoppgavene eller aktiviteten med måledataene. Delene av undervisningsopplegget der det var planlagt at elevene skulle diskutere ble testet ved at eleven selv reflekterte over spørsmålene, og jeg som lærer stilte oppfølgingsspørsmål til det som ble sagt.

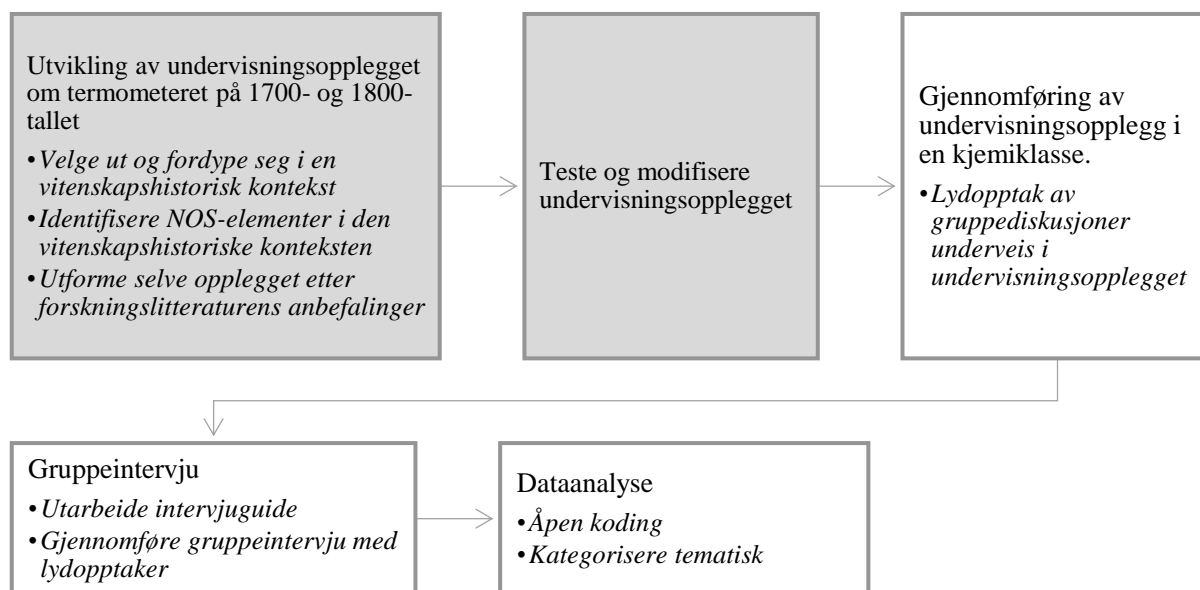
I forbindelse med den ordentlige gjennomføringen av opplegget gjorde jeg meg noen erfaringer, og fikk noen ideer for mulige forbedringer. Erfaringer og tips til fremtidig gjennomføring av opplegget er gitt i Vedlegg C

## 5 Kvalitativ metode

For å få innblikk i hva elevene opplevde å ha lært gjennom undervisningsopplegget om termometerets utvikling, valgte jeg intervju som primær datainnsamlingsmetode. Dette var hensiktsmessig i forbindelse med min studie siden intervju egner seg godt for å få frem menneskers opplevelser (Bjørndal, 2011, s. 93; Tjora, 2017, s. 114). Intervjuene ble gjennomført i etterkant av undervisningsøkten og ga meg mulighet til å søke mening bak elevenes uttalelser. På den måten fikk jeg en dypere forståelse av hva de opplevde å ha lært om naturvitenskapens egenart. Siden jeg fokuserte på å få en dypere forståelse av det valgte forskningsområde i en gitt kontekst, hadde studien en kvalitativ tilnærming (Christoffersen & Johannessen, 2012, s. 17). I tillegg til intervjuer ble gruppediskusjonene i undervisningsopplegget tatt opp og brukt som supplerende datamateriale. Disse diskusjonene var knyttet til det jeg tidligere har referert til som refleksjonsoppgaver og aktiviteten med måledataene. Videre i kapittelet redegjør jeg for studiens design, kontekst, innsamlingsmetode og analyse av data. I tillegg drøfter jeg forskningsetiske betraktninger og studiens kvalitet.

### 5.1 Forskningsdesign

Studiens design består hovedsakelig av 5 ledd (se Figur 7). For å kunne belyse studiens problemstilling var jeg først nødt til å utvikle et undervisningsopplegg som baserte seg på historien om termometeret. Denne prosessen innebar å sette seg inn i den historiske konteksten, samt litteratur om NOS og NOS-undervisning (se kapittel 2 og 3). Etter at undervisningsopplegget var laget ble det testet, modifisert og gjennomført. Datainnsamling skjedde underveis i gjennomføringen av undervisningsopplegget (gruppediskusjoner), og i etterkant (gruppeintervju). Det er innhenting og analyse av disse dataene som vil bli beskrevet videre i dette kapittelet.



Figur 7: Flytskjema som viser studiens forløp. Pilene viser rekkefølgen de ulike delene ble gjennomført. De to første trinnene (grå farge) utgjør første del av studien og dette arbeidet ble belyst i kapittel 3 og 4. De resterende tre trinnene utgjør studiens empiriske undersøkelse, og blir belyst videre i dette kapittelet.

## 5.2 Sted og deltakere

For å kunne undersøke forskningsspørsmålene mine trengte jeg en gruppe elever som både kunne delta i selve undervisningsopplegget og i intervju. Med tanke på min kjemifaglige bakgrunn var det ønskelig å rekruttere elever som hadde kjemi som programfag. Kontakt ble opprettet via epost til en kjemilærer i veileders nettverk. Studien ble gjennomført på en stor videregående skole i en kjemiklasse som bestod av 21 elever (11 jenter og 10 gutter).

Elevene kunne velge om de ønsket å være med på utvalgte deler eller alle deler av studien. Alle elevene samtykket til at gruppediskusjoner underveis i undervisningsøkten kunne tas opp. Diskusjonene handlet om problemstillinger knyttet til å utvikle et termometer, samt å tolke historiske måledata. Jeg hadde kun tilgang på to lyddopptakere da undervisningen ble gjennomført, og derfor ble to tilfeldige grupper valgt ut før hver gruppediskusjon. Den ene lyddopptakeren lå fast hos én gruppe, og den andre var innom tre ulike grupper. Tabell 5 viser en oversikt over elever som deltok i undervisningsøktens gruppediskusjoner. Elevene er angitt med fiktive navn og de som også deltok på intervju er angitt i kursiv med intervju-gruppenummer i parentes.

Det var til sammen 13 elever som samtykket til å delta på gruppeintervju. Med hjelp fra elevenes lærer ble disse elevene fordelt på tre grupper, basert på deres relasjonelle forhold. Det var hensiktsmessig at elever som kjente hverandre godt ble intervjuet sammen for å senke terskelen for å bidra i potensielle diskusjoner. På grunn av elevfravær ble antall informanter redusert til

åtte, noe som reduserte antall elever per gruppe. De endelige intervjugruppene bestod av 2-3 informanter. En oversikt over de tre intervjugruppene med informantenes fiktive navn er gitt i Tabell 6. Informantene i intervjugruppe 1 og 2 kjente meg fra tidligere undervisningsarbeid. De to informantene i gruppe 3 kjenner meg kun gjennom denne studien.

Tabell 5: Oversikt over elever som deltok i tre av gruppediskusjonene fra undervisningsøkten. Hver diskusjonsgruppe er angitt med gruppenummer. Elevene har fått fiktive navn. De elevene som er uthevet i kursiv deltok også i gruppeintervju. Intervjugruppenummer er angitt i parentes bak navnet

<b>Diskusjon 1</b> Hvordan kan man avgjøre hvilket termometerfluid som er best?	<b>Diskusjon 2</b> Målinger gjort av kvikksølvtermometer laget av ulike typer glass	<b>Diskusjon 3</b> Målinger gjort av lufttermometer med ulik lufttetthet inni termometeret
D1_1	D2_1	D3_1
Katrine	Katrine	Katrine
Amalie	Amalie	Amalie
<i>Linda (I1)</i>	Linda	Linda
D1_2	D2_2	D3_2
Kari	Geir	Glenn
Petra	<i>Kirsten (I1)</i>	Viktor
<i>Matilde (I1)</i>	<i>Sivert (I2)</i>	<i>Bendik (I2)</i>
		<i>Elise (I2)</i>

Tabell 6: Oversikt over de tre intervjugruppene med informantenes fiktive navn.

<b>I1</b>	<b>I2</b>	<b>I3</b>
Kirsten	Bendik	Emilie
Linda	Sivert	Kamilla
Matilde	Elise	

### 5.3 Datamateriale

Som nevnt bestod datamaterialet for studien av gruppediskusjoner som ble holdt underveis i undervisningsøkten, samt tre gruppeintervju gjort i etterkant av undervisningsøkten. Intervjutranskripsjonene utgjør hovedmaterialet i studien. Gruppediskusjonene fra undervisningsøkten har fungert som et supplement for å utfylle og kontrollere informasjonen elevene ga i intervjuene.

### 5.3.1 Gruppeintervju

Jeg valgte å gjennomføre gruppeintervju fremfor enkeltintervju, fordi det var en effektiv måte å få frem flere enn én stemme (Robson & McCartan, 2016, s. 284; Tjora, 2017, s. 123). I tillegg gir gruppeintervju informantene mulighet til å interagere med hverandre, og på den måten kan flere spontane svar og diskusjoner oppstå (Robson & McCartan, 2016, s. 283; Tjora, 2017, s. 123). Slike dialoger kan gi meg en dypere innsikt i informantenes opplevelser.

#### **Semistrukturert intervju og intervjuguide**

Jeg gjennomførte semistrukturerte gruppeintervju etter intervjuguiden i Vedlegg D. Et semistrukturert intervju åpnet opp for et fleksibelt intervju der jeg kunne tilpasse spørsmålene og rekkefølgen på dem underveis (Bjørndal, 2011; Kvale & Brinkmann, 2015). Dette så jeg på som hensiktsmessig fordi det ble lettere å bruke det informantene sa til å stille oppfølgingsspørsmål, samtidig som intervjuet hadde en tydelig ramme. Intervjuguiden sørget for at jeg stilte spørsmål bygget direkte opp under forskningsspørsmålene (Bjørndal, 2011, s. 97). Spørsmålene i intervjuguiden forsøkte å få frem hva elevene opplevde å ha lært om naturvitenskapens egenart i løpet av undervisningsøkten. Intervjuguiden bestod av tre hovedtema: «mål og verdier», «praksis, metoder og metodologiske regler» og «NOS i praksis». Under hvert hovedtema utarbeidet jeg underspørsmål der elevene måtte reflektere over hva den vitenskapshistoriske konteksten hadde lært dem. Eksempelvis var et underspørsmål innenfor temaet *mål og verdier*: «Hvilke mål og verdier rettet Regnault seg etter i arbeidet med termometeret?». Hele intervjuguiden med underspørsmål er gitt i Vedlegg D. For å få gode og konkrete svar formulerte jeg spørsmål som både var tydelige og nøytrale (Bjørndal, 2011, s. 99). Flere av intervjusspørsmålene var likevel ganske åpne, slik at informantene fikk mulighet til å reflektere rundt temaene.

#### **Gjennomføring av gruppeintervjuene**

Alle de tre gruppeintervjuene ble gjennomført to dager etter at undervisningsopplegget var gjennomført. For å unngå forstyrrende elementer ble intervjuene gjennomført på et eget grupperom. Det ble brukt lydopptaker under hvert gruppeintervju, for å sikre at all data ble med, og slik at jeg kunne konsentrere meg fullt og helt om å lede intervjuet (Kvale & Brinkmann, 2015, s. 205; Robson & McCartan, 2016, s. 305). En mulig ulempe med å bruke lydopptaker er at bevisstheten om at det som sies blir tatt opp kan virke noe “truende” for informantene (Robson & McCartan, 2016, s. 305). For å redusere denne faktoren repeterte jeg hensikten med studien i begynnelsen av hvert intervju, forklarte hva opptakene skulle brukes til, og hvordan

de skulle behandles. I tillegg la jeg vekt på at informantene fikk diskutere spørsmålene i grupper med klassekamerater de var trygge på. Dette kan ha vært med på å skape et tryggere miljø for informantene (Tjora, 2017, s. 123).

### **Transkribering av intervju**

Som tidligere nevnt ble alle gruppeintervjuene tatt opp med lydopptaker. For å gjøre datamaterialet mer egnet for analyse ble intervjuene transkribert fra lyd til tekst. Gjennom transkriberingen ble også informantene anonymisert. Jeg transkriberte alle intervjuene i løpet av tre dager etter at de var gjennomført. Dermed ble det lettere å knytte notater som var blitt tatt underveis i intervjuet til transkripsjonene. Disse notatene inneholdt stikkord av det som ble sagt, samt informasjon om ikke-verbale handlinger, som nikk og pekende fingre. Underveis i transkriberingen ble jeg bedre kjent med datamaterialet, og jeg fikk muligheten til å notere ned tanker om hva som ble sagt underveis. På den måten kan det sies at dataanalysen begynte allerede under transkriberingsarbeidet (Kvale & Brinkmann, 2015, s. 207).

Under transkriberingen ble elevenes ytringer av praktiske årsaker omgjort fra dialekt til bokmål. Ellers forsøkte jeg å gjengi uttalelsen så ordrett som mulig. Det ble også inkludert noen ikke-verbale handlinger som latter og bekræftende lyder, samt at lengre pauser ble registrert. For å fortette utdragene ble det brukt transkripsjonskoder underveis i transkripsjonsprosessen. Transkripsjonskodene med tilhørende forklaring er gitt i Tabell 7. Transkribering av undervisningsøktens gruppediskusjoner ble gjort på samme måte som intervjutranskriberingen.

*Tabell 7: Transkripsjonskoder med tilhørende forklaring.*

<b>Transkripsjonskode</b>	<b>Forklaring</b>
<i>Skrift i kursiv</i>	Trykk
-	Avbrytelse
...	Kort pause (< 3 sek)
(...)	Lenger pause (3 – 7 sek)
[...]	Utelatt ytring i presentert data
[tekst]	Forklarende tekst til ytringen
(tekst)	Ikke-verbal handling



## 5.4 Dataanalyse av intervju

Etter datainnsamling og transkribering leste jeg grundig gjennom transkripsjonene, samtidig som jeg skrev ned egne refleksjoner og markerte ytringer jeg med første blick anså som interessante. Dette gjorde jeg for å få en bedre oversikt over datamaterialet, samt notere ned tanker om det informantene sa. Videre kan analysemetoden grovt deles inn i tre steg: åpen koding, kodegruppering og definere hovedtemaer.

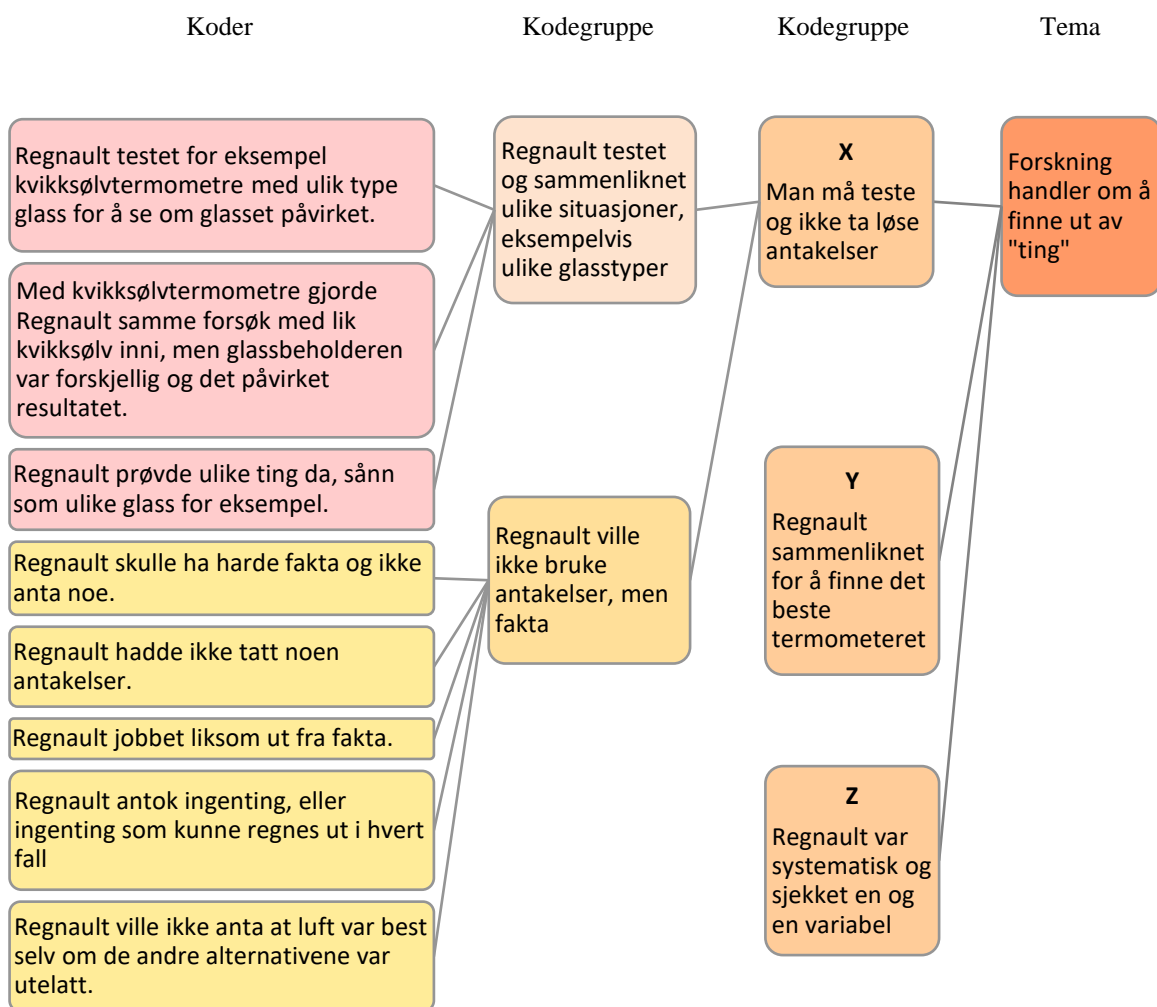
I første steg, den åpne kodingen, lagde jeg empirinære koder for hver informantuttalelse i hver av intervjuene. Inspirert av Tjora (2017, s. 218) la jeg vekt på at hver kode skulle gjengi hva informanten sa gjennom en påstand. Slik kom essensen i det empiriske materialet frem på en tydelig måte. I tillegg ble meningen i det empiriske materialet gjengitt med få ord, noe Kvale og Brinkmann (2015, s. 232) kaller metningsfortetning. Et eksempel på hvordan jeg har kodet sitater er gitt i Tabell 8. Her illustrerer jeg også hvordan ett sitat kan være utgangspunkt for flere koder, samt at hver kode i størst mulig grad ble gjengitt med informantens egne ord. Etter analysens første steg hadde jeg 327 empirinære koder.

Tabell 8: Eksempel på empirinær åpen koding fra første del av analysen.

Uttalelse	Kode
<i>Intervjuer:</i> Mhm, ... Hva tenker dere at Renault ønsket å oppnå med å gjøre alle disse undersøkelsene. Hvorfor gjorde han disse undersøkelsene?	
<i>Kamilla:</i> Det var sikkert litt for å se at. Hvorfor han gjorde så mange liksom? Mange og forskjellige? Det kan jo være for at, for å se at en liten endring gjør stor forskjell i på en måte svaret.	Kanskje gjorde Renault mange undersøkelser for å se at en liten endring gjør stor forskjell på svaret.
<i>Emilie:</i> Sjekke liksom, om det var pålitelig på den måten at. Siden dem hadde jo ikke så mye kunnskap om masse forskjellig. Det var jo som du nevnte at dem hadde ikke så mye kunnskap om glass, så derfor testet dem mange forskjellige glass. På den ene der, for å sjekke om det fungerte på en måte. Jeg vet ikke om det ga mening?	Renault gjorde mange forsøk for å sjekke om det var pålitelig Dem hadde ikke så mye kunnskap om glass, derfor testet man ulike glass De sjekket for å se om det fungerte

Steg to i analysen handlet om å gruppere liknende koder sammen. Målet var å lage kodegrupper der hver kodegruppe hadde en indre konsistens, samtidig som meningen skilte seg fra andre kodegrupper. Kodegrupperingen foregikk i flere omganger, og for hver omgang gikk jeg opp

et nivå. Dette var nødvendig for å redusere antall kodegrupper til et hensiktsmessig omfang. Et eksempel på hvordan jeg grupperte koder sammen er gitt i Figur 8. Etter første runde med gruppering hadde jeg 37 kodegrupper, som etter flere omganger endte opp som 9 kodegrupper. I siste steg av analysen lette jeg etter overordnede temaer i de ni endelige kodegruppene. I Figur 8 er det gitt et eksempel på hvordan tre ulike kodegrupper handler om det samme temaet, og er derfor utgangspunkt for ett hovedtema. Jeg endte opp med de tre hovedtemaene (1) Forskning handler om å «finne ut av ting» og (2) Publisering er viktig for å underbygge og utvikle kunnskap og (3) Vitenskapshistorie gir innsikt i hvordan naturvitenskap foregår. En oversikt over kodegrupper og temaer er gitt i Figur 9 (se kapittel 6).



Figur 8: Et eksempel på hvordan koder ble gruppert sammen gjennom flere nivåer. Kodegruppe X, Y og Z er utgangspunkt for ett hovedtema (Y og Z er basert på koder som ikke inngår i denne figuren).

## 5.5 Forskningsetiske betraktninger

I forkant av datainnsamlingen søkte jeg om godkjenning fra Norsk Senter for Forschungsdata (NSD). Studien og datainnsamling ble godkjent og fikk saksnummer 446038 (Vedlegg E).

Et av de mest sentrale kravene når det kommer til studier som involverer mennesker er kravet om fritt informert samtykke (Den nasjonale forskningsetiske komité, 2016). Jeg besøkte deltakerne i forkant av studien og informerte både muntlig og skriftlig om hvem jeg var, og hva studien dreide seg om. Informasjonsskrivet inneholdt blant annet opplysninger om hva studien handlet om, hvilke typer data jeg ønsket å samle inn, hvordan datamateriale skulle behandles, når den innsamlede dataen skulle slettes, samt hvilke rettigheter man hadde som deltaker (Vedlegg E). Jeg påpekte også gjentatte ganger at deltakelse var frivillig, og at de når som helst kunne trekke tilbake samtykke sitt. Muligheten om å angre seg minnet jeg også om rett før undervisningsøkten og før hvert intervju. Sammen med informasjonsskrivet lå et samtykkeskjema som elevene signerte etter at de hadde lest gjennom informasjonen. I samtykkeskjema kunne elevene velge mellom å delta på hele, deler av eller ingen deler av studien (Vedlegg E). Siden alle elevene var over 15 år og studien ikke samlet inn sensitive personopplysninger, kunne elevene selv signere samtykkeskrivet.

Gjennom hele studien har jeg behandlet all data konfidensielt, noe som er en forpliktelse man har overfor forskningsdeltakerne (Den nasjonale forskningsetiske komité, 2016). For å ivareta konfidensialiteten har lydopptakene kun vært tilgjengelig for meg, ved at jeg har lyttet til de når jeg har vært alene, samt at lydopptakene har vært lagret i et av NTNU sine digitale fillagringsområder som skal skjerme den lagrede dataen. I tillegg til at lydopptakene ble lagret på en forsvarlig måte er all data som er presentert i studien blitt anonymisert gjennom transkriberingsarbeidet. Data knyttet til studien vil bli slettet innen 1. august 2021.

## 5.6 Studiens kvalitet

For å si noe om studiens kvalitet tar jeg utgangspunkt i begrepene *pålitelighet* og *gyldighet* (Tjora, 2017, s. 232). Gyldighet handler om studien faktisk svarer på det man ønsket å undersøke (Tjora, 2017, s. 232). Pålitelighet handler om funnene i studien er til å stole på, og om de ville blitt det samme med en annen forsker og andre deltakere. I en kvalitativ studie slik som denne vil det ikke være mulig å fremskaffe helt identiske resultater dersom studien gjennomføres på nytt. Dette skyldes at studien er preget av situasjon og kontekst.

Som i enhver kvalitativ studie har jeg som forsker vært et av de viktigste forskningsinstrumentene (Postholm, 2005, s. 127). Som forsker vil jeg aldri kunne bli

fullstendig objektiv, da jeg påvirkes både av mine tidligere erfaringer og mine forforståelser (Christoffersen & Johannessen, 2012, s. 22). Under studien har jeg selv hatt en aktiv rolle, da jeg både har laget og gjennomført undervisningsopplegget, samt gjennomført og analysert intervjuer. Postholm (2005, s. 126) kaller en slik forskerrolle for todelt, og mener at det krever erfaring fra forskningsfeltet for å oppnå god kvalitet på studien. Jeg sitter dog ikke med en slik erfaring, og derfor vil det være sannsynlig at studien preges av min subjektivitet i større grad enn dersom en forsker med erfaring hadde gjennomført den. Dette er noe som kan ha vært med på å svekke resultatets pålitelighet.

Da jeg transkriberte intervjuene oppdaget jeg at jeg til tider ikke hadde klart å stille nøytrale oppfølgingsspørsmål. Eksempelvis formulerte jeg spørsmål som «tenker du at ... ?». Ved å begynne spørsmålet slik, er ordlyden ledende for informanten. Svar på slike spørsmål ble sett bort i fra, men dersom de fulgte opp med en forklaring ble dette inkludert i resultatet som en kode. En annen faktor som kunne påvirket intervjuet var at flere av informantene kjente meg gjennom tidligere undervisning. Dette kan ha påvirket i positiv retning ved at elevene ble tryggere på meg. Samtidig kan det være at informantene under intervjuene svarte det de tenkte at jeg ville høre. Det at jeg før hvert intervju informerte om at jeg kun ønsket å få frem deres erfaringer og opplevelser av opplegget, kan jeg ha minsket denne faktoren.

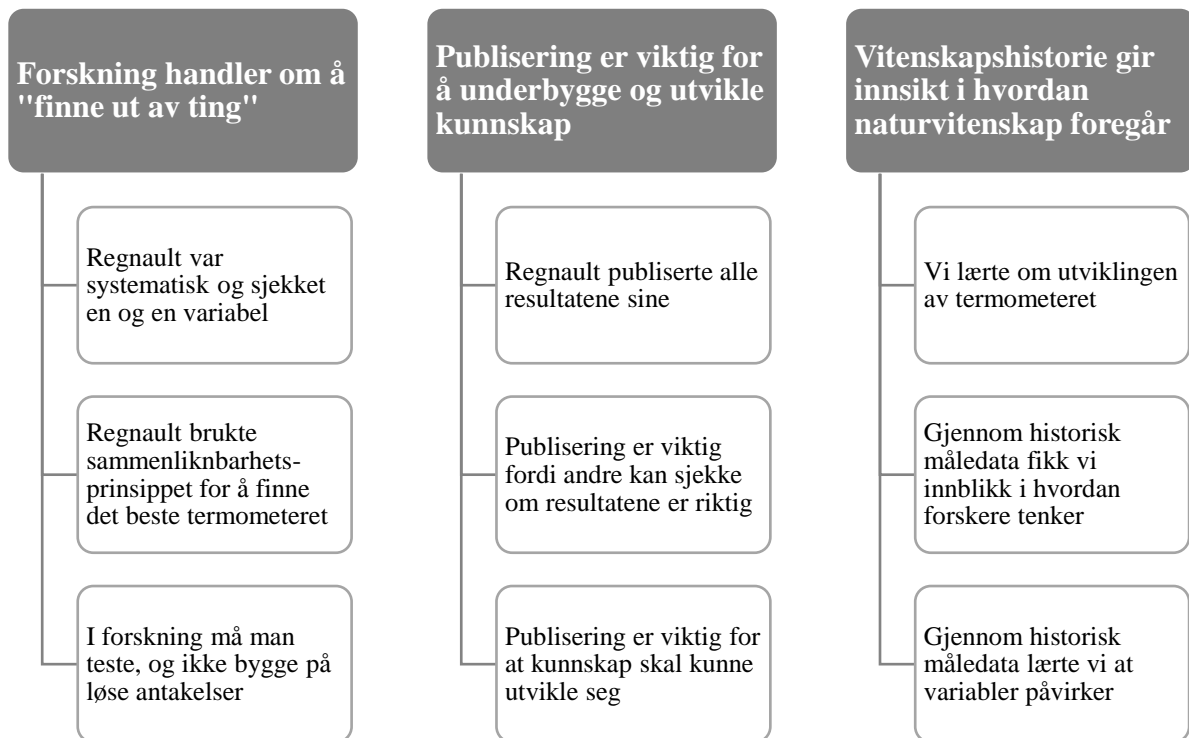
Elevene som deltok i studien, vil også være preget av tidligere erfaringer noe som vil påvirke studiens funn. Blant annet vil tidligere naturfag- og kjemiundervisning ha innvirkning på elevenes forkunnskaper om NOS. Dersom undervisningsopplegget hadde blitt gjennomført i en annen klasse med en annen bakgrunn, vil funnene trolig bli annerledes. Målet med studien var imidlertid ikke å generalisere funnene, men å få større innsikt i studiens tema innenfor den gitte konteksten.

Som grep for å heve kvaliteten til studien har jeg forsøkt å skrive transparent om studiens forløp og valg jeg har tatt underveis. Gjennom oppgaven har jeg gitt begrunnelse for valg av forskningsområde, valg av studiens teoretiske rammeverk og valg av undervisningsoppleggets vitenskapshistoriske kontekst og læringsaktiviteter. I tillegg har jeg skrevet åpent om metoder for datainnsamling og analyse. Gjennom å skrive åpent om mine valg underveis har jeg forsøkt å synliggjøre at jeg som forsker ikke er fullstendig objektiv, men at jeg påvirkes av min egen forståelse og tidligere erfaringer. Både Postholm (2005, s. 127-128) og Tjora (2017, s. 248) mener at det er viktig å presentere forskningsarbeidet på en transparent måte, da det styrker studiens pålitelighet.

## 6 Resultat og analyse

Hensikten med studien har vært å få et innblikk i hvordan historien om utviklingen av termometeret kan brukes som inngang til å forstå ulike sider ved naturvitenskapens egenart. Som beskrevet i kapittel 5 ble det gjennomført tre gruppeintervjuer etter undervisningsopplegget. Transkripsjonene av intervjuene er hovedgrunnlaget for studiens resultat. I tillegg blir transkripsjonene av gruppediskusjonene som foregikk i selve undervisningsøkten brukt som supplement.

I kodingsprosessen av intervjutranskripsjonene ble det utarbeidet tre hovedtemaer: (1) Forskning handler om å «finne ut av ting», (2) Publisering er viktig for å underbygge og utvikle kunnskap og (3) Vitenskapshistorie gir innsikt i hvordan naturvitenskap foregår (for mer utfyllende beskrivelse av analysemetode se kapittel 5.4). Hovedtemaene er basert på de ni kodegruppene utviklet fra datamaterialet. Figur 9 gir en skjematisk oversikt over hovedtemaene (grå boks) med tilhørende kodegrupper (hvit boks).



Figur 9: En oversikt over de tre hovedtemaene, med tilhørende kodegrupper.

Hovedtemaene presenteres og analyseres hver for seg i delkapittel 6.1, 6.2 og 6.3. Først oppsummerer jeg overordnede funn innenfor det gitte hovedtemaet, deretter belyser jeg utvalgte kodegrupper ved å analysere konkrete utdrag fra gruppeintervjuene. I noen tilfeller supplerer jeg med sitater fra gruppediskusjonene. Utdrag fra gruppeintervjuene er markert med innrykk, og informanten med gruppenummer er uthevet i grått (se Tabell 6). Korte sitater angis enkelte steder i løpende tekst med anførselstegn. Utdrag fra gruppediskusjoner skiller seg fra intervjutranskripsjonene kun ved at diskusjon- og gruppenummer (se Tabell 5) blir angitt før elevuttalelsene.

Underveis i resultatdelen blir deler av undervisningsopplegget kommentert. I tekstboksen nedenfor er det gitt en avklaring på hvilke begreper som brukes om de ulike delene av undervisningsopplegget.

#### **Undervisningsopplegget: en begrepsavklaring**

*Presentasjon* viser til delene av opplegget der læreren presenterte faglig materiale eller ga oppsummerende kommentarer til det som var diskutert.

*Refleksjonsoppgaver* refererer til de åpne spørsmålene som ble stilt underveis i presentasjonen. Et eksempel på dette er spørsmålet «Hvordan kunne forskerne finne ut hvilket termometer som var best?». Refleksjonsoppgaver er gitt Tabell 4.

*Aktiviteten med måledataene* refererer til de to måledata-aktivitetene gitt Figur 5 og 6. Elevene ble gitt tabeller med temperaturmålinger gjort med ulike termometre. Deretter skulle elevene blant annet diskutere om målingene var sammenliknbare.

*Gruppediskusjon* viser til elevdiskusjoner i forbindelse med refleksjonsoppgaver eller aktiviteten med måledataene.

## 6.1 Forskning handler om å «finne ut av ting»

Alle informantene mente at forskning innebærer å finne ut av noe gjennom å gjøre undersøkelser. Med det mente de at forskning handler om å utvikle en eller annen form for kunnskap. Informantene brukte blant annet begrepene «fakta» og «ting som er bevist» for å beskrive kunnskap som er blitt etablert gjennom grundige undersøkelser. De pekte også på kjennetegn ved gode undersøkelser, ved å forklare hvordan Regnault arbeidet med utviklingen av termometeret. Blant annet trakk informantene frem hvilke kriterier Regnault brukte for å beskrive et godt termometer. I tillegg ble det sagt at forskning skal bygges på testing heller enn antakelser. Flere informanter fremhevet også at denne testingen burde følge noen felles retningslinjer, eksempelvis sa de at Regnault testet flere variabler. Disse aspektene vil bli belyst nedenfor.

### 6.1.1 Regnault brukte sammenliknbarhetsprinsippet for å finne det beste termometeret

Under intervjuet sa alle informanter at Regnault arbeidet for å finne ut hvilket av de tre termometerfluidene (kvikksølv, alkohol og luft) som ga «det beste termometeret». I intervjuet forsøkte Linda å gi en forklaring på hvorfor Regnault, og datidens naturfilosofer, ønsket å finne et godt termometer.

Linda: (I1) Men jeg tror ikke, ja dem [naturfilosofene på 1700- og 1800-tallet] må liksom ha hatt, eh, tenkt at okei det her er noe vi, det her hadde vi hatt bruk for, vi hadde hatt bruk for et termometer, det er nyttig for oss.

Linda mente altså at naturfilosofene på 1700- og 1800-tallet arbeidet for å finne et godt termometer fordi det kunne være nyttig å ha. Jeg tolker det som at Linda er inne på at valg av forskningsområdet er avhengig av ulike interesser, der nytthet kan være én interesse.

I undervisningen hadde vi snakket om at det var to kriterier for et godt termometer: (1) termometre av samme type må gi like temperaturmålinger i en gitt situasjon og (2) et termometer må kunne gi samme resultat dersom man gjentar samme måling. De to kriteriene utgjør det vi i timen hadde omtalt som *sammenliknbarhetsprinsippet*. Før dette prinsippet var blitt introdusert diskuterte elevene refleksjonsoppgaven «hvordan kan man avgjøre hvilket termometer som er best?». De hadde blitt introdusert for de tre termometerfluidene, og nedenfor er et utdrag fra én av diskusjonene:

## D1\_2

Kari:	Hvilket som er best?
Petra:	Sikkert det som gir det samme svaret på samme situasjoner da. Eller samme.
Kari:	Flere ganger ja.
Matilde:	Jeg skjønner ikke spørsmålet. Hvordan avgjøre hvilket termometer som er best?
Kari:	Ja. Ved bruk av kvikksølv, alkohol eller luft. Hvilken av dem tre som gir. Hvordan kan man vite da? ... Jevnest resultater sikkert. ... Og man kan jo se an litt da, hvordan, kjenne litt selv hvordan temperaturen er ute og sånn.
Petra:	Ja, og er det varmt må det jo vise høyere temperatur enn når det er kaldt da.

I forkant av refleksjonsoppgaven hadde vi i plenum snakket om hva man bør kreve av et pålitelig termometer. I D1\_2 tok elevene utgangspunkt i hva som tidligere var blitt sagt om krav til pålitelige termometre – i en gitt situasjon kan det bare være én temperatur. Elevene var dermed selv inne på tanken om sammenliknbarhet som kriterium, selv om de ikke var blitt introdusert for sammenliknbarhetsprinsippet enda. Etter hvert gikk elevene vekk fra sammenliknbarhet, og fokuserte heller på menneskets fornuft og logikk som mulige verktøy for å løse problemstillingen. I forbindelse med samme refleksjonsoppgave snakket D1\_1 om hvilke kjemiske og fysiske egenskaper de ulike stoffene hadde. Denne gruppen var ikke inne på sammenliknbarhet som kriterium i det hele tatt.

Etter å ha blitt introdusert for sammenliknbarhetsprinsippet skulle elevene gjennom aktiviteten med måledataene bruke temperaturmålingene til å diskutere hvorvidt kvikksølvtermometrene av ulike glass var sammenliknbare (oppgavearket er gitt i Figur 5). Utdraget nedenfor er hentet fra én av diskusjonene, og det er verdt å merke seg hvordan elevene endret konklusjonen sin underveis i diskusjonen.

## D2\_2

Sivert:	Det virker jo som at temperaturen, forskjellene er neglisjerbare da
Kirsten:	Ja det er jo bare på, cirka én grad på de aller fleste.
Sivert:	Ja
Kirsten:	Bortsett fra når du kommer ... Men du ser jo at, jo høyere temperatur du har, jo mer varierer det.
Sivert:	Ja, men den Choise-Le-Roi-krystallen, den virker som at den har mye høyere, eller relativt mye høyere temperatur enn alle de andre da.
Kirsten:	Mhm



Sivert:	Eller utslag da ... dårlig
Kirsten:	Mhm, ja for dem varierer jo ganske
Sivert:	Ja
Geir:	Det er kanskje den med vanlig glass som fungerer best?
Kirsten:	Ja

D2\_2 startet altså med å si at kvikksølvtermometrene var veldig like. Deretter observerte de at forskjellen mellom termometrene økte når temperaturen ble høy nok. Likevel konkluderte de til slutt med at kvikksølvtermometeret med vanlig glass var best. Selv om vi tidligere hadde fastslått at sammenliknbarhet var et kriterium for et godt termometer, ble ikke dette tatt hensyn til i gruppens endelige konklusjon. I D2\_1 hadde diskusjonen ganske lik struktur som den for D2\_2, men avslutningsvis konkluderte elevgruppa med at kvikksølvtermometrene ikke gir riktig temperatur, siden forskjellen mellom termometrene økte. D2\_1 brukte sammenliknbarhetsprinsippet som kriterium i sin avsluttende konklusjon. Alle elevene hadde blitt introdusert for sammenliknbarhet rett før denne diskusjonen, men de oppfattet likevel i ulik grad sammenliknbarhet som kriterium for å avgjøre hvilket termometer som var best. Under intervjuet brukte imidlertid alle elevene indirekte sammenliknbarhetsprinsippet for å beskrive hva det beste termometeret var. Nedenfor er tre eksempler fra tre ulike intervjuer, der informantene definerte hva de mente et godt termometer var.

Matilde: (I1)	Hvis du skal måle temperaturen til det vannet der, med to ulike, to ulike termometre, så må de jo vise det samme. For temperaturen kan jo ikke forandre seg fra det ene termometeret til det andre.
Elise: (I2)	På det med lufttermometeret så var det jo veldig likt med temperaturen da. Så det viser jo kanskje at det er ganske bra å bruke et lufttermometer da. Fordi det er ganske mye mer nøyaktig
Emilie: (I3)	Ja det der med at, det er et termometer som faktisk fungerer i situasjoner. Og ikke. Og sikkert også måle sikkert alle ... luke bort dem termometrene som ikke egentlig fungerte da, og som viste forskjellig. ... Som viste forskjellig temperatur i samme situasjon. Ja, og vanskelig å rette seg etter.

Det er verdt å merke seg at alle elever i sine forklaringer kun fremmet det ene kriteriet for sammenliknbarhet: termometre av samme type må gi like temperaturmålinger i en gitt situasjon. Det var ingen som direkte pekte på at et termometer må kunne gi samme resultat dersom man gjentar samme måling. I den grad de fremmet å gjøre testen flere ganger var det i forbindelse

med hvordan man kan redusere mulige feilkilder. Bendik og Linda sa følgende i hvert sitt intervju:

Bendik: (I2)	Og det er viktig å teste flere ganger. (Sivert ytrer at han er enig). Og ikke bare prøve én gang, og så virker dem som det er fantastisk. Men du har gjort noe feil så egentlig er det dårlig.
Linda: (I1)	For å sjekke at det ikke bare er tilfeldigheter. [...] Fordi det er, det er så mye som kan spille inn på en måte, som. Ja. Som kan påvirke resultatet. Så man burde gjøre det flere ganger for å liksom passe på at, at det faktisk stemmer.

I utdraget presiserte både Bendik og Linda at det er lurt å gjøre undersøkelser flere ganger for å teste resultatet for mulige feilkilder. Ingen av dem sa at termometrene måtte testes flere ganger for å se om de oppfylte det andre kriteriet av sammenliknbarhetsprinsippet.

Oppsummert viste elevene altså i varierende grad en forståelse for sammenliknbarhet underveis i undervisningsøkten, men i intervjuene i etterkant av økta trakk alle informantene frem minst ett av kriteriene fra sammenliknbarhetsprinsippet som Renault brukte for å finne det beste termometeret. Det kriteriet flest elever fremmet var kriteriet om at termometre av samme type må gi like temperaturmålinger i en gitt situasjon. Det at et termometer må vise lik temperatur dersom samme måling gjentas ble kun indirekte nevnt ved at elevene sa at man testet flere ganger for å sjekke om det var noe som påvirket første gang.

### 6.1.2 Renault var systematisk og sjekket en og en variabel

Som tidligere nevnt observerte elevene under aktiviteten med måledataene at *kvikksølvtermometre av ulike glasstyper viste forskjellig temperatur*. Nedenfor er en diskusjon fra denne aktiviteten der elevene drøfter årsaken til at kvikksølvtermometrene laget av ulike glass viste forskjellig temperatur.

<b>D2_1</b>	
Katrine:	Men det varierer jo ganske mye, som du sier, det blir jo større og større forskjell jo høyere blir da. Og dem her er jo ikke noe en gang. Det er sikkert fordi at glasset smelter da. Tror du ikke det?
Linda:	Mhm
Amalie:	Kanskje det.
Linda:	Ja, men hvorfor skal det gjøre det med grønt glass? I stedet for vanlig.

Katrine:	Krystall er sikkert, men jeg skjønner ikke at <i>ikke</i> glasset påvirker ... på noen måte. Tror dere ikke at det gjør det? Glasset påvirker liksom målingene.
Amalie:	Jo jeg tror det
Linda:	Det gjør jo litt det da. Det er jo litt da.
Amalie:	Jeg tror det har litt med det å gjøre. Som er grunnen til at de er litt forskjellig.

Elevene var altså gjennom hele diskusjonen inne på at kvikksølvtermometrene laget av ulike glass viste forskjellig temperatur, fordi glasset påvirket målingen. Ingen av elevene klarte imidlertid å gi konkrete årsaker til hvorfor ulike glass ga forskjellig temperaturmålinger. Verken hvordan et glass endrer seg under oppvarming, eller mulig interaksjon med termometerfluidet ble nevnt.

Også under intervjuene trakk elevene frem at kvikksølvtermometrene av ulike glass ga forskjellige temperaturmålinger. I forbindelse med dette drøftet Bendik hva som skulle til for at temperaturmålingene skulle bli like.

Bendik: (I2)	[...] Sånn på da kvikksølvtermometeret at, forskjellige typer glass førte jo da til forskjellige typer målinger. Og det gjør jo da til at, hvis du da skulle bruke kvikksølv, så må man jo da ha likt glass hele tiden (Sivert nikker). Men det kan jo og være vanskelig, som gjør at. Og det vil jo da føre til at man kan trekke en konklusjon med at kvikksølv kanskje ikke er den beste måten å måle. Siden typen glass for å oppbevare det påvirker målingene
-----------------	--

Bendik konkluderte her med at kvikksølv ikke nødvendigvis var best å bruke i termometeret, fordi man var avhengig av å lage like glass. Ved å påpeke at produksjon av identiske glass kan være vanskelig viste Bendik en forståelse for at kunnskapsutvikling på ett område ofte avhenger av kunnskap på andre områder.

Som en følge av at variabler påvirker resultatene, pekte elevene på at *forskere må gjøre ulike typer målinger* der de tester ut variabler. I tillegg forklarte også noen elever at testingen av variabler måtte skje systematisk, ved å *endre på én variabel av gangen*. Linda forklarte i sitt intervju at det var viktig å være nøye under forskningsarbeid for å kunne fastslå noe, da hun videre ble spurt om å konkretisere hva hun mente med «nøye» utdypet Linda:

Linda: (I1) At man ikke endrer flere faktorer på én gang. At du passer på at du isolerer ut ... systematisk. At du ikke på en måte, det var jo sånn når han [Regnault] gjorde alle disse sammenlikningsprinsippene og alt det der, så gjorde han det liksom etter ... ja. Han gjorde det jo liksom etter tur og orden med ... Først så tok han og sjekket med ulik type glass ikke sant? Så da er de liksom én type faktor, det kan være glass. Også sjekket han sikkert ... andre ting enn det.

Linda understreket altså at det å teste ut én og én variabel er viktig for å kunne fastslå noe. Kirsten trakk også frem noe liknende i samme intervju: «Det er en veldig pålitelig måte å arbeide på, når man er så nøye og endrer én og én faktor [...]». Linda og Kirsten sa altså at det å være systematisk kan være et verktøy for å være nøyaktig, som igjen er viktig for å styrke påliteligheten til resultatet.

Oppsummert fremmet alle informantene at ulike variabler kan påvirke en måling, og for å forstå hvordan variablene virker på resultatet måtte Regnault teste ulike variabler, eller «faktorer», hver for seg. Det å teste ulike variabler på en systematisk måte ble av elevene sett på som en form for nøyaktighet.

### 6.1.3 I forskning må man må teste og ikke bygge på løse antakelser

Flere informanter trakk frem at man ikke kan anta at ting stemmer når man forsker. Det å lene seg på antakelser ble av flere fremmet som «dårlig vitenskap». Som et eksempel på hva man ikke skal anta underveis i forskning, sammenliknet Emilie arbeidet til De Luc og Regnault.

Emilie: (I3) Ja, og dem. Da antok han [De Luc] at siden alkoholtermometeret ikke fungerte så var det kvikksølv som var best, så. Jeg ser for meg at kanskje Regnault ville vise at selv om alkohol, selv om kvikksølv var mer nøyaktig da, enn alkohol. Så var det kanskje ikke det mest nøyaktige uansett da. [...]

Ifølge Emilie baserte De Luc seg på antakelser da han erklærte kvikksølvtermometeret som «best». I undervisningsøkten ble elevene fortalt at De Luc benyttet blandingsmetoden for å underbygge konklusjonen sin, og at denne metoden belaget seg på enkelte antakelser. Selv om Emilie ikke husket denne detaljen i sin forklaring, hadde hun likevel fått med seg essensen: undersøke om noe stemmer, ikke anta at det gjør det. Det at forskere undersøker påstandene sine ble også fremmet av blant annet Sivert som sa «man kan ikke bare blindt se at, eller, liksom bare tenke at ja det her er riktig. Man må jo sjekke *om* det er riktig». Med dette mente Sivert at man ikke kan påstå noe uten å ha gjennomført undersøkelser. Senere i resultatet vil vi imidlertid se at noen elever så på det som nødvendig å legge noen antakelser til grunn i vitenskapelig arbeid.

I intervjuet med Matilde, Kirsten og Linda kom det frem hvorfor undersøkelser kan underbygge en påstand. Jentene påpekte at *undersøkelser ble gjort for å fremskaffe data*, og at dette bidrar til å «bevise» påstanden. Nedenfor er et utdrag der Matilde, Kirsten og Linda (I1) diskuterer hva det vil si at noe er bevist.

Kirsten:	At du kan grunngi dem, det du har funnet ut da, med liksom bevis. [...] Nei altså han har ikke statistikk, men altså ... eh. Jeg finner ikke ordet på det. [...]
Linda:	At du har, ja, det, det, ja det vi har sagt, at det er liksom at man, at man kan fastslå det fordi du har, du har gjort så mye forskning på det. Og du har, ja. Du har funnet det ut da.
Kirsten:	Man har data.
Linda:	<i>Data</i> . Ja du har ... <i>resultater</i> .

Etter litt frem og tilbake kom jentene frem til at det å bevise noe, handler om å underbygge med data fra forskningsarbeid. Tidligere i intervjuet hadde jentene sagt at det er tryggest å tro på det som er bevist. Med dette tolker jeg det slik at de mener at en påstand blir mer pålitelig dersom det finnes data som kan underbygge den. Viktigheten av å fremskaffe data trekkes også frem av Emilie (I3) i et annet gruppeintervju: «Det [resultater] er jo liksom det som legger grunnlaget for. Ja for termometeret for eksempel. Eller for, eh, våres teorier da». Her sier Emilie at kunnskapen vår bygges opp gjennom resultater.

Selv om nesten alle informantene sa at påstander må underbygges gjennom undersøkelser og data, påpekte enkelte at *noen antakelser var nødvendige*. Dette hadde vi også diskutert i undervisningen. I intervjuutdraget nedenfor drøfter Kamilla og Emilie (I3) hvilke antakelser forskere kan lene seg på og ikke.

Kamilla:	Ehm ... At det på en måte, jo mer antakelser du tok, eller frie antakelser ikke bare. Jeg husker ikke hva det andre ordet var, men. Jo flere antakelser du tok, jo mer unøyaktig ble på en måte svaret ditt da.
Emilie:	Men man kunne ta grunnleggende antakelser, var det ikke det det het?
Kamilla:	Mhm, grunnleggende ble litt mer ... ordentlig svar. Mer konkret svar.
Intervjuer:	Husker dere en av de grunnleggende antakelsene som Regnault brukte i forbindelse med termometeret?
Emilie:	Eh ... Hva var det da? Jo at det var samme temperatur, eller at ting ikke kunne ha flere temperaturer da.

Intervjuer:	Hvorfor tenker dere at det er en grunnleggende antakelse?
Emilie:	Det er jo ganske logisk, sånn. Én og samme ting kan ikke ha flere temperaturer fordi. Ja, ja det gir jo mening da.
Kamilla:	Ja det bare gir mening
Emilie:	Jeg vet ikke. Det vanskelig å motbevise i hvert fall.

Både Kamilla og Emilie sa altså at det var greit å lene seg på noen «grunnleggende antakelser». Dette begrepet hadde vi også brukt i undervisningsopplegget i forbindelse med antakelser som er nødvendige. Jentene trakk frem det vi timen hadde omtalt som énverdiprinsippet som et eksempel på en grunnleggende antakelse. Énverdiprinsippet gikk ut på at en gitt situasjon ikke kan ha flere temperaturer. Denne antakelsen mente Kamilla og Emilie var nødvendig fordi det ga mening og det var vanskelig å motbevise – altså vanskelig å undersøke. Linda fremhevet et annet perspektiv på hva en grunnleggende antakelse er.

Linda: (I1)	Og hvis du skal drive og forske så må du jo, du må jo ta antakelser da. Hvis ikke så kommer du deg ikke noen vei. Hvis du ikke antar ting fra begynnelsen eller liksom, sånne grunnleggende ting, ja det er jo noen som har funnet ut det også. Så det kan man jo egentlig si om alt på en måte. Hvis det er forsket på det, så ja, så kan man jo på en måte anta det hvis dem har bevist det da.
Kirsten: (I1)	Ja, men i det her tilfelle så kan man jo egentlig ikke anta noe, for man hadde jo ikke funnet ut noe om termometeret fra før.

Linda forklarte at dersom man aldri lener seg på noen antakelser, er det vanskelig å utvikle ny kunnskap. Ifølge Linda har tidligere forskere gjort et arbeid som har ledet til kunnskap. Denne kunnskapen mener Linda at man bør anta at stemmer, slik at man ikke må begynne forfra. Dette var et perspektiv som ikke var blitt nevnt eksplisitt i undervisningsopplegget, men som Linda hadde tenkt ut på egenhånd. Kirsten var for så vidt enig med Linda, men Kirsten sin oppfatning var at naturfilosofene på 17- og 1800-tallet var nødt til å begynne forfra, fordi det var lite forkunnskaper om termometeret.

Oppsummert trakk elevene frem at forskningsresultater i utgangspunktet skulle basere seg på observasjon og undersøkelser. Det noen refererte til som «frie antakelser» skulle unngås, men flere sa at det kunne være nødvendig med noen grunnleggende antakelser når man forsker. Grunnleggende antakelser kunne enten være antakelser som var vanskelige å motbevise, eller kunnskap som var bevist gjennom tidligere forskning.

#### 6.1.4 Oppsummering av funn fra hovedtema 1

- Alle elevene mente at målet til Regnault var å finne «det beste termometeret»
- Alle elevene forklarte at det beste termometeret oppfyller kriteriet «termometre av samme type må gi like temperaturmålinger i en gitt situasjon»
- Ingen elever sa eksplisitt av det beste termometeret oppfyller kriteriet «et termometer må kunne gi samme resultat dersom man gjentar samme måling»
- De fleste elevene trakk frem at Regnault *testet ut én og én variabel* for å sjekke om det påvirket resultatet.
- De fleste elevene mente at man som forsker bør *unngå antakelser*, med unntak av *grunnleggende antakelser*
  - Grunnleggende antakelser definerte enkelte elever som nødvendige antakelser fordi det var noe som var vanskelig å motbevise.
  - Andre sa at grunnleggende antakelser var noe som var blitt bevist gjennom tidligere forskning

## 6.2 Publisering er viktig for å underbygge og utvikle kunnskap

Underveis i undervisningsopplegget ble informantene spurt om de mente publisering var viktig innenfor forskningsarbeid. Dette svarte elevene ja til. For å begrunne svaret sitt trakk enkelte elever frem at publisering var viktig fordi det gjorde det mulig for andre å sjekke om forskningsresultatene var riktige. Andre elever påpekte at publisering bidrar til at andre forskere kan utvikle kunnskapen. De to funnene vil bli belyst i det følgende.

### 6.2.1 Publisering er viktig fordi andre kan sjekke om resultatene er riktig

Flere informanter sa at publisering er viktig innenfor forskningsarbeid fordi det gir forskere *mulighet til å sjekke hverandres resultater*. Informantene pekte på at påliteligheten til forskningsresultatene ville bli svekket dersom ikke andre kan sjekke om resultatene stemmer. Informantene nevnte hovedsakelig to grunner til at etterprøving var viktig (1) *for å unngå at forskere finner på resultater* og (2) *at det kan skje feil underveis i forskningsarbeidet*.

Én av gruppene påpekte under aktiviteten med måledataene at publisering er viktig for å *forhindre at forskere finner på resultater* – altså forhindre falske resultater.

## D2\_1

Amalie:	Tenker dere at publisering er en viktig del av forskningsarbeidet ... Ja?
Katrine:	Det er jo det, sånn at andre også kan etterprøve [...]
Linda:	Og at som forsker så kan du jo også bare, du kan jo også bare finn på resultater som du har laget, også.

Amalie, Katrine og Linda pekte altså på at publisering gjorde det mulig for andre å etterprøve forskningsresultater. Elevene mente at det var viktig å kunne etterprøve andres resultater, fordi det gjorde det mulig å sjekke om resultatene var falske.

Under intervjuet trakk Elise og Bendik frem en litt annen grunn til hvorfor de mente at publisering og etterprøving av resultater var viktig. Flere informanter påpekte under intervjuet at *det kan oppstå feil under forskningsarbeidet*, og at publisering kunne bidra med å oppdage disse feilene.

Elise: (I2)	Det er jo. Hvis du deler kunnskapen med folk rundt i verden. Så kan jo dem sjekke om det stemmer. Sånn at flere folk liksom, kan sjekke akkurat det samme som han [Regnault] gjorde da. Det kan jo hende at han [Regnault] hadde feil og.
----------------	---

Elise sa her at feil kan oppstå i forskningsarbeid, ved å påpeke at det var en mulighet for at Regnault hadde feil. Dersom forskere publiserer resultatene sine kan resultatene sjekkes, og potensielle feil kan dermed oppdages, ifølge Elise. Her er Elise inne på at forskere også er mennesker, og at ingen mennesker er feilfrie. Feil kan altså oppstå uten at dette nødvendigvis er forskerens intensjon.

Oppsummert trakk elevene frem at publisering er med på å styrke forskningsresultater ved at mulige feil kan oppdages av andre. Enkelte elever sa at feil i resultatet kunne skyldes at forskerne selv hadde funnet på resultatene – altså at forskerne selv lagde falske resultater. Informantene knyttet det å eventuelt utgi falske resultater til forskernes ønske om å bli kjent. De fleste av informantene påpekte i intervjuet at feil kan oppstå underveis i forskningsarbeidet, uten at dette nødvendigvis er forskerens intensjon.

### 6.2.2 Publisering er viktig for at kunnskap skal kunne utvikle seg

Flere informanter trakk frem at publisering er viktig for at kunnskap skal kunne utvikles videre. Enkelte informanter sa at publisering gjør det lettere å bruke andres resultater, slik at man ikke må begynne helt på nytt om man skal forske innenfor samme område.



Matilde: (I1) Og det er viktig å legge ut all fakta, eller alt man finner ut av da. Sånn som han der Renault gjorde, at han viste liksom alle undersøkelsene han hadde gjort da. [...] for hvis man skal bruke det [Renault sine resultater] da, så trenger man kanskje ikke å gjøre det [undersøkelsene] like mange ganger som han [Renault].

Matilde trakk frem at dersom forskningsresultatene er presenterte i sin helhet og på en utfyllende måte kan man *bruke resultatene uten å gjennomføre undersøkelsene selv*. Matilde er dermed inne på det at publisering er viktig for at fremtidige forskere skal slippe å starte på nytt hver gang. Dette ble også diskutert av gruppe D2\_2 i undervisningen, der Geir påpekte at dersom resultater blir offentliggjort kan man ta utgangspunkt i det som allerede er blitt gjort. I tillegg til å bruke andres forskningsresultater, trakk informantene frem at man som forsker ikke alltid klarer å finne ut av det man undersøker.

Matilde: (I1) Vi har jo mer kunnskap nå da, ... enn det dem hadde før. Og, så hvis man kommer med ny kunnskap så kan det jo være lurt å dele det og, sånn at andre kan prøve å finne ut ting man selv ikke har klart å finne ut da.

Matilde trakk frem at forskere ikke alltid klarer å finne svar på undersøkelsene sine, og at dersom de publiserer uoppklarte resultater kan kanskje andre forskere finne det ut ved et senere tidspunkt. Matilde påpekte også at vi har mer kunnskap i dag enn før. Dermed er hun inne på at kunnskapen vi har tilegnet oss stadig er under utvikling, noe som fører til at forskere i dag har et annet utgangspunkt enn det tidligere forskere hadde. Dette kan knyttes til det som tidligere ble beskrevet i 6.1.2, der resonnementet til Bendik er med på å fremheve det at kunnskapsutvikling på ett område også krever kunnskap på andre områder.

Flere fremmet Matilde sitt synspunkt om at publisering kan bidra i utviklingen av ny kunnskap. Sivert sa noe av det samme, men med en litt annen vinkling. Han trakk frem at publisering var viktig slik at ikke kunnskapen skulle dø ut.

Sivert: (I2) Han [Renault] ønsket nok sikkert å dele alle disse funnene med resten av forskerne også [...] For eller så, eller så bare dør jo kunnskapen ut. Det er liksom. Det er jo derfor man gjør forskning, for at den skal komme. Den informasjonen man får skal komme videre, til for eksempel produkter. [...] Såne kommersielle produkter som, som den som fant opp såpe, delte jo kunnskapen for at andre kunne også lage såpe.

Sivert sa blant annet at dersom den som fant opp såpe ikke hadde delt såpeoppskriften, ville ingen andre kunne lage såpe. Fra dette tolker jeg det som at Sivert tenker at det blir vanskelig for andre å ta i bruk ny kunnskap dersom den ikke deles. Sivert nevner ikke det at flere

forskningsgrupper ofte forsker på det samme, og at det kan være mulig for flere å komme frem til den samme kunnskapen.

Oppsummert knyttet elevene publisering til det å videreutvikle kunnskap, enten ved å bruke andres resultater direkte i eget forskningsarbeid, eller ved å bygge videre på resultater som tidligere ikke kunne forklares. I tillegg trakk Sivert inn at publisering var viktig for at kunnskap ikke skal dø ut.

### 6.2.3 Oppsummering av funn fra hovedtema 2

- Elevene mente at publisering handler om å dele resultater.
- Elevene trakk frem at publisering er viktig innenfor forskningsarbeid fordi andre kan sjekke om resultatene er riktige. Dette mente enkelte informanter at er viktig fordi:
  - tidligere forskere kan ha utgitt falske resultater
  - feil kan skje underveis i forskningsarbeidet
- Elevene trakk frem at publisering er viktig innenfor forskningsarbeid fordi det bidrar til kunnskapsutvikling, ved at:
  - forskere slipper å gjøre tidligere undersøkelser på nytt
  - forskere kan finne svar på undersøkelser som tidligere forskere ikke klarte å finne svar på

### 6.3 Vitenskapshistorie gir innsikt i hvordan naturvitenskap foregår

Flere av informantene sa at det var annerledes for dem å lære kjemi gjennom vitenskapshistorie. Kirsten spesifiserte at hun gjennom undervisningsopplegget hadde lært om menneskene som var med å utvikle termometeret. For å presisere at dette var noe nytt, trakk hun frem at hun i kjemifaget hadde lært om metoden titrering, men ikke om menneskene som utviklet metoden. Linda pekte på at ved å lære om hvordan forskere har utviklet kunnskap, kunne det bli enklere å forstå selve kunnskapen.

Flere av informantene uttalte at de i undervisningen måtte tenke over problemstillinger som de vanligvis ikke tenkte over. De refererte her til refleksjonsoppgavene som tok utgangspunkt i spørsmålene naturfilosofene på 17- og 1800-tallet satt med i forbindelse med utviklingen av termometeret. I forbindelse med refleksjonsoppgavene sa Linda «[...] også blir man bare sånn

der hæ? [...] det er jo såne spørsmål du blir stilt som du aldri egentlig har tenkt på. Også, også når du tenker på det [...] så har du ikke noen svar». Med dette sier Linda at problemstillingene som hun ble introdusert for i løpet av undervisningen var utfordrende, og at det var vanskelig å finne et konkret svar.

I det følgende vil jeg belyse hva elevene opplevde å ha lært om å hvordan forskere tenker gjennom aktiviteten med måledataene. Informantene trakk også frem at aktiviteten synliggjorde hvordan Regnault benyttet seg av sammenliknbarhetsprinsippet, men dette ble tidligere belyst i 6.1.1 og vil derfor ikke bli tatt opp igjen her.

### 6.3.1 Gjennom historiske måledata fikk vi innblikk i hvordan forskere tenker

Under intervjuet fikk elevgruppene spørsmål om hva de tenkte målet med å diskutere de historiske måledataene var. Noen påpekte at de gjennom aktiviteten måtte *se sammenhenger selv*, andre fremhevet at de gjennom aktiviteten *tok stilling til andres forskningsresultater* eller *utvekslet tanker* knyttet til en problemstilling. Disse tre hovedfunnene vil bli belyst under.

Kirsten sa under intervjuet at aktiviteten med måledataene kunne lære elevene noe om å se sammenhenger.

Kirsten: (11) Målet med aktiviteten er at vi kanskje skal se sammenhenger selv [...] det kan jo hende at vi selv skal sitt, sette oss i en sånn posisjon [som Regnault], og da er det jo ikke sikkert vi har en fasit. Da kan det være litt greit å ... ja, kunne se sammenhenger, som i det her [måledataene] da.

Kirsten pekte knyttet det å se sammenhenger til forskningsarbeid ved å påpeke at man som *forsker som regel ikke har en fasit*. Man forsker gjerne på et nytt og ukjent område fordi man selv skal komme frem til en slags fasit. Kirsten mente altså at dersom man ikke har evne til å se sammenhenger vil det være vanskelig å finne ut noe nytt. Kirstens synspunkt ble støttet av både Matilde og Linda. Et eksempel som viser at elevene måtte se sammenhenger selv i forbindelse med aktiviteten med måledataene ble gitt i 6.1.1. Her diskuterte elevene temperaturmålinger gjort med ulike kvikksølvtermometre, og de så at avviket mellom temperaturmålingene økte med økt temperatur. Elevene klarte altså å se en sammenheng mellom avvik og temperatur.

I forbindelse med Kirsten sin uttalelse om at de lærte å se sammenhenger, kommenterte Linda følgende:

Linda: (I1) Det handler jo om at vi skal lære oss faget, ikke bare for å lære oss det andre har funnet ut før, men at vi skal bruke det til å ... først lærer vi oss det dem har funnet ut, og så skal vi prøve å bruke det til å finne noe annet nytt, og da burde vi jo kunne sette oss inn i hvordan folk som har funnet ut ting tenker.

Ifølge Linda er det mål i kjemifaget å lære seg både etablert kjemikunnskap, og hvordan denne kunnskapen kan brukes for å finne ut av noe nytt. Linda påpekte at dersom man skal kunne opparbeide seg en slik kompetanse, kan det hjelpe å få innblikk i hvordan forskere tenker.

Kamilla og Emilie var de eneste informantene som eksplisitt trakk frem at de gjennom aktiviteten måtte lese av andres resultater for å trekke en konklusjon.

Kamilla: (I3) Ja vi så jo bare over noen andre sine svar, også ... gjorde en konklusjon ut fra det da. Og ja.  
Emilie: (I3) Mhm. Og lese av andre sine resultater da. Og på en måte, ja, sånn at vi måtte trekke en konklusjon ut fra det ja.

Kamilla og Emilie sa begge at de brukte andres temperaturmålinger for å trekke en konklusjon gjennom aktiviteten med måledataene. De fremhevet dermed det å vurdere og tolke resultater som læringsutbytte. Som det ble vist i 6.1.1 og 6.1.2 brukte informantene måledataene aktivt for å svare på spørsmål om blant annet sammenliknbarhet og testing av variabler. Siden et fåtall av elevene kommenterte at de var nødt til å lese og forstå måledata, virker det som at de fleste er ubevisst på at det å tolke måledata er en kompetanse i seg selv.

Noen elever trakk frem diskusjonsoppgaver som positive fordi de ga dem muligheten til å høre andre gruppemedlemmers tanker knyttet til en gitt problemstilling.

Matilde: (I1) Jeg synes jo det var veldig greit med sånne diskusjonsoppgaver ja. [...] Nei, sånn som Kirsten sa i sta. At man liksom kunne høre hva andre tenkte om det, som man ikke har tenkt på selv da. Og liksom få tenkt litt først og så vite hvordan dem [naturfilosofene på 1800-tallet] egentlig gjorde det da. Og hvordan dem tenkte på den tiden. Det synes jeg var interessant.

Matilde og Kirsten mente altså at både refleksjonsoppgavene og aktiviteten med måledataene åpnet opp for å få innsyn i hva andre i klassen tenkte om den samme problemstillingen. Uten å påpeke det eksplisitt snakket jentene om det å utveksle ideer og samarbeide for å finne svar på noe ukjent.

Oppsummert sa elevene at de gjennom aktiviteten med måledataene har lært noe om det å tenke som en forsker. Måledataene kan knyttes til vitenskapshistorie, da dette var et utdrag av Regnault sine egne resultater. Noen informanter trakk frem at de gjennom aktiviteten med måledataene måtte se sammenhenger selv, noe forskere også er nødt til fordi de ikke har en fasit. Elevene påpekte selv sammenhengen mellom aktiviteten med måledataene og det å drive forskning. Andre informanter påpekte at de gjennom aktiviteten med måledataene brukte tidligere forskeres resultater for å trekke en konklusjon, og noen sa at man utvekslet tanker og ideer om en gitt problemstilling.

### 6.3.2 Oppsummering av funn fra hovedtema 3

- Elevene trakk frem at aktiviteten med de historiske måledataene lærte dem noe om
  - å se sammenhenger
  - at forskere ikke nødvendigvis har en fasit
  - å bruke andres forskningsresultater
  - å utveksle ideer

## 7 Drøfting og kritikk av studien

Da undervisningsopplegget ble utformet tok jeg utgangspunkt i elementer fra NOS-kategoriene «mål og verdier», «metoder og metodologiske regler» og «praksiser» i FRA-rammeverket. I det følgende vil jeg drøfte hva elevene opplever å ha lært gjennom undervisningsopplegget, først ved å se på analysens hovedtemaer (7.1). Etter at resultatene er drøftet blir studiens forskningsspørsmål besvart ved at temaene knyttes opp mot de utvalgte NOS-kategoriene (7.2). Avslutningsvis tar for meg kritikk av studien (7.3). Svar på hovedproblemstillingen blir gitt i kapittel 8; konklusjon, implikasjon og videre studier.

### 7.1 Drøfting av resultater

#### 7.1.1 Forskning handler om å «finne ut av ting»

Allchin et al. (2014) har påpekt at vitenskapshistorie egner seg spesielt godt for å gi et innblikk i naturvitenskapens prosesser, og at naturvitenskapen utføres av mennesker, med alt det innebærer. Alle elevene trakk i intervjuene frem at Regnault arbeidet for å finne det beste termometeret, men at han ikke var den eneste. Blant annet nevnte de også De Luc og hans arbeid med termometeret. Ved å trekke frem ulike menneskers arbeid med å finne et godt termometer var elevene selv inne på at forskning drives av ulike mennesker i ulike land. Linda var også inne på at naturfilosofene ønsket å finne et godt termometer fordi det kunne være nyttig å ha. Med dette var Linda inne på at målet med forskningen kan endre seg basert på interessene til forskerne, eller samfunnet rundt. Erduran og Dagher (2014, s. 148) fremhever at naturvitenskapen skal forsøke å være objektiv og nøytral, men forskning preges både av menneskene som utfører den, og av samfunnet forskningen skjer i.

Elevene viste i intervjuene en viss forståelse for hvilke kriterier Regnault stilte til et godt termometer. Under intervjuene fremmet alle elevene kriteriet om at termometre av samme type må gi like temperaturmålinger i en gitt situasjon (kriterium én). Det kunne virke som at elevene ikke tenkte over, eller hadde glemt kriteriet om at et termometer må kunne gi samme resultat dersom man gjentar samme måling (kriterium to). En forklaring på dette kan være at aktiviteten med måledataene der elevene skulle vurdere ulike termometermålinger, belyste kun kriterium 1. Dersom undervisningsopplegget også hadde inkludert en aktivitet som viste til ulike paralleller gjort med samme termometer kunne kriterium to blitt ytterligere fremmet. Dette sammenfaller med tidligere studier som har fremmet at elevene bør interagere med historien de møter på i klasserommet gjennom en aktivitet (Kim & Irving, 2010; Klassen & Klassen, 2014;

Metz et al., 2006). Studiene trekker frem at dersom elever får ta del i historien og utforske NOS-elementer på egenhånd, kan de få en bedre forståelse av historiens problemstillinger.

Det at kunnskap bør bygge på empiriske observasjoner av naturen står sentralt i naturvitenskapen (Erduran & Dagher, 2014, s. 52; Kragh, 2008, s. 13). Alle elever fremmet at Regnault testet og sammenliknet ulike termometre for å finne det beste. Enkelte sa også at dette var viktig for å fremskaffe data. Elevene viste med dette en forståelse for at kunnskap må underbygges av data for at den skal kunne etableres. Som Sivert påpekte, «man kan ikke bare blindt se at, eller, liksom bare tenke at ja det her er riktig. Man må jo sjekke *om* det er riktig». Det virker altså som at elevene selv hadde en forståelse for hvorfor forskere gjør ulike undersøkelser; man kan ikke finne ut av noe *nytt* uten å gjøre undersøkelser. Resultatet mitt sammenfaller med resultatet fra Kim og Irving (2010) sin studie der deltakerne etter et undervisningsopplegg basert på vitenskapshistorie, viste en bedret forståelse for at naturvitenskapelige påstander må underbygges med empiri. I tillegg til å fremheve at Regnault gjorde undersøkelser, spesifiserte alle elever i min studie at undersøkelsene ble gjort *systematisk* ved at Regnault kun testet én variabel av gangen. Dette mente de var viktig for å være nøye. Elevene hadde altså oppfattet at det ikke er tilstrekkelig at forskere gjør tilfeldige undersøkelser, de må gjennomføres på en ordentlig og systematisk måte slik at dataene blir riktige.

Valg av metode for hvordan observasjonene skal forgå og tolkes, varierer fra forsker til forsker (Erduran & Dagher, 2014, s. 93; Giunta, 2001; McComas, 2020b, s. 49). Dette skyldes blant annet at ulike forskningsfelt har ulike metoder, og at forskere påvirkes av sine mål og tidligere erfaringer. Enkelte elever sammenliknet arbeidet til De Luc og arbeidet til Regnault. De påpekte at De Luc lente seg på noen antakelser da han konstaterte at kvikksølvtermometeret var det beste. Regnault brukte imidlertid sammenliknbarhetsprinsippet og konstaterte at kvikksølvtermometeret ikke egnet seg. Her er elevene inne på det at ulike teoretiske tilnærminger kan påvirke både valg av metode og resultatet. Lin og Chen (2002) fikk liknende resultater da de undersøkte fordelene med å undervise lærerstudenter i kjemi gjennom vitenskapshistorie. Resultatene til Lin og Chen (2002) tydet på at lærerstudentene fikk økt forståelse av hvordan naturvitenskapelige observasjoner er teoriladd og hvilken funksjon teorier har. Selv om elevene tilsynelatende viser noe forståelse for at resultatene og metodevalgene til Regnault og De Luc ble styrt av teoretiske utgangspunkt, så sier ikke mine analyser noe om elevene tenkte at dette også gjaldt generelt innenfor forskningsarbeid i dag.

Mange elever pekte på at forskere helst ikke skal lene seg på antakelser. Dette ser ut til å henge sammen med det som tidligere er blitt nevnt om at kunnskap etableres gjennom empirisk

evidens. Samtidig påpekte et par elever at man enkelte ganger må anta noe underveis i forskningsarbeidet, eksempelvis énverdiprinsippet. Fra resultatet virker det imidlertid som at elevene har vanskeligheter med å forklare hva dette innebærer. Enkelte elever sa at det som var vanskelig å motbevise må man kunne anta at stemmer. Andre sa at det som er bevist gjennom tidligere forskning må tas for gitt. Her er elevene inne på det Kuhn (1996, s. 23) kaller forskningsparadigmer. Alle forskere arbeider innenfor et forskningsparadigme, der enkelte kunnskaper og forståelser legges til grunn. Elevene virker å ha noe, men ikke tilstrekkelig, forståelse for dette. Balansen mellom det å empirisk underbygge påstander og at man til tider må lene seg på antakelser, ser ut til å være vanskelig for elevene å beskrive konkret. Elevene la mye vekt på at forskere gjør undersøkelser, og i dette poenget var elevene tydelig i svarene sine. Da elevene forklarte hva de mente med begrepet «grunnleggende antakelser», ble svarene mer diffuse. Dette kan forklares med at undervisningsopplegget ikke vektla å belyse forskningsparadigmer eksplisitt. Dersom det hadde blitt fremhevet at forskere arbeider innenfor forskningsparadigmer i selve undervisningen, ville antakeligvis elevene i større grad ha forstått hvorfor énverdiprinsippet kunne legges til grunn for forskningsarbeidet.

#### 7.1.2 Publisering er viktig for å underbygge og utvikle kunnskap

Under intervjuene diskuterte elevene hvorfor det var viktig at Regnault publiserte resultatene sine. Elevene sa at Regnault publiserte alle resultatene sine, og mente dette var viktig for å kunne etterprøve resultatene, eller for å bruke resultatene for å videreutvikle kunnskapen. Publisering er i utgangspunktet en omfattende prosess innenfor naturvitenskapen, og før potensiell publisering må forskningsartikler gjennom fagfelle vurderinger der metoder og konklusjoner blir vurdert av eksperter på fagfeltet (Mork & Erlie, 2017, s. 19). Funnene i denne studien indikerer at elevene tror publisering er det samme som det å offentliggjøre kunnskap. Ingen elever la vekt på hva som skal til for å få forskningsartikler publisert, de pekte heller på at publisering handler om å dokumentere eget arbeid. Chinn og Malhotra (2002) mener at de utforskende aktivitetene elevene møter på i klasserommet ikke likner ekte forskning. Dette kan være med å forklare hvorfor elevene var fokusert på dokumenteringsdelen av publiseringsprosessen. Mitt inntrykk fra egen praksiserfaring og skolegang er at elevene ofte kun skriver en rapport knyttet til forsøk i klasserommet. Klasseromsdebatter der elevene må presentere og forsvare funnene sine blir i mindre grad gjennomført. Resultatet tyder på at elevene i studien oppfattet publiseringsprosessen som det samme som å dokumentere og offentliggjøre forskningsresultater, noe som er et lite autentisk bilde på hva publiseringsarbeid faktisk innebærer.



Giunta (2001) og Allchin (2012) trekker begge frem at feil er en naturlig del av forskningsarbeidet. Elevene trakk under intervjuet fram at publisering var viktig innenfor forskningsarbeid fordi resultatene blir etterprøvbare. Dette mente de at var viktig fordi det kan skje feil underveis i forskningsarbeidet. Eleven synes derfor å være klar over at etterprøvbare resultater er mer til å stole på, fordi mulig feil kan oppdages av andre. Elevene er her inne på det som omtales som organisert skeptisisme innenfor naturvitenskapen, som handler om kvalitetssikring av forskningsresultater gjennom systematisk kritikk av forskningsarbeidet (Merton, 1973, s. 277). Samtidig må jeg igjen påpeke at hva elevene la i begrepet «publisering» er snevert.

Under intervjuene sa elevene at publisering var viktig innenfor forskningsarbeid fordi det bidrar til at kunnskapen utvikler seg. Elevene sa at dersom én forsker publiserte resultatene sine, kunne en annen bruke det for å utvikle kunnskapen. Her er elevene inne på det vitenskapelige etos om at kunnskap skal deles med alle (kommunisme) (Merton, 1973, s. 273). Dagens forskningsarbeid er imidlertid preget av blant annet konkurranse mellom ulike forskningsgrupper eller bedrifter, noe som kan bidra til hemmelighold av forskningsresultater (Erduran & Dagher, 2014, s. 142). Dette ser det ikke ut til at elevene har reflektert over.

Giunta (2001) anbefaler at elevene får innblikk i hvordan de naturvitenskapelige metodene er deler av et stort nettverk, der observasjoner gjort av én forskergruppe, kan bidra til nye hypoteser eller eksperimenter hos andre forskergrupper. For at dette skal kunne skje må forskere kommunisere sine metoder og resultater med hverandre. Dette kan eksempelvis skje gjennom å publisere eget arbeid. Dette er et aspekt elevene diskuterte i forbindelse med å dele forskningsresultater. Mange elever pekte på at dersom man finner ut noe nytt kan andre bygge videre på det. Samtidig pekte de på at selv uoppklarte resultater kan bidra til kunnskapsutvikling dersom de offentliggjøres. Dette fordi andre på et senere tidspunkt kan ha et annet utgangspunkt, som gjør at de kan finne ut av det.

### 7.1.3 Vitenskapshistorie gir innsikt i hvordan naturvitenskap foregår

Én gruppe (I1) sa at de under aktiviteten med de historiske måledataene ikke hadde noen fasit og måtte derfor se sammenhenger selv. Dette knyttet de eksplisitt til det å forske. En annen elevgruppe (I3) påpekte at de under aktiviteten med måledataene brukte andres forskningsresultater for å trekke en konklusjon. De sa imidlertid ingenting om hvordan dette er en kompetanse. Det ser ut til at læreren må være enda tydeligere på at det er en kompetanse i seg selv å kunne tolke og vurdere både egne og andres forskningsresultater. Dette kan blant

annet forklares med anbefalingen om å undervise NOS eksplisitt-refleksivt. Det holder ikke at elever arbeider med aktiviteter som likner forskningsarbeid, det må også fremheves hva i aktiviteten som kan knyttes til forskningsarbeid (Bell et al., 2003; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Rudge & Howe, 2009; Williams & Rudge, 2016). Det å opparbeide seg en kritisk vurderingsevne kan bidra både innenfor forskningsarbeid, og i hverdagen der de fleste vil møte på problemstillinger med en naturvitenskapelig dimensjon (Kolstø, 2008; Sjøberg, 2009). I den kommende læreplanen i kjemi er det også et eget kompetansemål som lyder: «bruke data, simuleringer og beregninger i tolkninger og til å trekke konklusjoner» (Utdanningsdirektoratet, 2020). Dermed kan det i kjemifaget bli større rom for undervisningsopplegg av denne typen fra høsten 2021.

## 7.2 Svar på forskningsspørsmålene

### 7.2.1 Hva opplever elevene at de har lært om naturvitenskapens mål og verdier?

Kragh (2008, s. 11) påpeker at den moderne naturvitenskapen forsøker å utvikle kunnskap om naturlige fenomener, altså er målet med naturvitenskapelig forskning å finne ut av noe. Undersøkelsen min viser at alle elevene har en oppfatning av hva målet med å drive med forskning er, da alle forklarte at målet til Regnault var å finne ut hvilket termometer som var best. Hvorfor Regnault hadde dette som mål ble kun drøftet av Linda, som knyttet det opp mot en interesse om å finne ut noe som var nyttig å ha. Linda var dermed så vidt inne på hvordan målet med forskningen kan endre seg ut fra hvilke interesser forskere eller samfunnet rundt har.

Erduran og Dagher (2014, s. 52) har foreslått flere mål og verdier som de mener er viktige i skolens NOS-undervisning. Blant disse er målet om å være objektiv, nyskapende, nøyaktig og empirisk underbygge påstander. Flere av disse målene beskrives også av Allchin (2011) som sentrale innenfor forskningsarbeid. Resultatene viser at elevene spesielt fremhever målene om å være nøyaktig og empirisk underbygge påstander .

Alle elever påpekte at Regnault var *nøyaktig* da han undersøkte de ulike termometrene. Dette kom spesielt godt frem da de forsøkte å beskrive hva Regnault gjorde underveis i undersøkelsene sine. Det at elevene presiserte at Regnault var påpasselig med å endre på én variabel av gangen viser at elevene har en forståelse for at målet om å være nøyaktig, også påvirker hvordan forskere gjennomfører undersøkelsene sine (Erduran & Dagher, 2014, s. 42).

I forbindelse med å empirisk underbygge påstander fremmet alle elever at Regnault testet og sammenliknet ulike termometeret for å kunne få kunnskap om hvilket av termometrene som

var best. Målet om å empirisk underbygge påstander trekkes også frem i konsensussynet (McComas, 2020b, s. 40), samt i Kragh (2008) sin beskrivelse av naturvitenskapen.

Erduran og Dagher (2014, s. 49) har påpekt at elever bør få innblikk i mål og verdier innenfor naturvitenskapen fordi det bidrar til å gjøre elevene oppmerksom på hvordan forskere må gjennomføre undersøkelsene sine. Elevene har spesielt godt knyttet sammen målene om å være nøyaktig og empirisk underbygge med metodiske valg Regnault har tatt i undersøkelsene sine.

### 7.2.2 Hva opplever elevene at de har lært om naturvitenskapens praksiser?

Naturvitenskapelig praksis handler hvordan forskere arbeider for å finne svar på spørsmål om den naturlige verden. Erduran og Dagher (2014, s. 69, 80) trekker frem observasjon, eksperimentering og klassifikasjon som veletablerte praksiser innenfor naturvitenskapelige forskning, og de mener at elevene bør få innblikk i hvordan de tre praksisene samhandler for å utvikle kunnskap. Elevene trakk frem både observasjon og eksperimentering for å forklare hvordan Regnault arbeidet. Klassifisering som praksis ble ikke nevnt, men denne praksisen ble heller ikke fremmet i undervisningsopplegget.

Observasjon og eksperimentering er praksiser for å fremskaffe data, men hvordan disse dataene fortolkes av forskeren avhenger blant annet av hvilke forventninger forskeren har på forhånd, samt valg av teoretisk grunnlag (Kragh, 2008, s. 36). Dette kommer kun smått frem i resultatet i forbindelse med at enkelte elever sammenliknet arbeidet til De Luc med arbeidet til Regnault. Elevene påpekte at De Luc lente seg på noen antakelser da han konstaterte at kvikksølvtermometeret var det beste, og Regnault lente seg på sammenlikbarhetsprinsippet og konkluderte med det motsatte. Selv om ikke elevene nevner hvilke antakelser De Luc lente seg på, løfter de frem at de to naturfilosofene brukte ulike teoretiske utgangspunkt.

Erduran og Dagher (2014, s. 80) har i utgangspunktet plassert publiseringsprosessen innenfor det sosio-institusjonelle systemet i kategoriene *profesjonell praksis* og *verifikasjon og formidling*. Samtidig påpeker de at de kognitiv-epistemiske praksisene (eksempelvis observasjon) og de sosio-institusjonelle praksisene (eksempelvis argumentasjon og verifisering av forskningsresultater) er sterkt tilknyttet hverandre, og samspillet er med å utvikle ny kunnskap (Erduran & Dagher, 2014, s. 80). Alle intervjugruppene påpekte at Regnault publiserte resultatene og at han i denne prosessen var nøye med å dele alt. Elevene mente at det var viktig at Regnault publiserte resultatene slik at feil kunne oppdages og ny kunnskap kan utvikles. Elevene sa imidlertid ikke noe om hva publisering som prosess gikk ut på. Det virket

som de tenkte dette var en praksis der forskere dokumenterer det de har gjort og hva de kom frem til.

### 7.2.3 Hva opplever elevene at de har lært om naturvitenskapens metoder og metodologiske regler?

FRA-kategorien metoder og metodologiske regler handler om konkrete metoder og metodologiske regler som forskere benytter for å finne frem til ny kunnskap (Erduran & Dagher, 2014, s. 91). Kipnis (2011) påpeker at forskningsresultater avhenger av valg av instrument, materiale og eksperimentell fremgangsmåte; metodevalg er derfor en viktig faktor for å kunne finne ut av noe. Resultatet viser at metoden elevene i størst grad nevnte var at Regnault gjorde temperaturmålinger og sammenliknet de med hverandre. Denne metoden ble brukt fordi termometre av samme type måtte oppfylle kriteriet om at termometre av samme type må gi like temperaturmålinger i en gitt situasjon. Dermed ser det ut som at elevene oppfattet en sammenheng mellom metode og mål for resultatet. Resultatet viser altså at dette undervisningsopplegget alene ikke tar for seg mangfoldet av metoder innenfor naturvitenskapelig forskning.

Erduran og Dagher (2014, s. 91) trekker frem flere metodologiske regler innenfor forskning, blant annet å konstruere testbare hypoteser, velge teorien med best forklaringsevne, forkaste teorier som ikke stemmer overens med funn og å bruke blindprøver som kontrolltest ved forskning på mennesker. Det å forkaste teorier som ikke stemmer overens med funn ble til en viss grad fremmet av elevene. Det ble nevnt av enkelte elever at Regnault ville sjekke om De Luc sin konklusjon stemte. De Luc hadde konkludert med at kvikksølvtermometeret egnet seg godt til å måle temperatur, men elevene påpekte at Regnault forkastet kvikksølvtermometeret da ulike kvikksølvtermometre ikke var sammenliknbare. Elevene var altså inne på at dersom det kommer ny evidens kan teorier endre seg.

Erduran og Dagher (2014, s. 104) påpeker at metodologiske regler kan ha som funksjon å redusere muligheten for feil underveis i undersøkelsene. Alle elever fremmet det å teste ulike variabler og å gjennomføre flere paralleller som mulige måter å redusere feilkilder. Det å teste variabler knyttet elevene direkte til Regnault sine måledata. Det å gjøre flere paralleller ble nevnt som en generell metodologisk regel.

Erduran og Dagher (2014, s. 68) trekker også frem at forskere undersøker fenomener på en systematisk måte. Dette kan regnes som en metodologisk regel innenfor naturvitenskapen. Allchin (2011) fremhever også det å være systematisk og endre på én variabel om gangen som

en viktig metodologisk regel for å fremskaffe pålitelige resultater. I min studie sa elevene at de opplevde å ha lært noe om at Regnault systematisk endret på variablene da han gjennomførte undersøkelsene sine. De mente det å endre én og én variabel var en pålitelig måte å gjøre forskningsarbeidet på, da det kunne føre til mer nøyaktige resultater. Uten å eksplisitt si det selv, påpekte elevene samspillet mellom de verdiene en forsker har, og hvordan forskeren velger å gjennomføre en undersøkelse.

7.2.4 Hvilke deler ved undervisningsopplegget trekker elevene frem som lærerike? Flere har tidligere trukket frem at vitenskapshistoriske kontekster kan legge til rette for å lære elevene noe om naturvitenskapen som prosess der ulike forskere samarbeider for å utvikle kunnskap (Allchin et al., 2014; Leite, 2002). Empiriske studier har også vist at vitenskapshistorie kan hjelpe elevene å få en bedre forståelse av hvordan empirisk evidens legger grunnlaget for naturvitenskapelig kunnskap, hvordan forskere benytter seg av eksperimentering, hvordan forskernes tolkning av naturvitenskapelige funn ikke er fullstendig objektiv, og hvordan naturvitenskapen påvirkes av den sosiokulturelle konteksten den drives i (Irwin, 2000; Kim & Irving, 2010; Lin & Chen, 2002; Rudge et al., 2014). Mitt resultat viser at flere elever identifiserte elementer knyttet til Regnault sitt forskningsarbeid: nøyaktighet, empirisk underbygge påstander, teste én og én variabel, finne svar på noe og publisere (offentliggjøre) resultater. Flere av disse elementene samsvarer med de tidligere empiriske studiene.

Klassen og Klassen (2014) mener at dersom læreren bruker elevaktiviteter som supplement til vitenskapshistorie, kan det bidra til å belyse historiens naturvitenskapelige spørsmål, problemstillinger og utfordringer. Underveis i intervjuet brukte de fleste elevene aktiviteten med måledataene aktivt da de skulle fortelle om sammenliknbarhetsprinsippet, samt for å tydeliggjøre at det å teste ut variabler er viktig. Resultatene tyder på at elevene husker kriteriet som ble belyst gjennom aktiviteten bedre enn det kriteriet som ikke kom frem ved hjelp av de gitte målingene. Dette tyder på at aktiviteten bidro til å tydeliggjøre ett av kriteriene for sammenliknbarhetsprinsippet.

### 7.3 Kritikk av studien

En svakhet med studien er at jeg er en uerfaren forsker. Jeg ser i ettertid at enkelte oppgaver fra undervisningen var utydelige, og andre var ledende. Elevene ble for eksempel under aktiviteten med måledataene (se Figur 5) spurt om publisering var viktig innenfor forskning. Dette spørsmålet var ledende i ordlyden. Publisering ble likevel en del av studiens hovedtema fordi

det var interessant å se hva elevene sa om *hvorfor* publisering er sentralt innenfor forskningsarbeid. Disse begrunnelsene kom elevene frem til på egenhånd. Likevel vil jeg påpeke at resultatene mest sannsynlig hadde blitt annerledes dersom spørsmålet om publisering ikke hadde vært med. I informasjonsteksten som fulgte med aktiviteten sto det at «Når Regnault skulle publisere resultatene sine inkluderte han alle måledataene, og ikke bare gjennomsnittsverdier». Istedenfor å spørre eksplisitt om publisering, burde jeg ha latt elevene selv vurdere om publisering var sentralt under det første spørsmålet: «Diskuter hva Regnault gjorde for å styrke resultatenes pålitelighet, og begrunn hvorfor påliteligheten ble styrket».

En annen svakhet er at undervisningsopplegget ikke ble testet på en hel klasse før selve gjennomføringen. Gjennom en slik utprøving kunne jeg i større grad blitt oppmerksom på hva som fungerte godt, og det som fungerte mindre godt i et klasserom. Da kunne jeg i større grad blitt oppmerksom på delene der jeg ikke tydeliggjorde NOS godt nok. Eksempelvis fremhevet jeg ikke ovenfor elevene hvilke kompetanser de brukte under aktiviteten med måledataene som også kunne knyttes til forskningsarbeid. De ble kun fortalt at de skulle tolke og vurdere et utdrag av Regnault sine måledata. I ettertid ser jeg på dette som uheldig, da det kom frem i resultatet at elevene i ulik grad hadde oppfattet at tolkning av data er en viktig del av å drive med forskning.

En annen svakhet med studien er at den ble gjennomført over en kort tidsperiode. Dersom studien hadde vart over lenger tid, kunne jeg i større grad sett på effekten til selve undervisningsopplegget ved å benytte pre- og posttester. Jeg har ingen kunnskap om elevenes tidligere erfaringer knyttet til NOS, derfor kan jeg ikke med sikkerhet si at undervisningsopplegget bedret elevenes forståelse av NOS. Fra resultatene kan jeg kun si noe om hva elevene trakk frem fra opplegget som belyser NOS. Det skal også sies at resultatet mest sannsynlig ville vært noe annerledes dersom studien hadde blitt gjennomført i en annen kjemiklasse, fordi elevene ville hatt en annen bakgrunn og andre erfaringer. For å styrke resultatenes pålitelighet kunne jeg ved mer tid ha gjennomført opplegget i flere klasser, for å se om resultatene ble like, eventuelt hvor resultatene overlapper.

En annen mulig svakhet med studien min er at jeg ikke har brukt et standard rammeverk for å vurdere elevenes uttalelser om NOS. Resultatene er derfor en subjektiv analyse der jeg har sett på hva elevene sier i lys av FRA-rammeverket. Det kan derfor hende at andre kommer frem til et annet resultat enn det som er gitt her. For å synliggjøre subjektiviteten min har jeg forsøkt å skrive transparent om både valg av teoretisk rammeverk, valg av metode for innsamling av data,

samt dataanalyse. Ved å skrive transparent åpner jeg opp for at andre selv kan vurdere studiens pålitelighet.

## 8 Konklusjon, implikasjon og videre studier

I det følgende blir studiens problemstilling besvart (8.1), i tillegg blir noen implikasjoner og muligheter for videre forskning drøftet (8.2 og 8.3).

### 8.1 Svar på problemstilling

Problemstillingen for denne studien er: *Hvordan opplever kjemielever at utviklingen av termometeret på 1700- og 1800-tallet kan belyse NOS-aspektene naturvitenskapens mål og verdier, naturvitenskapelig praksis og naturvitenskapens metoder og metodologiske regler?*

Fra diskusjonen av forskningsspørsmålene gitt i kapittel 7.2 kom det frem at elevene kunne peke på flere NOS-elementer innenfor de utvalgte kategoriene. I tekstboksen nedenfor er en oversikt over hvilke NOS-elementer elevene trakk frem. Antall elever som fremmet de ulike NOS-elementene varierte.

#### Mål og verdier

- Målet med å forske er å finne ut noe
- Man gjør undersøkelser for å skaffe empirisk evidens
- Nøyaktighet er et mål innenfor forskningsarbeid

#### Praksis

- Forskere gjør tolkningen underveis i undersøkelsene sine, og teoretiske utgangspunkt kan påvirke hvordan forskerne tolker resultater
- Publisering handler om å dele resultater med andre, noe som er viktig for å kunne etterprøve resultatet

#### Metode og metodologiske regler

- Undersøkelsene må gjøres systematisk ved å endre én og én variabel

Funnene kan indikere at elevene lærer noe om NOS gjennom historien om termometeret, da flere NOS-elementer kommer eksplisitt frem i elevenes uttalelser under intervjuene. Som det ble sagt i drøftingen av forskningsspørsmålene knyttet også elevene flere NOS-elementer fra ulike kategorier sammen. Blant annet kom det tydelig frem at elevene så en sammenheng mellom mål og verdier og valg av metode, fordi de trakk frem at Regnault hadde som mål å være nøyaktig, og derfor sjekket han én og en variabel da han undersøkte termometrene. Enkelte av NOS-elementene i tekstboksen blir imidlertid kun drøftet indirekte. Blant annet kom det frem at elevene hadde en ide om at forskere påvirkes av sitt teoretiske grunnlag, ved at elevene sammenliknet hvordan De Luc og Regnault arbeidet.



Jeg vil argumentere for at historien om utviklingen av termometeret la til rette for å synliggjøre utpekte NOS-elementer for elevene. Elevene klarte i intervjuene å aktivt bruke Regnault sitt arbeid i sine forklaringer, noe som kan tyde på at de har fått håndfaste eksempler på noen mål, verdier, praksiser, og metoder som benyttes i forskningsarbeid for at resultater skal være pålitelige.

## 8.2 Implikasjoner

Denne studien har vist at FRA er et nyttig verktøy både for å analysere vitenskapshistorie, samt for å utvikle undervisningsopplegg som fremmer NOS. Resultatene indikerer at undervisningsopplegget kan legge til rette for å undervise naturvitenskapens mål og verdier, naturvitenskapelig praksis og naturvitenskapens metoder og metodologiske regler, samt at aktiviteten med måledataene kan gi elevene trening i å tenke som en forsker. I forbindelse med å lære å tenke som en forsker kan funnene tyde på at elevene i større grad må bli fortalt at det å se sammenhenger og kritisk vurdere data er kompetanser i seg selv. Dette er spesielt viktig da den kommende læreplanen i kjemi uthever forsker-ferdigheter eksplisitt i kompetansemålene (Utdanningsdirektoratet, 2020).

Forskningsslitteratur nevner flere fallgruver med å implementere vitenskapshistorie i kjemi- og naturfagundervisningen (Allchin, 2003; Giunta, 2001). For å unngå disse fallgruvene er læreren nødt til å tilegne seg god forståelse for og kunnskap om vitenskapshistoriske episoder, slik at de kan bruke det på en god måte i klasserommet. Samtidig har erfaringer fra studien vist at det er krevende å sette seg grundig inn i en vitenskapshistorisk kontekst. Mange lærere lener seg i dag på lærebøker i undervisningssammenheng, og den vitenskapshistorien som blir presentert i lærebøker er ofte overflatisk (Abd-El-Khalick et al., 2008; Knain, 2001; Moreno-Martínez & Lykknes, 2019). Det kan derfor være hensiktsmessig at flere realfagslærere under utdanningen tar fag som gir en introduksjon til vitenskapshistorie som fagfelt, samt gir eksempler på historiske hendelser som egner seg å bruke i et kjemiklasserom.

## 8.3 Videre studier

Gjennom denne studien har jeg fått et større innblikk i hvordan vitenskapshistorie kan benyttes i klasserommet for å belyse de uvalgte NOS-kategoriene: mål og verdier, naturvitenskapelig praksis og metoder og metodologiske regler. Om jeg kunne fortsette arbeidet videre, kunne det vært interessant å gjennomføre en liknende studie der undervisningsopplegget er utvidet til å gå over en lenger tidsperiode, slik at jeg kunne undersøke hvordan historien om termometerets utvikling kan bidra til å belyse andre NOS-elementer. Siden undervisningsopplegget for denne

studien kun skulle gjennomføres som en dobbeltime (90 minutter), måtte jeg velge ut både en bestemt episode fra termometerets utvikling, samt hvilke NOS-kategorier i FRA-rammeverket som skulle belyses (anbefaling av Erduran og Dagher (2014, s. 36)). Dersom temaet «utviklingen av termometeret» kunne gått over en lengre tidsperiode, kunne man ha inkludert flere av utfordringene som var knyttet til termometri og på den måten gi en grundigere fremstilling på hvordan kunnskap utvikles – det er ofte ikke bare ett problem som skal løses, men flere på en gang. Samtidig gir en lenger tidsperiode mulighet for å belyse flere NOS-kategorier enn det man kan gjennom én undervisningsøkt. Ved å belyse flere NOS-kategorier, gjennom samme tema, kan man i større grad gi et holistisk bilde av NOS, slik Erduran og Dagher (2014, s. 31) anbefaler.

## Litteraturliste

- Abd-El-Khalick, F., Waters, M. & Le, A.-P. (2008). Representations of nature of science in high school chemistry textbooks over the past four decades. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(7), 835-855. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.20226>
- Allchin, D. (1999). Values in Science: An Educational Perspective. *Science & Education*, 8(1), 1-12. <https://doi.org/10.1023/A:1008600230536>
- Allchin, D. (2003). Scientific myth-conceptions. *Science Education*, 87(3), 329-351. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.10055>
- Allchin, D. (2004). Pseudohistory and Pseudoscience. *Science & Education*, 13(3), 179-195. <https://doi.org/10.1023/B:SCED.0000025563.35883.e9>
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95(3), 518-542. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.20432>
- Allchin, D. (2012). Teaching the nature of science through scientific errors. *Science Education*, 96(5), 904-926. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.21019>
- Allchin, D. (2017). Beyond the Consensus View: Whole Science. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 17(1), 18-26. <https://doi.org/10.1080/14926156.2016.1271921>
- Allchin, D., Andersen, H. M. & Nielsen, K. (2014). Complementary Approaches to Teaching Nature of Science: Integrating Student Inquiry, Historical Cases, and Contemporary Cases in Classroom Practice. *Science Education*, 98(3), 461-486. <https://doi.org/10.1002/sce.21111>
- Bell, R. L., Blair, L. M., Crawford, B. A. & Lederman, N. G. (2003). Just do it? impact of a science apprenticeship program on high school students' understandings of the nature of science and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 487-509. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.10086>
- Bjørndal, C. R. P. (2011). *Det vurderende øyet : observasjon, vurdering og utvikling i undervisning og veiledning* (2. utg.). Gyldendal akademisk.
- Bowler, P. J. & Morus, I. R. (2005). *Making modern science : a historical survey*. University of Chicago Press.
- Brandon, R. N. (1994). Theory and Experiment in Evolutionary Biology. *Synthese*, 99(1), 59-73. <http://www.jstor.org/stable/20117886>
- Brandt, H., Hushovd, O. T. & Tellefsen, C. W. (2020). *Naturfag SF* (2. utg.). Aschehoug undervisning.
- Brandt, T. & Nordal, O. (2010). *Turbulens og tankekraft : historien om NTNU*. Pax Forlag A/S.
- Chalmers, A. F. (2013). *What is this thing called science?* (4. utg.). Hackett Publishing Company, Inc.
- Chang, H. (2004). *Inventing temperature : measurement and scientific progress*. Oxford University Press.
- Chinn, C. A. & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.10001>
- Christoffersen, L. & Johannessen, A. (2012). *Forskningsmetode for lærerutdanningene*. Abstrakt forlag.
- Clough, M. (2007). Teaching the nature of science to secondary and post-secondary students: Questions rather than tenets. *The Pantaneto Forum*, 25.
- Clough, M. (2020). Framing and Teaching Nature of Science as Questions. I W. McComas (Red.), *Nature of Science in Science Instruction: Rationales and Strategies* (s. 271-282). Springer Nature Switzerland.

- Daempfle, P. A. (2013). *Good science, bad science, pseudoscience, and just plain bunk : how to tell the difference*. Rowman & Littlefield.
- Darian, S. (2003). *Understanding the language of science*. University of Texas Press.
- Den nasjonale forskningsetiske komité. (2016). *Forskningsetiske retningslinjer for samfunnsvitenskap, humaniora, juss og teknologi*. <https://www.forskningsetikk.no/retningslinjer/hum-sam/forskningsetiske-retningslinjer-for-samfunnsvitenskap-humaniora-juss-og-teologi/>
- Driver, R. (1996). *Young people's images of science*. Open University Press.
- Erduran, S. & Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education : Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories*. Springer Netherlands : Imprint: Springer,. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9057-4>
- Erduran, S. & Kaya, E. (2019). *Transforming Teacher Education Through the Epistemic Core of Chemistry: Empirical Evidence and Practical Strategies*. Springer, Cham.
- Giunta, C. J. (2001). Using History to Teach Scientific Method: The Role of Errors. *Journal of Chemical Education*, 78(5), 623. <https://doi.org/10.1021/ed078p623>
- Heskestad, P. A., Engan, A., Liebich, H., Mykland, H. C., Nærø, K., Valvik, S. A. E. & Norheim, B. (2020). *Kosmos SF : naturfag for studieforberedende utdanningsprogrammer : Lærebok* (7. utg.). Cappelen Damm.
- Hodson, D. (2014). Nature of Science in the Science Curriculum: Origin, Development, Implications and Shifting Emphases. I M. R. Matthews (Red.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (s. 911-971). Springer Netherlands : Imprint: Springer,. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8>
- Hofstein, A. & Kind, P. M. (2012). Learning In and From Science Laboratories. I B. J. Fraser, K. Tobin & C. J. McRobbie (Red.), *Second International Handbook of Science Education* (s. 189-207). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7\\_15](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_15)
- Holt, A. & Kvammen, P. I. (2010). Vurdering i naturfag. I K. R. Engh & S. Dobson (Red.), *Vurdering for læring i fag* (s. 151-166). Høyskoleforlaget.
- Irwin, A. R. (2000). Historical case studies: Teaching the nature of science in context. *Science Education*, 84(1), 5-26. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200001\)84:1<5::AID-SCE2>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200001)84:1<5::AID-SCE2>3.0.CO;2-0)
- Irzik, G. & Nola, R. (2010). A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education. *Science & Education*, 20, 591-607. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9293-4>
- Irzik, G. & Nola, R. (2014). New Directions for Nature of Science Research. I M. R. Matthews (Red.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (s. 999-1021). Springer Netherlands : Imprint: Springer,. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8>
- Khishfe, R. (2008). The development of seventh graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, 470-496. <https://doi.org/10.1002/tea.20230>
- Khishfe, R. & Abd-El-Khalick, F. (2002). The influence of explicit reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 551-578. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 551-578. <https://doi.org/10.1002/tea.10036>
- Kim, S. Y. & Irving, K. E. (2010). History of Science as an Instructional Context: Student Learning in Genetics and Nature of Science. *Science & Education*, 19(2), 187-215. <https://doi.org/10.1007/s11191-009-9191-9>
- Kipnis, N. (2011). Errors in Science and their Treatment in Teaching Science. *Science & Education*, 20(7), 655-685. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9289-0>

- Klassen, S. (2006). A Theoretical Framework for Contextual Science Teaching. *Interchange*, 37(1), 31-62. <https://doi.org/10.1007/s10780-006-8399-8>
- Klassen, S. & Klassen, C. F. (2014). Science Teaching with Historically Based Stories: Theoretical and Practical Perspectives IM. R. Matthews (Red.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (s. 1503-1531). Springer Netherlands : Imprint: Springer,. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8>
- Knain, E. (2001). Ideologies in school science textbooks. *International Journal of Science Education - INT J SCI EDUC*, 23, 319-329. <https://doi.org/10.1080/095006901750066547>
- Kolstø, S. D. (2006). Et allmenndannende naturfag. Fagets betydning for demokratisk deltakelse. *NorDiNa*, 2(3), 82-99. <https://doi.org/https://doi.org/10.5617/nordina.416>
- Kolstø, S. D. (2008). Science education for democratic citizenship through the use of the history of science. *Science & Education*, 17(8-9), 977-997. <https://doi.org/10.1007/s11191-007-9084-8>
- Kragh, H. (2008). *Hvad er naturvidenskab* (3. utg.). Akademisk forlag.
- Kuhn, T. S. (1996). *Vitenskapelige revolusjoners struktur* (T. Berg & L. Holm-Hansen, Overs.). Spartacus Forlag AS.
- Kvale, S. & Brinkmann, S. (Red.). (2015). *Det kvalitative forskningsintervju* (3. utg.). Gyldendal akademisk.
- Kwasnik, B. H. (1999). The Role of Classification in Knowledge Representation and Discovery. *Library Trends*, 48(1), 22-47.
- Lederman, N., Abd-El-Khalick, F. & Lederman, J. S. (2020). Avoiding De-Natured Science: Integrating Nature of Science into Science Instruction. I W. McComas (Red.), *Nature of Science in Science Instruction: Rationales and Strategies* (s. 295-326). Springer Nature Switzerland.
- Lederman, N., Bartos, S. A. & Lederman, J. S. (2014). The Development, Use, and Interpretation of Nature of Science Assessments. I M. R. Matthews (Red.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (1st. utg., s. 971-997). Springer Netherlands : Imprint: Springer,. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8>
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521. <https://doi.org/10.1002/tea.10034>
- Leite, L. (2002). History of Science in Science Education: Development and Validation of a Checklist for Analysing the Historical Content of Science Textbooks. *Science & Education*, 11(4), 333-359. <https://doi.org/10.1023/A:1016063432662>
- Lin, H.-s. & Chen, C.-C. (2002). Promoting preservice chemistry teachers' understanding about the nature of science through history. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(9), 773-792. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.10045>
- Lunetta, V. N., Hofstein, A. & Clough, M. (2007). Teaching and learning in the school science laboratory. An analysis of research, theory, and practice. I S. K. Abell & N. Lederman (Red.), *Handbook of research on science education* (s. 393-431). Lawrence Erlbaum
- Lykknes, A. (2019). Perodesystemet: en historie om lagarbeid. *Naturfag*, (1), 32-35.
- Matthews, M. R. (2012). Changing the Focus: From Nature of Science (NOS) to Features of Science (FOS). I M. S. Khine (Red.), *Advances in Nature of Science Research: Concepts and Methodologies* (s. 3-26). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-2457-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-2457-0_1)
- Mayr, E. (1990). When is Historiography Whiggish? *Journal of the History of Ideas*, 51(2), 301-309. <https://doi.org/10.2307/2709517>

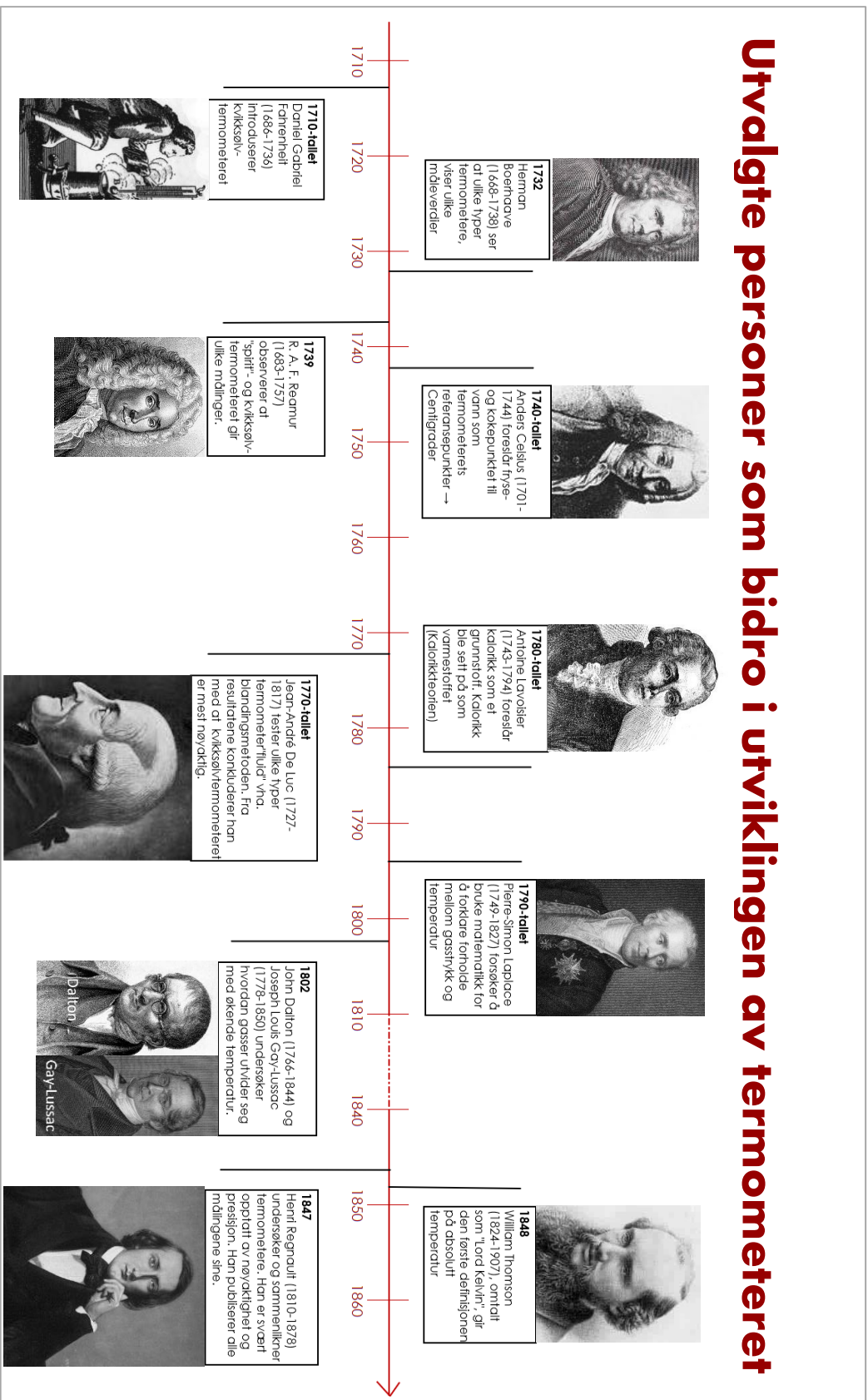
- McComas, W. (2020a). Considering a Consensus View of Nature of Science Content for School Science Purposes. I W. McComas (Red.), *Nature of Science in Science Instruction: Rationales and Strategies* (s. 23-34). Springer Nature Switzerland.
- McComas, W. (2020b). Principal Elements of Nature of Science: Informing Science Teaching while Dispelling the Myths. I W. McComas (Red.), *Nature of Science in Science Instruction: Rationales and Strategies* (s. 35-65). Springer Nature Switzerland.
- McComas, W. & Clough, M. (2020). Nature of Science in Science Instruction: Meaning, Advocacy, Rationales, and Recommendations. I W. McComas (Red.), *Nature of Science in Science Instruction: Rationales and Strategies* (s. 3-22). Springer Nature Switzerland.
- Merton, R. K. (1973). *The sociology of science : theoretical and empirical investigations*. University of Chicago Press.
- Mestad, I. (2019). Djupneforståing gjennom utforskende arbeidsmåtar. I A. Holt, L. O. Voll & A. B. Øyehaug (Red.), *Dybdeløring i naturfag* (s. 236-260). Universitetsforlaget.
- Metz, D., Klassen, S., McMillan, B., Clough, M. & Olson, J. (2006). Building a Foundation for the Use of Historical Narratives. *Science & Education*, 16, 313-334. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9024-z>
- Milne, C. (1998). Philosophically correct science stories? Examining the implications of heroic science stories for school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(2), 175-187. [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199802\)35:2<175::AID-TEA7>3.0.CO;2-P](https://doi.org/https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199802)35:2<175::AID-TEA7>3.0.CO;2-P)
- Moreno-Martínez, L. & Lykknes, A. (2019). The Periodic System and the Nature of Science: The History of the Periodic System in Spanish and Norwegian Secondary School Textbooks. *Substantia*, 3(2), 61 - 74. <https://doi.org/10.13128/Substantia-301>
- Mork, S. M. & Erlien, W. (2017). *Språk, tekst og kommunikasjon i naturfag* (3. utg.). Universitetsforlaget.
- Neumann, I., Michel, H. & Papadouris, N. (2020). Blending Nature of Science with Science Content Learning. I W. McComas (Red.), *Nature of Science in Science Instruction: Rationales and Strategies* (s. 327-342). Springer Nature Switzerland.
- Niaz, M. (2016). *Chemistry Education and Contributions from History and Philosophy of Science* (1st. utg.). Springer International Publishing : Imprint: Springer,. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26248-2>
- Nielsen, H. & Nielsen, K. (2004). Perspektivet må utvides: Hvis de skal være almindennende, må naturfagene inndrage videnskabs- og teknologihistorie! I M. Ødegaard & E. K. Henriksen (Red.), *Naturfagernes didaktikk - en disiplin i forandring? : det 7. nordiske forskersymposiet om undervisning i naturfag i skolen* (s. 149-172). Høyskoleforlaget
- Osborne, J. (2010). Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse. *Science*, 328(5977), 463. <https://doi.org/10.1126/science.1183944>
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R. & Duschl, R. (2003). What “ideas-about-science” should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692-720. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.10105>
- Postholm, M. B. (2005). *Kvalitativ metode: en innføring med fokus på fenomenologi, etnografi og kausstudier*. Universitetsforlaget.
- Reed, B. C. (2014). *The History and Science of the Manhattan Project* (1st. utg.). Springer Berlin Heidelberg : Imprint: Springer,. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-40297-5>
- Robson, C. & McCartan, K. (2016). *Real world research: A resource for users of social research methods in applied settings* (4. utg.). Wiley.

- Rudge, D. W., Cassidy, D. P., Fulford, J. M. & Howe, E. M. (2014). Changes Observed in Views of Nature of Science During a Historically Based Unit. *Science & Education*, 23(9), 1879-1909. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9572-3>
- Rudge, D. W. & Howe, E. M. (2009). An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. *Science & Education*, 18(5), 561-580. <https://doi.org/10.1007/s11191-007-9088-4>
- Scerri, E. (2000). Philosophy of Chemistry; A New Interdisciplinary Field? *Journal of Chemical Education*, 77. <https://doi.org/10.1021/ed077p522>
- Schiebinger, L. (2003). Women and Gender in Science. I R. Porter (Red.), *The Cambridge History of Science; Eighteenth-Century Science* (s. 184-210). Cambridge University Press.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G. & Abd-el-Khalick, F. (2012). A series of misrepresentations: A response to Allchin's whole approach to assessing nature of science understandings. *Science Education*, 96(4), 685-692. <https://doi.org/10.1002/sce.21013>
- Shapin, S. (1996). *The scientific revolution*. University of Chicago Press.
- Sjøberg, S. (2009). *Naturfag som allmenndannelse : en kritisk fagdidaktikk* (3. utg.). Gyldendal akademisk.
- Steiniger, E., Wahl, A. & Holstad, H. H. (2020). *Naturfag 8: lærerens bok* (Bokmål[utgave], 4. utgave. utg.). Cappelen Damm.
- Thurén, T. (2009). *Vitenskapsteori for nybegynnere* (D. Gjestland & K. Gjerpe, Overs.). Gyldendal Akademisk.
- Tjora, A. H. (2017). *Kvalitative forskningsmetoder i praksis* (3. utg.). Gyldendal akademisk.
- Tolvanen, S., Jansson, J., Vesterinen, V. M. & Aksela, M. (2014). How to Use Historical Approach to Teach Nature of Science in Chemistry Education? *Science & Education*, 23(8), 1605-1636. <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9646-x>
- Utdanningsdirektoratet. (2006). *Læreplan i kjemi* (KJE1-01). <http://www.udir.no/kl06/KJE1-01>
- Utdanningsdirektoratet. (2019, 13. mars). *Dybdeløring*. Hentet 28. mai fra <https://www.udir.no/laring-og-trivsel/dybdelaring/>
- Utdanningsdirektoratet. (2020). *Læreplan i kjemi* (KJE01-02). <https://www.udir.no/kl20/KJE01-02>
- van Dijk, E. M. (2011). Portraying real science in science communication. *Science Education*, 95(6), 1086-1100. <https://doi.org/10.1002/sce.20458>
- Van Tiggelen, B. & Lykknes, A. (2019). Celebrate the women behind the periodic table. *Nature*, 565(7741), 559-561. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-00287-7>
- Watts, R. (2007). *Women in science : a social and cultural history*. Routledge.
- Williams, C. T. & Rudge, D. W. (2016). Emphasizing the History of Genetics in an Explicit and Reflective Approach to Teaching the Nature of Science. *Science & Education*, 25(3), 407-427. <https://doi.org/10.1007/s11191-016-9821-y>
- Williams, C. T. & Rudge, D. W. (2019). Effects of Historical Story Telling on Student Understanding of Nature of Science. *Science & Education*, 28(9), 1105-1133. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00073-x>
- Øyehaug, A. B. (2019). Kjennetegn på undervisning som gir dyp forståelse. I A. Holt, L. O. Voll & A. B. Øyehaug (Red.), *Dybdeløring i naturfag* (s. 38-58). Universitetsforlaget.

## Vedlegg



## Vedlegg A: Personer som bidro i utviklingen av termometeret



## Bilder (alle bildene har blitt beskåret)

---

### **Daniel Gabriel Fahrenheit**

Av: Ukjent

Lisens: Public Domain

Hentet fra: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fahrenheit\\_small.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fahrenheit_small.jpg)

---

### **Herman Boerhaave**

Fra Wellcome Library, London.

Lisens: Public Domain

Hentet fra: [https://snl.no/Hermann\\_Boerhaave](https://snl.no/Hermann_Boerhaave)

---

### **R. A. F. Réamur**

Fra Wellcome Library, London.

Lisens: Creative Commons

Hentet fra: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portrait\\_of\\_R.A.F.\\_de\\_Reaumur\\_by\\_Tardieu\\_after\\_Belle\\_Wellcome\\_L0008032.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portrait_of_R.A.F._de_Reaumur_by_Tardieu_after_Belle_Wellcome_L0008032.jpg)

---

### **Anders Celsius**

Fra Uppsala University

Lisens: Public Domain

Hentet fra: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AndersCelsiusyoung.jpg>

---

### **Jean-André De Luc**

Fra: Bibliothèque publique et universitaire, Genova

Lisens: Public Domain

Hentet fra: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jean-Andr%C3%A9\\_Deluc.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jean-Andr%C3%A9_Deluc.jpg)

---

### **Antoine Lavoisier**

Fra: Wellcome Library, London

Lisens: Public Domain

Hentet fra: [https://snl.no/Antoine\\_Lavoisier](https://snl.no/Antoine_Lavoisier)

---

### **Pierre-Simone Laplace**

Fra: Wellcome Library, London

Lisens: Creative Commons

Hentet fra: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pierre\\_Simon,\\_Marquis\\_de\\_Laplace.\\_Stipple\\_engraving\\_by\\_J.\\_Po\\_Wellcome\\_M0006372.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pierre_Simon,_Marquis_de_Laplace._Stipple_engraving_by_J._Po_Wellcome_M0006372.jpg)

---

### **John Dalton**

Av: Ukjent

Lisens: Public Domain

Hentet fra: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Johndaltonfrsmem00lonsrich\\_0012.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Johndaltonfrsmem00lonsrich_0012.jpg)

---

### **Joseph Louise Gay-Lussac**

Av: Ukjent

Lisens: Public Domain

Hentet fra: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Joseph\\_louis\\_gay-lussac.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Joseph_louis_gay-lussac.jpg)

---

### **Henri Regnault**

Fra: Bibliothèque Centrale École Polytechnique, Paris

Lisens: Public Domain.

Hentet fra: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Henri\\_Victor\\_Regnault\\_H%C3%A9liogravure\\_de\\_Dujardin\\_en\\_1895.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Henri_Victor_Regnault_H%C3%A9liogravure_de_Dujardin_en_1895.jpg)

---

### **William Thomson**

Fra: Store norske leksikon 3. utgave 1997.

Lisens: Public Domain

Hentet fra: [https://snl.no/William\\_Thomson\\_Kelvin](https://snl.no/William_Thomson_Kelvin)

---

## Vedlegg B : PowerPoint om utviklingen av termometeret med lærerens notater

1

HVA ER MÅLET FOR DAGEN?

Utviklingen av termometeret → Lære om praksiser og tenkemåter i kjemi

Henri Regnault  
➤ Hvilke metoder brukte han i sitt arbeid?  
➤ Hvilke mål og verdier hadde han under det naturvitenskapelige arbeidet sitt?

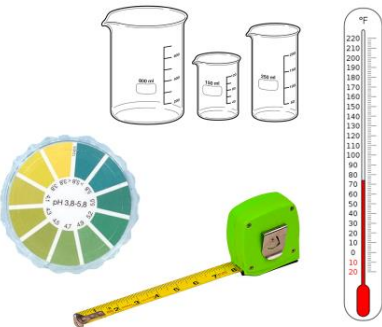
**Manus:** Temaet for dagen er «utviklingen av termometeret på 1700- og 1800-tallet». Vi skal gjennom denne historiske konteksten lære noe om naturvitenskapens mål og verdier, samt metoder og metodologiske regler innenfor forskning.

**Mål:** Elevene skal få et innblikk i hva de skal lære i løpet av timen.

2

Måling på lab'en


Kan du komme på om du har målt noe på lab'en noen gang?



**Manus:** For å underbygge hypoteser samler forskere inn data. En måte å samle data på er gjennom ulike typer målinger. Kan dere komme på om dere har målt noe på lab'en noen gang?

**Mål:** Aktualisere tematikken «måling» ved å knytte det til lab-arbeid i kjemifaget.

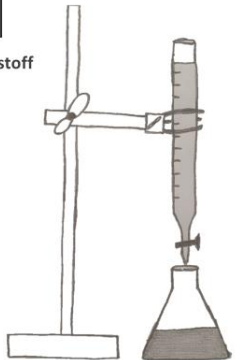
3

**TITRERING**  Hva er titrering? Og hvordan gjennomføres det?

En analysemetode for å bestemme mengden av et kjemisk stoff i en prøveløsning.

Hvordan sikrer vi at resultatene av titreringen blir pålitelige?

- ❖ Gjøre flere paralleller
- ❖ Valg av type måleinstrument
- ❖ Være nøyaktig når vi leser av måleinstrumentet
- ❖ Vaske utstyr før bruk – unngå urenheter
- ❖ Bruke passende indikator



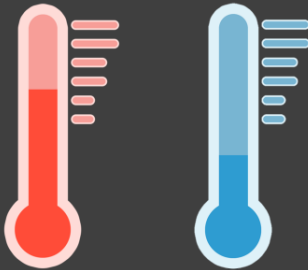
**Manus:** Dere gjennomførte for litt siden syre-basetitrering.

Husker dere hva dere målte i forbindelse med titrering?  
Hva gjorde dere for å sikre pålitelige resultater?  
Hva mener vi med pålitelige resultater?

**Mål:** Knytte tematikken til noe elevene har erfaring med, samt få de til å reflektere over hva som må til for å frembringe pålitelige resultater.

4

## Måling av temperatur



Hvilke krav tenker dere at et pålitelig termometer må oppfylle?

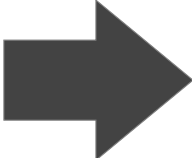
**Manus:** På lab'en, og i hverdagen, trenger vi til tider å kunne måle hva temperaturen er. Da benytter vi gjerne et termometer. Hvilke krav tenker dere at vi må stille til et pålitelig termometer?

**Mål:** Introduksjon til «temperaturmåling». Få elevene til å reflektere over egenskaper et godt termometer må ha: sammenlikningsprinsippet og énverdiprinsippet

5

## PÅ 1700-tallet fantes ikke et standard termometer

- Det ble laget ulike typer termometere og, de ulike termometrene ga ulike måleverdier når de målte det samme



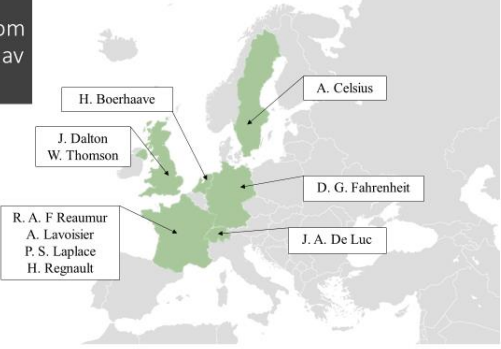
På 1700-tallet startet arbeidet for å utvikle et termometer som kunne vise sann temperatur

**Manus:** På 1700-tallet fantes det ikke et standard termometer. Blant annet ble det brukt ulike «fluider» (eller stoffer) i termometrene, noe som førte til at målt temperatur varierte fra termometer til termometer. Vitenskapsmenn på 1700-tallet mente dette var problematisk. De tenkte at det kun fantes én temperatur i en gitt situasjon (énverdiprinsippet). Derfor startet arbeidet med å utvikle et termometer som kunne vise sann temperatur. Diskutere hva som menes med sann temperatur.

**Mål:** Gi et bilde av at naturvitenskapelig arbeid styres av mål og verdier.

6

## Et utvalg vitenskapsmenn som bidro i utviklingen av termometeret



**Manus:** Det å utarbeide et termometer var veldig utfordrende. Det tok veldig mange år og det var mange mennesker som bidro i arbeidet.

**Mål:** Gi elevene et bilde på hvor utfordrende og krevende det var å utvikle et standard termometer

7

### Valg av type termometerfluid: kvikksølv, alkohol eller luft?

- Hva kan vi si om de kjemiske/fysiske egenskapene til de ulike stoffene?
- Har de noen likheter/ulikheter?
- Hvordan kan vi avgjøre hvilket termometer som er best?

**SAMMENLIKNBARHETSPRINSIPPET**

- Et termometer må kunne gi samme resultat dersom man gjentar samme måling.
- Alle termometere av samme type må gi like resultater

Kvikksølv (Hg)

Alkohol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)

Luft (gassblanding)

**Manus:** Én an utfordringene vitenskapsmennene måtte ta hensyn til var valg av termometer«fluid». Kvikksølv, alkohol og luft var de stoffene som ble sett på som best egnet i forbindelse med å måle temperatur. Diskutere spørsmålene i plenum. Introdusere sammenliknbarhetsprinsippet

**Mål:** Få elevene til å reflektere over hvordan ulike kjemiske/fysiske egenskaper kan påvirke temperaturmåling.

8

### Alkoholtermometeret– ulike konsentrasjoner

Jean Andre De Luc (1772) sammenliknet ulike alkoholtermometre og fikk følgende resultat.

**Manus:** De Luc var én av de som bidro i bestemmelsen av type termometer«fluid». I 1772 sammenliknet De Luc ulike alkoholtermometre som inneholdt forskjellige alkoholkonsentrasjoner. Her ser dere resultatene. Tenker dere at alkoholtermometrene er sammenliknbare? Kan man bruke alkoholtermometrene om hverandre?

De Luc forkastet alkoholtermometrene fordi de ikke var sammenliknbare. Det å velge én standard alkoholkonsentrasjon var heller ikke enkelt, fordi det på denne tiden ikke fantes måter å bestemme eksakt konsentrasjon på.

**Mål:** Elevene skal få øving i å tolke og vurdere data, samt bruke data til å argumentere for eller mot en påstand. Forhåpentligvis vil elevene gjennom aktiviteten også få litt eierskap til dataene.

9

### Kvikksølvtermometeret – ulike typer glass

Luft-termometer (°C)	Kvikksølv med «Choisy-le-Roi» crystall (°C)	Kvikksølv med «vanlig» glass (°C)	Kvikksølv med grønt glass (°C)	Kvikksølv med svensk glass (°C)
100	100,00	100,00	100,00	100,00
150	150,40	149,80	150,30	150,15
200	201,25	199,70	200,80	200,50
250	253,00	250,05	251,85	251,44
300	305,72	301,08	-	-
350	360,50	354,00	-	-

Henri Regnault (1847) sammenliknet ulike kvikksølvtermometre og fikk følgende resultat.

**Manus:** Eget oppgaveark. Klassen diskuterer oppgaven i grupper på 4. Vi tar en oppsummering felles.

**Mål:** Elevene skal få øving i å tolke og vurdere data, samt bruke data til å argumentere for eller mot en påstand. Forhåpentligvis vil elevene gjennom aktiviteten også få litt eierskap til dataene.

10

## Lufttermometeret – luft med ulik tetthet



Luft-termometer (A)		Luft-termometer (A')		Temperatur-differanse (A – A')
Trykk (mmHg)	Temperatur (°C)	Trykk (mmHg)	Temperatur (°C)	
762,75	0	583,07	0	
1027,01	95,57	782,21	95,57	
1192,91	155,99	911,78	155,82	
1346,99	212,25	1030,48	212,27	
1421,77	239,17	1086,76	239,21	
1534,17	281,07	1173,28	280,85	
1696,86	339,68	1296,72	339,39	

Henri Regnault (1847) sammenliknet lufttermometre med ulik luft-tetthet og fikk følgende resultat.

**Manus:** Eget oppgaveark. Klassen diskuterer oppgaven i grupper på 4. Vi tar en oppsummering felles.

**Mål:** Elevene skal få øving i å tolke og vurdere data, samt bruke data til å argumentere for eller mot en påstand. Forhåpentligvis vil elevene gjennom aktiviteten også få litt eierskap til dataene.

11



## Lufttermometeret – ulike gasstyper



Luft-termometer (A)		Svovelsyre-gass termometer (A')		Temperatur-differanse (A – A')
Trykk (mmHg)	Temperatur (°C)	Trykk (mmHg)	Temperatur (°C)	
762,38	0	588,70	0	
1032,07	97,56	804,21	97,56	0
1141,54	137,24	890,70	136,78	+0,46
1301,33	195,42	1016,87	194,21	+1,21
1391,07	228,16	1088,08	226,59	+1,57
1394,41	229,38	1089,98	227,65	+1,73
1480,09	260,84	1157,88	258,75	+2,09
1643,85	320,68	1286,93	317,73	+2,95

Henri Regnault (1847) sammenliknet lufttermometre med ulike gasser og fikk følgende resultat.

**Manus:** Eget oppgaveark. Klassen diskuterer oppgaven i grupper på 4. Vi tar en oppsummering felles.

**Mål:** Elevene skal få øving i å tolke og vurdere data, samt bruke data til å argumentere for eller mot en påstand. Forhåpentligvis vil elevene gjennom aktiviteten også få litt eierskap til dataene.

12

## Henri Regnault (1810-1878)

- «Kongen av presisjon»
- Ønsket at alle påstander skulle underbygges av data, ikke lene seg på teoretiske antakelser.
- **SAMMENLIKNBARHETSPRINSIPPET**
  - Et termometer må kunne gi samme resultat dersom man gjentar samme måling.
  - Alle termometere av samme type må gi like resultater

Man kan ikke bare anta ting!



**Manus:** Henri Regnault kan bli sett på som «kongen av presisjon». Han var dedikert i arbeidet om å underbygge alle påstander med empirisk data. Han mente at man ikke kunne lene seg på teoretiske antakelser, slik blant annet De Luc gjorde. De Luc hadde under sitt arbeid konkludert med at kvikksølv var best ved å beregne hva den teoretiske temperaturen var og se om termometeret stemte med den beregnede verdien. Men for å kunne beregne teoretisk temperatur, måtte man lene seg på noe teori – noe man i utgangspunktet ikke hadde.

Sammenliknbarhetsprinsippet ble måten Regnault unngikk teoretiske antakelser. Den eneste antakelsen han brukte var at det kun finnes én temperatur i en gitt situasjon.

**Mål:** Menneskeliggjøre naturvitenskapen.

13

## Oppsummering

### Hva har vi lært denne timen?

Om naturvitenskapens mål og verdier

Om naturvitenskapens metoder og metodologiske regler

Praksis og tankemåter innenfor kjemifaget

**Manus:** Oppsummering av hva elevene har lært i løpet av timen. Det elevene trekker frem skrives ned med digitalt tegnebrett. Lærer trekker eksplisitt frem hvilke NOS-elementer som er blitt belyst

**Mål:** Samle tråder og repetere «key-points». Passe på at NOS-elementene kommer tydelig frem.

## Bilder:

Lysbilde 2	Tre målebeger	Lisens: Public Domain Hentet fra: <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beakers.svg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beakers.svg</a>
	Termometer	Lisens: Public Domain Hentet fra: <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thermometer_Fahrenheit.svg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thermometer_Fahrenheit.svg</a>
	pH-indikator	Lisens: Public Domain Hentet fra: <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Universal_indicator_3,8-5,8.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Universal_indicator_3,8-5,8.jpg</a>
	Målebånd	Lisens: Public Domain Hentet fra: <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Measuring-tape.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Measuring-tape.jpg</a>
Lysbilde 3	Titring	Laget av meg.
Lysbilde 4	Rødt termometer	Laget av: HitomiAkane Lisens: Creative Commons (CC BY-SA 4.0) Hentet fra: <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ThermometerHighTemp.png">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ThermometerHighTemp.png</a>
	Blått termometer	Laget av: HitomiAkane Lisens: Creative Commons (CC BY-SA 4.0) Hentet fra:
Lysbilde 6	Kart	Lisens: Public Domain [Bildet er endret ved at jeg har farget utvalgte land med grønt] Hentet fra: <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blank_map_Europe_with_borders.png">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blank_map_Europe_with_borders.png</a>
Lysbilde 8	De Luc	Fra: Bibliothèque publique et universitaire, Genova Lisens: Public Domain. [Bildet er endret ved å slette bakgrunnen] Hentet fra: <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jean-Andr%C3%A9_Deluc.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jean-Andr%C3%A9_Deluc.jpg</a>
Lysbilde 9-12	Regnault	Fra: Bibliothèque Centrale École Polytechnique, Paris Lisens: Public Domain. [Bildet er endret ved å slette bakgrunnen] Hentet fra: <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Henri_Victor_Regnault_H%C3%A9liogravure_de_Dujardin_en_1895.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Henri_Victor_Regnault_H%C3%A9liogravure_de_Dujardin_en_1895.jpg</a>

## Vedlegg C: Undervisningsopplegget – erfaringer og forbedringer

Undervisningsopplegget om utviklingen av termometeret og Regnault ble gjennomført i en kjemi 1-klasse, men kan likeså godt være en del av studieforbereende naturfag eller fysikkfagene. Jeg tok mye lærdom etter å ha gjennomført undervisningen og dersom det skulle gjennomføres på nytt hadde jeg gjort noen justeringer. I det følgende er det forslag til mulige forbedringer av undervisningsopplegget om termometeret.

### **Spørsmål om mekanikken bak lufttermometeret**

Elevene var svært nysgjerrig på hvordan et lufttermometer så ut, og hvordan det fungerte rent teknisk. Det at elevene var nysgjerrig på mekanikken bak termometeret kunne til tider stjele fokus fra opplegget. Dersom opplegget skal gjennomføres ved en senere anledning anbefaler jeg å legge inn et lysbilde der elevene kunne fått innblikk i hvordan lufttermometeret så ut, slik at de kunne sammenliknet det med dagens termometre.

### **Endring av delen om alkoholtermometeret**

Enkelte av måledataene i undervisningsopplegget virket til tider litt vanskelig for elevene å forstå, dette gjaldt særlig den grafiske fremstillingen som viste temperaturmålinger gjort med ulike alkoholtermometre (se side 8 av lysbilde fremvisningen gitt i Vedlegg B). Her ble det brukt mye tid på å forklare hva figuren viste, og mindre tid på å tolke resultatene. Delen om alkoholtermometere kunne derfor med fordel ha ekskludert den grafiske måledatafremstillingen.

### **Endring av aktiviteten med måledataene (kvikksølvtermometeret)**

I aktiviteten med måledataene som omhandlet kvikksølvtermometrene fikk elevene først en innledende tekst som omhandlet hvordan Regnault arbeidet (se Figur 5). Etter å ha lest gjennom den skulle elevene diskutere oppgaven «Diskuter hva Regnault gjorde for å styrke resultatenes pålitelighet, og begrunn hvorfor påliteligheten ble styrket». Her var det enkelte som kun ramset opp hva Regnault gjorde og sa at det styrket påliteligheten. Det virket som noen elever ikke tenkte over at de måtte begrunne *hvorfor* eksempelvis publisering styrker resultatets pålitelighet. For å tydeliggjøre dette poenget kunne ordlyden blitt endret til: «Diskuter hva Regnault gjorde for å styrke resultatenes pålitelighet, og begrunn hvorfor *akkurat dette* bidrar til å styrke påliteligheten».



I samme oppgave (aktiviteten med måledataene som omhandlet kvikksølvtermometeret, Figur 5) skulle elevene vurdere måledata for å se om kvikksølvtermometrene var sammenliknbare. I ettertid oppdaget jeg at måledataene med kvikksølvtermometermålingene ikke var konsekvent med antall signifikante siffer. I og med at «nøyaktige målinger» var et viktig poeng i løpet av timen var dette uheldig. Det var imidlertid ingen elever som kommenterte dette, men ved en senere anledning bør dette rettes opp. I samme måledata-tabell ble det også oppgitt referansemålinger gjort med et lufttermometer. Dette kunne virke forvirrende for elevene, og til en senere anledning bør referansemålingene fjernes. På den måten kan elevene gi full oppmerksomhet til kvikksølvtermometermålingene.

### **Mulig utvidelse**

Elevene påpekte i intervjuet at Regnault hadde vært nøye, systematisk og testet ut én og én variabel, og aktiviteten med måledataene viste seg å være en fin oppgave for å få elevene til å tolke og vurdere historiske måledata. Likevel kunne det vært interessant om de også fikk mulighet til selv å undersøke ulike termometre gjennom en praktisk og undersøkende aktivitet, slik at de selv kan erfare hvordan man kan være nøye. Da kan man også i større grad åpne opp for diskusjon om mulige feilkilder, fordi elevene selv har vært en del av prosessen.

Dersom tidsspennet på undervisningsopplegget hadde blitt utvidet kunne det vært interessant å gi en enda grundigere innføring i De Luc sitt arbeid med blandingsmetoden – dette er også et tema som enkelt kan legge opp til elevaktivitet.

## Vedlegg D: Intervjuguide

### Introduksjon

I kjemitimen på mandag hadde vi et opplegg som tok utgangspunkt i utviklingen av termometeret på 1700- og 1800-tallet

1. Hvordan vil dere beskrive opplegget som vi hadde på mandag?
  - a. På hvilken måte var det annerledes enn det dere er vant til?
  - b. Var det noen deler dere likte bedre enn andre, enten av tema eller måten å jobbe på?
  - c. Var det noen deler dere oppfattet som utfordrende?
2. Hva slags kjemifaglig kunnskap lærte dere i løpet av undervisningen?

### Mål og verdier

Forskere, både før og nå, veiledes av sine mål og verdier. Når dere gjorde titrering på lab'en var målet å bestemme konsentrasjonen til en syre med ukjent konsentrasjon, og nøyaktighet var en verdi som ble nevnt i forbindelse med bestemmelse av konsentrasjon.

1. Hvilke mål og verdier tenker dere at Regnault rettet seg etter under sitt arbeid på 1800-tallet?
  - Kan du konkretisere det med et eksempel?
2. Hva tenker dere at Regnault ønsket å oppnå med undersøkelsene sine? (Hva var «problemet» på 1700-tallet?)
  - Hvordan blir påliteligheten til resultatet påvirket av Regnault sine mål og verdier?
3. På hvilke måter er dette overførbart til hvilke mål og verdier kjemikere retter seg etter i dag? Hva tenker dere er målet med å drive med kjemiske undersøkelser?

## «Naturvitenskapelig praksis» og «Metoder og metodologiske regler»

På mandag sa jeg at forskere gjerne bruker noen anerkjente metoder for å fremskaffe data. Titrering er jo en metode som kan brukes for å bestemme mengden av et kjemisk stoff i en løsning. Når ulike metoder brukes, følger forskerne noen regler knyttet til metodene.

4. Hvilke metoder brukte Regnault i sitt arbeid med termometeret?
  - Hvorfor brukte han disse metodene? Kan det knyttes til mål og verdier på et vis?
5. Hva kan Regnault sitt arbeid vise oss om hvordan vi driver naturvitenskapelig undersøkelser i dag?
  - Hvilke likheter eller ulikheter ser dere mellom Regnault sitt arbeid og deres titreringsforsøk?

## NOS i praksis

Under opplegget fikk dere utdelt noen måledata som Regnault hadde fremskaffet gjennom sine undersøkelser. Dere skulle diskutere hva måledataene viste og blant annet si om de ulike termometrene var sammenliknbare.

6. Hva tenker dere var målet med denne aktiviteten?
7. På hvilken måte kunne denne aktiviteten lære dere noe om naturvitenskapelig praksis?

## Vedlegg E : Godkjenning av NSD

# NSD NORSK SENTER FOR FORSKNINGSDATA

### NSD sin vurdering

#### Prosjekttittel

Naturvitenskapens egenart i kjemiundervisningen på videregående skole

#### Referansenummer

446038

#### Registrert

05.01.2021 av Madelene Losvik Berntsen

#### Behandlingsansvarlig institusjon

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet / Fakultet for samfunns- og utdanningsvitenskap (SU) /  
Institutt for lærerutdanning

#### Prosjektansvarlig (vitenskapelig ansatt/veileder eller stipendiat)

Annette Lykknes,

#### Type prosjekt

Studentprosjekt, masterstudium

#### Kontaktinformasjon, student

Madelene Losvik Berntsen

#### Prosjektperiode

01.01.2021 - 01.06.2021

#### Status

05.02.2021 - Vurdert

#### Vurdering (1)

---

##### 05.02.2021 - Vurdert

Det er vår vurdering at behandlingen av personopplysninger i prosjektet vil være i samsvar med personvernlovgivningen så fremt den gjennomføres i tråd med det som er dokumentert i meldeskjemaet den 05.02.2021 med vedlegg, samt i meldingsdialogen mellom innmelder og NSD. Behandlingen kan starte.

#### MELD VESENTLIGE ENDRINGER

Dersom det skjer vesentlige endringer i behandlingen av personopplysninger, kan det være nødvendig å melde dette til NSD ved å oppdatere meldeskjemaet. Før du melder inn en endring, oppfordrer vi deg til å lese om hvilke type endringer det er nødvendig å melde:

<https://www.nsd.no/personverntjenester/fylle-ut-meldeskjema-for-personopplysninger/melde-endringer-i->

meldeskjema

Du må vente på svar fra NSD før endringen gjennomføres.

#### TYPE OPPLYSNINGER OG VARIGHET

Prosjektet vil behandle alminnelige kategorier av personopplysninger frem til 01.06.2021. Data med personopplysninger oppbevares deretter internt ved behandlingsansvarlig institusjon frem til 01.08.2021, dette grunnet forskning.

#### LOVLIG GRUNNLAG

Prosjektet vil innhente samtykke fra de registrerte til behandlingen av personopplysninger. Vår vurdering er at prosjektet legger opp til et samtykke i samsvar med kravene i art. 4 og 7, ved at det er en frivillig, spesifikk, informert og utvetydig bekreftelse som kan dokumenteres, og som den registrerte kan trekke tilbake. Lovlig grunnlag for behandlingen vil dermed være den registrertes samtykke, jf. personvernforordningen art. 6 nr. 1 bokstav a.

#### PERSONVERNPRINSIPPER

NSD vurderer at den planlagte behandlingen av personopplysninger vil følge prinsippene i personvernforordningen om:

- lovlighet, rettferdighet og åpenhet (art. 5.1 a), ved at de registrerte får tilfredsstillende informasjon om og samtykker til behandlingen
- formålsbegrensning (art. 5.1 b), ved at personopplysninger samles inn for spesifikke, uttrykkelig angitte og berettigede formål, og ikke viderebehandles til nye uforenlige formål
- dataminimering (art. 5.1 c), ved at det kun behandles opplysninger som er adekvate, relevante og nødvendige for formålet med prosjektet
- lagringsbegrensning (art. 5.1 e), ved at personopplysningene ikke lagres lengre enn nødvendig for å oppfylle formålet

#### DE REGISTRERTES RETTIGHETER

Så lenge de registrerte kan identifiseres i datamaterialet vil de ha følgende rettigheter: åpenhet (art. 12), informasjon (art. 13), innsyn (art. 15), retting (art. 16), sletting (art. 17), begrensning (art. 18), underretning (art. 19), dataportabilitet (art. 20).

NSD vurderer at informasjonen som de registrerte vil motta oppfyller lovens krav til form og innhold, jf. art. 12.1 og art. 13.

Vi minner om at hvis en registrert tar kontakt om sine rettigheter, har behandlingsansvarlig institusjon plikt til å svare innen en måned.

#### FØLG DIN INSTITUSJONS RETNINGSLINJER

NSD legger til grunn at behandlingen oppfyller kravene i personvernforordningen om riktighet (art. 5.1 d), integritet og konfidensialitet (art. 5.1. f) og sikkerhet (art. 32).

For å forsikre dere om at kravene oppfylles, må dere følge interne retningslinjer og eventuelt rådføre dere med behandlingsansvarlig institusjon.

#### OPPFØLGING AV PROSJEKTET

NSD vil følge opp ved planlagt avslutning for å avklare om behandlingen av personopplysningene er avsluttet.

Lykke til med prosjektet!

Kontaktperson hos NSD: Tore Andre Kjetland Fjeldsbø

Tlf. Personverntjenester: 55 58 21 17 (tast 1)

## Vedlegg F : Informasjon- og samtykkeskriv til deltakerne

Madelene Losvik Berntsen

adr: <...>

tlf: <...>

epost: <...>

### **Vil du delta i forskningsprosjektet «Naturvitenskapens egenart i kjemiundervisningen»?**

Dette er et spørsmål til deg om å delta i et forskningsprosjekt hvor formålet er å undersøke hvordan læreren kan undervise om naturvitenskapens egenart i kjemiundervisningen. I dette skrivet gir vi deg informasjon om målene for prosjektet og hva deltakelse vil innebære for deg.

#### **Formål**

Jeg er student på lektorprogrammet i realfag ved NTNU. I forbindelse med masteroppgaven min undersøker jeg hvordan man kan undervise om naturvitenskapens egenart («*Nature of Science*», NOS) i skolen. NOS dreier seg om hva som kjennetegner naturvitenskap og den naturvitenskapelige virksomheten. Relevante spørsmål kan være: Hvordan arbeider forskere? Hvordan utvikles naturvitenskapelig kunnskap? Hva kjennetegner denne kunnskapen? Forskningsspørsmålet for studien er foreløpig: *Hvordan kan vitenskapshistorie brukes i kjemiundervisningen for å lære elever noe om naturvitenskapens egenart?*

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

Det skal gjennomføres et undervisningsopplegg som baserer seg på oppfinnelsen av temperaturskalaen. Uavhengig om du ønsker å delta i forskningsprosjektet kan du ta del i timen. Dersom du velger å delta i prosjektet, innebærer det at muntlige diskusjonsoppgaver kan bli tatt opp med lydopptaker og skriftlige oppgaver kan benyttes i studien.

I etterkant av undervisningsopplegget er det ønskelig å gjennomføre intervju med noen elever, slik at jeg kan få et mer utfyllende datamateriale. Du vil bli spurt om å stille til intervju på forhånd, og det er selvsagt helt greit dersom du ikke ønsker å delta. Intervjuet vil ha en varighet på omtrent 60 min, og spørsmålene vil omhandle dine tanker om hva kjemi er, hvordan kjemikere arbeider, og hva du tenker om de ulike delene av undervisningsopplegget. For å få så godt dokumenterte data som mulig, er det ønskelig å gjøre lydopptak av intervjuet.

#### **Det er frivillig å delta**

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

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

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

- Materialet (lydopptakene) vil kun bli hørt av meg og min veileder, Annette Lyknes.
- I det som presenteres fra prosjektet vil involverte personer bli anonymisert
- Innsamlet data vil bli slettet etter at mastergraden er avsluttet, senest 1. August 2021.

### **Dine rettigheter**

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

- innsyn i hvilke personopplysninger som er registrert om deg, og å få utlevert en kopi av opplysningene,
- å få rettet personopplysninger om deg,
- å få slettet personopplysninger om deg
- å sende klage til Datatilsynet om behandlingen av dine personopplysninger.

### **Hva gir oss rett til å behandle personopplysninger om deg?**

Vi behandler opplysninger om deg basert på ditt samtykke.

På oppdrag fra NTNU har NSD – Norsk senter for forskningsdata AS vurdert at behandlingen av personopplysninger i dette prosjektet er i samsvar med personvernregelverket.

### **Hvor kan jeg finne ut mer?**

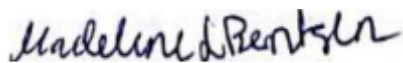
Hvis du har spørsmål til studien, eller ønsker å benytte deg av dine rettigheter, ta kontakt med meg på telefon eller epost (se øverst på side for detaljer). Eller kontakt:

- Faglig ansvarlig ved NTNU: Annette Lykknes: tlf.: <...>; epost: <...>
- NTNUs personvernombud: Thomas Helgesen: tlf. <...>; epost: <...>

Hvis du har spørsmål knyttet til NSD sin vurdering av prosjektet, kan du ta kontakt med:

- NSD – Norsk senter for forskningsdata AS på epost ([personverntjenester@nsd.no](mailto:personverntjenester@nsd.no)) eller på telefon: 55 58 21 17.

Med vennlig hilsen



## Samtykkeerklæring

Jeg har mottatt og forstått informasjon om prosjektet «Naturvitenskapens egenart i kjemiundervisningen», og har fått anledning til å stille spørsmål. Jeg samtykker til:

- å delta i muntlige diskusjonsoppgaver under undervisningsøkten
- å delta i skriftlige oppgaver under undervisningsøkten
- å delta på intervju i etterkant av undervisningsøkten

Jeg samtykker til at mine opplysninger behandles frem til prosjektet er avsluttet

---

(Signert av prosjektdeltaker, dato)



