

Aleksander Knutsen

Vitenskapshistorie for å undervise om naturvitenskapens egenart (NOS)

En studie og analyse av fysikeren Maria Goeppert-Mayers liv og virke, i lys av family resemblance approach (FRA) til NOS

Masteroppgave i Master i naturfagdidaktikk

Veileder: Annette Lykknes

Juni 2020

Aleksander Knutsen

Vitenskapshistorie for å undervise om naturvitenskapens egenart (NOS)

En studie og analyse av fysikeren Maria Goeppert-Mayers liv og virke, i lys av family resemblance approach (FRA) til NOS

Masteroppgave i Master i naturfagdidaktikk
Veileder: Annette Lykknes
Juni 2020

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



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Endelig kan jeg si meg ferdig med det største arbeidet jeg har startet så langt i livet. Det er en utrolig god følelse å være ferdig med masteroppgaven etter 5 år i Trondheim. Reisen har vært lang, og jeg har lært mye om meg selv i løpet av denne tiden som jeg tar med meg videre i livet.

Når motivasjonen var på sitt laveste, var jeg i ferd med å gi opp flere ganger. Til tider virket det håpløst, men jeg kom meg gjennom det til slutt. Det er ikke ofte jeg tillater meg selv å være stolt av meg selv, men dette er et unntak.

Stor takk til min veileder Annette Lykknes som har gitt meg verdifull veiledning og tilbakemelding på arbeidet mitt hele veien. Takk for tålmodigheten du viste meg når jeg virkelig trengte det. Jeg vil også takke Rodrigo de Miguel som har assistert som veileder i arbeidet.

Takk til mine venner og familie som har hatt trua på meg når jeg selv ikke hadde det. Uten de verdifulle samtalene vi har hatt sammen den siste tiden ville jeg ikke kommet i mål med oppgaven.

Trondheim, juni 2020

Aleksander Knutsen

Sammendrag

Oppgaven handler om hvordan vitenskapshistorie kan belyse sentrale aspekter fra naturvitenskapens egenart (NOS). Studien er delt inn i 3 deler der hver av delene inneholder et eller flere originale bidrag.

I del 1 av oppgaven er det originale bidraget en undersøkelse av hvordan NOS blir belyst i noen norske vitenskapshistoriske læreboktekster. Denne undersøkelsen blir gjort i to delstudier. Den ene delstudien tar for seg utvalgte vitenskapshistoriske læreboktekster fra ett læreverk i naturfag. Den andre delstudien tar for seg presentasjonen av atommodellens historiske utvikling i flere lærebøker i naturfag, og en lærebok i fysikk. I disse delstudiene blir rammeverket «family resemblance approach» (FRA) for NOS tatt i bruk for å teste ut dette rammeverket i en slik undersøkelse.

I del 2 blir det gjort en vitenskapshistorisk studie av den tysk-amerikanske fysikeren Maria Goeppert-Mayer. I tillegg blir det gjort en undersøkelse av historien til Maria Goeppert-Mayer for å undersøke hvordan hennes historie kan belyse NOS ved hjelp av rammeverket FRA. Det originale bidraget i del 2 er derfor en biografisk tekst om Maria Goeppert-Mayer, og undersøkelsen av hvordan denne teksten kan belyse NOS-aspekter.

Del 3 er et undervisningsopplegg som tar utgangspunkt i bidraget fra del 2 av oppgaven. Undervisningsopplegget setter NOS i fokus ved å belyse NOS-aspekter gjennom en rollespilldebatt basert på Maria Goeppert-Mayers historie. Undervisningsopplegget ble konstruert med FRA synet på NOS. Dette undervisningsopplegget ble ikke testet i løpet av studien.

Abstract

This thesis explores how history of science can be used to highlight central features of nature of science (NOS). This thesis is comprised of three parts, where each part contains one or more original contributions.

Part 1 of this thesis examines how NOS is presented in a few texts from textbooks regarding the history of science. This examination is divided into two parts. The first part concerns itself with a few selected texts from one set of science textbooks. The second part concerns itself with the presentation of the history of the atomic model in several science textbooks, and one physics textbook. The family resemblance approach (FRA) for NOS is used to test FRA as a tool for use in the examination of textbooks.

Part 2 is a historical study of the German-American physicist Maria Goeppert-Mayer. Central to part 2 is also an examination of how Maria Goeppert-Mayers story highlights NOS. FRA is used as a framework for this examination. The original contributions from part 2 of this thesis, are a biographical text about Maria Goeppert-Mayer, and an examination of how this text highlights features of NOS.

Part 3 is a science lesson based on the contributions of part 2. The science lessons aim is to highlight features of NOS, using a roleplay debate based on Maria Goeppert-Mayers story. This science lesson was not tested for the duration of the study.

Innhold

1 Innledning	7
1.1 Bakgrunn for oppgaven	7
1.2 Formålet med oppgaven.....	8
1.3 Del 1 (kapittel 2).....	9
1.4 Del 2 (Kapittel 4 og 5)	11
1.5 Del 3 (Kapittel 6).....	13
1.6 Strukturen til oppgaven	14
2 NOS og vitenskapshistorie	15
2.1 Naturvitenskapens egenart.....	15
2.2 Ulike syn på NOS: Consensus view og whole science.....	16
2.3 Family Resemblance Approach	19
2.4 Kategoriene i FRA rammeverket	19
2.5 Kognitiv-epistemiske kategorier:	20
2.6 Sosio-institusjonelle kategorier:.....	24
2.7 FRA og NOS	28
2.8 Vitenskapshistorie og NOS.....	29
2.9 Vitenskapshistorie og NOS i Lærebøker	31
Del 1: Vitenskapshistorie og NOS i norske lærebøker.....	36
3 Innledning	37
3.1 Hva sier læreplanen om NOS sett ifra et FRA-perspektiv?	37
3.2 Hensikten med å undersøke vitenskapshistoriske læreboktekster og fremstillingen av atommodellens utvikling.....	38
3.3 Tidligere analyse av Tellus 8-10	39
3.4 Utvalg.....	39
3.5 Hvordan FRA ble brukt til å tolke læreboktekster, og lærebøkernes fremstilling av atommodellens historie	40
3.6 Historiske eksempler fra Tellus 8-10.....	41
3.7 Diskusjon av undersøkelsene av læreboktekster	44
3.8 En diskusjon rundt atommodellen i norske naturfagslærebøker	47
3.9 Kvinnelige forskere fra vitenskapshistorien i norske lærebøker	55
Del 2: Maria Goepfert-Mayer.....	58
4 Innledning	59
4.1 Valg av forsker	59
4.2 Vitenskapshistorisk studie.....	61

4.2.1 Fysikk i første halvdel av 1900-tallet	61
4.2.2 Den allsidige kjernefysikeren Maria Goeppert-Mayer og de magiske tallene.....	63
4.2.3 Tiden ved Columbia-universitet	66
4.2.4 Harold Urey og Manhattanprosjektet	69
4.2.5 Tiden ved universitetet i Chicago	70
4.2.6 Skallmodellen for kjernen.....	73
5 Kjennetegn fra FRA-kategoriene i historien om Maria Goeppert Mayer	79
5.1 Kognitiv-epistemiske kategorier	79
5.2 Sosio-institusjonelle kategorier.....	81
Del 3: Undervisningsopplegget.....	86
6 Innledning	87
6.1 Målet for undervisningsopplegget	87
6.2 Bakgrunn for undervisningsopplegget.....	88
6.3 Beskrivelse av undervisningsopplegget	89
«Tekstboks: Tekst om Maria Goeppert-Mayer til undervisningsopplegget»	98
7.0 Studiens begrensninger	101
7.1 Del 1.....	101
7.2 Del 2.....	102
7.3 Del 3.....	103
8.0 Oppsummering og konklusjon	105
8.1 Avsluttende kommentarer	106
9.0 Litteratur.....	108

Tabelloversikt

Tabell 1 1: Consensus view påstander.....	17
Tabell 1 2: Vurdering av måloppnåelse (mål og verdier).....	21
Tabell 1 3: Sentrale verdier og mål i FRA.....	22
Tabell 1 4: Teksteksempler som inneholdte kjennetegn fra en FRA-kategori er markert med en X.....	41
Tabell 1 5: Tabellen viser noen av Maria Goeppert-Mayers viktigste vitenskapelige bidrag og tidspunktet til de forskjellige bidragene	76
Tabell 1 6: Tabellen viser tidsrammen for undervisningsopplegget.....	90
Tabell 1 7: Spørsmål og påstander til debattene	95

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Naturvitenskapen har resultert i mange spennende og nyttige oppdagelser for menneskeheten. Selve oppdagelsene er viktige, men hvordan forskerne har kommet frem til disse oppdagelsene sier oss også noe om hvordan naturvitenskapen fungerer som en prosess. Et av målene med skolens utdanning er å forme elevene til individer som kan bli deltakere i et demokratisk samfunn. Elevene må derfor være i stand til å ta gode valg, og for å ta disse valgene må de kunne evaluere den informasjonen de tar til seg. Noen valg kan være motstridende og avhenger av informasjon som er et resultat av naturvitenskapelig forskning. I tilfeller der det er motstridende valg må elevene kunne bedømme de vitenskapelige påstandene som ligger til grunn for disse valgene. Elever må derfor ha kunnskaper om den vitenskapelige prosessen som leder til ny kunnskap, og dette innebærer at elevene har kunnskaper om naturvitenskapens egenart (Kolstø, 2006).

Naturvitenskapens egenart er en norsk oversettelse av det engelske begrepet «nature of science», som forkortes til NOS. NOS handler om alle faktorene som spiller inn på de naturvitenskapelige prosessene, og hvordan naturvitenskapelig kunnskap blir etablert. Flere studier peker på at elever ikke har en god forståelse av NOS (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Lederman, 1992; Øyehaug & Holt, 2014).

Ifølge læreplanen for naturfag skal elevene lære om flere sider ved naturvitenskapelige prosesser. Under formålsdelen i læreplanen står det at «lover og teorier i naturvitenskapen er modeller av en sammensatt virkelighet, og disse modellene endres eller videreutvikles gjennom nye observasjoner, eksperimenter og ideer» (Utdanningsdirektoratet, 2015). Under hovedområdet Forskerspiren skiller læreplanen mellom produktene naturvitenskapen har ført til, og de prosessene som viser hvordan naturvitenskapelig kunnskap blir etablert over tid. (Utdanningsdirektoratet, 2015) Læreplanen fremhever altså at naturvitenskapen er i utvikling, som er sentralt for naturfag som prosess. Men hvordan kan elevene lære om NOS i klasserommet?

Forskningslitteraturen er rik på eksempler som viser hvordan vitenskapshistorie kan bli brukt i naturfag for å undervise om NOS (Allchin, Andersen & Nielsen, 2014; Erduran & Dagher, 2014). Ved å inkludere vitenskapshistorie i naturfagundervisningen, kan elever få innsikt i hvordan vitenskapen samhandler med resten av samfunnet. Sammen med andre aspekter ved NOS kan dette være med på å gi elever kunnskapen de trenger for å kunne granske

argumenter i sosiovitenskapelige saker. Kunnskapene elevene får gjennom vitenskapshistorie og NOS i naturfag kan derfor være med på å forberede elevene til å ta del i den demokratiske prosessen i samfunnet (Kolstø, 2008). Vitenskapshistoriske eksempler finnes i norske naturfagslærebøker, men de vitenskapshistoriske tekstene presenterer ikke alltid naturvitenskapelige prosesser i disse eksemplene (Knain, 2001; Moreno-Martínez & Lykknes, 2019).

Vitenskapshistorien handler om en rekke forskjellige forskere fra ulike steder i verden, med hver sine unike historier som kan vise elever i skolen forskjellige sider av NOS. Gjennom tidene har både mannlige og kvinnelige forskere spilt en sentral rolle i etableringen av ny kunnskap. For å belyse dette mangfoldet kan kvinnelige forskere være med på å belyse flere NOS-aspekter. Dette kommer tydelig frem hvis man ser på alle bidragene i periodesystemet som er et resultat av kvinnelige forskeres arbeid. Lykknes og Van Tiggelen (2019) beskriver bidragene til over 30 kvinnelige forskere innenfor periodesystemet alene. Disse kvinnene utgjør bare en liten del av det totale antallet kvinnelige forskere gjennom vitenskapshistorien innenfor ett av flere viktige vitenskapelige felt. Moreno-Martínez og Lykknes (2019) undersøkte historien til periodesystemet i norske og spanske lærebøker, og hvordan NOS blir belyst gjennom historiene som blir presentert. Et av funnene var at norske og spanske lærebøker ikke nevner noen kvinnelige forskere i historien til periodesystemet. Ingen kvinner er altså nevnt, til tross for rollen de har hatt i utviklingen av periodesystemet. Den tysk-amerikanske fysikeren og nobelprisvinneren Maria Goeppert-Mayer er en av de kvinnene som har vært sentral for periodesystemets historie, siden hun bidro med kunnskaper om atomets struktur. At kvinner ikke blir nevnt sammen med menn i lærebøkene, kan være med på å gi elevene feil inntrykk av hvilken rolle kvinnelige forskere har hatt gjennom vitenskapshistorien. Av den grunn må flere kvinner fram i lyset, siden kvinner har bidratt i vitenskapelig arbeid på lik linje med menn gjennom lange tider.

1.2 Formålet med oppgaven

Naturvitenskapelige prosesser er altså eksplisitt nevnt i den norske læreplanen i naturfag, og er en sentral idé innenfor NOS. Sentralt for den kunnskapen som har blitt etablert gjennom naturvitenskapelige prosesser i vitenskapshistorien, er rollen til kvinnelige forskere. Derfor vil denne oppgaven undersøke hvordan sentrale NOS-aspekter kan belyses i naturfag ved hjelp av en kvinnelig forsker fra vitenskapshistorien. For å undersøke dette har jeg tatt i bruk en fremgangsmåte som kombinerer ulike metoder for å fordype meg i NOS og

vitenskapshistorie. Jeg har valgt den kvinnelige forskeren Maria Goeppert-Mayer, som ble nevnt i forrige avsnitt. Selv om Goeppert-Mayer vant nobelprisen i fysikk er hun relativt lite kjent. Spesielt med tanke på at hun bidro med faktakunnskaper om noe så fundamentalt som atomets struktur. Siden jeg tar i bruk metoder fra ulike fagfelt er dette ikke en typisk naturfagdidaktisk oppgave. Oppgaven min er ikke strukturert etter teori, metode, resultat og analyse del som ofte er en vanlig inndeling for slike oppgaver. Studien har trekk av flere metoder, deriblant historisk metode og dokumentanalyse. En kombinasjon av disse metodene ble valgt, siden metodene virket best egnet for å ta for seg hvordan sentrale NOS-aspekter kan belyses i naturfag ved hjelp av en kvinnelig forsker fra vitenskapshistorien. Dersom potensialet i vitenskapshistorie skal utnyttes ordentlig for å si noe om NOS, må historiske caser studeres i detalj. Overfladisk lesing av populære kilder på internett er ikke nok for å tilegne seg kunnskap om de vitenskapelige prosessene som leder til en vitenskapelig oppdagelse. Det kreves en historikers innsyn til materialet. Derfor har jeg under kyndig veiledning, gjort mitt beste for å ta i bruk et omfang historiske kilder forfattet av profesjonelle vitenskapshistorikere for å forstå tiden Goeppert-Mayer virket i.

Ved å ta i bruk elementer fra dokumentanalyse kan eksisterende tekster undersøkes for å se hvordan NOS har blitt belyst ved hjelp av vitenskapshistorie. Oppgaven består av tre hoveddeler, der hver av delene inneholder et originalt bidrag. Del 1 sitt bidrag er to delstudier av vitenskapshistoriske læreboktekster, og hvordan de belyser NOS-aspekter. Del 2 sitt bidrag er en vitenskapshistorisk studie av Goeppert-Mayer, og en undersøkelse av hvordan historien hennes kan belyse NOS-aspekter. Del 3 sitt bidrag er ett undervisningsopplegg der lærdommen fra del 2 blir tatt i bruk ved å lage et opplegg med Goeppert-Mayer i sentrum som kan belyse NOS-aspekter.

1.3 Del 1 (kapittel 2)

I del 1 undersøker jeg noen utvalgte vitenskapshistoriske læreboktekster etter hvordan de er med på å belyse NOS. Til dette formålet anvendes «family resemblance approach» (FRA), som er et av flere rammeverk som definerer NOS-begrepet (kapittel 2.3). FRA organiserer NOS-aspekter som er nært beslektet med hverandre inn i kategorier med et formål om å fremheve et holistisk og dynamisk syn på NOS. FRA ble valgt siden FRA er blitt videreutviklet fra sin originale form til å bli et verktøy som kan brukes til å vurdere naturfagsinnholdet i læreplaner, lærebøker og annet materiale relatert til naturfagundervisning. FRA har ikke blitt brukt i mange studier tidligere (Erduran & Dagher,

2014). Jeg ønsker derfor å teste ut FRA-rammeverket i min studie. Selv om denne delen av oppgaven har elementer av dokumentanalyse av lærebok, er ikke del 1 av oppgaven en fullverdig lærebokanalyse. Jeg ser ikke på helheten til lærebøkene, men noen utvalgte teksteksempler for å eksemplifisere hvilke sider av NOS som presenteres i disse eksemplene. Det er flere grunner til at jeg ikke gjør en fullverdig lærebokanalyse. For det første vil jeg som nevnt teste ut hvordan FRA kan bli brukt til å vurdere læreboktekster etter hvordan de belyser NOS gjennom vitenskapshistoriske eksempler. Dermed er det ikke et behov for å analysere all tekst i lærebøkene som utforskes, men bare utvalgte tekster. For det andre blir omfanget på undersøkelsen av læreboktekstene begrenset av at studien også er en vitenskapshistorisk studie av caset i seg selv. Undersøkelsen av læreboktekstene blir gjort ved å granske hvert eksempel ut ifra beskrivelsen av hver enkel FRA-kategori fra kapittel 2.5 og 2.6. Jeg startet med å undersøke et teksteksempel i lys av en av FRA-kategoriene. Deretter undersøkte jeg samme teksteksempel på nytt, i lys av neste FRA-kategori. Etter å ha lest teksteksemplene om igjen i lys av alle FRA-kategoriene kunne jeg samle disse undersøkelsene sammen til en beskrivelse av teksteksempelets fremstilling av NOS. De vitenskapshistoriske tekstene som blir brukt i første del av oppgaven er basert på gjennomgangen av læreboktekster til Hege Sletten (2017). Sletten undersøkte læreverket Tellus 8-10, og i hvilken grad «consensus views» syn på NOS blir reflektert i læreverket. «Consensus view» er et rammeverk for NOS på lik linje med FRA, som beskriver NOS som en rekke påstander om hva naturvitenskapelig forskning er. Mitt bidrag er å analysere de historiske teksteksemplene fra Slettens oppgave med FRA-rammeverket.

Under formålsdelen til læreplanen vektlegges det at modeller og teorier endres og videreutvikles gjennom tid som en del av den naturvitenskapelige prosesser (Utdanningsdirektoratet, 2015). Del 1 vil derfor undersøke hvordan lærebøker i naturfag belyser naturvitenskapelige prosesser som har resultert i at atommodellen har endret seg over tid. For å kunne vurdere fremstillingen av atommodellen, fordypet jeg meg først i historien til utviklingen av atommodellene. Dermed kunne jeg identifisere sentrale forskere i utviklingen av atommodellen, og noen av oppdagelsene som ledet til at nye atommodeller oppsto. Atombegrepet har eksistert i lang tid, men atomteorier og atommodeller fra moderne tid er svært annerledes fra de som oppstod for hundre år siden. Ved å studere caser om de forskjellige atommodellene, ble jeg også i stand til å vurdere atommodellene og atomteoriene som ble beskrevet i lærebøkene, og også hvilke som eventuelt ble utelatt. Slik kunne jeg vurdere innholdet i lærebøkens fremstilling av atommodellenes historie.

Ett av bidragene fra del 1 til studien er å teste ut FRA-rammeverket som et verktøy for å vurdere hvordan en læreboktekst presenterer NOS. I tillegg kan undersøkelsene i del 1 av oppgaven gi et bilde av hvordan NOS har blitt presentert i vitenskapshistoriske læreboktekster tidligere, og dermed forstå status for historiske beskrivelser i lærebøker i Norge.

Undersøkelsene viser hvilke NOS-aspekter som er prioritert i norske læreboktekster, og hvilke NOS-aspekter som ikke blir belyst. Dette kan bidra til å bestemme hvilke NOS-aspekter som skulle inkluderes i det vitenskapshistoriske undervisningsopplegget jeg skulle utvikle til del 3 av oppgaven

1.4 Del 2 (Kapittel 4 og 5)

I del 2 av oppgaven er det gjennomført en vitenskapshistorisk biografisk studie av Maria Goeppert-Mayer. For å kunne fremstille hennes liv så korrekt som mulig, brukte jeg mye tid på å sette meg inn i den vitenskapshistoriske konteksten hun arbeidet innenfor. Jeg satte meg inn i tidsperioden til Goeppert-Mayer for å se hva slags forskningsspørsmål fysikere og kjemikere var opptatt av på første halv-del av 1900-tallet. I tillegg ble det viktig å forstå de omveltende oppdagelsene som ble gjort rundt overgangen fra 1800-tallet til 1900-tallet, som førte til at nye vitenskapelige felt som radioaktivitet og etter hvert kjernefysikk vokste frem. Det ble vurdert som viktig å forstå disse endringene, for å kunne forstå hvordan datidens faglige problemstillinger virket inn på Goeppert-Mayers liv og forskning. Utenom den faglige konteksten var det også viktig å forstå hvordan livet til Goeppert-Mayer var preget av de to verdenskrigene. Ved å forstå konteksten Goeppert-Mayer arbeidet innenfor, ble det lettere å se forskningen hennes i et større perspektiv, og vurdere relevansen den hadde for tiden hun var en del av. Goeppert-Mayer forsket på en tid der kvinnelige forskere ikke var like vanlige på universitetene. Jeg ble derfor også nødt til å sette meg inn i hvordan det var å være kvinnelig forsker under første halvdel av 1900-tallet i USA slik historikere har studert og forstått det.

Goeppert-Mayer forsket på fenomener som krever fysikk-kunnskaper på avansert nivå, som gjorde at jeg måtte fordype meg i fysikkemner som jeg ikke har hatt mye kunnskaper om fra før. Å fordype meg i fysikk har vært krevende, men etter min mening nødvendig for å forstå betydningen av Goeppert-Mayers arbeid. Jeg har presentert arbeidet hennes slik at det skal være forståelig for en leser som ikke er en fysiker. Gjennom denne prosessen har jeg fått en bedre forståelse for noen fenomener knyttet til atomets struktur. Jeg har i tillegg fått oppklart noen misoppfatninger jeg hadde om noen fenomener i fysikk.

Etter å ha fordypet meg i den vitenskapshistoriske konteksten rundt Goepfert-Mayers liv og arbeid, kunne jeg se nærmere på Goepfert-Mayers liv og historie. Jeg har gjort en grundig undersøkelse av Goepfert-Mayers historie innenfor rammen av en masteroppgave der jeg både skulle skrive om Goepfert-Mayer sitt liv og arbeid, men også undersøke historien hennes i lys av NOS. Jeg har lagt vekt på å lese forskning fra profesjonelle vitenskapshistorikere i arbeidet med å fordype meg i forskningen og forskerne som er relevante for Goepfert-Mayers historie. For å fordype meg har jeg forsøkt å bruke så originale kilder som mulig i arbeidet, men jeg har ikke hatt tilgang til arkiver for å gjennomføre den vitenskapshistoriske studien. Det har ikke vært mulig å gjøre arkiv studier slik en historiker gjør, innenfor rammen av denne masteroppgaven.

Det har vært krevende å sette sammen det jeg har lest til en historie om hennes liv og forskning, slik det også er for historikere som skrivet vitenskapshistorie. Jeg valgte kilder etter hvordan de har samlet inn informasjon om Goepfert-Mayers liv. To kilder har vært spesielt nyttige i den vitenskapshistoriske studien av Goepfert-Mayer. Den ene kilden består av memoarer fra en av Goepfert-Mayers sjefer og tidligere studenter Robert Sachs. Den andre kilden er en bok om forskerpar som hovedsakelig baserer seg på intervju mellom forfatteren og Goepfert-Mayer og hennes mann Joseph Mayer. Selv om disse kildene har vært nyttige i mitt arbeid, må kilder som baserer seg på personlige beretninger bli brukt med varsomhet. Personlige beretninger er ikke nødvendigvis helt nøyaktige, og preget av fortellerens utvalg av detaljer og senere erfaringer. Den vitenskapshistoriske studien baserer seg også på kilder som utdyper fysikken bak oppdagelsene hennes, som har vært nyttig for å forstå det vitenskapelige arbeidet til Goepfert-Mayer. Siden jeg ikke har tilgang til arkiver med original dokumenter om Goepfert-Mayer, er ikke denne oppgaven en fullverdig historisk analyse av Goepfert-Mayers liv, men jeg mener at den er et godt utgangspunkt for en undersøkelse av hvilke NOS-aspekter som kan belyses i Goepfert-Mayers historie. Resultatet fra den vitenskapshistoriske studien er en biografisk tekst om Goepfert-Mayers liv som forsker.

Videre i del 2 blir Goepfert-Mayers historiske case brukt til å identifisere hvilke NOS-aspekter som kommer frem i denne biografiske teksten, ved å ta i bruk FRA-rammeverket. For å kunne identifisere NOS-aspekter i den biografiske teksten brukte jeg en tilsvarende prosess som i del 1 av oppgaven når jeg undersøkte læreboktekster. Jeg tok utgangspunkt i beskrivelsen av FRA-kategoriene fra kapittel 2.5 og 2.6. Som i del 1 valgte jeg meg først ut én FRA-kategori. Med denne FRA-kategorien som utgangspunkt gjorde jeg en grundig gjennomlesning av den biografiske teksten flere ganger for å identifisere eventuelle

kjennetegn fra den valgte FRA-kategorien. Etter kjennetegnene var identifisert for en FRA-kategori ble det gjennomført en ny grundig gjennomlesning av den biografiske teksten med utgangspunkt i en ny FRA-kategori. Denne prosessen ble repetert frem til den biografiske teksten var studert opp mot alle FRA-kategoriene. Dette resulterte i en oversikt over hvilke FRA-kategorier som var mest relevante for historien til Goepfert-Mayer, og på hvilken måte den biografiske teksten kan belyse NOS-aspekter fra FRA-kategoriene.

1.5 Del 3 (Kapittel 6)

I del 3 av oppgaven har jeg laget et undervisningsopplegg basert på funnene fra FRA-undersøkelsen om Goepfert-Mayers liv i del 2. Dette anser jeg som viktig å vise hvordan et historisk case kan bli brukt i naturfag til å undervise om NOS. Det historiske caset er basert på den biografiske teksten om Goepfert-Mayer i kapittel 4.3 og NOS-aspektene som blir belyst i undervisningsopplegget er et resultat av undersøkelsen i kapittel 5.0. Dermed ligger FRA-modellen som et teoretisk grunnlag for undervisningsopplegget i del 3. I del 3 er det originale bidraget undervisningsopplegget. Undervisningsopplegget blir imidlertid ikke testet på en klasse som en del av denne oppgaven. Det har ikke vært mulig å teste undervisningsopplegget innenfor rammen av masteroppgaven. Derfor kan ikke oppgaven si noe om effektiviteten til undervisningsopplegget, men forhåpentligvis kan det gjøres nye studier der opplegget kan tests ut i klasserommet.

Formålet til oppgaven er derfor todelt:

- 1. Gjøre en vitenskapshistorisk studie av en kvinnelig forsker og å ta i bruk FRA-rammeverket til å lære elever om NOS, og hvordan historien og lærdommene kan bli brukt i et undervisningsopplegg.**
- 2. Lage et undervisningsopplegg basert på en vitenskapshistorisk studie av en kvinnelig forsker, der NOS blir belyst ut ifra rammeverket FRA.**

Målene over er delt inn i noen undermål:

1. Undersøke hvordan NOS blir presentert i noen norske læreboktekster ut ifra et FRA perspektiv
2. Gjøre en vitenskapshistorisk studie av Maria Goepfert-Mayer
3. Undersøke NOS-aspekter i den vitenskapshistoriske studien av Maria Goepfert-Mayer med FRA

4. Lage et undervisningsopplegg basert på Maria Goeppert-Mayer, som belyser sentrale NOS-aspekter i en vitenskapshistorisk kontekst ved hjelp av rammeverket FRA

1.6 Strukturen til oppgaven

I kapittel 2 blir teori som er relevant for oppgaven presentert. Kapittel 3 beskriver delstudiene av læreboktekstene. I kapittel 4 presenteres en vitenskapshistorisk studie av Maria Goeppert-Mayer. Kapittel 5 tar for seg hvordan historien til Goeppert-Mayer belyser NOS. Kapittel 6 beskriver undervisningsopplegget som er basert på den vitenskapshistoriske studien av Goeppert-Mayer. I kapittel 7 blir studiens begrensinger beskrevet, og til slutt blir oppgaven oppsummert med noen avsluttende kommentarer i kapittel 8.

2 NOS og vitenskapshistorie

I denne delen av oppgaven beskriver jeg noen av de ulike definisjonene på NOS. «Consensus view» og «whole science» blir først diskutert, der jeg ser på styrker og svakheter til disse tilnærmingene (kapittel 2.2). Deretter blir FRA diskutert, men FRA blir naturlig nok mest utdypet av alle NOS-tilnærmingene (2.3). FRA organiserer sentrale NOS-aspekter inn i to system med flere kategorier (2.4). Disse kategoriene blir beskrevet og utdypet ved å se på hva slags type NOS-aspekter de inneholder (2.5 og 2.6). Etter FRA-kategoriene er blitt beskrevet blir bruken av FRA til vurdering av læreplaner og andre skolematerialer diskutert (2.7). Tillegg diskuteres bruken av vitenskapshistorie og NOS i naturfagundervisning (2.8). Læreboka er en sentral del av undervisningen i naturfag for mange lærere, og senere i studien undersøkes noen norske læreboktekster etter hvordan de belyser NOS. Derfor tar denne delen av oppgaven også opp rollen NOS og vitenskapshistorie spiller i lærebøker (2.9).

2.1 Naturvitenskapens egenart

I en studie av gjort på en engelsk skole undersøkte Driver, Leach og Millar (1996) elevers kunnskaper om NOS. Gjennom studien kom det frem at elevene hadde manglende kunnskap på flere områder. Blant annet trodde elevene at forskere jobber på egenhånd, og at målet til forskere er å løse små tekniske problemer. Elevene visste ikke at målet ofte er å finne svar på større vitenskapelige fenomener, for å utvikle menneskehetens kunnskap om universet. I følge McComas, Almazroa og Clough (1998) har ikke mennesker i dag en god nok forståelse av NOS, til å forstå hvordan naturvitenskapen fungerer i praksis. Dette er til tross for at naturvitenskapen påvirker samfunnet på flere måter. Eksempelvis peker McComas, Almazroa, et al. (1998) på det demokratiske argumentet for å lære naturvitenskap. Det demokratiske argumentet innebærer at befolkningen skal være med på demokratiske prosesser i samfunnet. I denne sammenhengen spiller forskning og teknologi en sentral rolle, siden mange politiske beslutninger blir tatt på bakgrunn av teknologisk fremgang og ny vitenskapelig kunnskap. For eksempel blir det tatt avgjørelser angående hvilke energikilder samfunnet skal satse på, som kan være påvirket av forskning på dette området. Studien til Driver et al. (1996) viste også at elevene manglet innsikt i hvordan samfunnet påvirker forskning, og motsatt.

Som tidligere nevnt er NOS en del av den norske læreplanene (Utdanningsdirektoratet, 2015). For å se hvilke NOS-aspekter læreplanen belyser, må NOS først defineres nærmere. Laudan et al. (1986) peker på at det ikke eksisterer teori som alene forklarer hvordan vitenskapen fungerer, eller hva vitenskapelig forskning innebærer. Derfor blir det krevende å si sikkert hva NOS inneholder, og hva skoleelever bør lære om NOS. Dette har ført til en rekke ulike tilnærminger som forsøker å definere NOS begrepet, og hva NOS undervisning bør inneholde. Selv om det er noe enighet om sentrale komponenter for NOS, er det ulike syn på hva naturvitenskapens egenart innebærer, og dermed hvordan naturvitenskapens egenart bør bli undervist i skolen. Flere viser til vitenskapen som prosess, som en sentral idé innen NOS (Erduran & Dagher, 2014, s. 40; Kimball, 1967; McComas, Almazroa, et al., 1998). Til tross for en enighet om prosessdimensjonen til NOS, finnes det fortsatt signifikante forskjeller mellom hvordan de ulike forskerne mener vitenskapen som en prosess bør undervises, og hva som bør læres om vitenskapen som prosess.

2.2 Ulike syn på NOS: Consensus view og whole science

En av de sentrale synspunktene om NOS som har vokst frem er det såkalte «consensus view». «Consensus view» er en rekke påstander om hva NOS er, som har blitt samlet inn ved å analysere fellestrekk i læreplaner fra forskjellige land (McComas & Olson, 1998). De representerer noen sentrale påstander eller ideer om hva naturvitenskapens egenart bør inneholde (McComas, Almazroa, et al., 1998). Eksempelvis sier «consensus view» at naturvitenskapelig kunnskap er tentativ, og at naturvitenskapen kjennetegnes ved observasjon, eksperimentelt bevis, rasjonelle argumenter og skeptisisme. At naturvitenskapelig kunnskap er tentativ innebærer at kunnskapen endrer seg over tid. Lover, modeller og teorier endres i lys av ny kunnskap som en del av en selvkorrigerende prosess der nåværende og tidligere påstander blir gransket av vitenskapssamfunnet basert på logiske og rasjonelle argumenter. På den måten etableres ny kunnskap ved at forskere samarbeider om å bygge videre på den eksisterende kunnskapen, og kommer med endringer der det er behov. Et annet sentralt poeng er at det ikke finnes én metode å gjøre vitenskap på. Det eksisterer derfor ikke en universal vitenskapelig metode. McComas, Almazroa, et al. (1998) argumenter for at påstandene fra «consensus view» representerer de viktigste sidene av vitenskapen som en prosess.

Tabell 1 1: Consensus view påstander

Consensus view påstander
<ul style="list-style-type: none"> • Vitenskapelig kunnskap er tentativ, men holdbar
<ul style="list-style-type: none"> • Vitenskapelig kunnskap avhenger i stor grad på observasjon, eksperimentelt bevis, rasjonelle argumenter og skeptisisme
<ul style="list-style-type: none"> • Det finnes ingen universell vitenskapelig metode
<ul style="list-style-type: none"> • Vitenskap er et forsøk på å forklare naturlige fenomen
<ul style="list-style-type: none"> • Teorier blir ikke til lover, selv om nye vitenskapelige bevis kommer frem. Dette kommer av at teorier og lover er forskjellige fra hverandre
<ul style="list-style-type: none"> • Ny kunnskap må bli delt med allmennheten på et tydelig og presist vis for å kunne bli evaluert
<ul style="list-style-type: none"> • Forskning fagfellevurdering, nøyaktig journalføring, og etterprøvbarehet er viktig for kvalitetssikring av forskning

«Whole Science» er en annen tilnærming til naturvitenskapens egenart som kritiserer mange av aspektene til «consensus view». For det første blir «consensus view» kritisert av Allchin (2011), for å ha påstander om NOS som kan gi elever misoppfatninger om NOS dersom disse påstandene ikke blir satt inn i en kontekst. Eksempelet Allchin peker på er påstanden om at naturvitenskapen er tentativ. Allchin påpeker at dette kan bli misbrukt i noen tilfeller. Eksempelvis peker han mot deler av befolkningen som setter tvil ved menneskeskapt global oppvarming. Ifølge Allchin har denne delen av befolkningen misbrukt påstanden om at naturvitenskapen er tentativ, til å spre misinformasjon som peker mot det motsatte. Selv legger Allchin (2011) vekt på at elever må få innsikt i å tolke kilder, vitenskapelig informasjon, og aktører i vitenskapssamfunnet for å kunne vurdere troverdigheten til den naturvitenskapen de blir eksponert for. Elever må ifølge Allchin kunne bedømme hva som er en godt begrunnet påstand, i motsetning til påstander basert på svake argumenter og uvitenskapelige metoder. Begrunnelsen for å fokusere på hvordan man vurderer påstander ligger i det demokratiske argumentet. Elever skal bli forberedt på å bli deltagere av ett demokratisk samfunn der teknologi og vitenskap er viktig i forbindelse med personlige og offentlige saker, og hvordan disse elevene skal ta avgjørelser i fremtiden som omhandler naturvitenskapelige beslutninger (Driver et al., 1996, s. 23). «Consensus view» blir også brukt som demokratisk argument for å lære naturvitenskap (Driver et al., 1996). Tanken bak begrepet «whole science», er i hovedsak at elever skal ha kunnskapen som er nødvendig for å

vurdere forskning kritisk. Det settes søkelys på hvordan elever kan vurdere reliabilitet og troverdighet til en vitenskapelig påstand eller et vitenskapelig funn. Det hevdes videre at «consensus view» mangler disse aspektene i sine påstander om NOS, og at motsigelser oppstår mellom påstandene. Et eksempel på det er etter Allchins (2011) mening at «vitenskapen er tentativ» og «vitenskapen er holdbar» (Allchin, 2011). Dette referer til den første påstanden i consensus view som sier at vitenskapen er tentativ, men holdbar (McComas, Almazroa, et al., 1998).

Samtidig som Allchin retter kritikk mot «consensus view», har «whole science» som en tolkning av NOS også blitt utsatt for kritikk. «Whole science» blir beskyldt for å mangle et skille mellom utforskende naturfag og NOS. Ifølge Schwartz, Lederman og Abd-el-Khalick (2012) tolker Allchin påstandene til «consensus view» som en liste med utforskende ferdigheter elevene må kunne. NOS og utforskende naturfag er begge nødvendige for å oppnå naturfaglig forståelse, men det er to ulike begreper med ulike formål. Schwartz et al. (2012) skriver at «whole science» blander NOS med naturfaglig forståelse. Allchin (2011) hevder «consensus view» ikke inkluderer alle sider ved vitenskapen som er med på å belyse NOS, og at dette rammeverket derfor ikke er fullstendig nok til å gi naturfaglig forståelse. Schwartz et al. (2012) er kritiske til dette argumentet siden «consensus view» aldri har forsøkt å inkludere alle sider av vitenskapen som er med på å belyse NOS, og de er kritiske til at Allchin hevder «whole science» kan dekke alle aspekter ved vitenskapen. I tillegg blir det hevdet at denne tilnærmingen ikke er realistisk, siden elever lærer om ulike tema på ulike nivå, og at elever på skolen umulig kan lære om alle naturvitenskapelige aspekter på en gang. Med det mener Schwartz et al. (2012) at elever vil lære om hvordan de kan vurdere påstander gradvis gjennom utdanningen sin etter hvert som de får mer kunnskap om dette. En elev i 5.klasse vil ikke ha den samme kunnskapen om dyre- og planteceller som en elev i 10.klasse. Dermed kan ikke elever ha all kunnskapen som er nødvendig for å tolke validiteten til en kilde eller vitenskapelig påstand slik Allchin foreslår.

«Consensus view» har ikke bare fått kritikk fra Allchin (2011) når det kommer til innholdet og utformingen til påstandene om NOS. I Wong og Hodson (2010) blir forskere spurt om hva NOS innebærer for dem, med spesielt mye fokus på den sosiale dimensjonen til vitenskapen. Innledningsvis spør de hvem sitt syn på NOS en skal ta utgangspunkt i når uenigheter oppstår mellom forskere, sosiologer, historikere og etnografer. Forskerne som ble spurt gir uttrykk for at naturvitenskap er en gjennomsyret del av samfunnet, som innebærer at flere forskere legger vekt på sosiale sider ved NOS som ikke er dekket av læreplaner. Noe av kritikken til

«consensus view» i nyere tid handler om tilnærmingens fokus på domene-generelle NOS aspekter. Disse kritikerne argumenterer for at «consensus view» ikke tar hensyn til at noen NOS aspekter er domene-spesifikke (Abd-El-Khalick, 2012). Domene-generelle NOS aspekter gjelder for hele vitenskapen, og er derfor generelle sider ved NOS. Domene-spesifikke NOS aspekter gjelder for noen vitenskapelige felt. For eksempel er observasjon generelt for vitenskapen, mens eksperimentasjon er mer domene-spesifikt. En astronom kan ikke eksperimentere på stjernene slik en kjemiker gjør med forskjellige kjemikalier.

2.3 Family Resemblance Approach

«Family resemblance approach» (FRA) forsøker på lik linje med «consensus view» og «whole science» å gjøre rede for hva NOS bør inneholde, og hvordan NOS-undervisning bør se ut. FRA identifiserer aspekter som er karakteristiske for NOS og plasserer disse inn i kategorier for å skape et sammenvevd og holistisk system som skal gi fullstendig oversikt over NOS. Disse kategoriene er fordelt på to undersystemer. Det kognitiv-epistemiske system inkluderer kategoriene vitenskapelige praksiser, mål og verdier, metoder og metodologiske regler, og kategorien vitenskapelig kunnskap. På den andre siden omfatter det sosio-institusjonelle systemet kategoriene profesjonelle aktiviteter, det vitenskapelige etos, sosial verifikasjon, formidling av vitenskapelig kunnskap, og kategorien sosiale verdier (Irzik & Nola, 2014). I sin beskrivelse av FRA, vil Irzik og Nola lage et rammeverk for naturvitenskapens egenart, som tydeliggjør helheten til vitenskapen, og ikke bare noen vitenskapelige aspekter. Hensikten til Irzik og Nola er å fremheve sammenhenger og likheter mellom disse kategoriene, og utforske samspillet mellom NOS-aspektene i FRA kategoriene. FRA er et rammeverk som forsøker å forene de domene-spesifikke, og de domene-generelle aspektene fra NOS (Erduran & Dagher, 2014, s. 15).

2.4 Kategoriene i FRA rammeverket

Rammeverket FRA er blitt modifisert gjennom årene, for å utvide og tilpasse denne tilnærmingen ytterligere. Basert på Irzik og Nola (2014), har Erduran og Dagher (2014, s. 29) endret på en del aspekter fra den originale FRA modellen. De originale kategoriene under det sosio-institusjonelle system blir utvidet med tre nye tillegg. Politiske maktstrukturer, sosiale organisasjoner og interaksjoner, i tillegg til økonomiske system blir lagt til for å bidra til et mer balansert og utfyllende syn på NOS. Ifølge Erduran og Dagher kan dette være med på å

fange elever som er mer interessert i sosio-institusjonelle aspekter knyttet til naturvitenskapen, enn de kognitiv-epistemiske aspektene. For å tydeliggjøre det holistiske synet på vitenskap som er sentralt innen FRA rammeverket, blir kategoriene plassert i en sirkulær modell som skal fremheve dynamikken mellom de ulike kategoriene (Erduran & Dagher, 2014, s. 29). Erduran og Daghers videreutvikling av FRA-modellen har som formål å gjøre FRA til ett praktisk verktøy for vurdering og veiledning i revisjonen og utviklingen av læreplaner i naturfag (Erduran, Dagher & McDonald, 2019). Jeg vil i det følgende gjøre rede for de to systemene i FRA og deres underkategorier.

2.5 Kognitiv-epistemiske kategorier:

Den første kategorien er *Vitenskapelige praksiser*. Denne kategorien handler om aktivitetene forskere tar del i under den vitenskapelige prosess. Erduran og Dagher (2014) skriver at naturfagundervisning i skolen er preget av at elever lærer om produktene til vitenskapen og ikke prosessen som resulterer i disse produktene. Denne prosessen innebærer blant annet vitenskapelige aktiviteter som klassifisering, observasjon og eksperimentasjon. Ifølge Erduran og Dagher (2014, s. 68) vektlegger læreplanene disse aktivitetene i stor grad. En studie av Chinn og Malhotra (2002) undersøkte hvorvidt utforskende naturfag i skolen ligner ekte forskning. Studien viste at «vitenskapelige» aktiviteter i skolen skiller seg fra rollen disse aktivitetene har i ekte forskning. De vitenskapelige aktivitetene i skolen var algoritmisk og lite åpen i forhold til de vitenskapelige aktivitetene i ekte forskning. Aktivitetene i skolen illustrerer altså ikke hvordan naturvitenskapelig kunnskap blir skapt. Dette kan eksemplifiseres ved å se på hvilken rolle klassifisering har i skolen, i motsetning til i forskningen. Kwasnik (1999) skriver at klassifisering har en evne til å få forskeren til å reflektere, oppdage og skape ny kunnskap ved å plassere og organisere gammel kunnskap. Mendelejevs periodesystem er et eksempel på hvordan klassifisering kan føre til ny kunnskap. I periodesystemet er grunnstoffene plassert i grupper etter hvilke egenskaper de har, og de er plassert i stigende rekkefølge etter atomnummer. På Mendelejevs tid var derimot grunnstoffene plassert i stigende rekkefølge etter atomvekt. Periodesystemet gjorde det mulig for Mendelejev å forutse egenskapene til grunnstoffene gallium, scandium og germanium. Mendelejev kom også med noen feilaktige forutsigelser. Blant annet «forutså» Mendelejev grunnstoffene coronium, ether, eka-cadmium og eka-niobium, men disse grunnstoffene eksisterer altså ikke. I tillegg var Mendelejevs periodesystem under stadig utvikling. Over tid endret noen av grunnstoffene plass i periodesystemet etter mer nøyaktige målinger ble gjort

på atomvekten til grunnstoffene. (Brush, 1996; Moreno-Martínez & Lykknes, 2019; Niaz, Rodríguez & Brito, 2004; Stewart, 2019). Derimot, er klassifikasjon i skolen ofte redusert til en sorteringsaktivitet (Erduran & Dagher, 2014, s. 76). Det vil si at elevene ikke bruker klassifikasjon til å se hvordan naturvitenskapelig kunnskap blir skapt, bare hvordan de kan organisere sammen enheter ut ifra egenskaper som i et slektstre, eller en næringskjede. Erduran og Dagher (2014, s. 80-81) hevder elever må lære om vitenskapelige aktiviteter som observasjon, eksperimentasjon og klassifikasjon, men også hvordan disse opererer sammen for å skape vitenskapelig kunnskap. De vil at aktivitetene skal sees i sammenheng med resten av vitenskapens epistemiske, kognitive og sosio-institusjonelle aspekter for å skape et helhetlig bilde av vitenskap som prosess.

Mål og verdier: Mål og verdier regnes også som viktige i prosessene som leder til ny vitenskapelig kunnskap. Målene og verdiene til forskere kan variere, og denne variasjonen kan være med på å kvalitetssikre forskning. Samtidig er det uenighet om hva slags mål og verdier som er viktige for forskere, og det er derfor vanskelig å lage en oversikt som dekker alle disse målene (Allchin, 1999; Erduran & Dagher, 2014, s. 41-42, 48; Poole, 1995, s. 16). Til tross for denne uenigheten peker Erduran og Dagher (2014, s. 52) på noen mål og verdier som de mener er sentrale for NOS. Objektivitet, nøytralitet, tilstrekkelig empiri, være åpen for nye ideer og motargument er eksempler på mål og verdier som blir trukket frem. Allchin (1999) beskriver også disse verdiene og målene som sentral for naturvitenskapelig forskning. Erduran og Dagher (2014, s. 57) konkluderer med at naturfaglærere må undervise om mål og verdier eksplisitt for at elever skal respektere rollen bevis, logikk, skeptisisme og rasjonalitet har i vitenskapen. De gir eksempler på hvordan lærere kan evaluere hvorvidt en elev har en god forståelse for rollen til et mål eller en verdi. I tabell 1.3 har Erduran og Dagher (2014, s. 52) samlet en rekke mål og verdier de mener er sentrale for NOS og rollen de har i en undervisningssammenheng.

Tabell 1 2: Vurdering av måloppnåelse (mål og verdier).

Mål/Verdi	Høy Måloppnåelse	Tilstrekkelig Måloppnåelse	Lav Måloppnåelse

<i>Forskere holder seg nøytrale og forsøker å unngå partiskhet</i>	Eleven undersøker eksplisitt data og påstander for å se etter partiskhet	Eleven er klar over at partiskhet er viktig, men er ikke objektiv nok i arbeidet	Eleven er ikke klar over nøytralitetens rolle i naturvitenskap, og er partisk under arbeidet sitt
--	--	--	---

Tabell 1 3: Sentrale verdier og mål i FRA

Epistemisk- Kognitive mål/verdier	Mål/verdi	Relevans for elevenes undervisning
	Objektivitet	Holde seg nøytral, og unngå å være partisk
	Nytenkende	Lete etter nye forklaringer
	Nøyaktighet	Forsikre seg om at forklaringene er nøyaktige og utfyllende
	Empirisk tilstrekkelighet	Basere påstander på relevant, tilstrekkelig og troverdig data
	Kritisk evaluering	Argumentere for påstander
	Håndtering unntak i data, og	Erkjenne motsigende ideer, og respondere til kritikk av egne påstander
	Ta utfordringer seriøst	Ta argumenter mot egne påstander seriøst
Sosiale mål/verdier	Ta menneskelige behov med i betraktning	Identifiser og respekter menneskelige behov
	Desentralisering av makt	Ingen skal kontrollere en idé
	Ærlighet	Vær ærlig gjennom hele den vitenskapelige prosessen
	Likestilling	Ideer skal ikke bli vurdert på bakgrunn av hvem sin idé det er, bare bevisgrunnlaget til idéen

Metoder- og metodologiske regler: Kategorien *metoder- og metodologi* handler om mangfoldet av metoder forskere utnytter når de forsker, og metodologiske regler knyttet til NOS. Erduran og Dagher (2014, s. 92) vektlegger spesielt de metodologiske reglene å konstruere testbare hypoteser, velge teorier med best forklaringssevne, forkaste teorier som ikke samsvarer med funn, og å ta i bruk kontrolltester med blindprøver som eksempler på metodologiske regler. Som sagt utnytter forskere en rekke vitenskapelige metoder, men det blir påstått av flere at naturfagundervisning ikke alltid reflekterer dette (Abd-El-Khalick, Lederman, Bell & Schwartz, 2001; Erduran & Dagher, 2014, s. 93; Lederman, 1999; McComas, 1996; Reiff, Harwood & Phillipson, 2002). «Den vitenskapelige metode» blir ofte tolket på to forskjellige vis. På den ene siden argumenteres det for at den vitenskapelige metode referer til lærebøkenes tolkning av den naturvitenskapelige prosess, der den er redusert til en enkel algoritmisk prosess. Denne innebærer ofte en variant av at forskeren stiller seg et spørsmål, undersøker teori på området, lager en hypotese, tester hypotesen med et eksperiment, analyserer data fra eksperimentet, og trekker så en konklusjon basert på en diskusjon rundt resultatene. Det blir gjerne presisert at disse stegene må gjennomføres i denne rekkefølgen, eller en tilnærmet lik variant. Denne tolkningen kan gi uttrykk for at alle forskere bruker denne tilnærmingen når de forsker, eller med andre ord at det eksisterer én forskningsmetode (Abd-El-Khalick et al., 2001; Abd-El-Khalick, Waters & Le, 2008b; Erduran & Dagher, 2014, s. 93; Lederman, 1999; McComas, 1996; Reiff et al., 2002). På den andre siden argumenteres det for at den vitenskapelige metoden er en prosess der naturvitenskapelig kunnskap blir konstruert gjennom kritisk tenkning, refleksjon, og bruk av utforskende aktiviteter som observasjon, måling og klassifisering. Dette synet på den vitenskapelige metode tydeliggjør at forskere tar i bruk en rekke forskjellige metoder og tilnærminger når de forsker. Forskere er uenige om metode og metodologi, som fører til at funn blir kvalitetssikret gjennom granskning av vitenskapssamfunnet (Abd-El-Khalick, 2012; Erduran & Dagher, 2014, s. 93; Kolstø, 2006; Lederman, 1999; Windschitl, Thompson & Braaten, 2008). I en studie gjort på en amerikansk 9.klasse av Tang, Coffey, Elby og Levin (2010) undersøkte de elevene og lærernes oppfatning av den vitenskapelige metode. De konkluderte med at dersom elevene skal ta del i utforskende naturfag, vil dette kunne komme i konflikt med måten den vitenskapelige metode legger opp for vitenskapelige undersøkelser. FRA-modellen er kritisk til den vitenskapelige metoden slik den er presentert i lærebøker, og oppfordrer lærere til å gjøre elevene klar over hvordan vitenskapelige metoder blir brukt i virkeligheten. Dette innebærer ifølge Erduran og Dagher (2014, s. 96-97) at elever må forstå hvilke metoder som er gyldige for naturvitenskapelig forskning generelt, i motsetning til de metodene som er

forbeholdt noen naturvitenskapelige felt. Dette er det Abd-El-Khalick (2012) beskriver som domene-spesifikke NOS aspekter, og domene-generelle NOS aspekter. Erduran og Dagher (2014, s. 105-106) hevder at elever må være med på å designe og utføre eksperimenter selv. Slik kan de utvikle kunnskaper om de ulike metodene forskere tar i bruk.

Vitenskapelig Kunnskap: Kategorien *vitenskapelige kunnskap* handler om forskjellige former for vitenskapelig kunnskap. Erduran og Dagher (2014, s. 113) teorier, modeller og lover (TLM) som forskjellige former for vitenskapelig kunnskap. De argumenterer for at disse kunnskapsformene har ulike roller, men at de sammen skaper ny kunnskap. Eksempelet de bruker er atomteori, atommodellen, og den periodiske lov. Disse utfyller hverandre og gir en bredere forståelse av atomer sammen enn på egenhånd. Ifølge Erduran og Dagher (2014, s. 115) får elever ofte et overfladisk bilde av rollen til teorier, modeller og lover i naturfag. Det vil si at elevene ikke lærer om sammenhengen mellom disse kunnskapsformene, og hvordan de sammen konstruerer ny kunnskap. I tillegg hevder de at undervisningen må gå dypere inn i disse begrepene for å forstå nyansene bak disse kunnskapsformene. Eksempelvis hevder Duschl (1990) at det eksisterer ulike former for vitenskapelige teorier. Noen er mer aksepterte enn andre, som for eksempel evolusjonsteorien, i motsetning til teorien om kald fusjon (Erduran & Dagher, 2014, s. 117) I tillegg argumenterer de for å undervise om hvordan noen teorier går fra å være mindre akseptert, til å bli teorier som vitenskapssamfunnet stort sett er enige om. Duschl (1990) bruker evolusjonsteorien som et eksempel på en slik teori. I følge Scerri (2000) er også vitenskapelig «lov» et nyansert begrep. Scerri skriver at vitenskapelige lover kan være litt forskjellige avhengige av hvilket vitenskapelig felt det er snakk om. Den periodiske lov blir brukt som eksempel. Scerri påpeker at i fysikk ville den periodiske lov kanskje ikke vært en lov, siden den er en tilnærming som ikke er matematisk definert. I motsetning kan fysiske lover defineres matematisk. Erduran og Dagher (2014, s. 132) konkluderer med en oppfordring om å gi et dynamisk og nyansert bilde av TLM. Elevene kan se hvordan naturvitenskapelig kunnskap utvikler seg med tiden basert på endringer av teorier, modeller og lover. Sammenhengen mellom disse kunnskapsformene er nøkkelen.

2.6 Sosio-institusjonelle kategorier:

Profesjonelle aktiviteter: Denne kategorien inneholder aktiviteter som skiller seg fra kategorien *aktiviteter og prosess* fra det kognitiv-epistemiske system. Disse aktivitetene handler ikke om aktivitetene i forbindelse med selve forskningen, men prosessen knyttet til publisering av resultater fra forskning. Å delta på forskningsseminarer, publisering av funn i

tidsskrifter, søknader om økonomisk støtte, evaluering av tidsskriftsartikler og liknende er ifølge Irzik og Nola (2014) eksempler på slike aktiviteter. Erduran og Dagher (2014, s. 139) hevder den profesjonelle siden ved å være forsker ikke blir vektlagt i skolen. Videre skriver de at det er i disse sammenhengene at forskere i stor grad arbeider med å kvalitetssikre forskningen til hverandre. Elevene kan ifølge dem få oppleve denne siden av å være forsker i klasserom der læreren legger til rette for at elevene får ta del i liknende profesjonelle aktiviteter som forskere.

Det vitenskapelige etos: Det vitenskapelige etos er ett sett med etiske holdninger forskere har. Disse holdningene regnes som viktige å ivareta når forskeren kommer i møte med andre forskere, og under egen forskning (Irizik & Nola, 2014). Ulike sett med normer finnes, men Irzik og Nola (2014) og Erduran og Dagher (2014, s. 140) går begge ut ifra de mertonske normene. Mertons (1973) beskriver *det vitenskapelige etos* som en samling med normer. Universalisme, kommunalitet, nøytralitet og organisert skeptisisme utgjør sammen *det vitenskapelige etos*. Universalisme er holdningen om at vitenskapelige påstander blir evaluert etter kriterier og mål som er rasjonelle og satt på forhånd av forskningsprosessen. Dette innebærer at nasjonalitet, religion, kjønn, etnisitet og økonomisk bakgrunn ikke skal ha en påvirkning på vurderingen av forskningen. Resultatet av forskningen er derfor uavhengig av hvem som gjør forskningen (Merton, 1973). Kommunalisme er holdningen om at kunnskap ikke har noe eierskap. Forskere arbeider sammen om å bygge videre på kunnskapen fra tidligere gjennom nye oppdagelser, utveksling av ideer og utveksling av informasjon (Merton, 1973). Nøytralitet er viktig for at forskere ikke skal være partiske i forskningen sin. Egne interesser og ideologier skal ikke påvirke forskningen på noen måte. Dette kan opprettholdes dersom forskeren holder seg nøytral til sitt eget og andres arbeid (Merton, 1973). Til slutt er organisert skeptisismes funksjon at vitenskapelige påstander må kvalitetssikres. Dette blir blant annet gjort ved at forskningen granskes for logiske og empiriske feil. Når disse påstandene skal granskes, må det bli gjort på bakgrunn av testbarhet og metodologien til som er grunnlaget for forskningen. Kritisk argumentasjon er det eneste som kan motbevise vitenskapelige påstander ifølge Merton. Resnik (2007) argumenterer for at forskere må holdes ansvarlige for forskningen sin, og etiske normer regnes derfor essensielle for å ivareta vitenskapens integritet. Dersom elever får innblikk i rollen til etiske normer og holdninger i vitenskapen, vil de ifølge Erduran og Dagher (2014, s. 140) få en utdypet forståelse for rollen til kvalitetssikring i forskning. Videre kan elevene se verdien av argumentasjon og empiri for å evaluere påstander.

Sosial verifikasjon og formidling av forskning: Denne kategorien handler om hvordan forskning blir kvalitetssikret og formidlet av forskere. Vitenskapelige funn blir testet og gransket av forskere på konferanser og gjennom tidsskrifter, som er med på å avgjøre forskningens legitimitet (Irzik & Nola, 2014). Vitenskapssamfunnet må få muligheten til å evaluere forskning som blir offentliggjort før den kan bli akseptert. Derimot er det mulig konkurranse blant forskere kan føre til uetiske publikasjoner av resultater. Eksempelvis publiserte en forsker som var del i et større team data om genomet til en encellet organisme som teamet hadde samlet inn. Dette gjorde at en annen gruppe forskere utnyttet dette datasettet til å publisere en egen artikkel om denne organismen (Marshall, 2002).

Konkurranse er en faktor som har innflytelse på forskning, og dette bør etter Erduran og Daghers (2014, s. 142) mening være en del av naturfagundervisningen om NOS. Ifølge FRA modellen kan konkurranse oppstå naturlig i klasserommet når flere grupper utforsker samme fenomen. Dette kan læreren utnytte for å få elevene til å reflektere over rollen formidling og kvalitetssikring av forskning har.

Sosiale verdier: Denne kategorien er med i FRA modellen på samme grunnlag som kategorien *mål og verdier* i det kognitiv-epistemiske system. Forskjellen mellom dem er at sosiale verdier handler om at forskningen må ivareta verdier som respekt for miljøet, nytte for samfunnet og frihet i forskningen (Irzik & Nola, 2014). Etter Erduran og Dagher (2014, s. 142) må elever være klar over hvordan forskning kan bli hindret av ideologiske og religiøse faktorer dersom forskningsmiljøet ikke tillater sosiale verdier som frihet.

Sosiale organisasjoner og interaksjoner: Forskere arbeider sammen i institusjoner som universiteter, forsknings laboratorier og liknende. Ifølge Erduran og Dagher (2014, s. 145) er ofte forskere knyttet til et team som arbeider på et forskningsprosjekt. Innad i disse institusjonene er det forskere med ulik grad av utdanning. Noen vil være ansatt av instituttet, mens andre er medlemmer fra andre institutt. Disse forskerne vil samhandle med hverandre og disse interaksjonene vil være påvirket av hva organisasjonene de er en del av, og rollen de har på teamet. Forskningsprosjekter er ofte knyttet til militære og industrielle institusjoner, som instituttet forskeren er en del av samarbeider med (Kleinman, 1998; Powell, 1996). Erduran og Dagher (2014, s. 146) argumenterer for at elever må ha kunnskaper om interaksjonen mellom forskere for å forstå hvordan vitenskapen fungerer som en arbeidsplass. Dette innebærer også hvordan instituttet til forskeren, politikk og andre organisasjoner endrer på hvordan forskere samhandler med hverandre og institusjonene de er en del av.

Politiske makt-strukturer: Ifølge Erduran og Dagher (2014, s. 146) gjør ikke lærere en god nok jobb med tanke på fremheve den politiske innflytelsen som påvirker vitenskapen. Eksempelvis forsøkte den tyske teoretiske fysikeren Werner Heisenberg og hans kollegaer å konstruere en atombombe under andre verdenskrig (Ball, 2014). Rose og Ellis (1998) skriver at tyske fysikere som Heisenberg ble utsatt for et dilemma etter Hitler kom til makten. Var det forsvarlig å være en del av forskningsprosjektene til Hitlers regime, eller burde man forlate landet? Kategorien *politiske maktstrukturer* omhandler også hvilken rolle kjønn og rase kan ha i vitenskapssamfunnet. Keller (2003, s. 187-189) er kritisk til hvordan språk kan utelukke kvinner fra å bli forskere. Hun hevder vitenskapen til tider blir beskrevet med ord som bærer preg av kjønn. For eksempel skriver hun at fysikk og matematikk blir sett på som «harde» disipliner, som er et ord som blir assosiert som «maskulint». Sett i et historisk perspektiv var det krevende for kvinner å ta høyere utdanning store deler av 1900-tallet på grunn av kjønnsdiskriminering. Rossiter (1982, s. 15) skriver at på starten av 1900-tallet ble kvinnelige forskeres tilstedeværelse i vitenskapssamfunnet skjult. I Tyskland fikk ikke kvinner gå på universitet på starten av 1900-tallet siden universitetene i Tyskland var offentlige. Dette betydde at universitetene stort sett hadde samme regler for hvem som fikk adgang til universitetene, siden staten hadde et nært forhold til universitetene (Mazón, 2003, s. 4). I en undervisningssammenheng er det ifølge Erduran og Dagher (2014, s. 148) essensielt for elevene å se hvordan forskning kan bli utnyttet av grupper i samfunnet som vil tjene egne interesser. Dette kan for eksempel være på bakgrunn av økonomiske interesser, og kan virke diskriminerende mot folk basert på kjønn, etnisitet eller annet. Elever som får kunnskaper om vitenskapens interaksjoner med politiske maktstrukturer, vil ha en bedre forståelse for hvordan vitenskapelig kunnskap blir brukt og misbrukt. Elevene kan også se at vitenskapen blir brukt til formål som går utover å forklare naturens fenomener (Erduran & Dagher, 2014, s. 148).

Økonomiske system: Den siste kategorien i det sosio-institusjonelle system handler om hvordan forskning avhenger av å bli tildelt økonomisk støtte for å ha midler til å forske. Gjennom offentlige forsknings institusjoner opprettet av regjeringer, blir forskningsprosjekt tildelt støtte. Siden staten ofte er med på å støtte forskningsprosjekter, vil dette ha en innflytelse på hva forskningsprosjektet forsker på (Kolstø, 2008) I tillegg er forskeren påvirket av å være en ansatt som får lønn for å ta del i forskningsprosjekter. Vitenskapen produserer i dag varer som gjør at den er blitt svært kommersialisert. Forskerens rolle i denne sammenhengen er å produsere informasjon som kan utnyttes til å lage produkter som kan

selges videre. Alternativt kan informasjonen i seg selv selges videre (Erduran & Dagher, 2014, s. 149) Skoleelever skal en dag ta del i en demokratisk prosess som innebærer å ta valg relatert til hva slags prosjekter staten skal støtte økonomisk. Derfor er det etter Erduran og Daghers (2014) mening viktig at elevene er klar over rollen økonomi spiller i utviklingen av kunnskap.

2.7 FRA og NOS

I FRA-modellen er det essensielt at de forskjellige kategoriene ikke blir adskilt fra hverandre, og at en ikke ser på de isolert fra hverandre. Klare skillelinjer finnes ikke mellom FRA-kategoriene, og de flyter derfor over i hverandre (Erduran & Dagher, 2014; Irzik & Nola, 2014). Siden FRA består av en rekke kategorier der ulike sider ved naturvitenskapen faller under disse kategoriene, kan denne tilnærmingen ha noen likheter med hvordan «consensus view» beskriver NOS. Irzik og Nola (2014) påpeker problematikken ved dette. Ifølge dem er det noen vitenskapelige disipliner og felt, som ikke har alle de samme egenskapene og sidene ved vitenskapen felles. Selv om de forskjellige formene for naturvitenskap ikke deler alle disse egenskapene, er det en rekke likheter mellom disse disiplinene. Irzik og Nola beskriver dette som et intrikat system der disse egenskapene overlapper og krysser over hverandre. Dette bygger på de filosofiske ideene rundt «family resemblance approach» til Wittgenstein (2009), som er selve fundamentet til FRA. Dette kan illustreres ved et eksempel. Astronomi, medisin, kjernefysikk og jordskjelvforskning deler en del karakteristikk som gjør at alle kan erkjennes som forskjellige vitenskapelige felt, men de deler ikke nødvendigvis alle de samme karakteristikkene. Poenget er å vise hvordan to disipliner kan defineres som naturvitenskapelig, uten behovet for identiske karakteristiske kjennetegn på de to disiplinene (Irzik & Nola, 2014).

Consensus view har blitt brukt til å analysere læreplaner tidligere (McComas, 2014, s. 1993). FRA er også et rammeverk som kan bli utnyttet til dette formålet, som Kaya og Erduran (2016) gjorde med tyrkiske læreplaner i 2016. I Kaya og Erdurans studie fra 2016 blir FRA brukt til å analysere to tyrkiske læreplaners innhold av naturvitenskapens egenart. I studien genererte de noen nøkkelord som de kunne utnytte for å se hvorvidt kategoriene fra FRA var tilstede i læreplanene (Kaya & Erduran, 2016). Flere slike nøkkelord ble generert for hver kategori. Ved hjelp av denne metoden kunne forskerne se i hvor stor grad NOS var en del av læreplanen, og på hvilken måte. Dermed var det mulig å se om noen av kategoriene var representert i mindre eller større grad enn andre. I tillegg kunne de se om det var kategoriene

til det epistemisk-kognitive eller det sosio-institusjonelle system det var flest av. Dermed er det enklere for de som skal reformere læreplanen når de kan se hvilke områder som har mangler i læreplanen. I tillegg til at FRA-modellen egner seg for å vurdere læreplaner og lærebøkers NOS innhold, kan FRA-modellen også brukes sammen med vitenskapshistorie for å belyse NOS aspekter.

2.8 Vitenskapshistorie og NOS

Når McComas og Olson (2002) undersøkte NOS i læreplanene fra åtte forskjellige land, konkluderte de ikke bare med en liste med felles synspunkt på hva NOS innebærer. De så også at synet på NOS i stor grad er påvirket av filosofi, historie, sosiologi og psykologi. Historie og filosofi så ut til å ha størst innflytelse på læreplanenes syn på naturvitenskapelig kunnskap. Det har blitt argumentert for at vitenskapshistorie og filosofi bør være inkludert i naturfagets innhold (Niaz, 2016b, s. 6). Til tross for det er ikke vitenskapshistorie nevnt eksplisitt i den norske læreplanen. Derimot fremhever læreplanen at elever skal lære om prosesser som leder til at naturvitenskapelig kunnskap blir etablert, og at naturvitenskapelig kunnskap endres over tid.

Undervisnings om vitenskapshistorie kan være med å belyse disse NOS-aspektene. Kolstø (2008) hevder at elever kan få kunnskaper om NOS ved å se på hvordan andre institusjoner i samfunnet påvirker vitenskapen, og at dette kan gjøres ved hjelp av vitenskapshistorie. Et eksempel på det kan være hvordan forskere under andre verdenskrig ble påvirket av politiske institusjoner til å være med på forskningsprosjekt som Manhattan prosjektet (Gosling, 1999). Ifølge Kolstø (2008) har det post-akademiske samfunnet gjort at forskere i større grad enn tidligere blir påvirket av andre oppdragsgivende. Det er karakteristisk for det post-akademiske samfunnet at forskerne er avhengige av økonomiske midler for å forske, som ofte blir tildelt av staten eller andre oppdragsgivende. Forskere er mer avhengige av økonomisk støtte nå enn tidligere, siden forskningsprosjekter er mer omfattende og krever dyrere instrumenter (Kolstø, 2008). Naturfagundervisning kan illustrere denne avhengigheten til oppdragsgiveren ved hjelp av historiske caser. Disse casene bør ifølge flere forfattere brukes til å se nærmere på naturvitenskapen som prosess (Allchin et al., 2014; McComas & Olson, 2002; Monk & Osborne, 1997). Videre kan det argumenteres for at slike caser er med på å belyse flere sentrale NOS aspekter. Leite (2002) og Allchin et al. (2014) viser til at vitenskapshistorie kan illustrere hvordan forskere samarbeider, og hvordan dette har endret seg med tiden. Begge

fremhever hvor tentativ vitenskapelig kunnskap er, og at vitenskapshistorie egner seg for å fremheve dette aspektet ved NOS.

Det er mulig å trekke noen paralleller mellom FRA og de sidene ved NOS som kan understrekes ved å bruke vitenskapshistorie. FRA-kategoriene fremhever kunnskapen som tentativ i flere av kategoriene. Under sin beskrivelse av kategorien *metode- og metodologi* fremhever Erduran og Dagher (2014) blant annet oppfinnsomhet og kreativitet som sentral for NOS. I tillegg gir de uttrykk for at den tentative siden ved NOS spiller en viktig rolle for hvordan metodene til forskere utvikler seg over tid. Vitenskapshistorie kan være med på å belyse hvordan teorier, metoder og lover endrer seg med tiden, som er sentralt for kategorien *vitenskapelig kunnskap*. Samarbeid mellom forskere og motivasjonen til forskere er dekket av kategoriene *sosiale organisasjoner og interaksjon*, og *politiske maktstrukturer*. *Politiske maktstrukturer* er med på å belyse det post-akademiske samfunnet, og med vitenskapshistorie er det mulig å fremheve hvordan forholdet mellom vitenskapssamfunnet og andre institusjoner har endret seg med tiden. I tillegg argumenteres det for å inkludere flere eksempler på de situasjonene der forskere er uenige, og kommer med ideer som strider mot hverandre. Disse eksemplene kan være med på å styrke elevenes syn på rollen til argumentasjon og kritikk i vitenskapelig forskning. Det understrekes at elever må vite hvordan forskere tar feil, og ikke bare at de tar feil (Allchin, 2000, 2012; Kolstø, 2008; Monk & Osborne, 1997).

Historien om Mendelejev og periodesystemet belyser flere NOS aspekter fra FRA kategoriene. Periodesystemet måtte endres flere ganger på bakgrunn av ny kunnskap. Kunnskapen om periodesystemet er et resultat av arbeidet til flere forskere, ikke bare Mendelejev. For eksempel var en rekke kvinner med på å oppdage nye grunnstoff. Ida Noddack og Walter Noddack oppdaget rhenium i 1925, mens Lise Meitner og Otto Hahn oppdaget protactinium i 1918 (Moreno-Martínez & Lykknes, 2019). Mendelejev brukte periodesystemet til å forutsi flere grunnstoff, men han tok også feil. Eksempelet viser derfor at forskere kan bruke klassifikasjon til å forutsi ny kunnskap, men at forskere ikke er ufeilbare. Mendelejevs tok av og til feil som et resultat av at forskere gransker påstander logisk og rasjonelt ved hjelp av argumenter. Dette er et resultat av at forskere har en holdning om organisert skeptisisme etter Mertons (1973) normer. Dermed har dette vitenskapshistoriske eksempelet aspekter knyttet til kategoriene *vitenskapelig kunnskap*, *aktiviteter og prosesser*, og *det vitenskapelige etos*.

Wong og Hodson (2010) intervjuet forskere for å utnytte synspunktet til informantene til å identifisere sentrale NOS-aspekter. Informantene i studien vektla den sosiale dimensjonen knyttet til det å være forsker. Dette innebærer blant annet hvordan forskere får økonomisk støtte, og konkurranse mellom andre forskere og institusjoner. Ifølge Erduran og Dagher (2014) er dette er en av styrkene til FRA-modellen. Den vektlegger den sosiale dimensjonen som informantene i Wong og Hodson (2010) studien peker på ved hjelp av det sosio-institusjonelle systemet. Kategoriene *økonomiske system*, og *sosial verifikasjon og formidling* handler om de sidene ved naturvitenskapen som informantene nevner. Det kan virke som FRA-rammeverket egner seg til å se på NOS-elementer i en undervisningssammenheng gjennom vitenskapshistorie. Som vi har sett illustrerer forskningslitteraturen at vitenskapshistorie egner seg for å belyse både epistemisk-kognitive og sosio-institusjonelle aspekter ved NOS. Med FRAs strukturering av disse NOS-aspektene i et holistisk og dynamisk system, kan det være hensiktsmessig å utnytte FRA i studie av undervisning, læreplaner, og lærebøkers presentasjon av NOS.

2.9 Vitenskapshistorie og NOS i Lærebøker

Blant forskere og i lærerutdanning er det vanlig å se på lærebøker som støtte til læreren for å møte målene til de nasjonale og lokale læreplanstandardene. I realiteten er det ofte læreboken blir en så stor del av undervisningen, at læreboken i seg selv ender opp med å bestemme hva som skal bli undervist om i klasserommet (Abd-El-Khalick, Waters & Le, 2008a; Chiappetta, Sethna & Fillman, 1993; Khine, 2013, s. 260). I en norsk studie av Hodgson, Rønning og Tomlinson (2012) så forskerne på norske læreres praksis under LK06. Blant annet kom det frem i studien at lærerne brukte mye av undervisningstiden på læreboka. Wong og Hodson (2010) fant blant annet at lærere opplever at de kan for lite om NOS til å kunne formidle innholdet i naturvitenskapens egenart best mulig. Når læreren i tillegg støtter seg på læreboken for å undervise, kan det argumenteres for at NOS bør være sentralt for utviklingen av disse lærebøkene. Lærere mangler også kunnskap om vitenskapshistorie, og avhenger derfor av læreboken i stor grad når de skal undervise om vitenskapshistorie. Av den grunn, kan det også argumenteres for at lærebøker burde inkludere vitenskapshistorie for å belyse NOS. Leite (2002) skriver at vitenskapshistorie i seg selv belyser NOS, når gode eksempler blir brukt, og at disse eksemplene kan bli brukt på et vis som ivaretar sentrale aspekter om NOS. Vitenskapshistorie blir fremstilt i lærebøker på et vis som ikke illustrerer vitenskapen slik den er i virkeligheten. Lærebøkene fremhever gjerne oppdagelsen til en forsker, uten å

belyse sentrale NOS aspekter ved å vise prosessen som ledet til oppdagelsen. Lærere bruker ofte vitenskapshistorie til å humanisere vitenskapen for å danne et positivt inntrykk av vitenskap til elevene sine. I slike tilfeller blir det krevende for elevene å få innsikt i NOS (Monk & Osborne, 1997) .

Wong og Hodsons (2010) studie så på forskeres syn på mange av NOS-kjennetegn, og hvordan de kommer frem i vitenskapelig praksis. Resultatene tyder på at forskernes oppfatning av forskjellige aspekter fra naturvitenskapens egenart, ikke samsvarer med fremstillingen av de samme kjennetegnene i lærebøker. Ifølge en studie av norske naturfagslærebøker for 8. trinn av Knain (2001), er det mange elever som har et inntrykk av at nye vitenskapelige funn og resultater blir publisert helt uten videre. Elevene er ikke klar over prosessen knyttet til publiseringen av resultater, og alt denne prosessen innebærer. Lærebøker har tradisjonelt gjort lite for å formidle innholdet i denne prosessen, som er en viktig del av naturvitenskapens egenart (Wong & Hodson, 2010). I Abd-El-Khalick et al. (2008a) sin studie av amerikanske kjemilærebøker fra fire tiår, konkluderer de med at naturvitenskapens egenart ikke er et sentralt tema for lærebøkene. Videre var det også observert en tendens der presentasjonen av naturvitenskapens egenart endret seg over tid, der lærebøkene fra senere tiår manglet de NOS-aspektene som ble ettersøkt i studien. Dette innebærer blant annet at de nyeste lærebøkene fortsatt tar i bruk den tradisjonelle vitenskapelige metoden med sin algoritmiske og rigide form. Fremstillingen av den vitenskapelige metoden i mange lærebøker fører til at elever kan få inntrykket av at forskere som ikke tar i bruk en form for eksperiment som metode, ikke driver med ekte forskning. I følge Erduran og Dagher (2014) er ikke dette en nøyaktig refleksjon av virkeligheten. Dette kommer av at elever må utsettes for en variasjon av metoder, som er nødvendig for å forstå påstander som kommer etter ikke-eksperimentelle undersøkelser (Erduran & Dagher, 2014, s. 95).

Når Abd-El-Khalick et al. (2008a) og Wong og Hodson (2010) analyserte lærebøker ble det gjort fra et consensus view perspektiv. Det finnes flere eksempler der consensus view blir brukt til å forske på NOS i skolen. Schwartz, Lederman og Crawford (2004) undersøkte studenter i praksis syn på NOS og utforskende arbeid. Intervjuspørsmålene baserte seg i stor grad på en noe tilpasset utgave av påstandene om NOS fra consensus view. Abd-El-Khalick et al. (2001) tok i bruk consensus view i en undersøkelse av elevers oppfatning og forhold til NOS. McComas (2014) undersøkte innholdet av NOS i amerikanske læreplaner der læreplanene ble analysert ved hjelp av påstandene fra «consensus view» Finnes det eksempler på slike analyser med FRA som rammeverk? Med utgangspunkt i (2014) ideer fra 2011, har

ikke FRA vært brukt til analyser i stor grad. Det kan komme av at rammeverket er nyere enn «consensus view». Fortsatt er det noen studier som har tatt i bruk dette rammeverket i analyse av lærebøker og læreplaner. FRA er konstruert med formålet å evaluere og revidere læreplaner og lærebøker gjennom analyse (Erduran & Dagher, 2014, s. 31). I en studie ble tyrkiske læreplaner analysert for å danne et bilde av hvordan NOS i disse læreplanene. Resultatene tydet på at mens kategoriene fra det kognitiv-epistemiske system var til stede, manglet læreplanene aspekter fra kategoriene hos det sosio-institusjonelle system.. Selv om noen av aspektene var nevnt, ble de ikke nevnt i samsvar med FRAs definisjon av disse kjennetegnene, så det stilles spørsmål til hvorvidt disse læreplanene legger opp til et holistisk bilde av naturvitenskap (Kaya & Erduran, 2016).

Kolstø (2008) kommer med et eksempel på en typisk fremstilling av en historisk case i en lærebok. Eksempelet viser en forsker som jobber på egenhånd, og kommer med en oppdagelse. Hvorfor er dette et problematisk eksempel på vitenskapshistorie? Etter Kolstøs mening viser ikke eksempelet prosessen knyttet til oppdagelsen, og det kan gi et urealistisk bilde av NOS. Det er denne framstillingen av Knain (2001) finner i sin studie av norske lærebøker i naturfag når han undersøker hvordan norske lærebøker fremstiller forskere som oppdager vitenskapelige fenomener. Monk og Osborne (1997) skriver at dagens lærebøker, og tidligere lærebøker referer til vitenskapshistorien i svært liten grad. I de tilfellene der vitenskapshistorie blir referert til, blir den idealisert og et falskt bilde av vitenskapen kommer frem. Naturligvis er det ikke tilfredsstillende å inkludere hvilken som helst form for vitenskapshistorie i lærebøkene. I følge Leite (2002) er det ikke snakk om mangel på plass i lærebøkene for introduksjon av historie og filosofi, men heller et tilfredsstillende rammeverk til dette formålet. I en studie av Wang (1999) undersøkte de mengden og kvaliteten av vitenskapshistorie i læreplanen og noen fysikklærebøker fra USA. Studien konkluderte med at selv om lærebøkene inkluderte omtrent nok vitenskapshistorie til å fylle kravene fra læreplanen, var eksemplene i stor grad overflatekunnskap som ikke bidro til en forståelse for naturvitenskap i noen stor grad. I en annen studie gjort av Niaz (2016c, s. 121) på amerikanske kjemilærebøker og fremstillingen av den historiske utviklingen til atommodellen i disse lærebøkene, kom det frem at lærebøkene generelt sett presenterte en uhistorisk og feilaktig representasjon av utviklingen til atommodellen. Kontroversene involvert, og utfordringene knyttet til utviklingen av disse modellene blir ikke nevnt, og et enkelt bilde av den historiske utviklingen blir fremstilt foran den reelle evolusjonen til modellene og oppdagelsene (Niaz, 2016c, s. 121). Leite (2002) studerte portugisiske naturfagsbøker for å

utvikle et rammeverk for å analysere det vitenskapshistoriske innholdet i lærebøker og læreplaner. Studien konkluderte med at vitenskapshistorien som var inkludert i lærebøkene, ikke representerte virkeligheten.

Del 1: Vitenskapshistorie og NOS i norske lærebøker

3 Innledning

Hensikten med denne delen av oppgaven, er å undersøke hvordan NOS blir presentert i noen læreboktekster fra norske lærebøker i naturfag og en i fysikk, og hva presentasjonen av atommodellens historie sier om NOS i noen læreboktekster. For å undersøke hvordan NOS blir presentert i noen læreboktekster, har jeg valgt å gjøre to delstudier. I den ene delstudien undersøker jeg utvalgte tekster fra Tellus 8-10, som allerede er valgt ut i en tidligere undersøkelse om NOS (Sletten, 2017) (kapittel 3.7-3.8). I den andre delstudien ser jeg på hvordan atommodellens utvikling blir presentert i noen norske lærebøker (3.9). Til å begynne med utforsker studien hvilke NOS-aspekter som er med i læreplanen for naturfag (3.2), siden lærebøkene er skrevet for å nå læreplanmålene. Deretter blir utvalget for delstudiene diskutert (3.5). Til slutt bli den prosessen jeg har tatt i bruk for å undersøke læreboktekstene beskrevet (3.6). Hver læreboktekst blir lagt frem hver for seg, etterfulgt av en diskusjon rundt undersøkelsen av disse læreboktekstene.

3.1 Hva sier læreplanen om NOS sett ifra et FRA-perspektiv?

Læreplanen skal være styrende for innholdet i lærebøker. Gjennom lærebøkene skal elevene nå kompetansemålene fra læreplanen. Derfor er det hensiktsmessig å undersøke hvilke NOS-aspekter som er tilstede i kompetansemålene, men også under formål og hoveddelene til læreplanen. Jeg har tatt utgangspunkt i den gjeldende læreplanen for naturfag, og sett på læreplanmålene for hva elever skal kunne etter 10. klasse. I LK06 er ikke noen NOS-aspekter fra de sosio-institusjonelle kategoriene i FRA-modellen nevnt noe sted, med ett unntak under forskerspiren:

- forklare betydningen av å se etter sammenhenger mellom årsak og virkning og forklare hvorfor argumentering, uenighet og publisering er viktig i naturvitenskapen

Å forklare hvorfor uenighet og publisering er viktig i naturvitenskapen handler om kvalitetssikringen av forskning og hvordan forskning blir presentert for resten av vitenskapssamfunnet. Derfor kan det argumenteres for at kategoriene *sosial verifisering og godkjenning*, *det vitenskapelige etos* og *profesjonelle aktiviteter* er relevant med tanke på aktivitetene forskere gjør i forbindelse med å presentere sine finn, og kvalitetssikringen som

blir gjort av forskere. Derfor er sosio-institusjonelle NOS-aspekter med i den norske læreplanen, men alle er ikke nevnt og de dekker ikke den helhetlige beskrivelsen av NOS-kategoriene til Erduran og Dagher (2014).

Det er tydelig at den norske læreplanen vektlegger epistemisk-kognitive NOS-aspekter, siden disse er nevnt under formålsdelen, hoveddelene, og kompetansemålene (Utdanningsdirektoratet, 2015). Spesielt er beskrivelsen av formålet til læreplanen for naturfag inkluderende for de kognitiv-epistemiske NOS-aspektene. Formålsdelen fremhever at lover og teorier er en del av en sammensatt virkelighet som endres med tiden gjennom observasjoner, eksperimenter og annet. I tillegg står det at elever skal utvikle kunnskaper ved å ta i bruk flere metoder og tenkemåter i naturfag (Utdanningsdirektoratet, 2015). Teksten i formålsdelen beskriver NOS-aspekter som er sentrale for kategoriene *Vitenskapelige prosesser, vitenskapelig kunnskap og metodologi og regler*.

3.2 Hensikten med å undersøke vitenskapshistoriske læreboktekster og fremstillingen av atommodellens utvikling

Hensikten med del 1 er som sagt å undersøke hvordan noen læreboktekster belyser NOS gjennom vitenskapshistorie. Analysen av NOS i læreboktekster forteller ikke bare hvorvidt NOS blir prioritert i disse tekstene, men også hvilke NOS-aspekter som teksteksemplene velger å belyse. Etter å ha identifisert hvilke NOS-aspekter som blir belyst i teksteksemplene, blir det enklere å se hva slags endringer som må bli gjort for at læreboktekster skal reflektere et mer helhetlig bilde av NOS, som innebærer at flere NOS-aspekter er inkludert i læreboktekstene. Endringene kan være å inkludere NOS-aspekter som ikke er tatt med i det hele tatt, eller å endre på hvordan noen NOS-aspekter blir fremstilt i læreboktekstene dersom de gir et feil inntrykk av NOS.

Som nevnt, sier læreplanen at teorier og lover endres med tiden. Teorier om atomets struktur har endret seg mye gjennom vitenskapshistorien. Flere forskere har bidratt i utviklingen av atomteorier og atommodeller som kan være med på å belyse NOS-aspekter i vitenskapshistorien. Maria Goeppert-Mayer var også en av de forskerne som kom med vitenskapelige bidrag om atomets struktur. Jeg vil undersøke lærebøkernes presentasjon av atommodellens historie, siden det er relevant for læreplanen, og utviklingen av atommodellene er en del av vitenskapshistorien der forfatterne kan velge å belyse flere NOS-

aspekter. Derfor vil jeg også se om historien til atommodellen er med på å belyse NOS, og på hvilken måte i lærebøkene.

3.3 Tidligere analyse av Tellus 8-10

Læreboktekstene jeg undersøker er hentet fra Slettens masteroppgave. I oppgaven til Sletten blir læreverket Tellus 8-10 analysert etter hvordan Tellus formidler NOS. Studien til Sletten tok utgangspunkt i rammeverket «consensus view» sitt syn på NOS, og analyserte all tekst i læreverkets kapitler i lys av «consensus view». Slettens studie konkluderte med at Tellus presenterte et syn på NOS som delvis samsvarte med «consensus views» syn på NOS. Noen områder av «consensus view» kom tydelig frem i læreverkets presentasjon av NOS, mens andre områder var mer mangelfulle.

3.4 Utvalg

Fra Slettens (2017) masteroppgave ble de vitenskapshistoriske læreboktekstene i Tellus 8-10 undersøkt etter hvordan de er med på å belyse NOS-aspekter i lys av FRA. 6 eksempler på vitenskapshistoriske læreboktekster er inkludert i Slettens oppgave, og i denne oppgaven blir alle eksemplene undersøkt i lys av FRA. To av eksemplene fra Slettens analyse er slått sammen i min oppgave. Disse eksemplene ble slått sammen siden de begge er utdrag fra den samme teksten i Tellus 8, og handler om samme et vitenskapshistorisk case.

Siden jeg har tatt utgangspunkt i kompetansemål for hva elevene skal kunne etter 10. trinn, måtte utvalget av lærebøker som skulle undersøkes være tilpasset ungdomsskoletrinnet. Jeg valgte lærebøker for undersøkelsen av hvordan atommodellens historie presenteres, ved å gå gjennom flere lærebøker på forhånd og fjerne de som ikke tok opp partikkelmodellen som tema. Det ble valgt tre forskjellige lærebøker for ungdomsskolen som tok opp partikkelmodellen for å danne et mer helhetlig bilde av hvordan NOS blir presentert i norske lærebøker. Eureka 8, Trigger 8, og Tellus 9 er de lærebøkene som ble valgt til slutt, siden disse lærebøkene inkluderte en historisk fremstilling av atommodellen.. I tillegg ble fysikk boken Ergo 1 for videregående undersøkt. Begrunnelsen for å undersøke en fysikk bok, var å se hvorvidt Maria Goeppert-Mayer ble nevnt i forbindelse med utviklingen av atommodellen. Fysikk faget vil naturlig nok ha en mer detaljert beskrivelse av atommodellen og utviklingen av atommodellen. Derfor kunne potensielt Goeppert-Mayer bli nevnt i beskrivelsen av

atommodellens historie. Siden beskrivelsene i Ergo 1 blir mer detaljerte som følge av å være i en bok som er dedikert til fysikk, blir det ikke forventet at Ergo 1 skal ha samme detaljnivå som lærebøkene for naturfag.

3.5 Hvordan FRA ble brukt til å tolke læreboktekster, og lærebøkernes fremstilling av atommodellens historie

For å undersøke hvordan NOS ble fremstilt og hvilke sider av NOS som ble belyst i de ulike læreboktekstene, ble de gransket flere ganger ut ifra en ny FRA-kategori hver gang. Dette innebærer å undersøke hver læreboktekst nøye på utkikk etter kjennetegn fra en FRA-kategori om gangen. Jeg baserte hva som kjennetegnet FRA-kategoriene på den beskrivelsen av FRA-kategoriene i kapittel 2.5 og 2.6 i oppgaven. For eksempel begynte jeg med å lese en av læreboktekstene for å finne noen kjennetegn fra FRA-kategorien *metode- og metodologiske regler*. Teksten ble lest flere ganger før jeg til slutt kunne avgjøre om det var noen kjennetegn fra kategorien *metode- og metodologiske regler* i lærebokteksten. Etter at jeg ble ferdig med en FRA-kategori gikk jeg over til neste, og begynte samme prosess om igjen, der jeg leste samme læreboktekst flere ganger for å undersøke kjennetegn fra en annen FRA-kategori som for eksempel *vitenskapelig kunnskap*. Denne prosessen ble gjentatt for alle FRA-kategoriene, og alle læreboktekstene. Selv om undersøkelsen viste at et teksteksempel inneholdt kjennetegn fra en eller flere FRA-kategorier, betyr ikke dette at lærebokteksten belyste helheten til disse FRA-kategoriene. Undersøkelsen min viser bare om NOS-aspekter blir belyst i læreboktekstene ut ifra FRA som rammeverk.

For å forstå utviklingen av atommodellen måtte jeg forstå den vitenskapshistoriske konteksten til forskerne bak atommodellene og atomteoriene på 1800-tallet og 1900-tallet. Derfor undersøkte jeg sentrale vitenskapelige oppdagelser som var med på å endre atommodellen, og de forskningsspørsmålene som fysikere var opptatte av mellom 1800- og 1900-tallet. Læreboktekstene om historien til atommodellen ble lest flere ganger om igjen, der jeg undersøkte hver lærebok etter de forskerne og atommodellene som var relevante for å forstå utviklingen av atommodellen.

3.6 Historiske eksempler fra Tellus 8-10

I masteroppgaven til Sletten (2017) blir det presentert en rekke eksempler fra læreverket Tellus, som er blitt analysert ut ifra «consensus view» synet på NOS. Jeg har undersøkt hvert eksempel etter kjennetegn fra de ulike FRA-kategoriene, og presentert resultatene fra undersøkelsen i Tabell 1.4.

Tabell 1 4: Teksteksempler som inneholdte kjennetegn fra en FRA-kategori er markert med en X.

Kategori	Kategorinavn	Eks.1	Eks.2	Eks.3	Eks.4	Eks.5
1	Vitenskapelige prosesser	X	X	-	-	-
2	Mål og Verdier	-	-	-	-	-
3	Metode- og metodologiske regler	-	-	-	-	-
4	Vitenskapelig Kunnskap	-	-	-	-	-
5	Profesjonelle Aktiviteter	-	-	-	-	-
6	Vitenskapelig Etos	-	-	X	-	-
7	Sosial verifikasjon og formidling	-	-	-	-	-
8	Sosiale verdier i vitenskapen	-	-	-	X	-
9	Politiske Maktstrukturer	-	-	-	X	-
10	Sosiale organisasjoner og interaksjoner	-	-	-	-	-
11	Økonomiske system	-	-	-	-	-

Eksempel 1

Priestley gjorde så et nytt forsøk hvor han fylte «ødelagt» luft i to glassklokker. I den ene plasserte han en mus sammen med en plante, i den andre bare en mus, slik tegningene viser. Musa som var alene, døde nesten med det samme, mens musa som var sammen med planten, overlevde. Priestley sa: «En mus ødelegger luft, mens en plante kan rense luft.» (Ekeland, Rygh, Johansen, Busengdal Strand & Jenssen, 2007, s. 211)

Eksempel 1 viser hvordan et eksperiment sammen med observasjon kan føre til nye oppdagelser, og vi ser ett lite samspill her mellom disse prosessene. Vi ser hvordan forskeren har eksperimentert, og hvordan observasjonen av eksperimentet leder til en konklusjon. Til tross for det er eksempel 1 svært mangelfull for alle andre kategorier, i tillegg til at *Vitenskapelige prosesser* er noe mangelfull i seg selv. Det kan argumenteres for at denne kategorien ikke er godt nok representert i eksempelet, siden innholdet relatert til Vitenskapelige prosesser er mer implisitt enn eksplisitt. Dersom dette eksempelet hadde blitt utdypet noe og utforsket videre, kunne også aspekter fra det sosio-institusjonelle system bli inkludert i dette eksempelet. Rett før utdraget over står det at forsøket vakte stor oppsikt blant folk. Hvem var det som reagerte, og hvorfor? I dag er mange kritiske til testing på dyr i forskningssammenheng og utvikling av produkter, og dette kunne blitt diskutert mer i eksempelet.

Eksempel 2

En av lysekronene som hang fra taket, svingte sakte fra den ene siden til den andre. Galilei ble nysgjerrig på om bevegelsen tok like lang tid uansett hvor langt ut til sidene lysekrona svingte, og på hva det er som bestemmer hvor lang tid den bruker ... Han prøvde ut de forskjellige hypotesene etter tur. Først testet han ut hva lengden av pendelsnora hadde å si, så tyngden osv. Ën ting om gangen. Han kunne ikke gjøre alle forandringene samtidig, for da ville han ikke vite hvilken forandring som hadde betydning. Og han måtte følge nøye med, og notere det han observerte. Å observere er mer enn bare å se. Det er å klare å skille ut hva som er viktig av det som skjer, og å registrere dette nøye (Ekeland et al., 2007, s. 10).

Eksempel 2 går ikke dypt nok inn på noen av kategoriene til å kunne si at eksempelet representerer noen av de sentrale aspektene i NOS. En kan argumentere for at historien om Galilei er innenfor noen av kategoriene i svært liten grad. Eksempelet viser hvordan forskere tenker nytt og er ute etter det nye, som er en viktig verdi som bør fremheves fra kategorien

mål og verdier, men dette er ikke tilstrekkelig for å vise hvordan mål og verdier har en tydelig innflytelse på naturvitenskapen. Videre blir observasjon nærmere definert, og leseren får en innsikt i prosessen observasjon, og hvordan denne prosessen fører til ny naturvitenskapelig kunnskap. Grunnen til at dette eksempelet lykkes på dette området, er at prosessen observasjon blir utdypet noe, og leseren får innsikt i hvordan observasjon henger sammen med å endre variabler i ett forsøk. Derfor er aspekter fra kategori 1 *Vitenskapelige prosesser* også markert under eksempel 2 i tabellen.

Eksempel 3

Wegener ga flere grunner til at det må ha foregått slike bevegelser, blant annet mente han at Norge og Grønland en gang må ha hengt sammen. Men det var ikke så mange som var enige med Wegener. Han kunne nemlig ikke gi noen god forklaring på hvordan bevegelsene kom i stand (Ekeland et al., 2007, s. 54).

Wegener-eksempelet utforsker kontinentaldriftteorien og opphavet til denne teorien. Eksempelet har blitt merket for kategorien *vitenskapelig etos* da både kommunalisme og organisert skeptisisme spiller en rolle i fortellingen. Wegener ble utfordret av vitenskapsamfunnet på grunn av mangel på empiri som forteller leseren noe om verdien disse holdningene har i vitenskapssamfunnet. Fortsatt er eksempelet ikke veldig rik på detaljene rundt denne uenigheten, og det gjør at det kan argumenteres for at historien ikke hører til kategorien vitenskapelig etos.

Eksempel 4

Ikke alle likte Galileis oppdagelser, og at han hevdet at jorda ikke er sentrum i universet. Deler av presteskaper nektet å se inn i Galileis «djevelske instrument». Inkvisisjonen, den katolske kirkens domstol, tvang ham til å trekke tilbake det han hadde sagt, og dømte han til fengsel på livstid. Seinere gjorde paven om dommen til livsvarig husarrest (Ekeland et al., 2007, s. 139).

Eksempel 4 er interessant siden det er to kategorier som er representert i denne historien. *Sosiale verdier i vitenskapen* er markert siden dette eksempelet tydelig viser hvordan religion og ideologi kan ha en innflytelse på hvordan forskningen blir møtt av samfunnet ellers. Selve resultatet til Galilei var uforandret til tross for kirkens innflytelse, men publiseringen og måten resultatene til Galilei ble tatt imot på ble svært påvirket. Kirken på denne tiden hadde

også svært mye politisk makt, som gjør at eksempelet også bidrar til å belyse aspekter fra kategorien *politiske maktstrukturer*. Hendelsen hadde åpenbart en effekt på det videre arbeidet til Galilei, og dermed ser vi hvordan disse maktstrukturene kan spille en rolle for NOS.

Eksempel 5

Den danske professoren Hans Christian Ørsted gjorde en viktig oppdagelse våren 1819. Under en forelesning om elektrisitet la han en kompassnål ved siden av en strømførende ledning. Når strømmen ble slått av og på, gjorde kompassnåla utslag. Oppdagelsen vakte stor oppsikt, fordi den viste at elektrisitet og magnetisme er fenomener som er «i slekt» med hverandre (Ekeland et al., 2007, s. 140)

Eksempelet over sier ingenting om naturvitenskapens egenart. Det er problematisk at oppdagelsen av sammenhengen mellom elektrisitet og magnetisme blir presentert på denne måten, da det blir gitt uttrykk for at det var dette eksperimentet alene som førte til oppdagelsen. Historien bak og bidragene fra andre forskere på området blir ikke tatt med, og simplifiserer fenomenet i stor grad. Fortellingen gir lite innsikt i prosessen bak oppdagelsen, og hvordan Ørsted kom frem til sin metode.

3.7 Diskusjon av undersøkelsene av læreboktekster

Her blir undersøkelsen av læreboktekstene diskutert videre. Først blir eksemplene fra Hege Slettens masteroppgave diskutert, der det empirisk-kognitive system og det sosio-institusjonelle system blir diskutert opp mot resultatene fra analysen. Noen kategorier er mer utdypet enn andre i denne diskusjonen, siden det var flere tilfeller der ingen av læreboktekstene belyste noen NOS-aspekter fra en eller flere FRA-kategorier. Formålet med denne diskusjonen er å gi et mer helhetlig bilde av hvordan Tellus læreverket presenterer det kognitiv-epistemiske system, og det sosio-institusjonelle systemet i FRA-modellen. Siden FRA teorien baserer seg på ett syn der vitenskapen er holistisk og dynamisk, må de ulike FRA-kategoriene bli sett i sammenheng med hverandre. Selv om FRA-modellen organiserer NOS-aspekter etter kategorier, er ikke grensene mellom kategoriene strenge i FRA-modellen. FRA-kategoriene har interaksjoner med hverandre, og sammen beskriver FRA-kategoriene hva NOS innebærer.

Når læreverk analyseres er det hensiktsmessig å påpeke at ikke alle eksempler bør inneholde så mange aspekter som mulig fra de ulike kategoriene. Det er ikke et mål at alle de essensielle

komponentene som NOS består av må være tilstede i hver tekst, til enhver tid. Dersom komponentene er tilstede i løpet av læreverket og blir dekket tilstrekkelig i løpet av en lengre periode, kan NOS bli helhetlig presentert. Alle nivåer av utdanning kan være innom alle aspektene fra FRA. De forskjellige aspektene kan komme frem i ulike eksempler, der disse eksemplene må tilpasses utviklingsnivået til elevene og relevansen til temaet som er aktuelt (Erduran & Dagher, 2014). Derfor er ikke en optimal lærebok med ett godt fokus på NOS nødvendigvis full av eksempler der disse kategoriene er å finne for hvert eksempel. Av den grunn er det ikke nødvendig å forvente dette fra eksemplene over fra Tellus 8 og 9.

Kategoriene 2, 3, 4, 5, 7, 10 og 11 ble ikke funnet for noen av eksemplene, samtidig som kategoriene 1, 6, 8 og 9 som var tilstede i eksemplene bare hadde ett eksempel knyttet til hver av kategoriene. Derfor kan det se ut til at det er mangler angående hvilke NOS-aspekter som blir belyst i de historiske eksemplene som er å finne i Tellus 8 og 9. For det meste er det overfladiske fortellinger om hvordan ett fenomen ble oppdaget, når dette skjedde, og hvem som gjorde oppdagelsen. Resultatene fra undersøkelsen er med på å belyse hvilke NOS-aspekter som blir vektlagt i de utvalgte læreboktekstene fra Tellus læreverket, men min undersøkelse kan ikke si hvorvidt Tellus i sin helhet belyser NOS i den grad at læreverket møter kravene til læreplanen. Som tidligere nevnt, mangler læreplanen flere av FRA-kategoriene i læreplanen. Dersom forfatterne av læreverket vil møte kravene som er satt av læreplanen, behøver de ikke inkludere flere av FRA-kategoriene som for eksempel kategoriene *økonomiske faktorer* og *mål og verdier*. Kategorier som *økonomiske faktorer* og *mål og verdier* må derfor bli inkludert i læreverket på grunn av andre motivasjoner til forfatterne enn læreplanen. Samtidig er det flere kategorier som er tilstede i læreplanen som ikke kommer frem i læreboktekstene, som for eksempel kategorien *metode- og metodologi* og *vitenskapelig kunnskap*.

Kognitiv-epistemiske system

Flere av eksemplene har en tendens til å modellere mye av innholdet i forsøkene som er med i læreverket. Med det menes det at når en historisk oppdagelse blir beskrevet, blir mange av elementene som er sentrale for forsøkene i boka også sentrale for innholdet i de historiske tekstene. Eksempelvis er ikke alltid hypoteser en del av alle forskningsprosjekter. Det finnes ulike vis å gjennomføre ett eksperiment på, der de forskjellige rollene som teori, hypotese, empiri og metode kan variere ut ifra hva som undersøkes (Erduran & Dagher, 2014, s. 97) Tellus eksemplene er ofte hypoteser med i eksemplene, i tillegg til at forskerne velger en metode for å undersøke fenomenet og hypotesen. Hvorfor forskerne velger metodene de gjør,

eller hva som ledet til at de undersøkte akkurat det fenomenet som blir undersøkt i eksemplene blir sjeldent gått dypere inn i. Metodene, og nærmere den prosessen forskeren har valgt, er sentral. Det som mangler er hvorfor og hvordan denne prosessen, enten det er observasjon, eksperimentering eller klassifisering har den forklarende evnen som er nødvendig for å få ett tilfredsstillende svar på et forskningsspørsmål. Samtidig er det unntak fra dette som eksempelet om Galilei og pendelen der grunnlaget for valg av observasjon som metode blir nærmere beskrevet. Metodene forskere har brukt for å løse problemer har variert gjennom tidene, og er ikke de samme i dag som de var for 100 og 200 år siden. Derfor bør elever få se hvordan ulike metoder har blitt brukt til ulik tid gjennom historien. Dette kan føre til at elever ikke tror på myten om den strengt algoritmiske vitenskapelige metode (Leite, 2002). Noe som er tydelig fraværende fra alle eksemplene er sammenhengen mellom lov, teori og modell (kategori 4). Naturligvis er det ikke mulig å diskutere hvorvidt eksemplene får tydeliggjort denne sammenhengen, når lov, teori og modell i liten grad er tilstede i disse eksemplene i noen form. Igjen er det unntak som Wegners kontinentaldrift teori, men det er ikke mulig å utforske hvordan læreverket formidler disse begrepene ut ifra dett eksempelet da begrepet teori bare er nevnt og ikke blir utdypet noe.

Sosio-institusjonelle system

Læreboktekstene belyser ikke NOS-aspektene fra FRA-kategoriene eksplisitt. For eksempel er det ingen plass i læreboktekstene der teksten fremhever at forskere brukere forskjellige metoder, og at forskjellige metoder og metodologier egner seg ut ifra hvilken vitenskapelig gren forskeren er en del av. Ved å vise flere forskjellige forskere og metodene de tar i bruk, kan det argumenteres for at læreverket implisitt forsøker å belyse at forskere tar i bruk mange forskjellige metoder i arbeidet sitt. Teksteksemplene sier ingenting eksplisitt om holdningene som forskere er forventet å ha til forskning. Det er godt mulig at Galilei arbeidet med objektivitet som en viktig holdning til arbeidet sitt, men det er krevende å tolke ut ifra teksten slik den er skrevet. Et annet eksempel der en av FRA-kategoriene kommer implisitt frem er i eksempel 3 om Wegner sin teori om kontinentaldrift. Når forskersamfunnet satte tvil på teorien til Wegner om kontinentaldrift kunne teksten eksplisitt beskrevet hvordan forskere har holdninger som organisert skeptisisme som er med på å kvalitetssikre forskningen. Isteden må leseren komme frem til denne konklusjonen på egenhånd. Flere peker på at elever må reflektere rundt NOS eksplisitt i klasserommet og ikke implisitt (Garik & Benétreau-Dupin, 2014; Rudge & Howe, 2009) Dette gjelder ikke bare for det sosio-institusjonelle system, men også for det kognitiv-epistemiske system. Generelt i læreboktekstene kan det argumenteres

for at kategoriene er implisitt tilstede, men disse læreboktekstene legger ikke opp for at elevene skal reflektere rundt NOS-aspekter fra de forskjellige FRA-kategoriene.

Basert på eksemplene i denne analysen er det sosio-institusjonelle og det kognitiv-epistemiske systemet vektlagt noe ulikt. Det sosio-institusjonelle system har tre ulike kategorier representert i eksemplene, mens det kognitiv-epistemiske bare har en. Ifølge en studie gjort på læreplaner av Kaya og Erduran (2016) er det større mangler relatert til det sosio-institusjonelle systemet for de læreplanene som ble analysert i den studien enn for det kognitiv-epistemiske systemet. Resultatene fra denne undersøkelsen, tyder på at det er større mangler for det epistemisk-kognitive systemet. Selvsagt er det en forskjell mellom å analysere læreplaner og lærebøker, i tillegg er dette en analyse av en norsk lærebok som i utgangspunktet skal reflektere den norske læreplanen best mulig, mens læreplananalysen av Kaya og Erduran ble gjort på tyrkiske læreplaner.

3.8 En diskusjon rundt atommodellen i norske naturfagslærebøker

I min studie er atommodellen i norske naturfagslærebøker undersøkt nærmere, for å se hvordan den historiske utviklingen til av atommodellen er presentert. Flere NOS-aspekter er mulig å belyse i utviklingen av atommodellen. Oppdagelsen bygger på en lang historie med verdifulle bidrag fra en rekke forskere som har resultert i den atommodellen som vi har i dag. Forskning der atommodellen i lærebøker blir analysert fra et vitenskapshistorisk perspektiv, nevner forskere som Dalton, Gay-Lussac, Thomson, Rutherford og Bohr, siden disse forskerne i stor grad bidro til utviklingen av atommodellen. Ved å se på utviklingen til atommodellen, og hvordan de endrer seg, kan vi lære noe om hvordan naturvitenskapelig kunnskap endrer seg over tid (Niaz, 2016a, s. 103-104). Dette henger sammen med den tentative siden ved NOS, som ofte ikke er godt nok representert i lærebøker.

Det har vært mange atommodeller gjennom tidene som har bygd videre på hverandre. I kapittel 4.2 i del 2 av oppgaven utdypes det litt om bidraget til Thomson, Rutherford og Bohr som gjør at jeg har valgt å fokusere på disse forskerne i lærebøkens fremstilling av historien til atommodellen. Thomson var den første til å ta i bruk elektronet i sin atomteori som resulterte i den såkalte «rosinbollemodellen» der elektronene (rosinene) var spredt rundt i en positivt ladet masse (bollen). Jeg tar utgangspunkt i Thomsons modell i beskrivelsen av historien til atommodellen, siden Thomsons modell var den første som brukte en av elementærpartiklene i sin beskrivelse av atommodellen. Rutherfords modell var ulik

Thomsons modell, siden denne modellen plasserte elektronene rundt en positivt ladet kjerne, og ikke sammen med kjernen. Bohr tok Rutherfords modell et steg videre, og plasserte disse elektronene i bestemte baner rundt kjernen. Bohrs modell var ifølge Kragh (2013, s. 111) den første moderne atommodellen, siden denne modellen tok i bruk kvanteteori sammen med klassisk mekanikk for å beskrive atomet. Selv om det hevdes at Bohrs modell var den første moderne atommodellen, er ikke Bohrs modell dagens modell. Etter kvantemekanikken ble utviklet i 1925 av den tyske fysikeren Werner Heisenberg og den østeriske fysikeren Erwin Schrödinger formulerte schrødingelikningen, måtte Bohrs atommodell endres.

Kvantemekanikken og schrødingelikningen gjorde at det ikke lenger var mulig å vite den eksakte posisjonen til et elektron, men man kunne regne ut sannsynligheten for elektronets plassering i baner rundt atomkjernen. Derfor ga det mening å lage en modell med en elektronsky rundt en atomkjerne (Holtebekk & Linder, 2018). Siden Thomson var den første til å inkludere elektronet, og Bohr var den første moderne atommodellen virket det hensiktsmessig å ta utgangspunkt i disse modellene når jeg undersøkte atommodellen i lærebøkene. Rutherford må også nevnes siden modellen til Rutherford var et nødvendig steg fra Thomsons modell til Bohrs modell.

Siden jeg tar utgangspunkt i Thomson, Rutherford og Bohr var det interessant å se på hvorvidt de ble nevnt i lærebøkene som ble analysert, og på hvilken måte disse forskerne ble nevnt. Ofte blir Demokrit fremhevet som ett utgangspunkt for atomteorien allerede i antikkens hellas, i tillegg til Gessendi, Boyle og Newton flere hundre år senere. Chalmers (1998) hevder Dalton også kan bli sett på som et utgangspunkt for den moderne atomteorien. Samtidig beskriver ikke Dalton strukturen til atomet, og Dalton så på atomet som udelelig som innebærer at Dalton ikke inkluderte noen elementærpartikler slik som Thomson gjorde.

Eureka 8

I Eureka 8 er ikke atommodellens historie nevnt. Elementærpartiklene atomet består av er beskrevet, og det er tydelig at boka går ut ifra Bohrs atommodell i sin representasjon av atomet. Til tross for dette er ikke Bohr nevnt noen plass i teksten. Opplevelsen av teksten er at atommodellen er en endelig konklusjon som vitenskapssamfunnet har kommet frem til, der det ikke er noen alternative tolkninger eller modeller for atomet. Eureka viser ikke atomet som en enhet med en historisk utvikling basert på eksperimentelle målinger, tidligere forskning, diskusjoner, debatter og liknende. Eureka fremstiller atomet, og atommodellen som en enhet som alltid har eksistert, der de fasene som ledet opp til den kunnskapen vi har i dag ikke er synlig i teksten. Teksten er en oppramsing av fakta. Faktakunnskapen om atomteorier

blir lagt ut for leseren uten kontekst om hvordan denne kunnskapen ble bygd opp over tid. Teksten gir ikke et inntrykk av at kunnskapen i dag er et resultat av et samarbeid over tid mellom flere forskere. Motsetningen til dette ville vært å fokusere mer på dynamikken til den historiske utviklingen av atommodellen. I følge Knain (2001) kan det virke som at dagens lærebøker i Norge består av tekster som ramser opp fakta for leseren. Knains beskrivelse av Norges lærebøker stemmer overens med måten Eureka presenterer historien til atommodellen. De fleste sentrale aspekter som forbindes med NOS ble ikke funnet i denne undersøkelsen av Eureka's fremstilling av historien til atommodellen, og det er vanskelig å se hvordan elever skal få muligheten til å reflektere rundt utviklingen av atommodellen ut ifra lærebokteksten.

Trigger 8

Trigger har i motsetning til Eureka forsøkt å inkludere vitenskapshistorie i sin beskrivelse av atommodellen. Demokrit sin teori om atomet, som ofte blir presentert som et slags utgangspunkt for atommodellens historie, er også utgangspunktet for Triggers beskrivelse av hvordan teorien om atomet startet. Videre trekker teksten frem teorien til Empedokles om de fire grunnleggende elementene som det neste steget i dette løpet. Hvorfor Empedokles er inkludert er ikke helt forstått. Kanskje er Empedokles teori om de grunnleggende elementene inkludert siden denne teorien sa at alt i universet kan reduseres ned til fire elementer, på samme måte som vi i dag sier at alt i universet kan reduseres til de minste partiklene. Empedokles har dermed en likhet med Demokrit, som sa at atomet var den minste bestanddel i universet og var udelelig. Å begynne atommodellens historie med Demokrit og Empedokles kan være misvisende for elever, og kan føre til misoppfatninger knyttet til utviklingen av atomteorien. I tillegg er det ikke nevnt noen forskere, eller forsøk/eksperimenter som ble gjort etter Empedokles. Dette gir historien til atommodellen en fragmentert fremstilling av hvordan teorien utviklet seg i realiteten. Boka skiller ikke godt mellom Demokrit og Empedokles sin teori, og dagens teori om atomet, som gjør at leseren kan likestille dagens atomteori med teoriene til grekerne fra antikken. I virkeligheten er det viktig å påpeke at Demokrit sin versjon av atomteorien skiller seg betraktelig fra dagens atomteori. Bør Trigger derfor ikke ha tatt med Demokrit i teksten om atomets historie? Som allerede nevnt, er det problematisk å begynne atomets historie med Demokrit slik boka gjør det. Ifølge Chalmers (1998) er det mulig å bruke Demokrit til å lære om atomet, men i dette tilfellet må det understrekes at denne teorien skiller seg fra de mer moderne atomteoriene. Chalmers (1998) peker på at Demokrits teori var for det meste spekulasjon, og den hadde ingen empirisk grunnlag. Dette er forskjellig fra Thomson, Rutherford og Bohrs modeller. Dersom læreboka utforsker hva

som skiller Demokrits ideer fra atomteoriene i moderne tid, kan elevene få innsikt i NOS. Dette er sentralt for kategorien *vitenskapelig kunnskap* i FRA. Erduran og Dagher (2014, s. 117) skriver at teorier blir evaluert og revidert over tid. I tillegg finnes det teorier som er mer aksepterte enn andre.

Som for Eureka blir ikke noen av de mer relevante forskerne i sammenheng med atommodellen skrevet om i løpet av kapittelet. Hverken Thomson, Bohr eller Rutherford er nevnt i forbindelse med atomet. Resultatet er dermed likt for både Trigger og Eureka, i det at boka presenterer en opprømsing av faktakunnskap om atommodellen som sier noe om hva den går ut på, men ikke hvordan den ble utviklet og alle forskerne som har vært sentrale for denne utviklingen. Når man leser tekstene til disse lærebøkene, virker det som vitenskapssamfunnet alltid har vært enige om hvordan atomet ser ut og hva det består av. Hvorfor ble noen teorier forkastet til fordel for andre? Hva skiller teoriene fra hverandre? Leseren får ikke se motstridende teorier, diskusjoner eller eksperimentene som ledet opp mot dagens teorier. Til tross for at Trigger inkluderer noe vitenskapshistorie i teksten, har ikke Trigger mange perspektiver, teorier, eller modeller som beskriver utviklingen av atomteorien. I tillegg inkluderes Empedokles og Demokrit uten at Thomson, Bohr eller Rutherford er nevnt. Trigger utforsker ikke hva som skiller grekernes teorier, fra den atommodellen de presenterer i boka. Basert på kategoriene fra FRA virker det som tekstene i disse læreverkene ikke egner seg til å bruke i undervisnings om NOS. Ifølge FRA er vitenskapen dynamisk, og den blir påvirket av flere faktorer i et intrikat og holistisk system (Erduran & Dagher, 2014, s. 29). Tekstene gir nok ikke leseren dette synet på vitenskapen. Isteden virker vitenskapen og kunnskapen den produserer statisk og endelig.

Tellus 9

Tellus skiller seg fra Trigger og Eureka når det kommer til antallet forskere som er blitt inkludert i den historiske beskrivelsen av atomet. Igjen er utgangspunktet Demokrit og hans teori fra antikken. Tellus mangler også en beskrivelse av forskjellene mellom Demokrits teori og mer moderne atomteorier. Leseren kan få inntrykk av at Demokrits teori er likestilt med Thomson, Rutherford og Bohr. Det var kort tid mellom Thomson, Rutherford og Bohrs modeller, mens Demokrits teori kom over 2000 år tidligere. 2000 år er en betydelig tidsperiode som det kan virke som boka ikke tar hensyn til det i sin beskrivelse av historien til atommodellen. Ifølge teksten forsvant teorien og så dukket den opp igjen med Dalton, så det er litt uklart om boka mener det er en direkte sammenheng mellom disse teoriene eller ikke. Dalton er altså nevnt som ett slags utgangspunkt i tillegg til Demokrit, og er den eneste av

ungdomsskole-bøkene som nevner Dalton. Tellus fortsetter med at Dalton kom med sin teori rundt samme tid som forskere jobbet med å spalte stoffer til udelelige komponenter som fikk navnet grunnstoff. Thomson sin oppdagelse av elektronet blir så presentert. Teksten skiller mellom Thomsons modell av atomet i form av en rosinbolledeig, og Rutherfords modell der atomet består for det meste av tomrom. Rutherfords eksperiment med alfapartikler blir så beskrevet, og hvordan han kom frem til at resultatet fra eksperimentet måtte tyde på eksistensen av elektronet. Til slutt er det Bohr sin modell som blir beskrevet, men grunnlaget for at Bohr bestemte seg for at elektronene måtte befinne seg i bestemte skall blir ikke utforsket.

På en side er det en forbedring fra de tidligere eksemplene, at Tellus gir en mer utfyllende tidslinje for atomteoriens utvikling. Det er interessant at Tellus velger å fremheve Dalton samtidig som at de påpeker hvordan naturvitenskapelige eksperimenter ble mer og mer vanlig på Daltons tid. Niaz (2016a, s. 93-94) diskuterer Daltons atomteori, og påpeker at det er uenighet om hvorvidt Daltons atomteori kan likestilles med moderne atomteorier i form av Thomson, Rutherford og Bohrs teorier som kom rundt 100 år senere. Dalton hadde tilgang på eksperimentell data når han utviklet sin atomteori, som skiller Demokritus fra Dalton, siden Demokritus ikke hadde noe data å basere teorien sin på. Det hadde vært en mulighet for å gå nærmere inn på skillet mellom Dalton og Demokrits teorier, og så de moderne atommodellene til Thomson, Rutherford og Bohr, men teksten hopper raskt videre til Thomson uten at forskjellene mellom disse atommodellene og atomteoriene blir diskutert. Siden de mest sentrale forskerne og deres bidrag blir beskrevet, ser leseren at atomteorien slik den er i dag er ett resultat av samarbeid over lengre tid, der forskere har bygd på tidligere arbeid for å utvikle ny kunnskap. I FRA er det vitenskapelige etos en av de sosio-institusjonelle kategoriene. Kommunalisme er ifølge Merton (1973) en sentral holdning som vitenskapssamfunnet bygger på, noe som kommer frem i denne teksten. Teksten tar opp flere modeller, og forskerne bak modellene. Dette viser leseren at kunnskap er bygd opp over tid, og at dagens kunnskap er et resultat av arbeid fra mange forskere. Samtidig kommer det ikke godt frem hvorfor det var et behov for nye atommodeller. Hva slags kritikk ble rettet mot de forskjellige modellene? Hva slags styrker og svakheter hadde de ulike modellene? Kragh (2002, s. 53) hevder Rutherfords model fikk kritikk på bakgrunn av at den ikke inkluderte en god nok forklaring på elektronene rundt kjernen. Videre skriver Kragh at elektronene var den komponenten som gjorde det mulig for forskere på denne tiden å eksperimentere på fenomener knyttet til atomer. Dersom

dette hadde vært tilpasset nivået til ungdomsskolen, og blitt inkludert i teksten kan det være lettere for elevene å se hvorfor Bohrs modell ble mer akseptert i lengden.

Det er fra et FRA perspektiv uheldig at metodene Thomson, Rutherford og Bohr utnyttes for å komme frem til atomteoriene sine ikke blir utforsket. Klassifikasjon, observasjon og eksperimentering er sentrale aktiviteter i skolen, men disse aktivitetene blir sjeldent undervist om på et vis der det blir tydeliggjort hvordan slike vitenskapelige praksiser bidrar til naturfaglig kunnskap (Erduran & Dagher, 2014, s. 69). Tellus har et unntak der teksten beskriver Rutherfords eksperiment med alfa-partikler:

Eksperimentet gikk ut på at Rutherford bombarderte en tynn gullfolie med positivt ladde partikler (alfapartikler) som hadde stor fart. Han observerte at de fleste partiklene passerte uhindret gjennom folien, men noen får ble mer eller mindre avbøyd. Rutherford mente at eksperimentet viste at mesteparten av atomet er tomrom, men at det inneholder en liten, tett kjerne med positiv ladning (Ekeland et al., 2007).

Gjennom å se prosessen til Rutherford, er det enklere for leseren å se sammenhengen mellom prosess og kunnskap. Dette gjelder ikke for Dalton, Thomson og Bohr i teksten, siden eksperimentet eller observasjonen som ble gjennomført for å komme frem til kunnskapen ikke er beskrevet. Dermed virker det som at Bohr fikk en åpenbaring helt av seg selv. Flere sentrale NOS aspekter fra FRA kategoriene er tilstede i teksten i motsetning til Eureka og Trigger, men fortsatt er det mange muligheter for å utdype og trekke frem flere elementer fra atomets historie. For eksempel er ikke teksten tydelig på hvordan metoder atomteoretikerne utnyttet, eller hvilke faktorer som førte til at de så nødvendigheten av å lage nye modeller. På hvilken måte argumenterte forskerne for og imot atommodellene på denne tiden? Elevene kunne fått innsikt i hvordan forskning kvalitetssikres og evalueres av forskere. Hadde leseren blitt eksponert for de ulike metodene, eksperimentene og tilnærmingene forskerne som arbeidet med atommodellen brukte, kunne det hjulpet leseren å forkaste myten om den vitenskapelige metode som algoritmisk og fast i formen (Leite, 2002).

Ergo 1

Ergo 1 er en bok som er beregnet for fysikk 1 elever på videregående skole. Derfor er denne boka basert på en annen læreplan enn ungdomsskolebøkene. Ergo tar som de andre bøkene utgangspunkt i Demokrit, men Dalton blir ikke nevnt. I stedet blir Thomson det moderne utgangspunktet for denne beskrivelsen av atommodellens utvikling. Thomson eksperimenterte med katodestrålerør til å bevise elektroner. Katodestrålerøret til Thomson besto av et glassrør

med vakuum, og to elektroder på hver side av røret som er koblet sammen til en strømkilde. Når denne strømkilden blir slått på kan det observeres katodestråler som går fra katoden til anoden gjennom dette røret. Ved å observere dette fenomenet, tenkte Thomson at disse strålene besto av elektroner. Dette kom av at han så at elektronene dro i rette linjer, var negativt ladet, og at de oppsto uavhengig av materialet som var brukt til katode og anode. Thomson eksperiment blir beskrevet på følgende vis i Ergo:

Fysikeren Joseph John Thomson fant ut at dersom spenningen var høy nok, så gikk det en elektrisk strøm gjennom røret. Var det en gass i røret, så lyste gassen opp langs den veien strålen gikk. Dermed kunne han eksperimentere med strømmen samtidig som han så den! (Callin, Pålsgård, Stadsnes & Wahlstrøm Tellefsen, 2012, s. 176)

Som i Tellus 9 blir alfapartikkel-eksperimentet til Rutherford beskrevet, og at resultatene bidro til hans konklusjon om at atomet måtte bestå av ett tomrom med en positiv kjerne i midten. Videre blir noen fenomen som energikvanter knyttet til oppdagelsene av Planck definert, før boka går videre og beskriver Bohrs modell. Teksten påpeker også at Bohrs modell bygger på Rutherford modell.

Som tidligere nevnt er det ikke hensiktsmessig å sammenlikne en fysikkbok for videregående opplæring med naturfagsbøker for ungdomsskolen. Ergo 1 er rikere på detaljer rundt fysikken bak atomteorien som er et resultat av at Ergo 1 er lagt på et høyere nivå enn ungdomsskolebøkene. Likevel er det noen likheter mellom Ergo 1 og de andre lærebøkene i hvilke forskere som blir presentert. For det første begynner også Ergo med Demokrit, og gjør ikke ett forsøk på å skille mellom Demokrit sine teorier og de mer moderne forskernes teorier om atomet. Leseren av Ergo 1 kan ende opp med å likestille Demokrit med Thomson, Rutherford og Bohr. Mange av de samme forskerne er med i teksten som i Tellus, men eksperimentene deres og teorien de har bygd oppdagelsene på er utdypet noe. Både Tellus og Ergo er utgitt av samme forlag, som kan være med på å forklare likhetene mellom lærebøkene. Eksemplene i Ergo 1 utdyper noen av detaljene forbundet med de forskjellige modellene, som er logisk med tanke på at Ergo er en fysikknok på et høyere nivå og kan dermed gå nærmere inn på fysikken. Atommodellene til Thomson, Rutherford og Bohr blir beskrevet, og leseren får innblikk i glassrør-eksperimentet til Thomson, alfapartikkel-eksperimentet til Rutherford, i tillegg til kvanteteorien som førte til Bohrs teori om skallmodellen. Her er muligheten større for at elever får se sammenhengen mellom konstruksjonen av kunnskap, den tidligere teorien forskere tar utgangspunkt i når de utvikler nye modeller, og hvordan dette henger sammen med de vitenskapelige prosessene i forskning.

Dette er sentralt for kategoriene *vitenskapelig kunnskap* og *metode- og metodologi* fra FRA modellen (Erduran & Dagher, 2014, s. 116, 192). Utdraget fra Ergo 1 der Thomsons forsøk blir beskrevet, fremhever litt av problemet med hvordan lærebøker bruker historiske eksempler i dag. Selv om Thomsons forsøk som ledet til oppdagelsen av elektronet blir beskrevet, er selve beskrivelsen av forsøket problematisk. Hvordan skal en elev se sammenhengen mellom selve oppdagelsen og eksperimentet? Ingen del av beskrivelsen sier noe om hvordan eksperimentet førte til teorien om elektronet, og dermed faller Ergo inn i den tradisjonelle tendensen lærebøker har til å vise et brudd mellom vitenskapelig prosess og konstruksjon av vitenskapelig kunnskap. Kanskje kunne teksten sagt noe om egenskapene til katodestrålene han observerte, og hvordan disse egenskapene førte til oppdagelsen av elektronet. Teksten kunne for eksempel nevnt at eksperimentet ble brukt til å beregne massen til elektronet, som Thomson observerte var mye mindre enn massen til hydrogenatomet. I tillegg observerte Thomson at katodestrålene ble tiltrukket av positivt ladde elektriske plater, mens de ble frastøtt av negativt ladde elektriske plater, som tydet på at katodestrålene besto av negativt-ladde partikler som var mye mindre enn atomer. Hvorfor er ikke dette tatt med i teksten? Imidlertid er det positivt at disse teoriene blir presentert i Ergo med litt sammenheng. Leseren kan få inntrykk av at modellene er et resultat av at flere forskere bidrar til den kunnskapen vi har i dag. Eksempelvis presiserer Ergo at Bohr bygger videre på Rutherfords modell. Slik tydeliggjøres det at kommunalitet er en sentral holdning for forskere, og dermed er også det vitenskapelige etos dratt inn her.

Sammenlikner vi hvordan oppdagelsen til Bohr blir fremstilt i Tellus 9 og Ergo 1, ser vi en tydelig forskjell. Tellus 9 bidrar til det tradisjonelle synet på vitenskapelig kunnskap som statisk og endelig, siden det virker som Bohr oppdaget skallmodellen uten noe basis i teori og forskning. Ergo 1 sin beskrivelse minner mer om et dynamisk og holistisk syn på vitenskapelig kunnskap som oppfordres av FRA modellen. Det kommer av at teksten utdyper konteksten bak Bohrs modell ved å si at skallmodellen er basert på kvanteteorien til Planck. Dermed kommer det frem et sentralt poeng ved Bohrs modell, nemlig at det var den første atommodellen som tok i bruk kvanteteori i sin beskrivelse av atomet. Samtidig er det ikke eksplisitt poengtert at Bohr ble påvirket av teorien til Planck selv om Bohr tok i bruk Plancks begrep i sin atommodell. Som tidligere nevnt bør vitenskapshistorie undervises eksplisitt, og ikke implisitt for at elevene skal reflektere om NOS (Garik & Benétreau-Dupin, 2014; Rudge, Cassidy, Fulford & Howe, 2014)

Igjen er det mangler på alternative syn, rivalrier, argumenter og debatt mellom forskerne og modellene som er presentert. Elevene får oppfattelsen av at alle forskerne i vitenskapssamfunnet er enige med hverandre til enhver tid, når dette ikke er tilfellet. Forskning kvalitetssikres blant annet ved at forskere må argumentere for sine påstander, og ved at de lar påstandene sine bli evaluert og gransket av andre forskere.

Ergo får i løpet av kapittelet til en viss grad frem kommunaliteten til forskersamfunnet, presisert sammenhengen mellom vitenskapelig prosess og konstruksjon av kunnskap, og beskrevet motivasjonen til noen av forskerne for noen av eksemplene som er blitt brukt. Til tross for det er det igjen ingenting om forholdet mellom forskerne. Rutherford, Thomson og Bohr levde tross alt rundt samme tid. Hva tenkte de ulike forskerne om modellene til hverandre? I tillegg er det ingen sammenheng mellom aktivitet og resultat for noen av beskrivelsene knyttet til forskernes oppdagelser. Leseren får vite hvilken aktivitet som ble brukt i et eksperiment, men ikke hvorfor denne aktiviteten ledet til disse oppdagelsene. Rutherfords eksperiment og oppdagelse gir et mer utfyllende og helhetlig blick på denne sammenhengen enn Thomsons eksempel.

3.9 Kvinnelige forskere fra vitenskapshistorien i norske lærebøker

Forsker skal ifølge Merton (1973) ha holdninger som universalisme i møte med andre forskere og sin egen forskning. Blant annet vil det si at vitenskapen er uavhengig av kjønn og rase. Vitenskapelig kunnskap skal ifølge *det vitenskapelige etos* ikke vurderes etter noe annet argumentasjon, rasjonalitet og logikk. Leser man norske lærebøker om naturfag kan det virke som kvinnelige forskere er sjeldne. Tellus, Eureka, og Trigger inkluderer få eksempler på kvinnelige forskere i forhold til menn. Et unntak er Tellus 8 som skriver litt om Marie Curie. Curie var den første som vant to nobelpriser, som hun fikk for sin forskning på radioaktivitet og for sin oppdagelse av polonium og radium. Curies vitenskapelige bidrag gjorde at hun ble sett på som en helt enestående kvinnelig forsker (Roqué, 2019). Av den grunn er nok Curie en sentral figur i vitenskapshistorien til periodesystemet. Til tross for Curies status, er flere negative til å inkludere Curie uten å inkludere andre kvinnelige forskere i lærebøker og liknende (Brush, 1985; Des Jardins, 2010, s. 5; Milne, 1998). Des Jardins (2010, s. 5) beskriver det såkalte «madame Curie komplekset». «Madame Curie komplekset» slik Des Jardin beskriver det, innebærer at Curies enestående arbeid som forsker har vært med på å skape en høy standard for kvinnelige forskere. Rossiter (1982, s. 130) beskriver kvinnelige forskere på 1920- og 1930 tallet som følte de måtte jobbe usedvanlig hardt for å bli akseptert

av det mannsdominerte vitenskapssamfunnet, og det er nok ikke uten grunn at Rossiter beskriver disse kvinnene som «the madame Curies».

Kvinnelige forskere har kommet med vitenskapelige bidrag i lang tid, og har vært sentrale for å utvikle vår forståelse av grunnstoffene. Van Tiggelen og Lykknes (2019) fremhever flere sentrale kvinnelige forskere fra vitenskapshistorien. På Mendelejevs tid ble grunnstoffene plassert i periodesystemet etter atomvekt. Av den grunn var det viktig å ha presise målinger av atomvekten til grunnstoffene, spesielt de grunnstoffene som hadde liknende atomvekt som andre grunnstoffer. Den russiske kjemikeren Julia Lermontova jobbet med å separere platinum-metallene fra hverandre, slik at det ble mulig å ta nøyaktige målinger av atomvekten til disse grunnstoffene. En annen kvinnelig kjemiker er den polske kjemikeren Stefanie Horovitz som bidro med eksperimentelt bevis som viste at ett grunnstoff kunne ha forskjellige atomvekter. Altså bidro Horovitz med bevis for at isotoper eksisterte. Den engelske Kjemikeren May Sybil Leslie bidro med data på halveringstiden, atomvekten og aktiviteten til produktene i den radioaktive thorium serien (Rae, 2019). Lermontova, Horovitz og Leslie er bare tre av mange kvinnelige forskere innenfor et vitenskapelig felt som har hatt vitenskapelige bidrag, men fortsatt inkluderer ikke lærebøkene i denne undersøkelsen andre enn Marie Curie. Av den grunn kan det argumenteres for at det bør inkluderes flere kvinnelige forskere i norske lærebøker.

Del 2: Maria Goeppert-Mayer

4 Innledning

Hensikten med denne delen av oppgaven er å gjøre en vitenskapshistorisk studie av Maria Goeppert-Mayer, og skrive en biografisk tekst om henne. Goeppert-Mayer er ikke den eneste kvinnen man kan ta utgangspunkt i for å skrive en vitenskapshistorisk studie. Av den grunn begynner denne delen av oppgaven med å begrunne valg av forsker (Kapittel 4.1). Deretter blir den vitenskapshistoriske konteksten Goeppert-Mayer arbeidet innenfor beskrevet (4.2.1) Den vitenskapshistoriske konteksten er viktig for å forstå hvilke forskningsspørsmål forskere som Goeppert-Mayer var opptatte av, og hvilke faktorer som preget tiden forskerne levde i. Goeppert-Mayer levde på en tid der det ble gjort omveltende oppdagelser i fysikken og kjemien, og noen av de oppdagelsene blir diskutert for å utdype den vitenskapshistoriske konteksten til Goeppert-Mayer. Den biografiske teksten om Goeppert-Mayer blir presentert til slutt, og beskriver hennes liv og arbeid som forsker (4.2.2-4.2.5). Goeppert-Mayers rolle i noen forskningsprosjekter blir beskrevet, i tillegg til at teorien om skallmodellen som hun fikk nobelprisen for blir presentert (4.2.6)

4.1 Valg av forsker

Gjennom århundrer har kvinnelige forskere bidratt med innsikt som har vært med på å endre fysikken og kjemien. For eksempel var det på 1900-tallet flere kvinner som oppdaget nye grunnstoff som utvidet kunnskapen om periodesystemet. Allerede i 1898 oppdaget Marie Curie grunnstoffene polonium og radium (Roqué, 2019). Den tyske kjemikeren Ida Noddack kan nevnes, som oppdaget rhenium sammen med sin mann Walter Noddack i 1925 (Van Tiggelen, 2019). Den østeriske kjernefysikeren Lise Meitner oppdaget grunnstoffet protactinium sammen med Otto Hahn i 1918, og var en del av gruppen som oppdaget fisjon vinteren 1938/39 (Roqué, 2019). I 1939 oppdaget den franske fysikeren Marguerite Perey det siste naturlige forekommende grunnstoffet francium. I tillegg til å oppdage grunnstoffer var også kvinner sentrale bidragsytere til kjernefysikken. Etter at Perey hadde oppdaget det siste naturlige forekommende grunnstoffet francium, var det neste steget å syntetisere nye grunnstoffer. I 1934 hadde Irène Joliot-Curie og hennes mann Frédéric Joliot-Curie oppdaget kunstig radioaktivitet. Paret mottok nobelprisen for oppdagelsen året etter. Oppdagelsen gjorde det mulig å fremstille grunnstoffer tyngre enn uran, det tyngste naturlig forekommende grunnstoffet (Jacquemon, 2019). I nobelforelesningen forutså Frédéric at forskere om kort tid kom til å kunne utnytte atomets indre til å skape kjemiske kjedereaksjoner (F. Joliot-Curie

& I. Joliot-Curie, 1935). Irène uttalte at kunstig radioaktivitet kom til å forandre kunnskapen om materie, og hvordan materie kom til å bli forsket på (I. Joliot-Curie & F. Joliot-Curie, 1935). Oppdagelsen ga også ny innsikt i atomets struktur (Jacquemon, 2019). Lise Meitner, Otto Hahn og deres team sto bak oppdagelsen av fisjon vinteren 1938/39, samme år som Perey oppdaget det siste naturlige grunnstoffet francium (Spradley, 1989). Fisjon gjorde det mulig å utnytte energien i en kjernereaksjon til ulike formål. Denne energien ble utnyttet i atomkraftverk der store mengder energi kunne bli produsert, i tillegg til masseødeleggelsesvåpen. Ida Noddack hadde foreslått at en atomkjerne kunne spaltes i 1934 etter å ha analysert steinmalm som skulle inneholde transurane grunnstoffer. Noddack publiserte også en artikkel der hun foreslo spaltning av atomkjerner, men dette forslaget ble ikke akseptert av forskere som Enrico Fermi (Van Tiggelen, 2019).

Tidligere i oppgaven ble norske læreverk undersøkt i lys av rammeverket FRA. Der ble det observert få kvinnelige naturvitere fra historien til tross for at kvinner har bidratt på lik linje med menn gjennom lang tid. Jeg ønsket derfor å bidra til å løfte frem en kvinne fra vitenskapshistorien.

I Tellus blir den polsk-franske kjemikeren og fysikeren Marie Curie presentert i forbindelse med sin forskning på radioaktivitet. Norske lærebøker tar ofte i bruk Curie når de vil fremheve kvinnelige forskere, uten at andre kvinnelige eksempler blir trukket frem. Det hevdes at jenter vil i mindre grad søke en karriere som forsker, dersom kvinnelige forskere ikke er godt nok representert i lærebøker, og at det dermed er nødvendig å undervise om andre forskere enn bare Curie (Subrahmanyam & Bozonie, 1996). Curie er som nevnt kjent for å ha oppdaget polonium og radium. I 1903 fikk hun nobelprisen i fysikk sammen med sin mann Pierre Curie og Antoine Henri Becquerel for oppdagelsen av radioaktivitet. I 1911 fikk hun også nobelprisen for kjemi i forbindelse med å ha oppdaget polonium og radium. Det betydde at Curie var den første som vant to nobelpriser.

Curie beskrives som en dyktig forsker som kom med imponerende bidrag til vitenskapen gjennom sitt eksepsjonelle arbeid (Roqué, 2019) Samtidig viser Roqué til at det er utfordringer knyttet til hvor eksepsjonell hun var. Des Jardins (2010, s. 5) beskriver det såkalte «madame curie komplekset», som innebærer at Curie var en så eksepsjonell forsker, at hun var med på å sette en høy standard for kvinnelige forskere. Rossiter (1982, s. 130) hevder kvinnelige forskere på 1920- og 1930 tallet følte de måtte leve opp til Curies omdømme for å bli akseptert av det mannsdominerte forskersamfunnet. Marlene og Geoffrey Rayner-Canham (1997) er også kritiske til at ikke flere kvinnelige forskere innen radioaktivitet blir undervist

om enn Curie, siden det er flere eksempler som kan fremheves fra 1900-tallet, som f.eks de kvinnene som er nevnt tidligere i dette kapittelet.

Rossiter (1982, s. 15) hevder det mannsdominerte forskersamfunnet i USA gjorde det vanskelig å bli kvinnelig forsker. Blant annet var det et resultat av stereotypier knyttet til vitenskapen. Vitenskapen ble sett på som tøff, rasjonell, maskulin og konkurranse preget. Ifølge Rossiter (1982) ble ikke disse egenskapene assosiert med kvinner rundt første halvdel av 1900-tallet. På grunn av hvor godt representert Curie har vært gjennom årene, og med basis i kritikken mot å bare bruke Curie alene som en rollemodell, ble det avgjort at forskeren som ble valgt skulle være en annen fremragende kvinne. Ved å velge en annen forsker enn Curie, kan det være med på å vise forskjellige kvinnelige forskere og de verdifulle oppdagelser de har kommet med. Siden dette er en vitenskapshistorisk studie var det også sentralt å velge en forsker som det ikke er blitt skrevet så mye om tidligere. Av den grunn ble Maria Goeppert Mayer valgt.

4.2 Vitenskapshistorisk studie

4.2.1 Fysikk i første halvdel av 1900-tallet

For å forstå historien til Goeppert-Mayer og forskningen hennes, er det viktig og også forstå utviklingen i vitenskapen i tiden før hun gjorde sin forskning. 1900-tallet var en tid der det ble gjort store oppdagelser i fysikk. Når den tyskfødte teoretiske fysikeren Albert Einstein beskrev lys i form av kvanter av energi, utfordret han det etablerte synet på lys som bølger. Fotonteorien til Einstein var revolusjonerende, og forskerne på tidlig 1900-tallet var skeptiske til at lys kunne være bølger og partikler på samme tid (Renstrøm, 2006, s. 45-46) Rundt samme tid utarbeidet Einstein også den spesielle relativitetsteorien, og den generelle relativitetsteorien som begge var omveltende. Den spesielle relativitetsteorien sier at alt i universet utenom lysets hastighet er relativt. Til og med tid oppleves forskjellig, avhengig av hvor man er i universet ifølge denne teorien (Bowler & Morus, 2010, s. 261-262). Den generelle relativitetsteorien er gravitasjonsteorien til Einstein, og den beskriver gravitasjon annerledes fra klassisk fysikk. Relativitet var sentral i å endre fysikk på 1900-tallet (Bowler & Morus, 2010, s. 253). Det tok noen år før teoriene til Einstein ble godt akseptert i

vitenskapssamfunnet, nettopp på grunn av hvor revolusjonerende de var (Bowler & Morus, 2010, s. 254; Kragh, 2006, s. 25-44).

Etter hvert ble kvanteteoriens prinsipper utnyttet til å forklare atomets struktur av den danske fysikeren Niels Bohr (Heilbron, 2005, s. 268). På 1920-tallet ble kvantemekanikken utviklet av den tyske teoretisk fysikeren Werner Heisenberg og den østeriske teoretiske fysikeren Erwin Schrödinger. Kvantemekanikk sørget for et matematisk uttrykk som kunne forklare verden på mikronivå, ved å ivareta kvanteteoriens prinsipper (Heilbron, 2005, s. 267-271). Relativitetsteorien, og kvanteteori førte til at forholdet mellom tid og rom måtte revurderes for å kunne bli forstått fullstendig.

Bohrs atommodell bygde videre på atommodellene som kom i forveien. Atommodellens historie er lang og inkluderer bidrag fra en rekke forskere. Blant annet den britiske fysikeren Joseph John Thomson som oppdaget elektronet, og beskrev atomet som en gruppe elektroner adskilt fra hverandre av en solid positiv masse. Den new-zealandske fysikeren Ernest Rutherford arbeidet videre med Thomsons modell, og utviklet en modell der elektronene befant seg rundt en positiv kjerne (Kragh, 2002, s. 51-53). Bohr studerte under både Thomson og Rutherford, og ble fort interessert i atomteori. Bohr var den første til å inkludere kvanteteoretiske prinsipper til sin modell, og derfor hevder Kragh (2013, s. 111) at Bohrs modell markerer begynnelsen på den moderne atomteorien. Bohrs modell var ikke så ulik Rutherfords modell, men plasserte elektroner rundt den positive kjernen i kvantiserte baner som representerte forskjellige energinivåer for elektronene. Bohrs modell baserer seg på en kombinasjon av klassisk mekanikk og kvanteteori, som kom til å bli utfordret på 1920-tallet når kvantemekanikken ble utviklet mer fullstendig (Bowler & Morus, 2010, s. 254; Heilbron, 2005, s. 25)

På lik linje med kvanteteori var også radioaktivitet et nytt og spennende felt som ved starten av 1900-tallet tiltrakk seg mange forskere. På slutten av 1800-tallet forsket flere på uransalter for å undersøke strålingen som disse saltene avga. En av disse forskerne var den franske fysikeren Henri Becquerel, som oppdaget denne strålingen ved en tilfeldighet mens han undersøkte om disse saltene avga røntgenstråler (Heilbron, 2005, s. 276). Flere fysikere og kjemikere begynte å studere fenomenet radioaktivitet, og dette ble gradvis forstått. Den nye kunnskapen førte med seg flere spørsmål som måtte utforskes om egenskapene til radioaktivitet. En sentral aktør innen forskning på radioaktivitet på starten av 1900-tallet er Rutherford. Som tidligere nevnt utarbeidet han en atommodell, men før den tid forklarte Rutherford sammen med den britiske kjemikeren Frederick Soddy hva radioaktivitet var og at

det fantes forskjellige former for radioaktivitet. Radioaktivitet handler om at et grunnstoff kan omdannes til et annet grunnstoff under avgivelse av stråling. Dette var vanskelig å akseptere for mange forskere på starten av 1900-tallet fordi det var radikalt og fordi det ga assosiasjoner til alkymi. Radioaktivitet var kontroversielt, for i praksis betydde dette at transmutasjon var mulig. Derfor førte radioaktivitet til at fysikerne måtte revurdere kunnskapen de hadde om atomet (Bowler & Morus, 2010, s. 258; Malley, 2011).

I løpet av første halvdel av 1900-tallet var det ikke bare store endringer innen de ulike feltene i fysikk, men store endringer kom også i form av at verden havnet i to verdensomfattende kriger og en økonomisk krise i form av den store depresjonen. Disse hendelsene hadde en effekt på vitenskapssamfunnet på lik linje med resten av samfunnet. I løpet av andre verdenskrig fikk vitenskapsamfunnet i land som USA økonomisk støtte mot å ta del i prosjekt som gikk ut på produksjonen av militærteknologi i form av radar og atombomber (Bowler & Morus, 2010, s. 338). Vitenskapssamfunnet og militæret samarbeidet ikke like mye i løpet av første verdenskrig, men i løpet av andre verdenskrig ble det for første gang igangsatt store samarbeidsprosjekt på et nasjonalt nivå mellom regjeringene, militæret og vitenskapssamfunnet (Bowler & Morus, 2010, s. 463). Alle disse faktorene bidro til at 1900-tallet ble en interessant tid å være forsker i. For den tyskfødte kjemikeren og fysikeren Maria Goeppert-Mayer var nok det tilfellet. Goeppert-Mayer var tilstede under hele den urolige første halvdel av 1900-tallet, og fikk muligheten til å forske på flere av de nye spennende vitenskapelige feltene som kom ved århundreskiftet. Livet som kvinnelig forsker under første halvdel av 1900-tallet var nok spennende, men det var nok også krevende i et mannsdominert yrke. Til tross for det opplevde Goeppert-Mayer stor suksess som forsker på 1900-tallet, og kom med bidrag til både fysikk og kjemi som ga henne annerkjennelse som forsker.

4.2.2 Den allsidige kjernefysikeren Maria Goeppert-Mayer og de magiske tallene¹

Maria Goeppert ble født i Kattowitz i Tyskland i 1906, som i dag er en del av Polen. Kort tid etter flyttet familien til Göttingen hvor Maria senere gikk på universitetet. Familien til Goeppert besto av en lang rekke med professorer på farssiden, og Maria ble kanskje inspirert til å studere på universitet fra ung alder. På starten av 1900-tallet fikk kvinner gradvis adgang til universitetene i Tyskland. På denne tiden var det fortsatt mange som var negative til at

¹ Den biografiske delen om Maria Goeppert-Mayer er basert på disse kildene: (Banerjee, 2007; Dash, 1973; Grzybowski & Pietrzak, 2013; Johnson, 1986, 2004; McGrayne, 1995; Sachs, 1979).

kvinner fikk studere på lik linje med menn (Mazón, 2003, s. 2). Goeppert fikk sammen med fire andre kvinner fikk av kvinneforkjempere i Göttingen til å bestå inngangseksamen slik at hun fikk studere på universitetet. Hun begynte som matematikkstudent. Maria var del av et prestisjetungt miljø, ettersom Göttingen på 1920-tallet var sentrum og møtested for flere svært anerkjente matematikere og fysikere i Tyskland. Kvantemekanikk var på dette tidspunkt et populært felt, og Göttingen ble ett viktig sentrum for dette fagområdet. Forskere fra flere land møttes der for å være en del av denne utviklingen. Blant annet var Goeppert ved Göttingen på samme tid som den tyske fysikeren Max Born, som vant nobelprisen for sitt arbeid med kvantemekanikk, den tyske fysikeren James Franck som vant nobelprisen i fysikk for å ha oppdaget lovene om virkningen elektroner har på atomer, den italienske fysikeren og nobelprisvinneren Enrico Fermi, som var sentral i arbeidet med utviklingen av den første kjernereaktoren, den amerikanske fysikeren Robert Oppenheimer som var kjent for å ha utviklet atombomben, og mange flere kjente forskere.

I løpet av disse årene byttet Goeppert fra matematikk til teoretisk fysikk. Kvantefysikk var et nytt felt, og fanget Goepperts oppmerksomhet. Hun deltok i forelesningene til Born der hun hørte om kvantemekanikk. Teoretisk fysikk kan være et krevende felt å forske i, ettersom det er behov for gode matematiske evner for å mestre fysikken. Kanskje var det hennes erfaring med matematikk fra de første år ved universitetet, som gjorde det mulig for henne å mestre kvantemekanikk som Borns student. 1930 var et viktig år for Goeppert. Dette året giftet seg Maria seg med sin mann Joseph Mayer, og leverte også sin doktoravhandling ved universitetet i Göttingen. Avhandlingen gikk ut på å undersøke sannsynligheten for at elektroner som hopper til ett lavere energinivå rundt kjernen i et atom vil slippe ut en eller to fotoner. Basert på teoretiske beregninger hun hadde gjort, fant hun at sannsynligheten for at to fotoner kunne slippes ut var svært lav (Goeppert-Mayer, 1931).

I 1930 fikk Joseph Mayer en stilling ved John Hopkins universitet i Baltimore, og forskerparet flyttet derfor til USA. Til tross for at Goeppert-Mayer trivdes svært godt i Baltimore fikk hun oppleve motgang i form av anti-nepotismen som sørget for at hun slet med å få seg en stilling på samme universitet som Joseph. Mayer-paret var ikke alene om å møte utfordringer i forbindelse med institusjonaliserte anti-nepotisme regler på 1900-tallet (Lykknes, Opitz & Van Tiggelen, 2012). Anti-nepotisme regler kan egentlig være positive for å unngå favorisering i arbeidslivet. Disse reglene kan være med på å inkludere mennesker med utenfra-perspektiver, som kan være fordelaktig for forskningen. Goeppert-Mayer fikk muligheten til å jobbe med fysikk på universitetet, men arbeidet hun gjorde var ubetalt, og

hun ble omtalt som en forskningsassistent ved universitetet. Selv om universitetet gjorde det vanskelig for Goeppert-Mayer å få en betalt stilling på professornivå, kjempet ikke Goeppert-Mayer imot. Det sies at hun holdt hodet nede og forsøkte å unngå konflikter. Isteden konsentrerte hun seg om å jobbe med fysikk fordi hun syntes det var givende å søke etter ny kunnskap i seg selv. Slik var realiteten for mange kvinner i USA rundt 1930, som resulterte i at mange ikke ville stå imot diskrimineringen som foregikk. I løpet av 1920-årene var det forsøk på å få bedre rettigheter for kvinner i akademia, men dette ble ikke en suksess. Når den store depresjonen traff, hadde dette sterke konsekvenser for kvinnenes kamp for rettigheter. Situasjonen gjorde det krevende å endre de anti-feministiske systemene som eksisterte. Universitetskulturen var preget av menn som var bekymret for å miste prestisje ved å likestille kvinner og menn. Siden universitetene var styrt av slike menn, er det mulig kvinnene som kjempet imot ble møtt med motgang. Kvinnene ble oppfordret hverandre til å jobbe hardere med sine fag fremfor å kjempe for rettighetene sine (Rossiter, 1982, s. 216).

Det var også en utfordring for Goeppert-Mayer at forskersamfunnet i USA på den tiden var dominert av praktisk fysikk, og at lite teoretisk fysikk ble publisert i *Physical Review* som var det ledende tidsskriftet for fysikk på denne tiden i USA (Kragh, 2002, s. 15-16). For de som var interessert i å jobbe med kvantemekanikk, var dette uheldig. Antallet kvinnelige fysikere var lavt sammenliknet med biologene og kjemikerne i landet, og de hadde få prestisjefulle stillinger på universitetene (Kragh, 2002, s. 442). I tillegg var det flere som hadde negative syn på kvinner som valgte å drive med fysikk. Den anerkjente fysikeren Robert A. Miller uttrykte for eksempel bekymring for å ansette kvinner i høye stillinger som professorer i fysikk foran menn (Rossiter, 1982, s. 190-191). Han mente at prestisjen til universitetene ville synke dersom kvinner fikk disse professorstillingene som Millikan mente menn bør ha foran kvinner. Dette var til tross for bidragene fra ledende kvinnelige fysikere i Europa som Marie Curie og den østerrikske kjernefysikeren Lise Meitner (Rayner-Canham & Rayner-Canham, 1997).

I løpet av tiden ved John Hopkins fikk Goeppert-Mayer prøve seg på eksperimentell forskning for første gang sammen med den amerikanske fysikeren Robert Williams Wood, som var kjent for sitt arbeid med infrarød og ultrafiolett fotografering. Etter dette samarbeidet gikk hun en periode tilbake til å forske mer teoretisk. Det kan virke som Goeppert-Mayer interesserte seg for teori mer enn eksperimentering. Dette kan ha endret seg etter Goeppert-Mayer orienterte seg mer mot problemer som omhandlet bruken av kvantemekanikk til å løse problemer av kjemisk natur. I løpet av denne tiden skrev Goeppert-Mayer en rekke artikler

om dette sammen med sin mann og den østerriksk-amerikanske fysikeren Karl Herzfeld. Goepfert-Mayer fikk erfaring som kjemiker under dette arbeidet, og av den grunn lærte Goepfert-Mayer å sette mer pris på eksperimentell data. Siden kvantemekanikk hadde hatt sterk innflytelse på kjemi og fysikk i løpet av denne perioden, kunne Goepfert-Mayer utnytte sine dype kunnskaper om kvantemekanikk under dette arbeidet. I tillegg var Goepfert-Mayer visstnok den eneste blant fysikerne på Johns Hopkins med nok kunnskaper innen kvantefysikk til å kunne håndtere de utfordringene som gikk ut på å bruke kvantemekanikk til å undersøke fenomen innen kjemi og fysikk.

Med Karl Herzfeld arbeidet Goepfert-Mayer med å undersøke aggregattilstander hos molekyler for å få en dypere forståelse av væskefasen hos molekyler. De brukte en såkalt en-dimensjonal modell for å skape en likning for aggregattilstander (Herzfeld & Goepfert-Mayer, 1934). Hun jobbet mye sammen med Herzfeld disse årene, og som følge av det utviklet de et nært forhold. I løpet av årene mellom 1930 og 1935 når hun ikke var opptatt ved John Hopkins, dro hun hjem til Tyskland om sommeren for å samarbeide med sin tidligere professor Max Born på diverse prosjekter. Blant annet skrev de sammen artikkelen *Dynamische Glittertheorie der Kristalle*.

I 1935 var Goepfert-Mayer den første som regnet ut sannsynligheten for dobbel-betastråling for isotoper. Vanlig betastråling kommer av at et nøytron går over til å bli et proton, som resulterer i at betastråler sendes ut av kjernen til atomet i form av et elektron. Ved dobbel-betastråling skjer dette med to nøytroner samtidig, og resulterer i at to elektroner sendes ut av atomkjernen i form av betastråler. Goepfert-Mayer fant også ut at denne prosessen er vanskelig å observere, siden dobbel-betastråling har en svært lang halveringstid. (Goepfert-Mayer, 1935).

4.2.3 Tiden ved Columbia-universitet

Etter flere år ved Johns Hopkins, ble Joseph Mayer tilbudt en jobb ved Columbia-universitetet i Chicago i 1939. Som ved Johns Hopkins, fikk ikke Goepfert-Mayer en betalt stilling ved Columbia, og hun måtte derfor nøye seg med å jobbe med forskningen sin uten lønn som tidligere. I løpet av denne tiden skrev paret sammen boka *Statistical Mechanics*. Denne boka fikk mye oppmerksomhet og ble viktig for å introdusere statistisk mekanikk for forskere med lite erfaring innen teoretisk fysikk. Suksessen til *Statistical Mechanics* ga Joseph Mayer svært godt omdømme blant kollegene på Columbia, men slik ble det ikke for Maria. Fakultetet så på

arbeidet som hovedsakelig Josephs verk, mens Marias ble sett på som assistent i arbeidet (Dash, 1973, s. 288-289). I realiteten hadde Maria en mye større del i dette arbeidet. Planen var å skrive en fagbok i statistisk mekanikk. Paret skrev et kapittel hver, og skrev så om igjen kapitlene til hverandre. Fordelen var at Joseph var kjemiker, mens Maria var fysiker. Dermed skrev de ut ifra ulike perspektiv, og fikk et overordnet blick på temaet fra to ulike vitenskapelige felt (Dash, 1973, s. 282). Til tross for at Maria var en like stor del av arbeidet som gikk inn i *Statistical Mechanics* som Joseph, hadde ikke bokens suksess like stor innvirkning på hennes omdømme som det hadde for Joseph (Dash, 1973, s. 289)

Dynamikken i forskerpar på Goepfert-Mayer sin tid varierte fra par til par. Et stort mangfold eksisterer, men noen generelle trekk er også observert fra denne tiden. Menn fikk ofte all ære gjennom publikasjoner, og kvinnene ble ofte kjent som assistenter til menn som var på veien mot suksess (Lykknes et al., 2012, s. 6). Noen kvinner var usikre på hvorvidt de burde gifte seg, ettersom det kunne virke som gifte kvinner ble nødt til å gå med på harde kompromisser som førte til konsekvenser for forskningen deres. Goepfert-Mayer selv har uttrykt at det var krevende å være en kvinnelig fysiker, men å være en gift kvinnelig fysiker var enda vanskeligere (Pycior, Slack & Abir-Am, 1996, s. 34). Forholdet mellom forskerpar av denne typen kan beskrives som «mannlig forsker med kone som assistent», men ikke alle forskerpar fra denne tiden passer inn i denne beskrivelsen. Det kan argumenteres for at Mayer-paret etter utgivelsen av *Statistical Mechanics* ikke var forsker og assistent heller. Det var i tiden på Columbia at Mayer følte hun selv begynte å bli tatt mer seriøst som forsker, og at hun jobbet som en profesjonell forsker. Tidligere hadde hun følt at hun lente seg på sin mann, men det var ikke tilfellet lengre (Dash, 1973, s. 294). Dette var spesielt i forbindelse med arbeidet hun gjorde sammen med Harold Urey om å separere isotoper av uran, som blir beskrevet senere i kapittelet. Selv om ekteparet Mayer samarbeidet mye gjennom årene, var heller ikke Joseph en sentral del av arbeidet som ledet opp mot Marias nobelpris i fysikk i 1963. Hun delte ikke prisen med sin mann, i motsetning til Marie og Irène Curie (Pycior et al., 1996, s. 4)

Goepfert-Mayer ble kanskje påvirket av noen av oppdagelsene som ble gjort i løpet av 1930-tallet når hun skulle bestemme seg for hva hun skulle forske på videre, for eksempel oppdagelsen av fisjon. En av forskerne som Goepfert-Mayer ble bedre kjent med ved Columbia-universitet var Enrico Fermi, og Fermi forsket på transurane grunnstoff i løpet av denne perioden. Enrico Fermi var en italiensk fysiker som tidlig i sin karriere var kjent for sitt arbeid med teoretisk fysikk knyttet til kvantemekanikken utarbeidet av blant annet Schrödinger og Heisenberg (Bretscher & Cockcroft, 1955). Fermi dro fra Italia av flere

grunner. Fermi tok avstand fra den anti-semittiske holdningen til Mussolini ettersom han var gift med en jøde (Bretscher & Cockcroft, 1955; Di Scala, 2005; Shindell, 2019, s. 98). På slutten av 1930-tallet ved Columbia jobbet Fermi videre med arbeidet han hadde begynt på i Italia på transurane grunnstoffer. Transurane grunnstoffer er de grunnstoffene som kommer etter uran, som derfor har atomnummer 93 eller høyere. Det første transurane grunnstoffet neptunium ble oppdaget først i 1940, altså noen år etter Fermis ankomst til Columbia (Fermi trodde han hadde oppdaget neptunium allerede i 1934, men ble kritisert av Ida Noddack. Var da Noddack foreslo at splitting av atomkjernen kunne vært en mulig forklaring på det han hadde observert (Sime, 2000). På 1930-tallet var transurane grunnstoff høyaktuelle siden fisjon nylig hadde blitt oppdaget av Meitner, Hahn og teamet deres. Fisjon er en prosess der en atomkjerne spaltes til to nye atomkjerne. Denne prosessen skjer spontant for ustabile kjerner, som vil si kjerner med høyt nukleontall. Transurane grunnstoff har spesielt høye nukleontall, og kan derfor fisjonere. Siden kjernereaktorer og atombomben avhenger av fisjon, er både kjernereaktorer og atombomben et resultat av forskningen på transurane grunnstoffer. Etter hvert ble det mulig å syntetisere supertunge grunnstoffer.

Rundt 1940 begynte Goeppert-Mayer å forske på transurane grunnstoffer og sjeldne jordarter (lantanoide). Det sies at Fermi hadde foreslått for henne at hun kunne forsøke å beregne hvorvidt det vil være en ny gruppe med sjeldne jordarter etter uran i periodesystemet. Goeppert-Mayer skriver selv at hun er takknemlig for Fermis forslag og interesse for dette forskningsspørsmålet i artikkelen hun skrev om dette (Goeppert-Mayer, 1941; Sachs, 1979). Som allerede nevnt, var det første transurane grunnstoffet neptunium blitt oppdaget rundt samme tid i 1940. Forskerne på denne tiden var derfor opptatte av å syntetisere enda tyngre grunnstoffer, og undersøke hva slags egenskaper de hadde. Dette var fortsatt ny vitenskap, og innen 1941 var neptunium og plutonium de eneste transurane grunnstoffene som hadde blitt produsert og observert. Forskere på denne tiden tenkte det fantes enda flere transurane grunnstoffer. Goeppert-Mayer forsket på dette, og ved hjelp av teoretiske beregninger kom hun frem til at disse grunnstoffene ville danne en ny kjemisk serie. (Goeppert-Mayer, 1941). Goeppert-Mayer skriver selv i artikkelen at denne forutsigelsen ikke kan være helt nøyaktig. Fortsatt stemte dette relativt godt for de transurane grunnstoffene som ble oppdaget mellom 1944 og 1961, som i dag er en del av den kjemiske serien aktinidene. Fermi selv var nok ikke en del av dette arbeidet til Goeppert-Mayer, ettersom Fermi etter 1941 dro mye frem og tilbake til Chicago som en del av Manhattanprosjektet (Dash, 1973, s. 290-291). I løpet av perioden ved universitetet fikk hun også overta forelesningene til Fermi ved behov. På samme

tid fikk hun en deltidsstilling som foreleser på Sarah Lawrence college, som på den tiden var en slags høyskole for kvinner med fokus på generell vitenskap og kunst. Der utarbeidet hun et naturfagskurs og jobbet som gjesteforeleser over lengre tid med lønn.

4.2.4 Harold Urey og Manhattanprosjektet

Det er i løpet av 1942 Goeppert-Mayer begynner å bli involvert i forskning tilknyttet USAs såkalte Manhattanprosjekt. Manhattanprosjektet var en av de første storskala militærindustrielle forskningsprogrammene noensinne, og ble påbegynt rundt starten av andre verdenskrig. Prosjektet begynte som et resultat av oppdagelser innen teoretisk fysikk i løpet av årene før krigen brøt ut. Fisjon var en av de viktigste oppdagelsene innen teoretisk fysikk som ledet til Manhattanprosjektet (Bowler & Morus, 2010, s. 463). Tusenvis av mennesker gjennom andre verdenskrig var med på prosjektet enten gjennom konstruksjon og drift av anlegg som ble brukt i forbindelse med prosjektet, eller mer direkte som en del av forskningen. (Reed, 2014, s. 125) Den amerikanske fysikeren Harold Urey var en del av Manhattanprosjektet, og arbeidet blant annet med å separere isotoper av uran. Urey var ekspert på deuterium, etter å ha oppdaget hydrogen-isotopet noen år før forskningen tilknyttet atombomben ved Columbia. Oppdagelsen av deuterium var viktig for utviklingen av masseødeleggelsesvåpen. Deuterium er en isotop av hydrogen som inneholder to nøytroner. Det ble oppdaget at fusjon av deuterium kan skape ukontrollerte atomkjernereaksjoner som kan bli brukt i hydrogenbomber, som er den samme reaksjonen som skjer i sola.

Ved Columbia oppdaget den amerikanske kjernefysikeren Eugene Booth og den tyske kjernekjemikeren Aristid von Grosse at uran-235 var det isotopet av uran som kunne fisjoneres (Shindell, 2019, s. 98). Etter hvert ble fysikere og kjemikere klar over hvordan fisjon potensielt kunne brukes til å skape eksplosive atomkjernereaksjoner. Av den grunn var det sentralt å finne metoder for separasjon av uran isotoper, slik at en hadde nok uran-235 til bruk i forskning på fisjon og atombomben. Plutonium-239 er et transurant grunnstoff og forekommer derfor ikke ute i naturen. Transurane grunnstoff er kunstig fremstilt, og er tyngre enn uran. Etter at plutonium-239 ble oppdaget i 1940 så forskere potensialet for bruken av denne isotopen i atombomber. Av den grunn ble det forsket mye på metoder for å syntetisere store mengder av grunnstoffet i forbindelse med Manhattanprosjektet, spesielt ved universitetet i Chicago (Robinson, 2019, s. 376-377). På lik linje med atombomber kan hydrogenbomber være ødeleggende på stor skala. Derfor var regjeringene rundt under andre verdenskrig interessert i forskere med kunnskapen til å utvikle slike våpen.

Urey fikk en sentral rolle som koordinator for flere underprosjekt under Manhattanprosjektet som omhandlet metoder for separering av isotoper og produksjon av deuterium (Reed, 2014, s. 131). Prosjektene han var en del av foregikk ved universitetet i Columbia, universitetet i Virginia og Harvard. To av de nærmeste kollegaene Urey ville ta med seg videre til Chicago etter krigen var Joseph Mayer og Maria Goeppert-Mayer (Shindell, 2019, s. 108-110). I 1942 sørget Urey for at Joseph Mayer fikk jobb ved Columbia, og inviterte Goeppert-Mayer med på ett prosjekt ved navn Columbia University Substitute Alloy Materials Project. Der ble hennes kjemi og fysikk kunnskaper tatt i bruk for å separere uranisotopen U-235 fra U-238. Goeppert-Mayer var regnet som en ekspert på å forstå forskjellen mellom spekteret til U-238 og U-235, og dette var essensielt for arbeidet hennes. Goeppert-Mayer ledet et lite forskerteam som skulle separere U-235 fra U-238. Teamet hadde ingen suksess med å separere disse isotopene fra hverandre i praksis. Men Goeppert-Mayer fikk i løpet av arbeidet samlet inn data om spekteret til forskjellige forbindelser av uran, siden det var store mangler i litteraturen på denne tiden. Det så etter hvert ut til at prosjektet kom til å ta veldig lang tid, som gjorde at ble det avbrutt av universitetet i løpet av 1943. Goeppert-Mayers arbeid tilknyttet masseødeleggelsesvåpen stoppet ikke selv om prosjektet som gikk ut på å separere uran isotoper ikke var noe stor suksess til slutt.

Den ungarsk-amerikanske teoretiske fysikeren Edward Teller var sentral for utviklingen av hydrogenbomben og var en av Goeppert-Mayers bekjente fra tiden i Göttingen. Han ga henne en ny mulighet, der hun fikk arbeide på «the opacity project» tilknyttet utviklingen av hydrogenbomben i Los Alamos, USA. «The opacity project» forsket på egenskapene til materie under ekstreme temperaturer, som de temperaturene i atomvåpen. Hun arbeidet sammen med Teller i Los Alamos på hydrogenbomben i løpet av mai 1945, bare noen få måneder før den første prøvesprengningen av en atombombe. Hun assisterte Teller med utregninger for å utvikle hydrogenbomben i forbindelse med prosjektet. Selv om Goeppert-Mayer ønsket å komme tyskerne i forkjøpet i utviklingen av atombomben, slet hun med denne tanken siden hun fortsatt var glad i Tyskland (Dash, 1973, s. 297). Arbeidet hennes med Teller en viktig for å forstå egenskapene til materie og stråling under svært høye temperaturer selv om det ikke var en direkte suksess. Denne kunnskapen bidro til utviklingen av hydrogenbomben som ble detonert i 1952.

4.2.5 Tiden ved universitetet i Chicago

Etter at krigen var over flyttet Joseph og Maria nok en gang til et nytt universitet etter, da Urey sikret Joseph jobb som professor for kjemiinstituttet og instituttet for kjernefysiske studier ved universitetet i Chicago. Uheldigvis for Maria ble det ikke noe lettere for henne å få en godt betalt stilling på lik linje med sin mann i den nye byen heller, siden antinepotismereglene som hadde satt en stopper for det tidligere, fortsatt var gjeldende. Urey tok kontakt med flere universitet for å finne et passende sted der Fermi, Mayer-paret og han selv kunne fortsette forskningen de drev med på Columbia. Da Urey og Mayer-paret diskuterte mulighetene for å gjennomføre et prosjekt i Chicago som gikk ut på å separere isotoper, fremhevet Urey at det ikke skulle være klare skiller mellom kjemi og fysikk (Shindell, 2019, s. 110). Goeppert-Mayer som på dette tidspunktet hadde erfaring som kjemiker og fysiker, var nok positiv til en slik forskningstradisjon. Som vanlig fikk hun jobbe som frivillig assosiert forsker og foreleser for fysikkinstituttet, men dette var uten betaling. Hun hadde fortsatt muligheten til å forelese, være med å ansette nye professorer, veilede studenter og forske på diverse prosjekter, selv om hun ikke hadde en egen professorstilling. Utenom Fermi og Urey var det også andre anerkjente forskere som flyttet til Chicago samtidig som Mayer-paret, blant annet Edward Teller. Det kom en rekke nye unge, talentfulle og ivrige forskere til instituttet Mayer var en del av i denne perioden (Sachs, 1979). I tillegg var den tysk-fødte fysikeren og nobelprisvinneren James Frank allerede ved universitet i Chicago som en del av kjemiinstituttet. Frank kom til Göttingen i 1921, og var en nær familievenn av Goeppert-Mayer. Instituttet hun var en del av inkluderte forskere fra flere forskjellige felt innen fysikk, som var positivt for Goeppert-Mayer med sin bakgrunn i kvantemekanikk, kjemi og matematikk. Resultatet av at alle disse store forskerne samlet seg i Chicago etter krigen var at Chicago ble forbundet med storhetstiden til Göttingen universitet på 1920-tallet. Chicago ble ett møtepunkt for anerkjente fysikere og kjemikere, som Goeppert-Mayer og mange andre ville være en del av (Sachs, 1979).

Ved Chicago jobbet Goeppert-Mayer videre med «the Opacity Project» en periode. Teller fikk flyttet prosjektet dit, og dermed fikk hun muligheten til å jobbe videre med prosjektet frem til det ble nedlagt i forbindelse med opprettelsen av nasjonal-laboratoriet Argonne i 1946.

Nasjonallaboratoriet Argonne erstattet «metallurgical lab» som var sentrum for noe av den viktigste forskningen i forbindelse med utviklingen av atombomben under krigen i Chicago. Blant annet ble forskningen ved «metallurgical lab» brukt til å se hvorvidt det var mulig å skape en kontrollert kjedereaksjon. Dette var essensielt for å kunne se hvorvidt det var hensiktsmessig å starte storskala produksjon av plutonium til bruk i atombomber og forskning

(Reed, 2014, s. 186). Nasjonallaboratoriet Argonne var stedet der mye av forskningen på kjernereaktorer foregikk etter krigen, og Fermi var en viktig del av denne forskningen. Her ledet Fermi gruppen som utviklet den første kjernereaktoren i 1942 (Dyson, 2004).

Goeppert-Mayer fikk seg en deltidsjobb ved Argonne etter at hennes tidligere student Robert Sachs ble leder for den teoretiske seksjonen ved laboratoriet. Ved Argonne fikk Goeppert-Mayer også betalt for arbeidet sitt, og kunne i teorien ha arbeidet der med fulltidsstilling, men hun ville ikke gå glipp av den spennende tiden ved universitetet i Chicago. Som tidligere nevnt ble Chicago sentrum for mye moderne forskning i fysikk og kjemi, ettersom flere anerkjente forskere flyttet dit (Sachs, 1979) Goeppert-Mayer ønsket kanskje ikke å miste muligheten til å være en del av dette ved å ta en fulltidsstilling ved Argonne. Goeppert-Mayer bestemte seg for å lære mer om kjernefysikk ved å diskutere og holde samtaler med sine kollegaer, i motsetning til å lese fagbøker for å lære om kjernefysikk. Hun hadde en fordel foran sine kollegaer siden hun ikke hadde vært en del av dette miljøet i lang tid og kunne bidra med et friskt perspektiv på spørsmålene de arbeidet med (Dash, 1973. s.309; Johnson, 1986).

Edward Teller var etter krigen interessert i å undersøke hvordan de forskjellige grunnstoffene blir dannet. Siden det er blitt observert forskjellige mengder av de tunge grunnstoffene kontra de lette grunnstoffene på jorda, mente Teller de blir skapt gjennom ulike prosesser (Goeppert-Mayer & Teller, 1949). Dette gjorde at han oppfordret Goeppert-Mayer til å arbeide sammen med seg for å undersøke teorien som gikk ut på at grunnstoffene ble til som et resultat av big bang (Dash, 1973, s. 310). En av oppgavene til Maria var å finne mengden av forskjellige isotoper som var viktig for å forstå hvordan grunnstoffene blir dannet. På denne tiden var det ikke klart for fysikere hvorfor noen isotoper var mer stabile enn andre, og mange mente det var essensielt å svare på dette for å forstå hvordan grunnstoffene blir dannet.

Goeppert-Mayer oppdaget at det var en sammenheng mellom de mest stabile isotopene, og antallet nukleoner i kjernen isotopene hun studerte. Oppdagelsen kom av at hun studerte store mengder eksperimentelle data om nukleoner. Hun var på utkikk etter sammenhenger i dataene som hun kunne ta i bruk for å si noe om hvordan kjernen var bygd opp i grunnstoffene. Ved å plote dataene hun hadde på ulikt vis, så hun til slutt et mønster hun kunne arbeide ut ifra (Goeppert-Mayer, 1963). De isotopene det var størst andel av var veldig stabile, og hun så at disse isotopene vanligvis hadde ett spesifikt antall nukleoner i kjernen, enten det var protoner eller nøytroner. Goeppert-Mayer fant at kjerner med antall nukleoner lik 2, 8, 20, 28, 50, 82 og 128 var mest stabil. Det vil si at kjernen enten inneholder antall protoner lik de magiske

tallene, eller antall nøytroner lik en av de magiske tallene. Kjernen er ekstra stabil i de tilfellene der kjernen har både antall protoner og nøytroner lik en av de magiske tallene. Såkalte magiske tall hadde blitt observert tidligere av den ungarsk-amerikanske fysikeren Eugene Wigner og andre på 1930-tallet. Han hadde tenkt at en skallmodell for kjernen kunne forklare stabiliteten de magiske tallene, men han var ikke helt overbevist. Det var mye mer data å se på tilknyttet diverse isotoper på Goeppert-Mayers tid. For å få mer sikre resultater analyserte hun derfor mer data i form av bindingsenergi, (radioaktiv) strålingsenergi og mengde-data fra isotopene hun hadde tilgang til. Stabiliteten hos de magiske tallene har gjort at vi i moderne tid har forsøkt å finne supertunge grunnstoff som har blitt produsert kunstig. Problemet med å syntetisere nye grunnstoffer, er at de er for ustabile til å eksistere lengre enn noen millisekund. I dag er det noen forskere som ser en mulighet for å finne stabile supertunge grunnstoff dersom kjernene består av magiske tall. Dersom denne øya eksisterer, må det skapes grunnstoff tyngre enn Og. Og er det tyngste grunnstoffet som er blitt syntetisert så langt. Det har vist seg å være svært krevende å lage tyngre grunnstoff enn Og, og er foreløpig ikke gjennomførbart (Eikeseth & Lykknes, 2019; Heilbron, 2005, s. 33; Murray & Wade, 2019, s. 398-399).

4.2.6 Skallmodellen for kjernen

Goeppert-Mayer forsøkte å forklare magiske tall ved hjelp av en skallmodell for kjernen der skallene representerer ulike energinivåer. Denne modellen bygger på samme prinsipper som Bohrs skallmodell for elektronene. I Bohrs skallmodell for elektronene, befinner elektronene seg i ulike energinivåer, ofte kjent som «skall» i stasjonære baner rundt kjernen. Ifølge kvantemekanikken kan atomer bare avgi eller ta opp energi når elektronene hopper til et annet energinivå. Forskerne som undersøkte de magiske tallene på 1930-tallet så kanskje for seg en liknende modell for nukleonene i atomkjernen (Dash, 1973, s. 315) Skallmodellen for atomkjernen beskriver nukleonene på liknende vis. Her er protoner og nøytroner plassert etter energinivå i form av skall. Goeppert-Mayer skriver i sin nobeltale at skallmodellen for atomkjernen har likheter med skallmodellen for elektronene, og at det derfor kunne tenkes at skallmodellen for atomkjernen ville forklare de magiske tallene (Goeppert-Mayer, 1963)

I 1939 publiserte Meitner og den østerriksk-britiske fysikeren Otto Robert Frisch en artikkel om fisjon. Sammen utledet de det teoretiske grunnlaget for fenomenet fisjon, og beskrev kjernen ved hjelp av en vanndråpemodel. Ifølge denne modellen vil en kjerne som blir utsatt for høy nok energi dele seg opp på lik linje med en vanndråpe som blir til to mindre

vanndråper (Meitner & Frisch, 1939). Vanndråpemodellen var akseptert av flere kjernefysikere, deriblant Bohr. Hovedproblemet til vanndråpemodellen var at den ikke kunne forklare de magiske tallene. Det at Goeppert-Mayer ikke var kjent med mange av de vanlige oppfatningene rundt disse aspektene i kjernefysikk, kan ha gjort at hun bidro med nye perspektiver og ikke lot seg stoppe av den godt aksepterte vanndråpemodellen, i motsetning til mange andre kjernefysikere på den tiden. Det var gjort forsøk tidligere på å lage en modell basert på skallstrukturen til atomkjerner, men på grunn av vanndråpemodellen som var mye brukt rundt 1930-tallet så de fleste fysikere ingen mulighet for at individuelle nukleoner kunne ha ett drivmoment, bare kjernen som en helhet. Siden vanndråpemodellen var godt innarbeidet på 1940-tallet, ville tilhengerne av denne modellen ikke akseptere skallmodellen så lett. I tillegg til at Goeppert-Mayer ikke satt inne med den samme overbevisningen om vanndråpemodellen som andre kjernefysikere, hadde hun bygd opp kunnskaper om kvantemekanikk som hun kunne ta i bruk for å angripe problemet.

I 1948 publiserte Goeppert-Mayer en artikkel som beskrev skallmodellen, men hun manglet en fullstendig teori som forklarte hvorfor denne skallstrukturen måtte eksistere. Det sies at Fermi og Goeppert-Mayer hadde en ganske uformell samtale seg imellom der Maria tok opp problematikken med modellen sin. I det Fermi reiste seg for å gå skal han a spurt Maria om hvorvidt det var noe evidens for spinn-bane kobling (Dash, 1973). Det sies at dette nøkkelspørsmålet gjorde at Maria innså hvordan hun kunne utarbeide en teori basert på spinn-bane kobling og skallstruktur for kjernen. Goeppert-Mayer satt seg ned med en gang og regnet seg frem til en konklusjon som hun viste frem til Fermi dagen etterpå.

Alle partikler har et intrinsisk drivmoment, såkalt spinn, uavhengig av hva slags banetilstand de har. For elektroner, protoner og nøytroner er spinn lik $\frac{1}{2} \hbar$, der \hbar er en konstant med drivmomentdimensjoner. Siden protonet og elektronet har elektrisk ladning, blir det skapt et magnetisk moment som følge av den intrinsiske spinn til partikkelen. I tillegg har partikler drivmoment på grunn av banetilstanden de har, det vil si hva slags bane de beveger seg i. Dette drivmomentet kan bare ha noen visse størrelser siden det er kvantisert. I tillegg til at størrelsen er kvantisert, er også retningen til drivmomentet kvantisert. En partikkel har et totalt drivmoment som er lik summen av drivmomentet til bane-drivmomentet, og spinn-drivmomentet. Siden disse også har en retning må dette også bli tatt hensyn til. Av den grunn kan det totale drivmomentet til en partikkel få mange forskjellige verdier. I et atom er det mange partikler som alle er kvantisert på ulike måter som følge av at både størrelsen og retningen til banedrivmomentet er kvantisert. Dermed blir det totale magnetfeltet for en

partikkel summen av magnetfeltet til både banen og spinn hos partikkelen. I et atom må alle disse magnetfeltene summeres for hver partikkel og det blir til slutt mange muligheter for å splitte opp energinivåene i atomet av den grunn. Det er dette som kalles spinn-bane kobling.

Ved å inkludere korreksjonene som følge av at energinivåene blir splittet opp, fikk hun nøyaktige verdier hun kunne bruke til å utarbeide en teori for skallmodellen. Forskjellen som følge av spinn-bane kobling er ganske liten for elektronenes energinivåer, men det viste seg å ha stor betydning for energinivåene i kjernen. Siden Maria hadde arbeidet med spørsmålet så lenge og nøye som hun hadde gjort, hadde hun kunnskapen som var nødvendig for å se løsningen så fort som hun gjorde.

Selv om Goepfert-Mayer nå hadde et solid teoretisk fundament for teorien sin, og hun var klar for å publisere en artikkel på emnet, ventet hun med å gjøre det siden hun var klar over en annen artikkel med en liknende løsning på problemet. I 1949 ba Maria om å få arbeidet sitt publisert i samme nummer av tidsskriftet *Physical Review* som den andre løsningen, slik at artiklene kunne sammenliknes. Goepfert-Mayer skrev to artikler og de ble endelig publisert i 1950. Mottakelsen av skallmodellen var stort sett positiv til å begynne med. Fermi aksepterte den raskt, og foreleste om skallmodellen kort tid senere (Dash, 1973, s. 321). Samtidig er det eksempler på akademikere som var skeptiske til modellen etter å ha vært i forelesninger til Goepfert-Mayer om emnet. Bruken av begrepet «magiske tall» var kanskje for mange forskere vanskelig å ta seriøst (Dash, 1973, s. 322).

Joseph Mayer besøkte Tyskland i 1950 og det ble sagt at flere fysikere, deriblant noen russiske fysikere, hadde forelest om skallmodellen samme året Marias artikler om modellen ble publisert. Ifølge et brev fra den tyske fysikeren Hans Jensen til Goepfert-Mayer, hadde Jensen klart å overbevise Heisenberg om teoriens gyldighet. Derfor virker det som om skallmodellen ble relativt raskt akseptert blant ledende fysikere på den tiden. Hans Jensen og kollegaer Otto Haxel og Hans E. Suess hadde kommet frem til samme konklusjon basert på de magiske tallene helt uavhengig av Goepfert-Mayers arbeid (Dash, 1973, s. 323; Johnson, 2004; Sachs, 1979). Jensen og Goepfert-Mayer sendte brev til hverandre der de diskuterte oppdagelsen deres, og slik begynte de å bli kjent med hverandre. I 1951 reiste Goepfert-Mayer til Tyskland der hun ble medlem av Heidelbergs vitenskapsakademi, som var en anerkjennelse av hennes autoritet som fysiker i delstaten Baden-Württemberg. Der ble hun enda bedre kjent med Hans Jensen, og sammen dro de på besøk til Bohr i København med flere andre tyske forskere etter invitasjon fra Bohr. Tidligere hadde Jensen foreslått at de skulle samarbeide om en publikasjon om skallstrukturen til atomkjerner. Etter å ha hatt lengre

samtaler med Jensen, følte nok Goepfert-Mayer at dette var et hensiktsmessig samarbeid og de ble enige om å skrive et verk på dette temaet. Sammen samarbeidet de om å skrive *Elementary Theory of Nuclear Shell Structure* som kom ut i 1955. (Goepfert-Mayer & Jensen, 1955). Sammen med Eugene P. Wigner delte Mayer og Jensen nobelprisen for fysikk i 1963 for sine bidrag i forbindelse med skallstruktur modellen for atomkjerner, og Maria Goepfert-Mayer ble den andre kvinnen til å vinne en nobelpris i fysikk etter Marie Curie.

I løpet av 1950-tallet flyttet flere og flere av kollegene til Mayer-paret vekk fra Chicago, og i 1960 gjorde de det samme. Mayer-paret var kanskje på utkikk etter en ny start. Enrico Fermi døde i løpet av denne perioden, i tillegg til at Urey-paret flyttet til San Diego. Goepfert-Mayer selv begynte å få helseproblemer, og det sies at opplevelsen ved Chicago ikke var som tidligere. (Dash, 1973, s. 334) Ekteparet Mayer var ute etter nye muligheter, og som resultat av tilbudene de fikk fra universitetet i San Diego bestemte de seg for å flytte. Begge fikk professorater ved universitetet i San Diego, California. For første gang fikk Maria lønn og en fullverdig stilling som professor med lønn etter å ha arbeidet store deler av livet som ulønnet forsker (Sachs, 1979). Naturligvis opplevde hun å bli professor som svært positivt, og så frem til å samarbeide med en ny gruppe forskere på tvers av mange felt innen fysikk. Uheldigvis for Maria, fikk hun slag kort tid etter de flyttet og helsen hennes forverret seg over tid i California. Hun fortsatte å forske, og forelese til tross for helsen sin og jobbet videre med skallmodellen sammen med Jensen. Sammen publiserte de en revidert versjon av skallmodellen i 1966. Hun døde 20. Februar 1972 av blodpropp.

Tabell 1 5: Tabellen viser noen av Maria Goepfert-Mayers viktigste vitenskapelige bidrag og tidspunktet til de forskjellige bidragene

Oversikt over noen av Maria Goepfert-Mayers viktigste vitenskapelige bidrag	
1930	Doktoravhandling: Avhandlingen gikk ut på å undersøke sannsynligheten for at elektroner som hopper til ett lavere energinivå rundt kjernen i et atom vil slippe ut en eller to fotoner. Basert på teoretiske beregninger hun hadde gjort, fant hun at sannsynligheten for at to fotoner kunne slippes ut var svært lav (Goepfert-Mayer, 1931). Oppdagelse var viktig for fremtiden, ettersom resultatene gjorde det mulig å konstruere lasere på 1960-tallet (Grzybowski & Pietrzak, 2013)
1935	Dobbel betastråling: Goepfert-Mayer regnet ut sannsynligheten for dobbel betastråling, der to nøytroner omdannes til protoner i en atomkjerne, og resulterer i at to elektroner sendes ut av atomkjernen i form av betastråler

1941	<p>Om sjeldne jordarter og transurane grunnstoffer: Goeppert-Mayer gjorde beregninger som til en viss grad forutså egenskapene til de transurane grunnstoffene som ble oppdaget mellom 1944 og 1961. Denne forskningen var viktig siden det ikke var mulig å forske på mange av disse grunnstoffene eksperimentelt på dette tidspunktet.</p>
1955	<p>Elementary theory of nuclear shell structure: Goeppert-Mayer og Hans D. Jensen beskriver teorien bak skallmodellen for atomkjernen som forklarte de magiske tallene som hadde vært observert av fysikere siden 1930-tallet. Denne oppdagelsen førte til at de delte nobelprisen for fysikk i 1963.</p>

5 Kjennetegn fra FRA-kategoriene i historien om Maria Goeppert Mayer

I denne delen av oppgaven undersøker jeg hvordan Goeppert-Mayers historie kan belyse ulike NOS-aspekter. Først beskriver jeg hvordan Goeppert-Mayers historie kan belyse kognitiv-epistemiske NOS-aspekter (kapittel 5.1), og deretter hvordan Goeppert-Mayers historie kan belyse sosio-institusjonelle kategorier (5.2). På samme vis som i undersøkelsen av læreboktekstene i del 1, blir FRA tatt i bruk for å identifisere kjennetegn fra FRA-kategoriene i den biografiske teksten (4.2) om Goeppert-Mayer. For å identifisere NOS-aspekter i historien til Goeppert-Mayer ble livet hennes studert og sett i lys av kategoriene fra FRA-modellen slik de er beskrevet i kapittel 2.5 og 2.6.

Noen av FRA-kategoriene er ikke med i diskusjonen under. For disse FRA-kategoriene ble det ikke funnet noen gode eksempler på kjennetegn i den biografiske teksten om Goeppert-Mayer. Det betyr ikke nødvendigvis at det ikke var noen kjennetegn fra disse FRA-kategoriene i den biografiske teksten, men at disse NOS-aspektene var knyttet til en kontekst som virket krevende eller urealistisk å konstruere et undervisningsopplegg rundt. Noen av de kognitive-epistemiske kategoriene er utelatt, siden den faglige forståelsen som kreves ikke kan tilpasses ungdomsskolenivå.

5.1 Kognitiv-epistemiske kategorier

Basert på beskrivelsene av de kognitiv-epistemiske FRA-kategoriene fra kapittel 2.5 har jeg undersøkt hvordan Goeppert-Mayers historie kan belyse NOS-aspekter fra disse FRA-kategoriene.

Den første kategorien jeg tar for meg er *vitenskapelige praksiser*. Goeppert-Mayer kom med flere bidrag i løpet av sin karriere. Det er kanskje teorien om skallmodellen for atomkjernen som hun utarbeidet for å forklare de såkalte magiske tallene (2, 8, 20, 28, 50, 82 og 126), og som hun fikk nobelprisen for i 1963 hun er mest kjent for (Johnson, 1986). Atomkjerner som inneholder antall nukleoner likt en av de magiske tallene, er mer stabile enn andre atomkjerner. Eksempelvis har ^{50}Sn 50 protoner og vil derfor ha isotoper som er mer stabile enn nabogrunnstoffene ^{49}In og ^{51}Sb . Isotoper av grunnstoff med 50 nøytroner er også mer stabile. Dersom en isotop har antall protoner likt et magisk tall, og antall nøytroner likt et

magisk tall er det dobbelt stabilt. På grunn av dette mønsteret, kan de magiske tallene forutsi hvor stabile noen grunnstoff er.

I 1940 ble de første kunstige transurane grunnstoffene neptunium og plutonium syntetisert av de amerikanske fysikerne Edwin M. McMillan og Philip H. Abelson (Heilbron, 2005, s. 332). Helt opp til moderne tid har det blitt syntetisert nye tunge og supertunge grunnstoff som utvider periodesystemet. Disse grunnstoffene er for ustabile til å eksistere naturlig, siden størrelsen på atomkjernen fører til at disse grunnstoffene blir brutt ned i løpet av svært kort tid. Seaborg tenkte det kunne eksistere en stabil øy med grunnstoff som er tyngre enn disse nyoppdagede grunnstoffene (Heilbron, 2005, s. 333).

De magiske tallene til Mayer forutså stabile kjerner som kunne eksistere en plass mellom grunnstoff nr 114 og 120 på periodesystemet (Eikeseth & Lykknes, 2019, s. 138) Så langt er ikke den stabile øya nådd da det er krevende å lage enda tyngre grunnstoffer enn 118 som sist ble oppdaget. Fortsatt er det mulig å se hvordan Mayers magiske tall kan ha en forutsigende evne som i tråd med prinsippene om klassifikasjon for å belyse NOS i FRA-modellen. De magiske tallene er en måte å klassifisere noen grunnstoffer på etter stabilitet, og klassifikasjon er en sentral del av vitenskapelige praksiser i FRA (Erduran & Dagher, 2014, s. 67). Klassifikasjon er ifølge Erduran og Dagher (2014) en aktivitet som bør kunne ha en forutsigende egenskap også som går utover ren sortering.

Mayers magiske tall kan være med på å fremheve periodesystemets forutsigende evne, i tråd med verdier om vitenskapelige praksiser fra naturvitenskapens egenart. Dersom det viser seg at den stabile øya ikke eksistere, kan dette fortsatt utforskes for å undersøke hvordan teorier og modeller må endres over tid i lys av ny kunnskap. Goeppert-Mayer var veldig teoretisk anlagt i arbeidet sitt, og gjorde en del teoretiske beregninger for å komme frem til flere av oppdagelsene sine. Både doktoravhandlingen hennes, og Matematiske beregninger var også sentrale for skallmodellen.

Den neste kategorien jeg tar for meg er *Metoder- og metodologiske regler*. Elever kan ha ett forenklet syn på hvordan forskere jobber som ikke reflekterer de forskjellige metodene som forskere utnytter. Typisk for lærebøker er myten om den vitenskapelige metoden, som elever kan oppfatte som universell og fast for alle forskere (Erduran & Dagher, 2014, s. 69; Knain & Kolstø, 2011, s. 34; McComas, Clough & Almazroa, 1998, s. 57). Goeppert-Mayer har i løpet av sin karriere arbeidet på forskjellige prosjekter og har jobbet mye basert på teoretiske beregninger. I tillegg arbeidet hun også eksperimentelt (Banerjee, 2007; McGrayne, 1995).

Teorien ble ifølge Goeppert-Mayer utviklet ved å analysere store mengder eksperimentell data fra atomkjerner for å se hvilke mønster og avvik som kom til syne. Forskjellig data ble satt opp mot hverandre og sammenliknet på ulikt vis (Goeppert-Mayer, 1963). Ved å analysere bindingsenergien til nukleoner for noen grunnstoff, kunne Goeppert-Mayer se et mønster. For kjerner med magiske tall var bindingsenergien sterk, men blir det lagt til et nukleon blir bindingsenergien svak. Altså må det mye mer energi til for å avgi en alfapartikkel hos en kjerne med nukleon antall lik det magiske tallet 128 enn en kjerne med antall nukleoner lik 125. Goeppert-Mayer påpekte at dette minner om det samme fenomenet som er observert for edelgassene. Dersom man skal fjerne et elektron fra en edelgass vil det kreves mye ioniseringsenergi. For andre grunnstoff kreves det mye mindre ioniseringsenergi. Goeppert-Mayer så en sammenheng mellom disse fenomenene og ville derfor undersøke om det var mulig å utvikle en skallmodell for kjernen som liknet på elektronskallmodellen. Ved å sammenlikne Goeppert-Mayers eksperimentelle tilnærming med andre forskere fra andre vitenskapelige grener, kan det være mulig å utforske domene-spesifikke kontra domene-generelle aspekter ved naturvitenskapens egenart gjennom metodene til forskerne (Erduran & Dagher, 2014, s. 97). Elever kan diskutere hvorvidt hennes metodologi er universell for alle vitenskapelige domener, eller om det er noen vitenskapelige grener der en slik metodologi ikke er hensiktsmessig å ta i bruk. I tillegg er historien til Goeppert-Mayer med på å belyse mangfoldet av metoder. Historien til Goeppert-Mayer kan være med på å belyse at ikke alle forskere jobber med eksperimenter på laboratorier for å komme med oppdagelser.

5.2 Sosio-institusjonelle kategorier

Basert på beskrivelsen av de sosio-institusjonelle kategoriene i kapittel 2.6 har jeg undersøkt hvordan Goeppert-Mayers historie kan belyse NOS-aspekter fra de sosio-institusjonelle kategoriene

De første kategoriene jeg tar for meg av de sosio-institusjonelle kategoriene er *Det Vitenskapelig etos* og *Sosial verifisering og formidling av forskning*. Goeppert-Mayer opplevde vanskeligheter med å få seg en lønnet professorstilling på universitetene. Akkurat hvorfor hun hadde vanskeligheter med dette er nok en kombinasjon av flere faktorer, men det var nok ikke på grunn av mangel på kompetanse. Goeppert-Mayer viste sin kompetanse som fysiker allerede da hun skrev doktorgraden sin, når hun regnet ut sannsynligheten for at elektroner som hopper til ett lavere energinivå rundt kjernen i et atom vil slippe ut en eller to fotoner i 1931 (Goeppert-Mayer, 1931). Selv etter hennes arbeid med skallmodellen var det

ikke før hun flyttet til San Diego på 1960-tallet at hun fikk en fullverdig professorstilling. *Det vitenskapelige etos* sier at kvaliteten på forskningen ikke skal bedømmes etter bakgrunnen til forskeren. Til tross for det var ikke universitetene interesserte i å ansette Goeppert-Mayer. Grunnen hun ble gitt var at de strenge anti-nepotisme reglene skulle ivareta integriteten til universitetet. Samtidig var Goeppert-Mayer forsker i en tid der universitetene var mer mannsdominerte enn de er i dag. Historien til Goeppert-Mayer kan fortelle om noen av utfordringer som kvinnelige forskere har møtt og møter i vitenskapssamfunnet.

Om kommunalitet skriver Merton at å tilbakeholde vitenskapelig kunnskap går imot det vitenskapelige etos. Dette kommer av at vitenskapelig kunnskap ikke er eid av individer, men skal være felles for alle. Manhattanprosjektet som Goeppert-Mayer var en del av holdt forskningen som ble gjort hemmelig for resten av verden. Det var et hemmelig prosjekt som kom med oppdagelser som var revolusjonerende, men bare de som var en del av Manhattanprosjektet fikk tilgang til denne kunnskapen. Dette går imot holdningene i *det vitenskapelige etos*. Samtidig var dette kanskje nødvendig? Andre verdenskrig tok slutt tidligere enn denne krigen ellers ville gjort som følge av atombombene som ble sluppet på Japan. Var det derfor greit å holde prosjektet hemmelig? Altså stiller Goeppert-Mayers rolle i Manhattanprosjektet noen interessante etiske spørsmål som kan føre til refleksjon rundt *det vitenskapelige etos*. Goeppert-Mayer utsatte også publiseringen av teorien om skallmodellen, men dette var nok ikke med en ambisjon om å tilbakeholde kunnskapen hun satt med. Hun var ifølge Sachs (1979, s. 323) ute etter å sammenlikne sine resultater med resultatene til Jensen, og hans medarbeidere. Det var tilsynelatende ikke for å begrense spredningen av funnene sine.

Merton (1973, s. 275-277) sier blant annet at siden vitenskapelig arbeid er under konstant vurdering fra vitenskapssamfunnet, er nøytralitet i forskningen viktig for å bevare integriteten til forskningen. Ifølge verdien om organisert skeptisisme skal vitenskapelige påstander evalueres på bakgrunn av testbarhet og metodologien som forskeren har brukt. Organisert skeptisisme er holdningen om at kritisk argumentasjon er det eneste som kan motbevise vitenskapelige påstander. Kategorien *sosial verifikasjon og formidling av forskning* handler om hvordan dette skjer i praksis. Som FRA modellen påpeker deler forskere sine funn gjennom publikasjoner og konferanser. Goeppert-Mayer er ikke noe unntak her. Gjennom publikasjoner og konferanser får andre forskere muligheten til å granske påstandene som forskeren kommer med. Goeppert-Mayers første artikkel om skallmodellen ble kritisert som følge av at hun ikke hadde et godt nok teoretisk grunnlag. Basert på at modellen hennes brøt

med vanndråpemodellen som var en teori for fisjon, ble arbeidet kritisert. Først når Goeppert-Mayer senere kom med et bedre teoretisk grunnlag som også inkluderte at spinn-bane kobling var ansvarlig for stabiliteten til de magiske tallene ble skallmodellen akseptert av vitenskapssamfunnet. Vitenskapelig kunnskap blir til gjennom diskusjoner og gransking av p st nder, noe Goeppert-Mayers historie kan belyse.

Politiske makt-strukturer: Siden Goeppert-Mayer var en del av Manhattanprosjektet (Johnson, 1986), og tok del i utviklingen av hydrogenbomben på Los Alamos (Grzybowski & Pietrzak, 2013), er det relevant å diskutere innflytelsen staten har på forskning i forbindelse med undervisning om Goeppert-Mayer. Situasjonen kan være med på å belyse hvordan forskere er avhengig av økonomisk støtte for å forske, og hvordan staten eller andre oppdragsgivende med egne interesser kan påvirke hva som skal prioriteres etter hva slags prosjekter som blir satt i gang av en stat. Siden forskning egentlig skal være nøytral og tilgjengelig for alle, er det ikke problematisk at statlige eller andre institusjoner kontrollerer forskningen og den retningen den tar? Dersom vitenskapelig kunnskap ikke skal ha noe eierskap, kan det diskuteres hvorvidt dette gjelder i situasjoner som med Manhattanprosjektet.

 konomiske system: For denne kategorien vil det argumenteres for at Goeppert-Mayers del i statlige prosjekter som Manhattanprosjektet også kommer inn under det økonomiske system. Det politiske og økonomiske aspektet knyttet til Manhattanprosjektet henger sammen. Forskere er avhengig av midler til forskningsprosjektene sine, og disse midlene kan bli tildelt av staten for å gå til militære formål som utviklingen av våpen i forbindelse med krigføring. Alternativt kunne disse midlene gått til prosjekter for utviklingen av medisiner, vaksiner eller prosjekter knyttet til romfartsprogrammer. Dersom staten eller andre oppdragsgivende bestemmer hvilken forskning som skal prioriteres, vil dette endre hva slags kunnskap som blir oppdaget til slutt. Elever kan dermed se konsekvensene økonomi har på hva som blir forsket på dersom dette blir tatt opp i en eventuell undervisningstime.

Sosiale verdier i vitenskapen: I tillegg kan det være interessant å se på hva Goeppert-Mayer tenkte om sine bidrag til utviklingen av masseødeleggelsesvåpen. Atombomben hadde en betydelig effekt på verden. Hun var ifølge Grzybowski og Pietrzak (2013) glad for at hennes del i utviklingen av hydrogenbomben var så liten som den var, men hvor involvert var hun egentlig? Goeppert-Mayer tok del i et prosjekt som stiller en del etiske spørsmål rundt hva forskning brukes til. På den ene siden sluttet andre verdenskrig som et resultat av atombomben, men i den prosessen ble det konstruert et svært dødelig våpen som har preget verden siden de ble sluppet over Japan. Goeppert-Mayers del var som nevnt egentlig ikke en

suksess. Kan Goeppert-Mayer fraskrive seg ansvaret hun har i konstruksjonen av atombomben?

Sosiale organisasjoner og interaksjoner: Denne kategorien handler om hvordan det er å arbeide og leve som forsker, og hvordan forskere samhandler med hverandre og andre institusjoner (Erduran & Dagher, 2014). Goeppert-Mayer var aktiv store deler av midten av 1900-tallet, og forsket på flere universitet. Hun arbeidet på egenhånd, og arbeidet sammen med andre på prosjekter og i team. Som kvinne fikk hun ikke en fullstendig professorstilling, og forsket stor deler av livet sitt uten lønn (Banerjee, 2007; Johnson, 1986; Sachs, 1979). Rossiter (1982) argumenterer for at det var krevende å få seg en jobb i høyere utdanning for kvinnelige forskere som Goeppert-Mayer i USA på første halvdel av 1900-tallet. For Goeppert-Mayer endte det ofte opp med å bety at hun takket ja til assistent stillinger uten lønn. Det er typisk at kvinner ikke når like høyt opp som menn, og i Goeppert-Mayers tilfelle slet hun med å få en betalt stilling der hennes kvalifikasjoner ble verdsatt. Historien til Goeppert-Mayer kan være med på å belyse NOS-aspekter relater til hvordan det var å være ansatt ved et universitet på 1900-tallet, og dette kan sammenliknes med situasjonen i dag. Hvilke forskjeller og likheter kan vi se mellom en moderne kvinnelig forskers liv som forsker og Goeppert-Mayer? Helt opp til moderne tid har det vært krevende for kvinner å få tildelt høye posisjoner på universiteter i USA som MIT og Harvard. Først rundt årtusenskiftet ble det gjort tiltak for å endre på dette. Selv om det er observert forbedringer, er ikke kjønn fullstendig likestilt på universitetene selv i dag (Rossiter, 2012). Fortsatt er bare rundt 30% av verdens forskere kvinner, som tyder på at kvinnelige forskere fortsatt ikke er likestilt med menn (UNESCO, 2019). Mange er kanskje ikke klar over at dagens kvinner også opplever liknende forskjellsbehandling som Goeppert-Mayer som følge av kjønn. Dette kan diskuteres i klasserommet ved hjelp av Goeppert-Mayers historie.

Del 3: Undervisningsopplegget

6 Innledning

Hensikten med denne delen av studien er å lage et undervisningsopplegg basert på den vitenskapshistoriske studien om Goepfert-Mayer fra kapittel 4.3, som kan belyse noen NOS-aspekter i et historisk case. Undervisningsopplegget er en rollespilldebatt som skal få elevene til å reflektere eksplisitt om noen sentrale NOS-aspekter. Til å begynne med blir målet for undervisningsopplegget utdypet (6.2), og rollespilldebatt som metode blir beskrevet (6.3). Undervisningsopplegget har en varighet på 4 skoletimer over to uker med hjemmearbeid. Innholdet i dette undervisningsopplegget blir beskrevet, og en begrunnelse for valgene som er tatt i undervisningsopplegget blir presentert deretter (6.3).

6.1 Målet for undervisningsopplegget

Et undervisningsopplegg der NOS skal være i sentrum, kan naturlig nok ikke inkludere alt som er sentralt for NOS. Undervisningen må tilpasses etter nivået på elevene. Hvilke kategorier fra FRA en velger å fremheve i et undervisningsopplegg bestemmes ut ifra nivået til elevene og hvilke NOS-aspekter som er relevante for temaet til undervisningen (Erduran & Dagher, 2014, s. 166). For dette undervisningsopplegget er temaet Maria Goepfert-Mayer og hennes liv som forsker. I kapittel 4.3 ble det presentert en biografisk tekst om Goepfert-Mayer, som ble undersøkt i lys av FRA. Noen av FRA-kategoriene har tydelige karakteristikk som er enklere å finne igjen i historien til Goepfert-Mayer, mens andre kategorier ikke var like enkle å identifisere. Ikke alle aspekter ved NOS må være tilstede i alle historier, og i kapittel 5.1 og 5.1 del av oppgaven ble aspekter fra de FRA kategoriene som tydelig kommer frem i Goepfert-Mayers historie identifisert.

Ut ifra analysen av biografien til Goepfert-Mayer var det tydelig at Goepfert-Mayers historie egner seg til å belyse det sosio-institusjonelle systemet. NOS-aspekter fra de sosio-institusjonelle kategoriene er ikke godt representert i den norske læreplanen. I kapittel 3.2 i studien kom det frem at læreplanen for naturfag mangler kompetansemål som inkluderer sosio-institusjonelle NOS-aspekter utenom ett unntak i læreplanen:

- Forklare betydningen av å se etter sammenhenger mellom årsak og virking og forklare hvorfor argumentering, uenighet og publisering er viktig i naturvitenskapen

I kapittel 3.2 argumenteres det for at kompetansemålet over kan sies å inneholde noen NOS-aspekter fra de sosio-institusjonelle kategoriene. De sosio-institusjonelle kategoriene er en sentral del av den naturvitenskapelige prosess som er viktig for NOS. Av den grunn vil

undervisningsopplegget bygge på kategoriene *politiske-maktstrukturer, sosiale interaksjoner og organisasjoner, økonomiske system, sosiale verdier og det vitenskapelige etos*.

Rollespilldebatt innebærer at elevene må kunne beherske argumentasjon. I tillegg til at argumentasjon er en del av kompetansemålet over, står det også at argumentasjon er en del av de muntlige ferdighetene som elever skal bruke i naturfag (Utdanningsdirektoratet, 2015).

Undervisningsopplegget kan være med på å nå en del av dette kompetansemålet siden argumentasjon vil være sentralt for opplegget. På bakgrunn av kategoriene som er valgt, vil undervisningsopplegget handle om Goepfert-Mayers arbeid i forbindelse med Manhattanprosjektet, og hvordan det var å være en kvinnelig forsker på 1900-tallet. Goepfert-Mayers deltakelse i Manhattanprosjektet og livet som kvinnelig forsker åpner opp for en diskusjon rundt flere aspekter ved NOS, som kan utforskes av elevene i klasserommet.

6.2 Bakgrunn for undervisningsopplegget

I artikkelen til Rudge og Howe (2009) blir det argumentert for at det bør undervises eksplisitt om vitenskapshistorie, ikke bare implisitt. Å undervise eksplisitt om vitenskapshistorie innebærer å inkludere planlagte aktiviteter og diskusjoner i undervisningen der elevene reflekterer rundt NOS. En implisitt tilnærming legger ikke opp for planlagte aktiviteter og diskusjoner dedikert til refleksjon rundt NOS. Isteden forventes det at refleksjon rundt NOS skjer i når elevene får sammenlikne sin forståelse av et vitenskapelig fenomen med tidligere forskeres forståelse av vitenskapelige fenomen. Rudge og Howe argumenterer for at vitenskapshistorie kan bli brukt til å utforske holdningene elever har til vitenskapen, og ikke hvorvidt elevene deler samme tolkning av vitenskapelige fenomen som forskere fra vitenskapshistorien. Et eksempel på en holdning en elev kan ha til vitenskapen er for eksempel at det bare finnes en vitenskapelig metode, eller at vitenskapelig kunnskap ikke endres med tiden. Læreren bør derfor stille spørsmål underveis i undervisningen for å få elevene til å reflektere eksplisitt over NOS og de holdningene elevene har til vitenskapen. Ifølge Ødegaard (2003) kan dramatisering bli brukt til å undervise naturfag, men undervisning med drama i naturfag avhenger av en lærer som legger opp til refleksjon for elevene. Dramatisering i klasserommet kan for eksempel blir gjort ved hjelp av rollespill, der elevene setter seg inn i en rolle. I denne oppgaven blir prinsippet om å undervise vitenskapshistorie eksplisitt ved å stille spørsmål til elevene for å få dem til å reflektere over NOS utnyttet i konteksten rollespilldebatt. Rollespilldebatt er en debatt der elevene setter seg inn i en rolle.

På hvilken måte er debatt en egnet undervisningsform for å belyse sentrale NOS aspekter fra de sosio-institusjonelle kategoriene i FRA-rammeverket? Ødegaard (2003) hevder dramatisering i klasserommet egner seg godt for å utforske vitenskapens rolle i samfunnet, og at dramatisering egner seg for å utforske saker der det er økonomiske, teoretiske eller politiske interessekonflikter. Økonomiske og politiske interessekonflikter i vitenskapen er en del av de sosio-institusjonelle FRA-kategoriene. Gjennom en debatt kan elevene reflektere rundt spørsmål, men også påstander de får om aspekter relatert til NOS. Mork (2009b) peker på flere fordeler ved å bruke argumentasjon i naturfag, som er en viktig del av debatter. Spesielt peker Mork på tre målsettinger for å jobbe med argumentasjon i naturfag:

- Å gi elevene kunnskaper om NOS: Lære hvordan naturvitenskap er konstruert
- Å gi elevene grunnlag for deltagelse i demokratiske prosesser: Naturvitenskap gjennomsyrrer mange dagsaktuelle tema
- Å utvikle mer avanserte ferdigheter enn å gjengi og anvende kunnskaper: Utvikle kritisk tenkning: Begrunne påstander, kritisk vurdere informasjon og andres argumenter (Mork, 2009b).

Selv har Mork (2009a) utviklet en metode for rollespilldebatter i klasserommet. Denne rollespilldebatten går ut på å omdanne klasserommet til et slags tv-studio der læreren tar rollen som programleder/debattleder. Elevene blir delt inn i grupper og blir bedt om å argumentere for hver sin side av en sak. I Morks rollespilldebatt blir elevene bedt om å argumentere for og imot ulv i Norge. Resten av elevene fungerer som publikum mens debatten foregår. Elevene i publikum kan stille spørsmål underveis for å ta del i debatten, selv om de ikke er en del av gruppene som debatterer mot hverandre.

Undervisningsopplegget mitt er basert på Morks (2009a) rollespilldebatt, men vektlegger også eksplisitt refleksjon rundt NOS. Debatten vil bestå av saker jeg har konstruert som er basert på historien til Goeppert-Mayer. Sakene som blir debattert er basert på Goeppert-Mayers arbeid med utviklingen av masseødeleggelsesvåpen, og utfordringene Goeppert-Mayer opplevde med å få seg en betalt professorstilling som kvinne i løpet av 1900-tallet.

6.3 Beskrivelse av undervisningsopplegget

Følgende er en beskrivelse av undervisningsopplegget. Først beskrives innholdet i hver del av undervisningen, deretter begrunnes innholdet i hver del av undervisningsopplegget. Siden del 1 og del 2 av undervisningsopplegget er nesten identiske, slås kommer begrunnelsen for begge delene etter innholdet i del 2 er beskrevet. Undervisningsopplegget er tilrettelagt for

ungdomsskoleelever og vil ha en varighet på 4 ordinære skoletimer (180 minutt). I denne beskrivelsen av undervisningsopplegget er det tatt utgangspunkt i at de 4 skoletimene består av to dobbelttimer med en ukes mellomrom der elevene gjør hjemmearbeid i forbindelse med undervisningsopplegget. Jeg har inkludert en tabell med en oversikt over hvordan innholdet i undervisningsopplegget er fordelt på de tre timene, men den detaljerte beskrivelsen av undervisningsopplegget kommer etter tabellen. Det forutsettes at elevene har hatt undervisning om atommodellen før de gjennomfører dette undervisningsopplegget, siden skallmodellen blir nevnt og forklart med begreper som elever lærer når de arbeider med atommodellen.

Tabell 1 6: Tabellen viser tidsrammen for undervisningsopplegget

Tidsramme for undervisningsopplegget	
Time	Løpet i undervisningsopplegget
Hjemmearbeid 1	<ul style="list-style-type: none"> - Fagtekst: Elevene får i lekse å lese en fagtekst om Maria Goeppert-Mayer
1. time	<ul style="list-style-type: none"> - Introduksjon av opplegget (15 min): Elevene blir introdusert for opplegget - Elevene forbereder seg på debatt (30 min): Elevene blir delt i grupper og får beskjed om hvilken debatt de skal ta del i. Elevene leser og diskuterer fagteksten sammen i gruppene for å forberede seg på debatten. Lærer veileder og stiller elevene eksplisitte spørsmål om NOS
2. time	<ul style="list-style-type: none"> - Elevene fortsetter med å forberede seg på debatt (40 min): Elevene fortsetter med samme forberedelser fra 1. time - Elevene får utdelt hjemmearbeid (5 min): Elevene får hjemmelekse knyttet til debattene

Hjemmearbeid 2	<ul style="list-style-type: none"> - Hjemmearbeid (1 uke): Elevene jobber videre med forberedelser til debatten
3. time	<ul style="list-style-type: none"> - Elevene fortsetter med å forberede seg på debatt (45 min): Elevene fortsetter med forberedelser. Læreren går rundt og intervjuer hver elev mens resten av klassen fortsetter med forberedelsene til debatten
4. time	<ul style="list-style-type: none"> - Første debatt (15 min): Den første debatten blir gjennomført - Andre debatt (15 min): Den andre debatten blir gjennomført - Refleksjon og avslutning (30 min): Læreren holder en diskusjon i plenum om debattene, og stiller spørsmål til refleksjon om NOS

Introduksjon av opplegget: Introduksjonsdelen av opplegget vil ha en varighet på rundt 15 minutter. I første time blir elevene forklart hva opplegget går ut på ved at læreren beskriver hva som skal skje de neste 4 naturfagstimene. Elevene får vite at de skal ta del i en debatt, der de skal argumentere for hver sin side av en sak. Sakene de skal diskutere handler om den nobelprisvinnende fysikeren Maria Goeppert-Mayer og hennes liv som forsker. På forhånd har elevene fått i hjemmelekse til denne timen å lese en fagtekst om Maria Goeppert-Mayer. Denne fagteksten orienterer seg hovedsakelig mot hennes arbeid med Manhattanprosjektet og livet som kvinnelig forsker på amerikanske universitet.

Begrunnelse for introduksjonsdelen/fagteksten: Introduksjonen har som formål å forberede elevene på undervisningsopplegget og hva det går ut på. Fagteksten har som formål å gi elevene nødvendig informasjon for å kunne ta del i en debatt rundt Goeppert-Mayers del i Manhattanprosjektet og situasjonen for kvinnelige forskere på universitetene under første halvdel av 1900-tallet. Fagteksten beskriver skallmodellen til Goeppert-Mayer, men ikke i detalj. Begrunnelsen for at fagteksten ikke går detaljert inn i en beskrivelse av skallmodellen,

er at skallmodellen ikke står i sentrum for undervisningsopplegget. Dessuten kreves det kunnskaper om kvantemekanikk for å forstå teorien bak skallmodellen fullstendig. Skallmodellen er med siden den er sentral for Goeppert-Mayers historie. Koblingen til elektronskallmodellen er for å hjelpe elevene med å forstå skallmodellen, ved å ta i bruk teori de allerede vet om atomets struktur. I fagteksten benytter jeg «oktettregelen» for å sammenlikne elektronskallmodellen med skallmodellen for atomkjernen. Bruken av oktettregelen i naturfagundervisning kan være problematisk siden den kan gi elever misoppfatninger om egenskapene til kjemiske bindinger, i tillegg til at oktettregelen ikke gjelder for alle molekyler (Levy Nahum, Mamlok-Naaman, Hofstein & Taber, 2010).

Grunnen til at fagteksten fokuserer på Manhattanprosjektet og hennes liv som forsker, er at det er mulig å belyse flere NOS-aspekter fra de sosio-institusjonelle FRA-kategoriene basert på disse temaene som er diskutert i kapittel 5. Resultatene fra Manhattanprosjektet er kontroversielle, og er med på å stille en del etiske spørsmål rundt de ulike formålene som forskning går til. Under debatten vil det bli stilt spørsmål knyttet til resultatene av Manhattanprosjektet, men også rollen til forskerne som var en del av prosjektet slik som Goeppert-Mayer.

Del 1: Elevene forbereder seg på debatt: I del 1 av opplegget skal elevene forberede seg på debatten. Denne delen er beregnet på 1. og 2.time av undervisningsopplegget, og har en varighet på 70 min, siden introduksjonsdelen tar 15 minutter. Først blir elevene delt inn i 4 grupper der hver gruppe består av 3-4 elever. Opplegget består av to debatter, der hver av debattene inkluderer to grupper som argumenterer for hver sin side av en kontroversiell sak. Debattene er som følger:

Debatt 1: Maria Goeppert-Mayer mot motstandere av atomvåpen: Goeppert-Mayer sin side vil forsvare sin del i utviklingen av atombomben, og at Manhattanprosjektet var nødvendig for å vinne krigen. Motstanderne vil argumentere for at forskere som Goeppert-Mayer burde bli holdt ansvarlig for sin del i utviklingen av atombomben, og at Manhattanprosjektet var etisk uforsvarlig. I denne debatten er det tenkt at den blir avholdt etter andre verdenskrig

Debatt 2: Maria Goeppert-Mayer mot universitetene: Goeppert-Mayer sin side vil forsøke å argumentere for å få lønn for sitt arbeid som forsker på universitetet. Motstanderne vil argumentere for at hun ikke behøver lønn for forskningen hun gjør på universitetet.

For Goeppert-Mayer sin side i hver av debattene, er det tenkt at en av elevene tar rollen som Goeppert-Mayer, mens resten tar rollen som forskere på hennes side. Elevene på den motsatte

siden i debatt 1 er forskere med motsatt synspunkt fra Goepfert-Mayer. Altså skal disse elevene ta rollen som forskere og aktivister som er kritiske til Manhattanprosjektet og Goepfert-Mayers del i Manhattanprosjektet. Elevene på den motsatte siden av Goepfert-Mayer sin side i debatt 2 er forskere og universitetsansatte som er med på ansettelsesprosessen av nye professorer. Hver gruppe blir fortalt hvilken debatt de skal ta del i og hvilken side de skal argumentere for. Før elevene får tildelt gruppe, blir målet med debatten klargjort for elevene. Målet med debattene er å reflektere rundt hvordan forskning blir påvirket av politiske, økonomiske og sosiale faktorer.

I utgangspunktet skal elevene argumentere ut ifra fagteksten, men elevene får også tilgang til internett for å lete etter informasjon de kan utnytte til å formulere argumenter til debatten. Elevene diskuterer innad i gruppen sin, der de diskuterer rollen sin og argumentene de vil utnytte i debatten. Samtidig går læreren rundt til gruppene og hjelper elevene med eventuelle spørsmål, og veileder elevene under arbeidet sitt. Læreren skal også forsikre seg at hver elev har en rolle, og har fått noe å bidra med under debatten gjennom planleggingsfasen. Dersom en elev ikke har en rolle, skal læreren hjelpe eleven med å lage en rolle.

Samtidig som elevene forbereder seg til debatten, vil læreren gå til hver gruppe og stille noen spørsmål de skal reflektere rundt mens de arbeider. Elevene blir bedt om å skrive ned svarene sine, og være forberedt på å komme med svar på spørsmålene i en felles diskusjon med resten av klassen etter debattene er ferdige. Disse spørsmålene er felles for alle gruppene, og avhenger ikke av hvilken debatt de er del av:

1. Bør vitenskapelig kunnskap alltid være tilgjengelig for alle? Er det noen tilfeller som ved Manhattanprosjektet der det er greit å holde forskningen sin hemmelig? Hvorfor/hvorfor ikke?
2. På hvilken måte tror dere økonomiske faktorer kan være med på å avgjøre hva en forsker som Goepfert-Mayer velger å forske på? På hvilken måte er Manhattanprosjektet påvirket av økonomiske faktorer?
3. På hvilken måte er forskningsresultatene fra Manhattanprosjektet påvirket av politikk?
4. Bør forskere som bidrar med ny kunnskap bli holdt ansvarlige for hva forskningen brukes til?

Før elevene drar hjem blir elevene tildelt hjemmelekse.

Hjemmearbeid: I denne delen av arbeidet fortsetter elevene sine forberedelser til debattene. Elevene blir bedt om å lage et åpningsinnlegg til debatten. I tillegg skal gruppene lage minst

3-4 argumenter som støtter sin sak i debatten. Elevene blir også bedt om å lage en rollekarakter dersom de ikke har en enda. Elevene som skal ta del i debatten om Goepfert-Mayer og universitetene får i oppdrag å finne noen gode kilder som diskuterer noen av utfordringene kvinner møter i arbeidslivet som forskere. Gruppene som tilhører Manhattanprosjektdebatten får i oppdrag å finne ut noen fakta om Manhattanprosjektet: Hvor mye kostet prosjektet? Hvor mange var involverte i prosjektet?

Begrunnelse for hjemmearbeidet: Hjemmearbeidet sin funksjon er å gi elevene nok tid til å sette seg inn i temaene for debatten. Elevene må få tildelt mye tid til forberedelsene sine siden de skal sette seg inn i ukjente temaer og finne gode argumenter til debattene. Temaet for debattene er kompliserte, så elevene får utdelt den debattspesifikke hjemmeleksa for å hjelpe dem med å fordype seg i temaene. Informasjonen de henter inn blir brukt i debatten av elevene, og i refleksjonsdelen i etterkant.

Del 2: Elevene fortsetter forberedelser til debatt: Del 2 foregår i 3.time av undervisningsopplegget. Del 2 av opplegget er identisk med del 1, bortsett fra at del 1 inkluderer en introduksjonsdel og at i de siste 15 minuttene av 3.time går læreren rundt og intervjuer hver elev. Elevene blir intervjuet og bedt om å gå inn i sin rolle, og svarer på spørsmål fra læreren om sin rolle og saken eleven skal debattere. Samtidig som intervjuene foregår, fortsetter forberedelsene til debattene hos gruppene.

Begrunnelse for del 1 og del 2: Del 1 av undervisningsopplegget handler i stor grad om å forberede elevene på hva som skal skje før debatten. Elevene får mye tid til å diskutere argumenter og roller, for å føle seg informert nok til å ta del i debatten. Blatner (2009) oppfordrer til å gjøre elevene forberedt på situasjoner i klasserommet der de skal innta en rolle. En av problemene med rollespill i klasserommet som Blatner peker på, er at elever kan oppleve ubehag dersom de blir kastet inn i rollespillet uten å være klar over rollen sin. Ifølge Blatner kan læreren unngå at elevene føler seg usikre på rollen sin ved å intervju elevene på forhånd, der de inntar rollen sin under intervjuet. For å unngå at elevene føler ubehag ved rollespillsituasjonen er de siste 15 minuttene av mitt undervisningsopplegg i del 1 dedikert til et intervju med elevene der de får varme opp og sette seg inn i rollen sin før debattene. Før elevene begynner arbeidet blir elevene fortalt hva målet med debattene er. Ifølge Mork (2009a) er det lurt å klargjøre mål for debatten slik at elevene er forberedt, og dette vil føre til mindre avsporing.

Spørsmålene som blir stilt når læreren går rundt til de forskjellige gruppene, er for at elevene skal reflektere eksplisitt over sosio-institusjonelle NOS aspekter relatert til temaene for debattene. Denne delen av opplegget er hentet fra Rudge og Howes (2009) metode. Disse spørsmålene blir diskutert etter debattene er gjennomført for å reflektere litt mer generelt rundt NOS. Hvert spørsmål er laget for å få elevene til å reflektere rundt NOS fra en av FRA-kategoriene. Spørsmål 1 relaterer til *det vitenskapelige etos*. Spørsmål 2 relaterer til kategorien *økonomiske faktorer*. Spørsmål 3 relaterer til kategorien *politiske-maktstrukturer*.

Del 3: Elevene holder debatt: Del 3 foregår i 4. time av undervisningsopplegget. 30 minutter blir brukt på å holde debattene, der 15 minutt er gitt til hver debatt. Læreren begynner denne delen med å påminne elevene om vanlige debattregler. Dette innebærer hvordan man viser at man vil legge inn en replikk til et innlegg, og hvordan man legger inn innlegg. Hver side i debatten får åpne med ett innlegg på rundt 30 sekunder som gruppene har forberedt på forhånd i del 1 av opplegget. Resten av tiden til debattene vil være preget av improvisasjon, der elevene blir bedt om å komme med argumenter for og imot hverandre. Læreren som debattleder er å styre samtalen, stille spørsmål og oppfølgingsspørsmål til de ulike gruppene. Under debatten tar også læreren eventuelle spørsmål fra publikum rettet mot debattantene. Læreren holder tiden, og bestemmer hvem som får ordet i debatten.

Tabell 1 7: Spørsmål og påstander til debattene

FRA-kategori	Spørsmål og påstander til debatten
<i>Det vitenskapelige etos</i>	Påstand: Etnisitet, kjønn og økonomisk bakgrunn til en forsker spiller ingen rolle for kvaliteten til forskningen Påstand: Vitenskapelig kunnskap bør alltid være tilgjengelig for alle Hvem eier egentlig kunnskapen som resulterte fra Manhattanprosjektet? Hvilke faktorer kan ha bidratt i å gjøre det vanskelig for Goeppert-Mayer å bli ansatt som professor?
<i>Økonomiske system</i>	På hvilken måte kan økonomiske faktorer avgjøre hva en forsker som Goeppert-Mayer velger å forske på? Hva slags fordeler kan det ha for en forsker å ta del i et prosjekt som Manhattanprosjektet?
<i>Sosiale verdier</i>	Påstand: Forskere bør alltid holdes ansvarlige for den forskningen de har tatt del i, uansett hvor stor eller liten rolle de har hatt i et forskningsprosjekt.

<i>Politiske- maktstrukturer</i>	<p>Påstand: Selv om Manhattanprosjektet også ledet til utviklingen av atomvåpen, var Manhattanprosjektet totalt sett etisk nøytralt.</p> <p>Hva ville blitt konsekvensene dersom Manhattanprosjektet ikke ble holdt hemmelig? Hva slags fordeler kan det ha for en forsker å ta del i et prosjekt som Manhattanprosjektet? (Dette spørsmålet er repetert fra økonomiske system, men er også relevant for politiske maktstrukturer)</p>
--------------------------------------	---

Etter at debattene er ferdige blir resten av tiden i klasserommet på 15 minutter brukt til refleksjon rundt debattene og de spørsmålene som læreren stilte elevene i del av opplegget. Læreren styrer en diskusjon ved å stille spørsmål til klassen rundt argumentene, påstandene og annet som kom frem i debatten.

Begrunnelse for Del 2: Lærers rolle under debatten er viktig for at undervisningsopplegget ikke skal spore av for mye. Mork (2009a) skriver at læreren må være faglig trygg, klargjøre målet med debatten tydelig for elevene, og være klar for å ta de grepene som er nødvendige for å nå målene ved å opptre som en debattleder. Siden debatten er preget av improvisasjon, kan samtalen fort spore av. Derfor må læreren passe på å konstant lede samtalen, ved å stille spørsmål og påstander til debattantene som er relevante for temaene som blir diskutert. Ved å stille spørsmål til elevene, kan læreren få de til å utdype det de mener, eller dra samtalen mot NOS dersom samtalen sporer av. Derfor er tabell 1.4 lagd med spørsmål og påstander som relaterer til sosio-institusjonelle kategorier, som kan være med på å hjelpe læreren med å kontrollere debatten. Tabell 1.4 er ikke fullstendig utfyllende, og læreren må være forberedt på å komme på passende spørsmål og påstander underveis som elevene debatterer.

Diskusjonen etter debatten er viktig for å få elevene til å reflektere eksplisitt om NOS og hendelsene i debatten. Ødegaard (2003) mener elevene trenger refleksjon etter d Kanskje ble det dratt frem noen interessante poeng, spørsmål eller påstander fra elevene som læreren kan ta i bruk under diskusjonen for å få elevene til å reflektere over NOS. Mork (2009a) har ikke en slik refleksjonsdel på slutten av sine debatter. Dette er hentet fra Rudge og Howes (2009) metode der de argumenterer for bruken av eksplisitt refleksjon hos elever for å lære om NOS.

1. Bør vitenskapelig kunnskap alltid være tilgjengelig for alle? Er det noen tilfeller som ved Manhattanprosjektet der det er greit å holde forskningen sin hemmelig?
Hvorfor/hvorfor ikke?

2. På hvilken måte tror dere økonomiske faktorer kan være med på å avgjøre hva en forsker som Goeppert-Mayer velger å forske på? Tror dere forskningsprosjekter som Manhattanprosjektet er gratis?
3. På hvilken måte er forskningsresultatene fra Manhattanprosjektet påvirket av politikk?
4. Bør forskere som bidrar med ny kunnskap bli holdt ansvarlige for hva forskningen brukes til?
5. Er kvaliteten på forskning avhengig av hvem som har gjort forskningen? Spiller det noen rolle for forskningen til Goeppert-Mayer at hun var en kvinne?

Disse spørsmålene ble stilt i del 1 av opplegget, og nå blir elevene bedt om å delta i en diskusjon rundt disse spørsmålene for å reflektere mer generelt om NOS. Formålet er at elevene i løpet av denne refleksjonsdelen skal kunne se innvirkningen sosio-institusjonelle faktorer har på hvordan naturvitenskapelig kunnskap blir etablert. For eksempel krever forskningsprosjekter som Manhattanprosjektet økonomiske midler for å bygge instrumenter og forskningsanlegg. Andre verdenskrig gjorde at mange nasjoner satte i gang egne prosjekter dedikert til konstruksjonen av atomvåpen. Det kan tenkes at politiske institusjoner la til rette for, eller akselererte konstruksjonen av atomvåpen som følge av andre verdenskrig. Dette er et eksempel på hvordan etablering av ny kunnskap blir påvirket av *politiske maktstrukturer*. Ved å be elevene reflektere rundt disse spørsmålene tidlig i opplegget, får de god tid til å formulere noen svar til denne diskusjonsdelen.

«Tekstboks: Tekst om Maria Goeppert-Mayer til undervisningsopplegget»

Maria Goeppert-Mayer var en tysk-amerikansk fysiker og nobelprisvinner i fysikk som ble født i 1906 og døde i 1972. Goeppert-Mayer kom med flere viktige oppdagelser i løpet av livet sitt, men hennes mest kjente var nok skallmodellen for atomkjernen. Du har nok hørt om elektronskallmodellen? Som vi skal se har skallmodellen til atomkjernen noen likheter med elektronskallmodellen.

Maria Goeppert-Mayer og de magiske tallene

I elektronskallmodellen er atomene omringet av elektroner i ulike baner som ofte blir kalt for «elektronskall». Det ytterste elektronskallet hos et atom er med på å bestemme hvor stabilt atomet er. Som oftest er det ytterste elektronskallet hos et atom fylt opp, når dette skallet består av åtte elektroner. Atomer med åtte elektroner i sitt ytterste skall er mer stabile enn atomer som ikke har fylt opp sitt ytterste skall. Dersom atomet har få elektroner i ytterste skall vil atomet gi fra seg elektroner for å få åtte elektroner i ytterste skall. Det motsatte skjer når atomet har flere elektroner i ytterste skall, nemlig at atomet tar til seg elektroner for å fylle sitt ytterste skall. Edelgassene er svært stabile nettopp på grunn av at de har 8 elektroner i ytterste skall!

Skallmodellen for kjernen som Goeppert-Mayer oppdaget, handler også om hvor stabile atomer er. Denne modellen sier at protonene og nøytronene i kjernen hos atomer også er organisert i baner eller skall slik som elektronene. Hvordan kom Goeppert-Mayer frem til denne konklusjonen? Goeppert-Mayer så at noen atomer var mye mer stabile enn andre atomer. De stabile atomene inneholdt alltid den samme mengden protoner, nøytroner eller begge deler. Atomkjerner som inneholdte 2, 8, 20, 28, 50, 82 eller 126 nukleoner var usedvanlig stabile, og av den grunn ble disse tallene kjent som «magiske tall». De magiske tallene var kjent siden 1930-tallet, men ikke før 1948 kom det en forklaring på den usedvanlige stabiliteten til atomer mer magiske tall i form av skallmodellen til Goeppert-Mayer. Oppdagelsen av skallmodellen for atomkjerner førte til at Goeppert-Mayer fikk nobelprisen i fysikk

Maria Goeppert-Mayer og Manhattanprosjektet

Oppdagelsen til Goeppert-Mayer var et resultat av mange år med erfaring og kunnskap som hun hadde bygd opp etter å ha forsket på flere universiteter i USA og Tyskland. Under andre verdenskrig jobbet hun på det såkalte Manhattanprosjektet til USA. Manhattanprosjektet var USAs forskningsprosjekt dedikert til utviklingen av atombomben, og fikk økonomisk støtte fra USAs regjering. Manhattanprosjektet ga verdifull kunnskap om atomet, og den voldsomme energien som kan utnyttes i atomkjernen. Dette ble blant annet utnyttet til å lage atomkraftverk, som gir enorme mengder energi uten behov for fossile brensler. Energi uten behov for fossile brensler gjør at det slippes ut mindre drivhusgasser som er godt for miljøet. Samtidig er ikke atomkraftverk uten problemer. Atomkraftverk kan ha uhell som fører til utslipp av store mengder radioaktivt avfall, og atomkraftverk er store anlegg som er med på stykke opp naturarealene våre. I tillegg ledet Manhattanprosjektet til produksjonen av atomvåpen, som er svært ødeleggende og var med på å ta livet av tusenvis av mennesker. På slutten av andre verdenskrig slapp USA to atombomber på Japan som drepte over 100 000 mennesker, der mesteparten var sivile, men atombomben gjorde også slutt på krigen av den grunn.

Flere tusen mennesker var en del av Manhattanprosjektet på en eller annen måte i løpet av andre verdenskrig. Prosjektet besto av politikere, forskere, ingeniører og arbeidere som holdt anleggene til prosjektet i velstand. Manhattanprosjektet ble holdt hemmelig for resten av verden. Vanligvis publiseres nye vitenskapelige funn i vitenskapelige artikler, eller så blir de presentert i konferanser slik at den nye kunnskapen er tilgjengelig for alle. Slik var det ikke under Manhattanprosjektet. Siden atomvåpen skulle bli brukt i krigføring, var land som USA svært hemmelighetsfulle når det kom til forskningen som ble gjort i forbindelse med dette arbeidet. USA ville ikke at fienden skulle vinne krigen med deres kunnskap om atomvåpen! Goeppert-Mayer var en del av dette hemmelige prosjektet, og jobbet for det meste med grunnstoffet uran. Uran er et svært viktig grunnstoff i forbindelse med atomvåpen, siden dette grunnstoffet er med på å skape de voldsomme kjedereaksjonene som gjør atomvåpen så ødeleggende som de er. Det finnes ulike uran-isotoper, men bare en av de medfører den typen reaksjon som kan bli brukt i atomvåpen. Derfor er det nødvendig å kunne skille disse isotopene fra hverandre til bruk i atomvåpen. Goeppert-Mayer ledet et team som forsket på hvordan ulike uran-isotoper kan skilles fra hverandre, men prosjektet mislyktes. De klarte ikke finne en metode for å skille isotopene fra hverandre. Senere arbeidet Goeppert-Mayer med å utvikle hydrogenbomben som er et enda mer ødeleggende våpen enn atombomben. Arbeidet til Goeppert-Mayer med hydrogenbomben besto i stor grad av å gjøre matematiske beregninger, men også hennes del i utviklingen av hydrogenbomben mislyktes.

En nobelprisvinnende fysiker uten lønn?

Forskere jobber på universiteter der de får betalt for å forske, og undervise som professorer. På universiteter blir mange av de nye oppdagelsene i vitenskapen gjort av forskere som jobber på forskjellige prosjekt. Goeppert-Mayer forsket på flere universiteter mesteparten av livet, både i Tyskland og USA. Det var mens Goeppert-Mayer forsket på universitet i Chicago i 1948 at hun kom frem til skallmodellen som kom til å gi henne nobelprisen for fysikk i 1963. Til tross for denne og flere andre oppdagelser i løpet av tiden som forsker mellom 1930 og 1960, fikk ikke Goeppert-Mayer betalt for forskningen hun gjorde på universitetene. Til og med da hun oppdaget skallmodellen, var dette uten lønn. Først i 1960 fikk hun en stilling som professor på et universitet, og lønn for jobben hun gjorde. Slik var situasjonen for mange kvinnelige forskere i store deler av 1900-tallet. Maria Goeppert-Mayer var gift med Joseph Mayer, som forsket på de samme universitetene som Maria. Joseph fikk betalt stilling som professor, men slik ble det ikke med Maria. Maria måtte nøye seg med assistent-stilling, der hun forsket uten betaling i over 30 år. Universitetene sa som oftest at de ikke ville ansette både Maria og Joseph, siden de var redd for at universitetene skulle bli anklaget for nepotisme. Nepotisme handler om at man ansetter noen på grunn av hvem de er i slekt med, eller venn med, istedenfor på bakgrunn av kompetansen deres. Siden Maria var gift med Joseph ble ekteparet fortalt at Maria ikke kunne få jobb på samme universitet. I tillegg var universitetene svært dominerte av menn, og mange av disse mennene ønsket ikke at kvinner skulle ta del i forskningen på lik linje med de mannlige forskerne.

Selv når Maria tok over undervisningen til andre professorer som en slags vikar, fikk hun ikke betalt for arbeidet sitt. Goeppert-Mayer fikk ikke betalt, til tross for at hun gjorde like godt arbeid som de andre forskerne. Som en del av Manhattanprosjektet fikk Goeppert-Mayer derimot betalt av den amerikanske regjeringen for sin forskning. Bare de forskerne med gode evner innen kjemi og fysikk være med på dette hemmelige prosjektet, som tyder på at Goeppert-Mayer var en dyktig forsker. Hvorfor fikk hun ikke en betalt professorstilling ved universitetene i så tilfelle? Kanskje var dette med på hennes beslutning om å bli en del av Manhattanprosjektet? Eller så var det kanskje spennende for henne, og hun så på det som en faglig utfordring hun ville ta. Manhattanprosjektet var jo der den nye banebrytende forskningen skjedde!

7 Studiens begrensninger

I denne delen av oppgaven tar jeg opp noen av studiens begrensninger og svakheter. Jeg beskriver valg jeg har tatt som kan ha endret studiens utfall, og hvordan studien kan ha vært annerledes ved å ta andre valg angående utvalg, teoretisk rammeverk og metode. Denne delen av oppgaven beskriver utfordringer og begrensninger som har preget studien i løpet av del 1, del 2 og del 3.

Først vil jeg begynne med å se på studien som en helhet. Siden studien består av flere deler, der hver del kunne vært en egen fullverdig studie i seg selv, har jeg vært nødt til å begrense omfanget på de individuelle delene av studien for å passe innenfor rammen til en masteroppgave. Oppgaven tar utgangspunkt i FRA som rammeverk for undersøkelsen i del 1 av oppgaven, undersøkelsen av den biografiske teksten i del 2 om Goeppert-Mayer, og i undervisningsopplegget i del 3 av oppgaven. Erduran og Dagher (2014) beskriver noen av begrensningene til bruken av FRA-modellen i skolen. For eksempel er FRA-modellen åpen for forandringer og det forventes at FRAs syn på NOS kan bli utvidet med tiden til å inkludere nye FRA-kategorier og NOS-aspekter. Dette i seg selv er ikke et problem, men på grunn av åpenheten til FRA-modellen hevder Erduran og Dagher at den kan bli misbrukt og feiltolket. Derfor skriver Erduran og Dagher at det kreves gode kunnskaper om vitenskapskulturen for å ta i bruk FRA-modellen i skolen. For å unngå å misbruke eller feiltolke FRA-modellen har jeg holdt meg til beskrivelsene av NOS slik de er beskrevet av Erduran og Dagher (2014). I tillegg ble det viktig å fordype meg i vitenskapskulturen for å kunne utnytte FRA-modellen i mine undersøkelser ved å lese kilder om vitenskapssamfunnet, og forskere skrevet av vitenskapshistorikere.

7.1 Del 1

Del 1 av oppgaven ikke en fullverdig lærebokanalyse. Formålet med del 1 var heller ikke å være en omfattende lærebokanalyse, men dersom jeg hadde analysert hele læreverket kan det ha gitt et annet inntrykk av hvordan læreverket Tellus belyser NOS i lærebokteksten sin. Undersøkelsen ble gjort i lys av rammeverket FRA.

Dersom jeg hadde inkludert flere rammeverk for NOS, som for eksempel «consensus view», kan det ha gitt et mer helhetlig bilde av hvordan NOS blir fremstilt i læreverket. I tillegg er en slik analyse som ble gjort i del 1 en tolkning av læreboktekstene som jeg har gjort. En annen

person kan tolke samme teksteksempler ulikt, og derfor få et annet inntrykk av læreverkets presentasjon av NOS. For å øke reliabiliteten har jeg forsøkt å være så transparent som mulig i beskrivelsen av metoden i undersøkelsen. Jeg tok utgangspunkt i noen utvalgte vitenskapshistoriske teksteksempler fra Tellus basert på Hege Slettens (2017) oppgave. Ved å ta utgangspunkt i andre læreboktekster fra andre læreverk kunne det gitt ett annet inntrykk av hvordan norske lærebøker belyser ulike NOS-aspekter.

Undersøkelsen av atommodellens fremstilling i lærebøkene for ungdomstrinnet og Ergo 1 for videregående fysikk er også påvirket av utvalget. Ikke alle norske lærebøker som er skrevet for den gjeldende læreplanen var inkludert i studien. Ved å inkludere flere læreverk ville det kunne gitt et bedre inntrykk av hvordan atommodellen blir fremstilt i norske lærebøker.

7.2 Del 2

Del 2 er en vitenskapshistorisk studie, men i min studie hadde jeg ikke tilgang til materiale fra arkiv om Maria Goeppert-Mayer. Derfor gikk jeg ut ifra andre kilder for å skrive den biografiske teksten om Goeppert-Mayer. Jeg valgte ut kilder som baserte seg på intervjuer og tekster fra Goeppert-Mayers familie, venner og kollegaer som grunnlag for den vitenskapshistoriske studien ettersom det var gjort få syntetiserende beskrivelser av historikere. Når Goeppert-Mayers forskning blir beskrevet forsøkte jeg å ta utgangspunkt i de vitenskapelige artiklene Goeppert-Mayer selv har skrevet, men dette var ved flere anledninger krevende ettersom jeg mangler kompetanse innen fysikk for å forstå hennes originale verk. Derfor tok jeg også i bruk alternative kilder der fysikken bak noen av oppdagelsene ble beskrevet for å få en forståelse for arbeidet til Goeppert-Mayer.

Under del 2 ble også FRA tatt i bruk for å undersøke den biografiske teksten om Goeppert-Mayer etter forskjellige NOS-aspekter som blir belyst i teksten. En svakhet ved å bare ta i bruk FRA i denne undersøkelsen, er at det potensielt er flere NOS-aspekter som kan bli belyst i Goeppert-Mayers historie som ikke kommer frem ved å bare ta i bruk FRA. Jeg valgte å fokusere på de sosio-institusjonelle kategoriene i min undersøkelse av historien til Goeppert-Mayer på grunn av det høye fagnivået på forskningen hun gjorde. NOS-aspektene jeg velger å belyse er basert på min subjektive tolkning av Maria Goeppert-Mayers liv og forskning.

7.3 Del 3

Del 3 av oppgaven er et undervisningsopplegg basert på den vitenskapshistoriske studien der jeg forsøker å belyse NOS-aspekter fra FRA-kategoriene som er mest sentrale i Goeppert-Mayers historie. Undervisningsoppleggets største svakhet er at det ikke er blitt testet i klasserommet, og derfor kan jeg ikke konkludere med å si noe om hvor effektiv undervisningsopplegget er i praksis til å belyse de NOS-aspektene som opplegget er designet rundt. I tillegg var det få kompetansemål fra læreplanen som beskriver sosio-institusjonelle NOS-aspekter.

Avslutningsvis vil jeg understreke at det kan være lett å undervurdere det nødvendige forarbeidet for å lage et slikt undervisningsopplegg. Jeg kunne valgt å begynne med undervisningsopplegget og brukt deler av masterprosjektet til å teste det ut, men da ville jeg ikke kunne basere det på en skikkelig vitenskapshistorisk studie der jeg selv har vært aktiv i alle faser av skrivingen. Slik har jeg fått solid innsikt i caset og den vitenskapshistoriske konteksten, og det har gjort meg i stand til å gjøre gjennomtenkte vurderinger om hvordan historie kan brukes til å undervise om NOS.

8 Oppsummering og konklusjon

I denne delen vil jeg oppsummere oppgaven ved å ta for meg delmålene jeg introduserte oppgaven med.

1. Undersøke hvordan NOS blir presentert i noen norske læreboktekster ut ifra et FRA perspektiv

I del 1 av oppgaven så jeg på noen utvalgte vitenskapshistoriske læreboktekster og hvordan disse teksteksemplene belyste NOS-aspekter i lys av FRA. I tillegg så jeg på atommodellens utvikling i flere lærebøker for ungdomstrinnet og en lærebok for videregående fysikk.

Læreboktekstene inneholdt få kjennetegn fra FRA-kategoriene, og fremstilte derfor ikke mange sentrale NOS-aspekter. Historien til atommodellen i lærebøkene var i de fleste tilfeller manglende på flere områder, spesielt med tanke på å skille mellom antikkens atomteorier fra moderne atommodeller i form av Thomson, Rutherford og Bohrs modeller. Noen lærebøker inkluderte flere forskere fra atommodellens historie enn andre, men disse lærebøkene totale fremstilling av atommodellens historie fremstilte vitenskapen som statisk og endelig. FRA beskriver naturvitenskapen som holistisk og dynamisk, noe som ikke kom frem i lærebøkene presentasjon av atommodellens historie.

2. Gjøre en vitenskapshistorisk studie av Maria Goeppert-Mayer

Den vitenskapshistoriske studien av Maria Goeppert-Mayer presenterer Goeppert-Mayer som en begavet og allsidig forsker, som forsket innenfor flere vitenskapelige fagdisipliner blant annet som kjernefysiker og kjemiker. Livet og forskningen til Goeppert-Mayer var preget av tidsperioden hun levde i, og de nye spennende oppdagelsene og fagfeltene som vokste frem i løpet av første halvdel av 1900-tallet. Studien viste at Goeppert-Mayer selv kom til å bidra med flere viktige vitenskapelige oppdagelser, deriblant skallmodellen for atomkjernen som gjorde at hun vant nobelprisen i fysikk sammen med Hans. D. Jensen. Til tross for sine oppdagelser og evner som forsker, viste studien også at Goeppert-Mayer vokste opp i en tid preget av to verdensomfattende kriger og et mannsdominert vitenskapssamfunn. Andre verdenskrig kom til å ha en innflytelse på forskningen til Goeppert-Mayer i form av Manhattanprosjektet, og den mannsdominerte universitetskulturen gjorde det krevende for Goeppert-Mayer å få seg en lønnet professorstilling. Gjennom den vitenskapshistoriske studien fremstår Goeppert-Mayer som en sentral fysiker fra vitenskapshistorien.

3. Undersøke NOS-aspekter i den vitenskapshistoriske studien av Maria Goepfert-Mayer med FRA

Basert på den biografiske teksten som ble skrevet om Goepfert-Mayer undersøkte jeg hvilke NOS-aspekter som kan belyses i historien til Goepfert-Mayer. I undersøkelsen min fant jeg at både kognitiv-epistemiske og sosio-institusjonelle NOS-aspekter var mulig å belyse ut ifra Goepfert-Mayers historie slik den er beskrevet i den biografiske teksten. For eksempel var de ulike forskningsprosjektene som Goepfert-Mayer var en del av, med på å fremheve ulike metoder som forskere utnytter, som er sentralt for FRA-kategorien *metode- og metodologi*. Goepfert-Mayers arbeid med Manhattanprosjektet er med på å belyse NOS-aspekter som er sentrale for FRA-kategorien *politiske maktstrukturer*. Undersøkelsen av den vitenskapshistoriske studien av Goepfert-Mayer viser at hennes historie kan bli brukt i naturfag for å belyse sentrale NOS aspekter.

4. Lage et undervisningsopplegg basert på Maria Goepfert-Mayer, som belyser sentrale NOS-aspekter i en vitenskapshistorisk kontekst ved hjelp av rammeverket FRA

Mens delmål 3 viser hvilke NOS-aspekter som belyses i historien til Goepfert-Mayer, har jeg i delmål 4 sett på hvordan historien til Goepfert-Mayer kan bli brukt i et undervisningsopplegg for å undervise om NOS. Jeg valgte å fokusere på de sosio-institusjonelle aspektene i Goepfert-Mayers historie i en rollespilldebatt. Undervisningsopplegget er ment for å legge opp til en eksplisitt refleksjon rundt sosio-institusjonelle NOS-aspekter ved å først la elevene debattere noen kontroversielle saker fra Goepfert-Mayers historie, og så diskutere mer generelt om NOS på slutten av undervisningsopplegget. Gjennom dette undervisningsopplegget får elevene muligheten til å reflektere eksplisitt rundt NOS, men de blir også beviste på en sentral kvinnelig forsker fra vitenskapshistorien.

8.1 Avsluttende kommentarer

Som Erduran og Dagher (2014) viser er naturvitenskapen sammensatt av flere aspekter som påvirker hverandre og spiller inn på hvordan naturvitenskapelig kunnskap blir etablert over tid. Ved å undervise om vitenskapshistorie i naturfag kan vi presentere de ulike NOS-aspektene og hvordan de spiller inn på naturvitenskapen som prosess. Til tross for denne muligheten er ikke vitenskapshistorie en prioritet i den norske læreplanen. I tillegg er det flere FRA-kategorier, og derfor flere sentrale NOS-aspekter, som ikke er inkludert i den norske

læreplanen (Utdanningsdirektoratet, 2015). Av den grunn kan vi finne en presentasjon av NOS i lærebøker som ikke samsvarer med det bilde av NOS som fremstilles i for eksempel FRA-modellen, siden disse lærebøkene er skrevet for å nå målene til læreplanen.

Undersøkelsene i denne oppgaven kan ikke konkludere med å si noe generelt om hvordan norske lærebøker presenterer NOS i lys av FRA-modellen, siden undersøkelsene baserte seg på noen utvalgte tekster og bøker i forbindelse med atommmodellens historie. FRA-rammeverket er utviklet for å bli brukt i forbindelse med naturfag, spesielt som et verktøy for å vurdere læreplaners og lærebøkers presentasjon av NOS. Studien har vist allsidigheten til FRA-rammeverket, og vist hvordan FRA kan bli brukt til å utvikle et vitenskapshistorisk undervisningsopplegg ved å skape en eksplisitt refleksjon rundt FRAs NOS aspekter.

9 Litteratur

- Abd-El-Khalick, F. (2012). Examining the sources for our understandings about science: Enduring confluences and critical issues in research on nature of science in science education. *International Journal of Science Education*, 34(3), 353-374.
- Abd-El-Khalick, F. & Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665-701.
- Abd-El-Khalick, F., Lederman, N. G., Bell, R. L. & Schwartz, R. S. (2001). Views of Nature of Science Questionnaire (VNOS): Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science.
- Abd-El-Khalick, F., Waters, M. & Le, A. P. (2008a). 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/10.1002/tea.20226>
- Abd-El-Khalick, F., Waters, M. & Le, A. P. (2008b). Representations of nature of science in high school chemistry textbooks over the past four decades. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 45(7), 835-855.
- Allchin, D. (1999). Values in science: An educational perspective. *Science & education*, 8(1), 1-12.
- Allchin, D. (2000). How not to teach historical cases in science. *Journal of College Science Teaching*, 30(1), 33.
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95(3), 518-542. <https://doi.org/10.1002/sce.20432>
- Allchin, D. (2012). Teaching the nature of science through scientific errors. *Science Education*, 96(5), 904-926.
- 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.
- Ball, P. (2014). *Serving the Reich: the struggle for the soul of physics under Hitler* University of Chicago Press.
- Banerjee, B. (2007). Maria Goeppert Mayer. *Resonance*, 12(12), 6-11.
- Blatner, A. (2009). Role Playing in Education. Hentet fra <https://www.blatner.com/adam/pdntbk/rlplayedu.htm>
- Bowler, P. J. & Morus, I. R. (2010). *Making modern science: A historical survey* University of Chicago Press.
- Bretscher, E. & Cockcroft, J. D. (1955). Enrico Fermi, 1901-1954. I *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* (bd. 1, s. 69-79). London: The Royal Society
- Brush, S. C. (1985). Women in physical science: From drudges to discoverers. *The Physics Teacher*, 23(1), 11-19.
- Brush, S. G. (1996). The reception of Mendeleev's periodic law in America and Britain. *Isis*, 87(4), 595-628.
- Callin, P., Pålsgård, J., Stadsnes, R. & Wahlstrøm Tellefsen, C. (2012). *Ergo: Fysikk 1*. Oslo: Aschehoug.
- Chalmers, A. (1998). Retracing the ancient steps to atomic theory. *Science & education*, 7(1), 69-84.
- Chiappetta, E. L., Sethna, G. H. & Fillman, D. A. (1993). Do middle school life science textbooks provide a balance of scientific literacy themes? *Journal of Research in Science Teaching*, 30(7), 787-797.
- 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.

- Dash, J. (1973). *A life of one's own: Three gifted women and the men they married*. New York: HarperCollins Publishers.
- Des Jardins, J. (2010). *The Madame Curie complex: The hidden history of women in science*. New York: The Feminist Press at CUNY.
- Di Scala, S. M. (2005). Science and Fascism: The Case of Enrico Fermi. *Totalitarian Movements and Political Religions*, 6(2), 199-211.
<https://doi.org/10.1080/14690760500229815>
- Driver, R., Leach, J. & Millar, R. (1996). *Young people's images of science* McGraw-Hill Education (UK).
- Duschl, R. (1990). *Restructuring science education: The importance of theories and their development*. New York: Teacher's College Press.
- Dyson, F. (2004). A meeting with Enrico Fermi. *Nature*, 427(6972), 297.
- Eikeseth, U. & Lykknes, A. (2019). *Periodesystemet: Fra alkymi til kjernekjemi*. Trondheim:: Museumsforlaget.
- Ekeland, P. R., Rygh, O., Johansen, O.-I., Busengdal Strand, S. & Jenssen, A.-B. (2007). *Tellus 9: Naturfag for ungdomstrinnet*. Oslo: Aschehoug.
- Erduran, S. & Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education: Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories*. Dordrecht: Springer.
- Erduran, S., Dagher, Z. R. & McDonald, C. V. (2019). Contributions of the Family Resemblance Approach to Nature of Science in Science Education. *Science & Education*, 28(3), 311-328. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00052-2>
- Finstad, H. S., Kolderup, J. & Jørgensen, E. C. (2006). *Trigger 8: Elevbok naturfag 8. klasse*. Oslo: Damm.
- Frøyland, M., Hannisdal, M., Haugan, J. & Nyberg, J. (2006). *Eureka! 8 Grunnbok: Naturfag for ungdomstrinnet*. Oslo: Gyldendal.
- Garik, P. & Benétreau-Dupin, Y. (2014). Report on a Boston University Conference December 7–8, 2012 on How Can the History and Philosophy of Science Contribute to Contemporary US Science Teaching? *Science & education*, 23(9), 1853-1873.
- Goeppert-Mayer, M. (1935). Double Beta-Disintegration. *Physical Review*, 48(6), 512-516.
<https://doi.org/10.1103/physrev.48.512>
- Goeppert-Mayer, M. (1941). Rare-earth and transuranic elements. *Physical Review*, 60(3), 184.
- Goeppert-Mayer, M. (1963). Nobel Lecture: The Shell Model. Hentet fra <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1963/mayer/lecture/>
- Goeppert-Mayer, M. & Jensen, J. H. D. (1955). Elementary theory of nuclear shell structure.
- Goeppert-Mayer, M. & Teller, E. (1949). On the origin of elements. *Physical Review*, 76(8), 1226.
- Goeppert-Mayer, M. (1931). Über elementarakte mit zwei quantensprüngen. *Annalen der Physik*, 401(3), 273-294.
- Gosling, F. G. (1999). *The Manhattan Project: making the atomic bomb* Diane Publishing.
- Grzybowski, A. & Pietrzak, K. (2013). Maria Goeppert-Mayer (1906–1972): Two-photon effect on dermatology. *Clinics in dermatology*, 31(2), 221-225.
- Heilbron, J. L. (2005). *The Oxford guide to the history of physics and astronomy* Oxford University Press.
- Herzfeld, K. & Goeppert-Mayer, M. (1934). On the states of aggregation. *The Journal of Chemical Physics*, 2(1), 38-45.
- Hodgson, J., Rønning, W. & Tomlinson, P. (2012). Sammenhengen mellom undervisning og læring. *En studie av læreres praksis og deres tenkning under Kunnskapsløftet*, 4, 12.

- Holtebekk, T. & Linder, J. (2018). Atom: Atomteori. Hentet fra https://snl.no/atom_-_atomteori
- Irzik, G. & Nola, R. (2014). New directions for nature of science research. I *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (s. 999-1021). Springer.
- Jacquemond, L.-P. (2019). Irène Joliot-Curie and the Discovery of "Artificial Radioactivity" IA. Lykknes & B. Van Tiggelen (Red.), *Women In Their Element: Selected Women's Contributions To The Periodic System* (s. 361-373). Singapore: World Scientific.
- Johnson, K. E. (1986). Maria Goeppert Mayer: atoms, molecules and nuclear shells. *Physics Today*, 39(9), 44-49.
- Johnson, K. E. (2004). From natural history to the nuclear shell model: Chemical thinking in the work of Mayer, Haxel, Jensen, and Suess. *Physics in Perspective*, 6(3), 295-309.
- Joliot-Curie, F. & Joliot-Curie, I. (1935). Nobel Lecture: Chemical Evidence of the Transmutation of Elements. Hentet fra <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1935/joliot-fred/lecture/>
- Joliot-Curie, I. & Joliot-Curie, F. (1935). Nobel Lecture: Artificial Production of Radioactive Elements. Hentet fra <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1935/joliot-curie/lecture/>
- Kaya, E. & Erduran, S. (2016). From FRA to RFN, or How the Family Resemblance Approach Can Be Transformed for Science Curriculum Analysis on Nature of Science. *Science & Education*, 25(9), 1115-1133. <https://doi.org/10.1007/s11191-016-9861-3>
- Keller, E. F. (2003). Gender and science. I *Discovering reality* (s. 187-205). Springer.
- Khine, M. (2013). Critical analysis of science textbooks. *Evaluating instructional effectiveness*. Springer: Perth.
- Kimball, M. E. (1967). Understanding the nature of science: A comparison of scientists and science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 5(2), 110-120.
- Kleinman, D. L. (1998). Pervasive influence: intellectual property, industrial history, and university science. *Science and Public Policy*, 25(2), 95-102.
- Knain, E. (2001). Ideologies in school science textbooks. *International Journal of Science Education*, 23(3), 319-329.
- Knain, E. & Kolstø, S. D. (2011). *Elever som forskere i naturfag*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Kolstø, S. D. (2006). Et allmenndannende naturfag. Fagets betydning for demokratisk deltakelse. *Nordic Studies in Science Education*, 2(3), 82-99.
- Kolstø, S. D. (2008). Science education for democratic citizenship through the use of the history of science. *Science & education*, 17(8-9), 977-997.
- Kragh, H. (2002). *Quantum generations: A history of physics in the twentieth century* Princeton University Press.
- Kragh, H. (2006). The Reception of the New Physics among Norwegian Physicists. I R. Siegmund-Schultze & H. K. Sørensen (Red.), *Perspectives on Scandinavian Science in the Early Twentieth Century* (s. 25-44). Oslo: Novus Forlag.
- Kragh, H. (2013). Bohrs model for atomers og molekylers struktur. I L. Bruun, F. Åserud & H. Kragh (Red.), *Bohr På Ny* (s. 111-124). København: Forlaget Epsilon.
- Kwasnik, B. H. (1999). The role of classification in knowledge representation and discovery. Laudan, L., Donovan, A., Laudan, R., Barker, P., Brown, H., Leplin, J., ... Wykstra, S. (1986). Scientific change: Philosophical models and historical research. *Synthese*, 69(2), 141-223.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.

- Lederman, N. G. (1999). The state of science education: Subject matter without context. *European Journal of Science Education*, 3, 1-6.
- 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.
- Levy Nahum, T., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A. & Taber, K. S. (2010). Teaching and learning the concept of chemical bonding. *Studies in Science Education*, 46(2), 179-207.
- Lykknes, A., Opitz, D. L. & Van Tiggelen, B. (2012). Introduction. I A. Lykknes, D. L. Opitz & B. Van Tiggelen (Red.), *For better or for worse? Collaborative couples in the sciences* (bd. 44, s. 1-18). Springer Science & Business Media.
- Lykknes, A. & Van Tiggelen, B. (2019). Introduction. I A. Lykknes & B. Van Tiggelen (Red.), *Women In Their Element: Selected Women's Contributions To The Periodic System* (s. 1-54). Singapore: World Scientific.
- Malley, M. C. (2011). *Radioactivity: a history of a mysterious science* Oxford University Press.
- Marshall, E. (2002). DNA sequencer protests being scooped with his own data. *Science*, 295(5558), 1206-1207.
- Mazón, P. M. (2003). *Gender and the Modern Research University: The Admission of Women to German Higher Education, 1865-1914* Stanford University Press.
- McComas, W. F. (1996). Ten myths of science: Reexamining what we think we know about the nature of science. *School Science and Mathematics*, 96(1), 10-16.
- McComas, W. F. (2014). Nature of science in the science curriculum and in teacher education programs in the United States. I *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (s. 1993-2023). Springer.
- McComas, W. F., Almazroa, H. & Clough, M. P. (1998). The nature of science in science education: An introduction. *Science & education*, 7(6), 511-532.
- McComas, W. F., Clough, M. P. & Almazroa, H. (1998). The role and character of the nature of science in science education. I *The nature of science in science education* (s. 3-39). Dordrecht: Springer.
- McComas, W. F. & Olson, J. K. (1998). The nature of science in international science education standards documents. I *The nature of science in science education* (s. 41-52). Springer.
- McComas, W. F. & Olson, J. K. (2002). The Nature of Science in International Science Education Standards Documents. I W. F. McComas (Red.), *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies* (s. 41-52). Dordrecht: Springer Netherlands.
- McGrayne, S. B. (1995). Maria Goeppert Mayer. *The Physics Teacher*, 33(7), 424-429.
- Meitner, L. & Frisch, O. R. (1939). Disintegration of uranium by neutrons: a new type of nuclear reaction. *Nature*, 143(3615), 239-240.
- Merton, R. K. (1973). *The sociology of science: Theoretical and empirical investigations* University of Chicago press.
- Milne, C. (1998). Philosophically correct science stories? Examining the implications of heroic science stories for school science. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 35(2), 175-187.
- Monk, M. & Osborne, J. (1997). Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy. *Science Education*, 81(4), 405-424.

- 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*, 61-74.
- Mork, S. M. (2009a). Hvordan kan læreren håndtere debatter? Hentet fra <https://www.naturfag.no/artikkel/vis.html?tid=1213992>
- Mork, S. M. (2009b). Hvorfor argumentasjon i naturfag? Hentet fra <https://www.naturfag.no/artikkel/vis.html?tid=1191958>
- Murray, C. A. & Wade, J. A. (2019). The Unsung Heroines of the Superheavy Elements. I A. Lykknes & B. Van Tiggelen (Red.), *Women In Their Element: Selected Women's Contributions To The Periodic System* (s. 390-402). Singapore: World Scientific.
- Niaz, M. (2016a). *Chemistry education and contributions from history and philosophy of science*. Dordrecht: Springer.
- Niaz, M. (2016b). Introduction. I *Chemistry Education and Contributions from History and Philosophy of Science* (s. 91-123). Cham: Springer International Publishing.
- Niaz, M. (2016c). Understanding Atomic Models in Chemistry: Why Do Models Change? I *Chemistry Education and Contributions from History and Philosophy of Science* (s. 91-123). Cham: Springer International Publishing.
- Niaz, M., Rodríguez, M. A. & Brito, A. (2004). An appraisal of Mendeleev's contribution to the development of the periodic table. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 35(2), 271-282.
- Ødegaard, M. (2003). Dramatic science. A critical review of drama in science education, 75-101.
- Øyehaug, A. B. & Holt, A. (2014). Elevers refleksjoner over naturvitenskapens egenart. *Acta Didactica Norge*, 8(1), 3-18 sider.
- Poole, M. (1995). *Beliefs and values in science education* McGraw-Hill Education (UK).
- Powell, W. W. (1996). Inter-Organizational Collaboration in the Biotechnology Industry. *Journal of Institutional and Theoretical Economics (JITE) / Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*, 152(1), 197-215. Hentet fra www.jstor.org/stable/40751919
- Pycior, H. M., Slack, N. G. & Abir-Am, P. G. (1996). Introduction. I *Creative couples in the sciences* (s. 3-38). New Jersey: Rutgers University Press.
- Rae, I. D. (2019). May Sybil Leslie and the Disintegration of her Element - Thorium. I A. Lykknes & B. Van Tiggelen (Red.), *Women in Their Element: Selected Womens Contributions to the Periodic System* (s. 313-323). Singapore: World Scientific.
- Rayner-Canham, M. F. & Rayner-Canham, G. W. (1997). Introduction. I *Devotion to Their Science: Pioneer Women of Radioactivity* (s. 1-28). McGill-Queen's Press-MQUP.
- Reed, B. C. (2014). *The history and science of the Manhattan project* Springer.
- Reiff, R., Harwood, W. S. & Phillipson, T. (2002). A Scientific Method Based upon Research Scientists' Conceptions of Scientific Inquiry.
- Renstrøm, R. (2006). Einstein's Revolutionary Theory of the Photon and its Slow Reception, particularly in Scandinavia. I R. Siegmund-Schultze & H. K. Sørensen (Red.), *Perspectives on Scandinavian Science in the Early Twentieth Century* (s. 45-64). Oslo: Novus Forlag.
- Resnik, D. B. (2007). *The price of truth: How money affects the norms of science*. New York: Oxford University Press.
- Robinson, A. E. (2019). Isabella L. Karle and the Synthesis of Plutonium Chloride. I A. Lykknes & B. Van Tiggelen (Red.), *Women In Their Element: Selected Women's Contributions To The Periodic System* (s. 374-381). Singapore: World Scientific.
- Roqué, X. (2019). Marie Skłodowska Curie - Polonium and Radium. I A. Lykknes & B. Van Tiggelen (Red.), *Women In Their Element: Selected Women's Contributions To The Periodic System* (s. 209). Singapore: World Scientific.

- Roqu , X. (2019). Lise Meitner and Protactinium. I A. Lykknes & B. Van Tiggelen (Red.), *Women In Their Element: Selected Women's Contributions To The Periodic System* (s. 324-331). Singapore: World Scientific.
- Rose, P. L. & Ellis, R. J. (1998). *Heisenberg and the Nazi atomic bomb project: a study in German culture* Univ of California Press.
- Rossiter, M. W. (1982). *Women scientists in America: Struggles and strategies to 1940* (bd. 1)JHU Press.
- Rossiter, M. W. (2012). *Women scientists in America: Forging a new world since 1972* (bd. 3)JHU Press.
- 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.
- 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.
- Sachs, R. G. (1979). Maria Goeppert Mayer. *Biographical Memoirs*, 50, 311.
- Scerri, E. R. (2000). Philosophy of chemistry—a new interdisciplinary field? *Journal of Chemical Education*, 77(4), 522.
- 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>
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G. & Crawford, B. A. (2004). Developing views of nature of science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science Education*, 88(4), 610-645.
- Shindell, M. (2019). *The Life and Science of Harold C. Urey* University of Chicago Press.
- Sime, R. L. (2000). The search for transuranium elements and the discovery of nuclear fission. *Physics in Perspective*, 2(1), 48-62.
- Sletten, H. (2017). *Naturvitenskap, Mer enn bare fakta? En undersøkelse om hvilket bilde p  naturvitenskapens egenart som formidles i Tellus 8-10*. NTNU, Trondheim. Hentet fra <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2475745>
- Spradley, J. L. (1989). Women and the elements: The role of women in element and fission discoveries. *The Physics Teacher*, 27(9), 656-663. <https://doi.org/10.1119/1.2342909>
- Stewart, P. J. (2019). Mendeleev's predictions: success and failure. *Foundations of Chemistry*, 21(1), 3-9.
- Tang, X., Coffey, J. E., Elby, A. & Levin, D. M. (2010). The scientific method and scientific inquiry: Tensions in teaching and learning. *Science Education*, 94(1), 29-47.
- UNESCO. (2019). Women in Science. Hentet fra <http://uis.unesco.org/en/topic/women-science>
- Utdanningsdirektoratet. (2015). *L replan i naturfag (NAT1-03)*. Hentet fra <https://www.udir.no/kl06/NAT1-03/Hele/Kompetansemaal/kompetansemal-etter-10.-arstrinn>
- Van Tiggelen, B. (2019). Ida Noddack, the Eka-Manganeses and Nuclear Fission. I A. Lykknes & B. Van Tiggelen (Red.), *Women In Their Element: Selected Women's Contributions To The Periodic System* (s. 209-224). Singapore: World Scientific.
- Van Tiggelen, B. & Lykknes, A. (2019). Celebrate the women behind the periodic table. *Nature*, 559-561. <https://doi.org/doi:10.1038/d41586-019-00287-7>
- Wang, H. A. (1999). A Content Analysis of the History of Science in the National Science Educational Standards Documents and Four Secondary Science Textbooks.

- Windschitl, M., Thompson, J. & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967.
- Wittgenstein, L. (2009). *Philosophical investigations*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Wong, S. L. & Hodson, D. (2010). More from the Horse's Mouth: What scientists say about science as a social practice. *International Journal of Science Education*, 32(11), 1431-1463. <https://doi.org/10.1080/09500690903104465>

