

# Bruk av drama for undervisning av naturvitenskapens egenart

Utvikling og utprøving av et undervisningsopplegg om fysikkens  
historie

**Frode Aalmen**

Master i lærerutdanning med realfag

Oppgaven levert: Juni 2010

Hovedveileder: Berit Bungum, IFY



## ***SAMMENDRAG***

---

Denne oppgaven tar for seg *naturvitenskapens egenart* som tema i programfaget fysikk i videregående skole. I læreplanen K06 har kunnskap om naturvitenskapens egenart blitt mer aktuelt, og temaet har fått økt oppmerksomhet i de senere årene. Videre ønsker man å legge mer vekt på kvalitative undervisningsmetoder fordi elever har uttrykt at det er ønskelig gjennom FUN, en undersøkelse om fysikkutdanning i Norge. Denne oppgaven tar mål av seg å knytte det økte fokuset på naturvitenskapens egenart opp mot elevers ønske om hyppigere bruk av kvalitative undervisningsmetoder. Jeg har derfor utviklet et undervisningsopplegg i programfaget Fysikk 2 i videregående skole der hensikten er å vektlegge disse sidene av fysikkfaget.

Undervisningsopplegget bruker drama som metode for å arbeide med fysikkens historie. Opplegget tar utgangspunkt i kvantefysikken og striden mellom Niels Bohr og Albert Einstein. I tilknytning til undervisningsopplegget har jeg utviklet et ressurshefte som beskriver hovedtrekk i kvantefysikkens utvikling. Ressursheftet legger det fysikkfaglige grunnlaget for undervisningsopplegget. Undervisningsopplegget avsluttes med at elevene dramatiserer en debatt mellom Bohr og Einstein.

Siden jeg har utviklet et undervisningsopplegg på bakgrunn av det økte fokuset på naturvitenskapens egenart og elevers ønske om hyppigere bruk av kvalitative undervisningsmetoder, har jeg også undersøkt om det virker etter sin hensikt. Jeg var derfor interessert i å se hvordan elevene tok i mot undervisningsopplegget og hvilket læringsutbytte opplegget ga elevene. Dette resulterte i følgende forskningsspørsmål:

***Hvordan fungerer undervisningsopplegget med tanke på elevenes læringsutbytte og motivasjon?***

***Hvilke oppfatninger har elevene om naturvitenskapens egenart slik det kommer til uttrykk i rollespilldebatten?***

Opplegget ble prøvd ut i en Fysikk 2 klasse. Deler av undervisningsopplegget (rollespilldebatten) ble filmet og spørreskjema ble delt ut til elevene etter endt undervisning. Dette utgjør datagrunnlaget for undersøkelsen.

Resultatene fra denne undersøkelsen kan tyde på undervisningsopplegget fungerer etter sin hensikt med tanke på elevenes læringsutbytte og motivasjon. Elevene gir uttrykk for at kompetansemålene undervisningsopplegget tar mål av seg å dekke, jevnt over oppnås. Bruk av drama som metode virket å ha en motiverende effekt på elevene uten at det gikk utover det fysikkfaglige. Elevene gjør det klart at uenighet og åpne diskusjoner er viktige ingredienser for utvikling av kunnskap innen for vitenskapen. Videre viktiggjør elevene betydningen av forsker-felleskap og eksperimentelle resultater og teorier som publiseres for å kunne bli vurdert av andre.

Mine konklusjoner i forhold til undervisningsopplegget er at det gjennom bruk av drama er med på å motivere elevene til å lære fysikk og om historie i fysikkundervisningen. Etter utprøvingen av dette undervisningsopplegget kan det tyde på at elever kan trenge mer trening i å uttrykke seg muntlig i fysikk. Til slutt vil jeg nevne at ved at undervisningsopplegget tar fokus bort fra formler og regneoppgaver og erstatter det med kreativitet og sosial aktivitet gjør at opplegget også henvender seg til elever som i utgangspunktet ikke er *skolevinnere*.

Utviklingen av undervisningsopplegget og analysen av innsamlede datamaterialet har resultert i spesifikke anbefalinger med hensyn til motivasjonstips, gjennomføring og tidsbruk.

## **FORORD**

---

Denne oppgaven er skrevet som en avsluttende masteroppgave i fysikk fagdidaktikk ved Institutt for Fysikk, NTNU. Mastergraden er tatt over fem år.

Det var flere grunner til at jeg valgte å utvikle et undervisningsopplegg i fysikk. Jeg har alltid vært nysgjerrig på vitenskapshistorie og latt meg inspirere av personligheter som Einstein og Newton. I tillegg har jeg slitt med å forstå kvantefysikkens uforståelige sider. Gleden var derfor stor da jeg fikk utvikle et ressurshefte innen kvantefysikkens historie som undervisningsopplegget skulle bygge på.

Arbeidet med oppgaven har bydd på både faglige og fagdidaktiske utfordringer. I utviklingen av ressursheftet fikk jeg utfordret de faglige kunnskapene i fysikk, mens jeg i arbeidet med undervisningsopplegget stadig møtte på fagdidaktiske valg å ta stilling til. Det ga også mersmak å undervise, og til neste år skal jeg se om ikke jeg får prøvd ut undervisningsopplegget i min nye lærerjobb.

Arbeidet med denne oppgaven har gått over gått over ett år, og vært en lærerik prosess for undertegnede. Først og fremst ønsker jeg å takke min veileder, Berit Bungum, for faglig veiledning, oppklarende samtaler, korrekturlesing og for hennes tilgjengelighet. Jeg vil også takke Elin Grønvik ved Byåsen videregående skole for at jeg fikk benytte meg av klassen hennes, Vegard Sjøvik som stilte som kameramann og elevene som tok i mot undervisningsopplegget med åpne armer. En stor takk rettes også til klassekamerater som har gjort studentlivet i Trondheim utrolig bra, og til venner og familie for støttende ord. Til sist en stor takk til min kjære Ida som har holdt ut med meg til tross for at oppgaven ble skrevet i Trondheim.

- Frode Aalmen, Trondheim 05/2010

---



<b>SAMMENDRAG.....</b>	<b>3</b>
<b>FORORD .....</b>	<b>5</b>
<b>1 INNLEDNING .....</b>	<b>9</b>
1.1 BAKGRUNN FOR OPPGAVEN .....	9
1.2 PROBLEMSTILLINGER .....	12
1.3 OPPBYGGING AV OPPGAVEN .....	13
<b>2 TEORETISKE PERSPEKTIVER .....</b>	<b>15</b>
2.1 NARURVITENSKAPENS EGENART .....	15
2.2 VITENSKAPELIG ARGUMENTASJON .....	17
<i>Hvordan bruke argumentasjon i undervisningen?</i> .....	19
2.3 BRUK AV DRAMA I UNDERVISNINGEN.....	20
<i>Lærerens rolle og overveielser</i> .....	21
2.4 SPRÅKETS BETYDNING HOS VYGOTSKY – REDSKAP FOR Å SKAPE FORSTÅELSE OG MENING .....	24
<b>3 METODE .....</b>	<b>27</b>
3.1 FORSKNINGSDESIGN .....	27
3.2 FILMOPPTAK.....	27
3.3 SPØRRESKJEMA .....	29
3.4 MIN ROLLE .....	30
<b>4 UTVIKLING AV UNDERVISNINGSOPPLEGG .....</b>	<b>31</b>
4.1 VALG AV CASE.....	31
4.2 RESSURSHEFTE.....	32
<i>Utvikling av casen med begrunnelse i læreplanen</i> .....	32
<i>Beskrivelse av casen</i> .....	33
4.3 UTVIKLING AV UNDERVISNINGSOPPLEGGET ”BOHR vs. EINSTEIN” .....	34
<i>Utvikling av undervisningsopplegget med begrunnelse i læreplanen</i> .....	35
<i>Beskrivelse av undervisningsopplegget</i> .....	36
4.4 UTPRØVING .....	37
<b>5 RESULTATER OG ANALYSE AV EMPIRISK MATERIALE.....</b>	<b>41</b>
5.1 ELEVENES EVALUERING AV UNDERVISNINGSOPPLEGGET .....	41
<i>Hva synes elevene at de lærer?</i> .....	41
<i>Hva likte elevene med opplegget?</i> .....	48
<i>Hva likte elevene mindre godt ved opplegget?</i> .....	49

<i>Hvordan responderer ulike elevtyper på undervisningsopplegget?</i> .....	49
<b>5.2 HVA UTTRYKKER ELEVENE OM NATURVITENSKAPENS EGENART?</b> .....	50
<i>"I forskning oppdager man nye ting og da gjelder det å komme videre og ikke holde seg til det gamle"</i> .....	53
<i>Einsteins "gammeldagse" forskningsmåte og forskerfellesskap</i> .....	54
<i>"Gud spiller ikke med terninger" – Hva slags argumenter ser elevene som gyldige?</i> .....	55
<i>"Det er forskjell på en badeball og et elektron" – Hvilken innsikt viser elevene i kvantefysikk?</i> .....	56
<i>Å uttrykke seg muntlig – en grunnleggende ferdighet i fysikkfaget</i> .....	58
<b>6 DISKUSJON OG KONKLUSJON</b> .....	<b>61</b>
<b>6.1 DISKUSJON</b> .....	61
<i>Hvordan ble undervisningsopplegget "Bohr vs. Einstein" tatt i mot?</i> .....	61
<i>Muntlige ferdigheter i fysikk</i> .....	65
<i>Hvilke oppfatninger har elevene om naturvitenskapens egenart?</i> .....	66
<i>Hvilken innsikt viser elevene i kvantefysikk?</i> .....	68
<b>6.2 KONKLUSJON OG ANBEFALINGER</b> .....	69
<i>Konklusjon</i> .....	69
<i>Undervisningsopplegget: Fordeler og anbefalinger</i> .....	70
<b>LITTERATUR</b> .....	<b>73</b>

## VEDLEGG

RESSURSHEFTE: *ET HISTORISK BLIKK PÅ KVANTEFYSIKKENS UTVIKLING – MED VEKT PÅ STRIDEN*

*MELLOM BOHR OG EINSTEIN*

TRANSKRIPSJON AV ROLLESPILLDEBATT

SPØRREUNDERSØKELSE

HISTOGRAMMER FRA SPØRREUNDERSØKELSE



# **1 INNLEDNING**

---

Denne oppgaven tar for seg *naturvitenskapens egenart* som tema i programfaget fysikk i videregående skole. Naturvitenskapens egenart blir ofte omtalt som det å forstå hva som kjennetegner naturvitenskap. Det vil si å akseptere naturvitenskap som en viktig faktor i samfunnsutviklingen, forstå naturvitenskap som en sosial prosess og øve opp kritisk holdning til eksperimenter og undersøkelsesbaserte metoder. I de senere årene har kunnskap om naturvitenskapens egenart blitt mer aktuelt og fått økt oppmerksomhet i læreplanen K06.

Videre ønsker man å legge mer vekt på kvalitative undervisningsmetoder fordi elever har uttrykt at det er ønskelig. FUN, en undersøkelse om fysikkutdanning i Norge, viser at elever i kursene 2FY og 3FY (nå Fysikk 1 og 2) vil ha hyppigere bruk av kvalitative undervisningsmetoder som for eksempel diskusjon i grupper og lærerstyrt drøfting av begreper (Angell, Henriksen & Isnes, 2003). Dette ønsket fra elevene er i tråd med at læreplanen K06 har viet større plass til grunnleggende ferdigheter i fysikk.

Denne oppgaven tar mål av seg å knytte det økte fokuset på naturvitenskapens egenart opp mot elevens ønske om hyppigere bruk av kvalitative undervisningsmetoder. Derfor har jeg utviklet et undervisningsopplegg der hensikten er å vektlegge disse sidene av fysikkfaget.

Undervisningsopplegget bruker drama som metode for å arbeide med fysikkens historie. Opplegget tar utgangspunkt i kvantefysikken og striden mellom Niels Bohr og Albert Einstein. Som del av masteroppgaven har jeg utviklet et ressurshefte som beskriver hovedtrekk i kvantefysikkens utvikling. I undervisningsopplegget bruker elevene dette ressursheftet til å konstruere argumenter. Undervisningsopplegget avsluttes med at elevene dramatiserer den vitenskapelige debatten. I tillegg til å inneholde utviklingen av et undervisningsopplegg og et ressurshefte, består oppgaven av utprøving av opplegget, samt to overordnede problemstillinger knyttet til undervisningsopplegget.

## **1.1 BAKGRUNN FOR OPPGAVEN**

Internasjonalt er det en voksende trend å innlemme ideer om hvordan naturvitenskapelig kunnskap dannes og hvordan argumentasjon kan bidra i en naturvitenskapelig kunnskapsproduksjon i læreplaner og undervisning. Det er et økt fokus på å oppnå en bedre balanse

mellom å undervise om naturvitenskapens egenart, faktastoff og faginnhold, samt å utvikle nødvendige ferdigheter for informerte borgere i et demokratisk samfunn (Ødegaard, 2008). Dette kommer tydelig fram i *Formålet med programfaget fysikk* i læreplanen K06:

*Programfaget skal bidra til å øve opp kritisk holdning til undersøkelser og påstander og gi trening i å argumentere for løsninger på fysikkfaglige problemstillinger. Slik skal opplæringen styrke den enkeltes evne til å skille mellom vitenskapelig basert kunnskap og kunnskap som ikke er basert på vitenskapelige metoder. Programfaget skal gi forståelse av fysikkfaglige problemstillinger og av prosesser som fører til økt innsikt, noe som er et viktig grunnlag for flere studier i høyere utdanning og for livslang læring. Programfaget fysikk skal på den måten bidra til at samfunnet får tilført kvalifisert arbeidskraft, og fremme innovasjon og utvikling som kan komme næringsliv og samfunn til gode. Samtidig skal opplæringen legge vekt på de allmenndannende sidene ved fysikkfaget (Utdannings- og forskningsdepartementet, 2005).*

Det står at programfaget skal gi trening i å argumentere for fysikkfaglige problemstillinger, noe som gjør at det fokuseres på hvordan elevene fronter en påstand og dens medfølgende begrunnelser. Videre nevnes det at elevene gjennom å øve opp kritisk holding, skal klare å identifisere ut det som anses som vitenskapelig kunnskap. Vi ser at faget skal gi forståelse av prosesser som skal føre til økt innsikt i vitenskap. Det går også fram at faget skal bidra til at samfunnet får tilført kvalifisert arbeidskraft samtidig som det legges vekt på de allmenndannende sidene ved fysikkfaget.

På grunn av sterkere fokus på naturvitenskapelig kunnskapsproduksjon som en sosial prosess, har argumentasjon i naturvitenskapelige fag de siste 10-20 årene fått økt oppmerksomhet over hele verden (Mork, 2008). Flere forskere (for eksempel Erduran & Jimenez-Aleixandre, 2008 og Mork 2006) peker på at bruk av argumentasjon i undervisningen kan være en god vei å gå for å nå kompetansemålene i læreplanen og bidra til elevenes naturfaglige allmenndannelse (Ødegaard, 2008). Argumentasjon kan integreres i flere ulike undervisningskontekster som for eksempel diskusjoner og debatter. Sonja M. Mork (2008) peker ut tre viktige målsetninger for å jobbe med argumentasjon og muntlige ferdigheter i naturvitenskapelige fag:

- ✓ Å gi elevene kunnskaper om naturvitenskapens egenart.
  - Lære hvordan naturvitenskap er konstruert
- ✓ Å gi elevene grunnlag for deltagelse i demokratiske prosesser

- Naturvitenskap går igjen i svært mange dagsaktuelle tema
- ✓ Å utvikle mer avanserte ferdigheter enn å gjengi og anvende kunnskaper
  - Utvikle kritisk tenkning. Det vil si å begrunne påstander og kritisk vurdere informasjon og andres argumenter.

I en del land, for eksempel Norge, USA, England og Spania, er disse målene blitt innlemmet i de offisielle læreplanene. Det finnes imidlertid begrensede tradisjoner for hvordan man utformer undervisning hvor vitenskapelig argumentasjon inngår som en tydelig komponent for å nå disse målsetningene.

I tråd med økt fokus internasjonalt på naturvitenskapelig kunnskapsproduksjon i naturfagene, har det de siste årene også vært fokus på muntlig språk i de naturvitenskapelige fagene. Tidligere har vi sett en overfokusering på oppskriftsmessige laboratorieforsøk og pugging av fagenes etablerte innhold. I K06 understrekes betydningen av grunnleggende ferdigheter som lesing og skriving i naturvitenskapelig fag sterkt. Det innebærer at deltagelse i debatter, argumentasjon og kritisk lesing av ulike kilder har fått større fokus. I læreplanen under grunnleggende ferdigheter pekes det på at å uttrykke seg *muntlig* og *skriftlig* i fysikk blant annet innebærer å beskrive naturen ved å bruke fysikk-faglige begreper og uttrykksformer. Det innebærer også å argumentere for egne vurderinger, gi tilbakemeldinger og presentere resultater. Det vil si å beherske et presist og entydig språk. Å *lese* fysikk beskrives blant annet med å kunne rekke ut, tolke og reflektere over informasjon i bl.a. fysikkfaglige tekster, aviser og populærvitenskapelige magasiner og bøker (Utdannings- og forskningsdepartementet, 2005).

En måte å formidle vitenskapens egenart samtidig som man setter fokus på grunnleggende ferdigheter kan være rollespill om en vitenskapelig case. Tar man utgangspunkt det Stein Dankert Kolstø (2007) kaller for historiske fortellinger om vitenskap har man et godt utgangspunkt for å knytte naturvitenskapens egenart sammen med det økte fokuset på muntlig språk. Det er imidlertid ingen selvfølge at elever lærer fysikk gjennom historie. Undervisningsopplegget utviklet i denne oppgaven søker å kombinere en historisk fortelling med elevers bruk av muntlig språk gjennom drama.

En viktig del av oppgaven er ressursheftet som er utviklet (se vedlegg 1). Ressursheftet presenterer en historisk case om kvantefysikkens utvikling og inneholder de mest sentrale aspektene i kvantefysikken, i tillegg til en rekke begreper. Ved at casen beskriver striden

mellom Niels Bohr og Albert Einstein illustreres sentrale aspekter ved naturvitenskapens egenart som åpne diskusjoner preget av uenighet, diskusjon og argumentering. Gjennom å dramatisere striden mellom Bohr og Einstein vil elevene få brukt kunnskapene de har ervervet seg ved å lese i ressursheftet, de vil måtte uttrykke sine fysikkfaglige kunnskaper muntlig, utforme argumenter og ta stilling til hva som er gyldig argumentasjon i en vitenskapelig debatt.

Undervisningsopplegget dekker (deler av) kompetansemål innen hovedområdene *moderne fysikk og den unge forskeren* i Fysikk 2. Kompetansemålene under moderne fysikk fokuserer på Einsteins forklaring av fotoelektrisk effekt, Heisenbergs uskarprelasjoner og erkjennelsesmessige konsekvenser fra dem. Fra den unge forskeren sikter kompetansemålene seg inn på hvordan ulike fysiske teorier kan eksistere ved siden av hverandre, til tross for at de kan være motstridene. Elevene skal også gi eksempel på en strid som er avklart, og hvordan avklaringen kom. De skal også gi eksempel på en vitenskapelig strid som ennå ikke er avklart, og gjøre rede for hvorfor den ikke er det. For full oversikt over kompetansemålene som dekkes av undervisningsopplegget, se kapittel 4 – *Utvikling av undervisningsopplegg*.

## 1.2 PROBLEMSTILLINGER

På bakgrunn av det som er skrevet ovenfor, har jeg i tillegg til å utvikle et undervisningsopplegg inkludert ressurshefte, valgt to problemstillinger for oppgaven.

***Hvordan fungerer undervisningsopplegget med tanke på elevenes læringsutbytte og motivasjon?***

Med læringsutbytte menes hva elevene selv synes de lærer, hvilken innsikt de viser i kvantefysikk og hvordan de argumenterer og uttrykker seg muntlig i fysikk. Jeg vil se på hvordan opplegget blir tatt i mot av elevene og i hvilken grad elevene fant undervisningsopplegget motiverende i seg selv og for videre læring i fysikk. Hvordan ulike elevtyper responderer på undervisningsopplegget ønsker jeg også å få svar på.

***Hvilke oppfatninger har elevene om naturvitenskapens egenart slik det kommer til uttrykk i rollespilldebatten?***

Jeg ønsker å få svar på elevenes syn på eksperimentelle resultater. Taler eksperimentelle resultater for seg selv? Eller fører de til tolkning og diskusjon? I tillegg vil jeg se på hva slags argumenter elevene ser på som gyldige, hva de forstår av innholdet og dilemmaene i kvantefysikken og om casen Bohr vs. Einstein gir elevene innsikt i dagens post-akademiske vitenskap.

Denne delen av oppgaven baserer seg på filmopptak, observasjon og spørreundersøkelser i en klasse hvor opplegget er prøvd ut. Dette beskrives nærmere i kapittel 3 – *Metode*.

### **1.3 OPPBYGGING AV OPPGAVEN**

Oppgaven starter med å beskrive bakgrunn og hensikt for oppgaven – å lage et undervisningsopplegg som knytter det økte fokuset på naturvitenskapen egenart opp mot elevers ønske om hyppigere bruk av kvalitative undervisningsmetoder. I kapittel 2 presenteres teoretiske perspektiver som støtter opp om problemstillingene i oppgaven, mens kapittel 3 beskriver metodene som ble brukt for å få svar på problemstillingene som er beskrevet i avsnittet over. Kapittel 4 gir en beskrivelse av utviklingen av undervisningsopplegget og ressursheftet, og hvordan opplegget er prøvd ut på en klasse i Fysikk 2. Resultater og analyse fra det empiriske materialet legges fram i kapittel 5. Oppgaven avsluttes med en diskusjon der resultater og analyse diskuteres opp mot egne erfaringer og teoretiske perspektiver med utgangspunkt i problemstillingene. Til slutt formulerer jeg noen anbefalinger i forhold til videre bruk av undervisningsopplegget som er utviklet.

I forbindelse med utviklingen av undervisningsopplegget ble ressurshefte, *Et historisk blikk på kvantefysikkens utvikling*, produsert. Heftet er også et selvstendig produkt og er lagt ved som vedlegg 1. Siden fysikken som er relevant for oppgaven er behandlet i ressursheftet velger jeg ikke å ta for meg dette i selve oppgaven.



## 2 **TEORETISKE PERSPEKTIVER**

---

### 2.1 **NATURVITENSKAPENS EGENART**

Naturvitenskap kan beskrives som en idealisering og forenkling av virkeligheten. Videre søker naturvitenskapen å gi både en beskrivelse av og en forklaring på fenomener, men skillet mellom de to er ikke enkelt å sette, skriver Svein Sjøberg (2004) i *Naturfag som allmenn-dannelse*. Naturvitenskapen tar mål av seg å forklare fenomener så enkelt som mulig uten å inneholde selvmotsigelser. Forklaringene som ofte kalles ideer, skal kunne testes mot virkeligheten og vike for nye ideer som synes bedre egnet. Ved at vitenskapens ideer og tanker skal kunne kritiseres og revideres, når de ikke passer med observasjoner, legges det til rette for uenighet, debatt og diskusjon. Dette gir et bilde på vitenskap i utvikling slik det foregår ved forskningsfronten. I dag legges empiriske resultater, logiske resonnementer og argumenter fram på konferanser og publiseres det i artikler gjøres det tilgjengelig for andre. Det gjør at mulighetene for at nye tanker oppstår og gamle tanker og teorier blir forlatt og erstattet med noe annet, som fortrinnsvis er bedre. Bedre teorier er et produkt av forskere som presenterer sine resultater for andre og argumenterer for sine tolkninger. Mange hevder at vitenskapens egenart ligger i nettopp dette: At den er et argumentasjonsfelleskap (Sjøberg, 2004).

Det er flere grunner til at elever burde lære om naturvitenskapens egenart. Sjøberg (2004) skriver om det han kaller for *demokratiargumentet*: Naturvitenskapelig kunnskap er viktig for informert meningsdannelse og ansvarlig deltaking i demokratiet. Han viser til at naturfaglig kompetanse er en nødvendig ballast for folk flest for at demokratiet skal fungere. *Vi kan ikke alle være eksperter, men vi må ha intellektuelle redskaper for å kunne vurdere hvilke eksperter som har argumentene på sin side* (ibid., s. 170). Demokratiargumentet blir støttet av flere forskere, bl.a. Maria P. Jiménez-Aleixandre og Sibel Erduran (2008) og Stein Dankert Kolstø (2007). De peker på at ved at vitenskapelig kunnskap man er i besittelse av brukes i diskusjoner og argumentering med andre, vil også demokratiet utvikles.

En annen årsak til at elevene burde lære om naturvitenskapens egenart er at de må få et riktig bilde av vitenskap. I skolen møter elevene stort sett den etablerte vitenskapen, i hovedsak vitenskap der uenighet ikke lenger eksisterer (Sjøberg, 2004). Det kan føre til at den autentiske vitenskapen, som preges av uenighet og debatt, og som gir oss de åpne diskusjonene, som mange hevder er selve naturvitenskapens egenart, ikke får plass. Elevene bør se på uenighet blant forskere som et tegn på at det foregår en normal, levende diskusjon, i stedet for noe

negativt og unormalt. For at elevene skal verdsette denne debatten som noe positivt bør de lære noe om naturvitenskapens egenart, skriver Sjøberg (2004). Elevene får også muligheten til å forstå naturvitenskap som en sosial prosess, som i tillegg, til innsikt i undersøkelsesbaserte metoder, er vel så viktige aspekter ved naturfaglig allmenndannelse som naturvitenskapelig innhold, i følge Mork (2008). Dette gjør at det er verdt å se nærmere på hva som kjennetegner naturvitenskap og hvordan den utviklet seg.

John Ziman (2000, gjengitt etter Kolstø, 2007) skiller mellom det han betegner for industriell, akademisk og post-akademisk varianter av vitenskapelig forskning. I industriell forskning er målet og oppgaven å løse problemer med antatt nytte for industriell teknologi og utvikling. Fokuset står altså i sterk kontrast til den klassiske vitenskapen som utøves på universiteter, der utvikling av vitenskap uten bestemte bruksområder kommer i andre rekke. I den tradisjonelle metoden av vitenskapelig forskning, som Ziman kaller den akademiske forskningen, er *veien* til kunnskap nok i seg selv. Ziman peker på en trend der en tredje metode for vitenskapelig forskning som han betegner for post-akademisk forskning. Denne forskningen befinner seg i sjiktet mellom industriell- og akademisk forskning. Et viktig poeng med post-akademisk forskning er hvor lite den vektlegger erkjennelsesmessige verdier, men har fokus på nytte. Nytte blir stadig viktigere i dagen samfunn og vi ser en trend der mindre gjøres uten finansielle midler som har økonomiske interesser i prosjekter. Det gjør at historieaspektet lett kan gå i glemmeboken i undervisningen som søker å belyse naturvitenskapens rolle i samfunnsutvikling. Man har derfor søkt etter måter å formidle vitenskapens egenart gjennom dens historie.

Kolstø (2007) introduserer det han kaller for historiske fortellinger om vitenskap. Vitenskap inneholder aspekter som ofte involverer kontroverser og uenigheter. Mye tyder på at elever blir forvirret når de blir konfrontert med "ekspertuttalelser" og spør seg om dette er sikker kunnskap eller inkompetent arbeid. Derfor kan innsikt i naturvitenskapens egenart og vitenskapssamfunnets samspill være nyttig for deltagelse i demokratiske debatter og samfunnsvitenskapelige spørsmål.

Ved å bruke historiske fortellinger om vitenskap får elevene mulighet til å få større innsikt i utviklingen av vitenskap og hvordan en teori blir til (Kolstø, 2007). Det vil gi dem mulighet til faktisk å se at uenighet innen vitenskap ikke er noe negativt og unormalt, men heller et tegn på at det foregår en normal og levende vitenskapelig diskusjon. Kolstø baserer sitt syn for



hvordan historiske fortellinger om naturvitenskap har en potensiell relevans i læreplanen for vitenskapelige fag på grunner:

- ✓ Det eksisterer i dag ulike måter av vitenskapelig forskning side om side
- ✓ Det finnes likeheter mellom forskjellig forskning som definerer aspekter av vitenskap. Ved å gjenspeile det i historiske fortellinger kan det være med på å fremme forståelse.
- ✓ Pedagogisk kan det være en fordel å lære om ulike sider av en vitenskapsteori i historisk rekkefølge. Ved å inkludere flere sider av en vitenskapsteori er det mulig å sette teoriene opp mot hverandre og sammenligne dem.

På grunn av de store forskjellene mellom akademisk og post-akademisk forskning er det viktig at lærer gjør nøye overveininger på hvordan bildet av naturvitenskap skal formidles for å unngå mulige fallgruver. Hvis det for eksempel kun brukes caser fra akademisk forskningstradisjoner, eller hvis de historiske fortellingene ikke involverer nok detaljer og dybde, kan det fort gi et feil bilde på naturvitenskap. Det er viktig å inkludere vekselvirkninger mellom vitenskap og samfunn. På den måten vil man unngå at misoppfatningen om at vitenskap er separert fra resten av samfunnet blir forsterket. Man bør også tenke på at illustrasjon (bl.a. gjennom historiske fortellinger) ikke kun er ment som luksus for elvene. Det er også avgjørende for deres engasjement og dypere forståelse av naturvitenskap (Kolstø, 2007).

Historiske fortellinger om naturvitenskap i undervisningen kan virke motiverende, samtidig som de er med på å skape variasjon (se Kolstø, 2007). Det å inkludere menneskelige aktører med håp, strider og suksess har sannsynligvis en positiv innflytelse på motivasjonen hos elever og studenter fokuserer på to områder ved vitenskapelige fortellinger i forbindelse med demokratiargumentet. Fortellingene gjør det mulig å lære aspekter ved naturvitenskapens egenart som vil gi rom for illustrasjoner, dybde og forståelse. I tillegg gir fortellingene gir et bilde på vitenskapssamfunnets samspill, noe som gjør at det legges til rette for informert meningsdannelse hos elever og ansvarlighet i forhold til deltaking i demokratiet.

## **2.2 VITENSKAPELIG ARGUMENTASJON**

Kunnskaper om argumentasjon og ferdigheter i å argumentere og evaluere informasjon er en viktig del av allmenndannelsen, og det tyder på at aktiviteter som involverer argumentasjon kan bidra til økt læring (se Mork, 2006). Studiene som fokuserer på bruken av argumentasjon i

realfagsundervisningen (f.eks. Driver, Newton, & Osborne, 2000; Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodríguez & Duschl 2000; Kelly & Takao, 2002; Zohar & Nemet, 2002) retter blant annet fokus mot viktigheten av selve undervisningen, og hvordan den er med på å danne vitenskapelig kunnskap hos elevene (Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2008).

Aktiviteter som fremmer argumentasjon forekommer svært sjelden i undervisningen i følge en evaluering av L97 (Mork, 2006). Gjennom læreplanen K06 har grunnleggende ferdigheter, deriblant det å kunne uttrykke seg muntlig og skriftlig, imidlertid blitt gitt spesiell prioritet.

Kunnskaper om og ferdigheter i argumentasjon bidrar til å systematisere og reflektere over egen kunnskap og å være kritisk til ulike typer informasjon (Mork, 2006). Det å kunne begrunne, forsvare og avvise argumenter er viktige aspekter av det å kunne uttrykke seg muntlig og skriftlig, og er viktige ferdigheter både i høyere utdanning, samfunnsliv og yrkesliv. Elever kan argumentere i hverdagslivet for sine meninger. Utfordringen er å få elevene til å ta med seg erfaringene over i skolehverdagen og bevisstgjøre dem på hva argumentasjon er, og om hvordan de også kan bruke argumentasjon som en strategi i egen læringsprosess.

Filosofen Stephen Toulmin (1958) definerer argumentasjon som en påstand og dens medfølgende begrunnelser. Patrick J. M. Costello og Sally Mitchell (1995) definerer argumentasjon som noe som kan forstås som et virkemiddel for å fronte et syn eller posisjon til fordel for andre. Toulmin utviklet en modell som beskriver de viktigste komponentene i argumentasjonen. Modellen, som består av seks komponenter, har fortsatt stor innflytelse og benyttes av blant andre naturfagdidaktikere til å beskrive og analysere elevers argumentasjon (Driver et. al, 2000).

De fire første komponentene i Toulmins modell danner hoveddelen av en argumentasjon:

- ✓ **Påstand** som fremsettes av en aktør
- ✓ **Faktaopplysninger** som benyttes for å støtte en påstand
- ✓ **Begrunnelser** som fremsettes for å forklare sammenhengen mellom faktaopplysninger og en påstand
- ✓ **Underliggende antagelser/forutsetninger** som antas å være allment akseptert som forsvar av en spesifikk begrunnelse

De to siste komponentene inngår vanligvis i en mer kompleks argumentasjon:

- ✓ **Betingelser** som spesifiserer under hvilke spesielle forhold påstanden kan antas å være sann, og som presenterer påstandens begrensninger
- ✓ **Motbevis** som spesifiserer under hvilke betingelser påstanden ikke er sann

Toulmins modell kan være et fint verktøy å ha som utgangspunkt for lærere som skal bruke argumentasjon i undervisningen. Modellen kan også brukes av eldre elever, både for å skape bevissthet rundt hvordan man bygger opp argumenter, men også i forhold til hvordan de evaluerer andres argumenter (Driver et. al, 2000). Det kan gjøre de står bedre rustet til eventuelt å argumentere i mot disse i en diskusjon e.l.

### *Hvordan bruke argumentasjon i undervisningen?*

Osborne, Erduran, Simon (2004, gjengitt etter Mork, 2006) foreslår følgende komponenter i undervisningen for å gi elevene muligheter for argumentasjon:

- ✓ **Konkurrerende teorier:** Argumentasjonen gjøres mye enklere ved å introdusere mer enn bare én teori som kan forklare bevisene. En del forskning tyder på at når elever får mulighet til å overveie alternative ideer, fører det til at de lettere aksepterer og forstår "hovedteorien". Læreren har ansvar for å oppklare eventuelle usikkerhetsmomenter. Et tips kan være å gjøre dette i en felles klassediskusjon.
- ✓ **Arbeid i små grupper:** Diskusjon i hel klasse kan for mange elever føles utrygt og gir ikke nok muligheter til samtaler elevene i mellom. Med små grupper får elevene i større grad mulighet til å utvikle sine evner til å resonnerer samtidig som de får uttrykke egen tenkning. Det krever samtidig at de også lytter til hverandre. For at arbeid i små grupper skal være vellykket er det viktig å huske på at aktiviteten må være strukturert. Det kan også være lurt å ha en bestemt tidsavgrensning.
- ✓ **Skaffe bevis:** For å argumentere trengs det noe å argumentere om. Det er ikke å forvente at elever sitter med kunnskap om alle faglige bevis og begrunnelser. Derfor er det viktig å utstyre elevene med materiale som kan legge grunnlag for ulike bevis og begrunnelser, kanskje også konkrete forslag som elevene kan vurdere.

- ✓ **Bruke skriftlige argumenter:** For å styrke elevenes resonnering er det essensielt å bruke skriftlig argumentasjon. Ved å uttrykke ideer skriftlig tvinges elevene til å tenke over det språket de bruker. Samtidig blir de mer bevisst på om de begrunner konklusjonene hvis de skriver det ned.

Disse momentene er brukt i utviklingen av undervisningsopplegget i denne oppgaven, og alle de fire forslagene for hvordan man kan jobbe med argumentasjon i undervisningen, forutsetter aktivt engasjement fra elevene (Mork, 2006).

### **2.3 BRUK AV DRAMA I UNDERVISNINGEN**

Anvendelse av drama i naturfagsutdanningen kan være verdifullt for å skape spesifikke kontekstualiserte læringsmiljøer hvor ikke bare vitenskapelig emner er i fokus. Marianne Ødegaard (2007) peker på at drama forener ulike dimensjoner i læringsprosessen: kognitive, det affektive og det aktive. Hun hevder i samme artikkel at drama som en generell læringsaktivitet er inkluderende av natur.

I en inkluderende og kritisk naturfagutdanning blir det lagt vekt på spørsmål om makt, kunnskap og vitenskapsproduksjon, samtidig som man ønsker å styrke elevenes evne til å samhandle med verden. Det blir særlig viktig å forstå naturvitenskap som en menneskelig aktivitet man tar stilling til (se f.eks. Barton & Osborne, 2001). Ved at elever spiller forskere og vitenskapsmenn kan de bli bedre kjent med de sosiale prosessene som hører til naturvitenskapen, i tillegg til å bli kjent med selve kunnskapen (Ødegaard, 2007). Dramafagets estetikk gir mulighet for å kombinere naturvitenskap og filosofiske spørsmål om kunnskap, epistemologi og meningen med livet. Siden drama handler om konflikter, er det mulighet for å inkludere alle studentenes syn, og forhåpentligvis vil elever dermed føle seg inkludert i læringsprosessen.

Det viser seg etter nærmere studier at folks forhold til naturvitenskap er mye mer komplekst enn deres vurdering av sann og usann kunnskap om verden (Ødegaard, 2007). Naturvitenskap er bare en av mange ulike typer kunnskaper folk bruker til å underbygge sine handlinger. David Layton (1991) hevder at naturvitenskap alltid må bearbeides og tilpasses før den blir brukt i reelle livssituasjoner.

Naturfag kan framstå som inkluderende på den måten at ved til tider å betrakte naturvitenskap utenfra med et kritisk blikk, har alle en anledning til å forholde seg til den uten nødvendigvis å ta del i det naturvitenskapelige verdensbildet. Med kritisk blikk menes *ikke* "negativ" eller "i opposisjon til", men heller å fatte interesse for å analysere underliggende strukturer og forutsetninger for fenomener (Ødegaard, 2007).

Årsaken til at aktiviteter som involverer argumentasjon i undervisningen svært sjelden benyttes kan forklares med at lærere ofte er faglig usikre, mangler strategier for å håndtere klasseromsdiskusjoner, og at slike aktiviteter er både tidkrevende og uforutsigbare (Mork, 2006). Siden verken elever eller lærere er vant til aktiviteter som involverer argumentasjon kan løsningen være at lærer tar en aktiv rolle som programleder i debatten. James T. Dillon (1994) mener det å lære klassen å diskutere bør være en del av den ordinære undervisningen i faget.

Gjennom rollespill vil elever få trening i argumentasjon ved at de deltar i en muntlig diskusjon. Ved at elever presenterer en side av en vitenskapelig strid, er det usannsynlig at de tillates å ha noen personlig mening om det aktuelle emnet. Dette vil i følge Mork (2006) fremme argumentasjonens atmosfære, siden elevene må konstruere og forsvare argumenter og avvise andre elevers argumenter, uavhengig av sin egen mening. Elevene benytter seg av det de har lært om en vitenskapelig strid til å konstruere og begrunne argumenter. Denne formen for undervisningssekvens er i tråd med Troy D. Sadlers (2004) forslag. Han mener at elever spesielt vil ha nytte av undervisning relatert til å håndtere motstridene beviser, konstruere motargumenter og gi begrunnelser for sine påstander.

### *Lærers rolle og overveielser*

Som lærer i dramatiseringssekvenser står man overfor en rekke valg som må tas stilling til. Her skal vi peke på hvilke muligheter som finnes og se på de ulike rollene en lærer kan ha i en rollespilldebatt.

Lærer kan organisere elevene på ulike måter. I organiseringen av elevene bør faglige utbytte, roller, tidsbruk og andre viktige faktorer tas i betraktning. Hvis lærer velger å organisere elevene i små grupper vil det for eksempel være enklere for elever å komme til orde, men for at alle gruppene skal få framført sitt rollespill vil det ta lang tid. Slike valg er sammensatte og vil være lærers oppgave å ta stilling til. I en rollespilldebatt vil det være ulike roller som elevene skal fylle. Skal elevene tildeles roller eller skal elevene få lov til å velge side etter hvem

de er mest enig med? Hvis elevene skal få velge side selv kan det forårsake at fordelingen av elever vil bli skjev og det kan fort oppstå misnøye.

Skal lærer lede diskusjonen eller skal diskusjonen være elevstyrt? Ved elevstyrt diskusjon kan det være viktig å sørge for at aktiviteten har en viss struktur. Det kan også være lurt å sette en tidsbegrensning. Hvis lærer velger å ta på seg en lederrolle i dramatiseringssekvensen, blir det mest sannsynlig som debattleder. Da vil lærer ha kontroll på diskusjonen. For samtidig å forbeholde seg retten til å virke som lærer kan det være nødvendig å foreta ulike inngrep ved å påvirke og forme diskusjonen i forhold til målene for undervisningssekvensen (Mork, 2005). Ved å påta seg rollen som leder for diskusjonen, vil det legges visse begrensninger på lærerrollen. Derfor er det viktig å ha tenkt igjennom hvordan man skal opptre i ulike situasjoner for å oppnå det som er ønskelig med undervisningssekvensen. Det kan være hvilke grep man skal gjøre hvis det forekommer argumenter med ukorrekt innhold, hvis diskusjonen blir for snever, avsporer eller stopper opp. Mork (2005) har utarbeidet en tabell som kan fungere som et verktøy for lærere i forberedelse og gjennomføring av ulike typer debatter. Denne er gjengitt i *Tabell 1*.

Som det er vist i tabellen utløser hver årsak en inngripen fra læreren. Årsaken kjennetegnes av en eller flere strategier som læreren kan ta i bruk når han eller hun griper inn i debatten. De seks hovedårsakene Mork (2006) peker på i tabellen er brukt i forberedelsene til rollespilldebatten i undervisningsopplegget Bohr vs. Einstein. Under følger kommentarer til de årsakene som var sentrale for rollespilldebatten Bohr vs. Einstein i denne oppgaven.

---

<b>Årsaker til at læreren griper inn</b>	<b>Lærerens inngripen og strategier</b>
<b>Ukorrekt innhold:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Ukorrekt begrepsbruk</li><li>- Ukorrekt kombinasjon av informasjon</li></ul>	<b>Utfordre korrekthet:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Omformulere og stille spørsmål til den andre gruppen</li><li>- Be om utdyping</li></ul>
<b>Snever debatt:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- For få delemner diskuteres</li><li>- Ufullstendig informasjon</li></ul>	<b>Utvide omfanget av tema:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Forfølge bestemte deler av elevutsagn</li><li>- Be om utdyping</li><li>- Reintrodusere eller introdusere delemner</li></ul>

**Avsporing av debatten:**

- Debatten er på kanten av det opprinnelige temaet

**Debatten stopper opp:**

- Autoritære elevutsagn
- Elever unngår spørsmål
- Ingen svarer eller kommenterer

**Deltagerantall:**

- For få elever er involvert

**Opprettholde rekkefølgen på innleggene:**

- Trene elevene i hvordan de skal forholde seg som deltagere i debatter

**Få debatten tilbake på sporet:**

- Avbryte og skifte fokus

**Holde debatten i live:**

- Omformulere innhold i utsagn til spørsmål
- Skifte fokus, utfordre
- Be om utdyping, omformulere spørsmål

**Involvere flere elever:**

- Rette spørsmål eller utfordring til individuell elev eller gruppe

**Fokusere på debatteknikk:**

- Gi elevene tillatelse til å snakke når det er deres tur

---

Tabell 1 – Oversikt over årsaker til at læreren griper inn, lærerens inngripen, og strategier for inngripen identifisert i debattene (Mork, 2006, s. 136).

**Ukorrekt innhold:** En metode for å utfordre korrektheten på et utsagn kan være å be om utdyping eller omformulere spørsmålet og rette det mot den andre parten på gruppen. En annen viktig ting å tenke på er å opplyse elevene som er tilhørere om hva som faktisk diskuteres. Det er ikke alltid *publikum* tør å gi uttrykk for at de ikke vet hva det snakkes om, og da kan det være fint med en oppklaring.

**Snever debatt:** For å hindre at diskusjonen berører for få aspekter ved temaet kan lærer forfølge bestemte deler av elevutsagn, for så å bygge videre på utsagnet. En annen metode kan være å reintrodusere deldemnet. Elever tar det ofte for gitt at de andre elevene i klassen besitter samme kunnskap som seg selv. Derfor kan det være lurt av lærer å be om utdyping der det vurderes riktig.

**Avsporing av debatten:** Hvis lærer merker at diskusjonen er på kanten av det opprinnelige temaet kan en mulighet for lærer være å avbryte den aktuelle sekvensen og skifte fokus. Det kan være en utfordring, fordi læreren samtidig ikke ønsker å blande seg for mye i debatten.

**Debatten stopper opp:** En diskusjon kan stoppe opp. Mork (2006) definerer et slikt stopp som en hendelse som oppstår når det blir pause i debatten. Det kan være på grunn av autoritære utsagn fra elever, fordi ingen responderer på spørsmål eller kommentar, eller fordi elever

unngår spørsmål. Metoder for å holde liv i debatten kan være: Omformulere innhold i forhold til utsagn til spørsmål, skifte fokus eller utfordre en bestemt elev, eller omformulere spørsmålet da det ikke er sikkert eleven har skjønnet spørsmålet. Det er viktig å ha i bakhodet at det ikke nødvendigvis er bra å gripe inn med en gang debatten stopper opp. Elevene kan trenge tid til å reflektere over utsagnet de blir konfrontert med, og inngrep fra lærer kan virke mot sin hensikt (Wellington & Osborne, 2001)

## **2.4 SPRÅKETS BETYDNING HOS VYGOTSKY – REDSKAP FOR Å SKAPE FORSTÅELSE OG MENING**

Når elever skal lære å snakke fysikk blir det som å lære et nytt språk. Det kan sees på linje med små barn som lærer seg å snakke. Lev Vygotsky (1896-1934) anses som en av de fremste russiske teoretikerne innen pedagogikk noen gang og var en av de første til å anerkjenne språkets rolle i organiseringen av vår forståelse av verden. Mye av det som senere er skrevet om språkutvikling og språket som psykologisk redskap er basert på hans teorier.

Et sentralt poeng hos Vygotsky var at all intellektuell utvikling og all tenkning har utgangspunkt i sosial aktivitet. Det sosiale kommer først, så det individuelle. Det gjør at den individuelle, selvstendige tenkningen blir et resultat av sosialt samspill mellom barn og andre mennesker (Imsen, 2005).

I en prosess med å tilegne seg kunnskap mente Vygotsky at språket var det viktigste redskapet, og først og fremst talen. Når et barn kommer med sine første, ufullkomne språkuttrykk er det ikke et tegn på at barnet snakker med seg selv, men heller en del av et sosialt samspill. Det sosiale samspillet, der språket brukes som hjelpemiddel, skaper mening og forståelse hos barnet. Ifølge Vygotsky er språket og handlingen deler av den samme situasjonen, og fyller en funksjon sammen (Imsen, 2005). Jo mer kompleks situasjonen er, desto viktigere er det å bruke språket for å løse utfordringen barnet står overfor. Ved å delta i aktiviteter som inkluderer kommunikasjon får barn muligheten til utvikle sitt intellekt (Mercer & Hodgkinson, 2008). Språket blir bestemmende for hvordan en tenker og hvordan en skal oppfatte verden. Språket er de brillene man ser verden gjennom: *Bevisstheten er en gjenspeiling av virkeligheten som brytes ved hjelp av språkets allmennmenneskelige erfaring* (Imsen, 2005, s. 257).



Innenfor drama vil man kunne legge til rette for å bruke språk og handling i sosiale aktiviteter. Det vil, i tråd med Vygotskys teorier, være med på skape mening og forståelse. En vitenskapshistorisk rollespilldebatt vil gjøre at elevene får bruke språket i et sosialt samspill i det de går inn i rollene som vitenskapsmenn og argumenterer for sine syn. Det gjør at elevene enklere vil nærme seg vitenskapelig argumentasjon og forhåpentligvis bedre sin forståelse av vitenskapen.



### **3 METODE**

---

Det empiriske grunnlaget for undersøkelsen i denne oppgaven er utprøving av undervisningsopplegget inkludert 20 minutters film av rollespilldebatten, og elevbesvarelser fra spørreskjema. Elevene svarte på spørreskjemaet etter endt undervisning, og påstandene i spørreskjemaet omhandlet undervisningsopplegget og naturvitenskapens egenart. Elevbesvarelsene utgjør sammen med filmopptaket datamateriale for diskusjon rundt problemstillingene stilt i innledningen.

I dette kapitlet vil jeg gjøre rede for metodene jeg benyttet i denne oppgaven og bakgrunn for valgene som er gjort i den sammenheng. Jeg vil gjøre rede for hvordan filmopptaket ble analysert og se på validitet i forhold til metodene som er brukt. Videre tar jeg for meg hensikten med spørreskjemaet og hva som ble lagt vekt på i utformingen av det. Til slutt gjør jeg meg noen tanker rundt min rolle som både lærer og forsker.

#### **3.1 FORSKNINGSDESIGN**

Opgaven søker å svare på to problemstillinger knyttet til hvordan et undervisningsopplegg fungerer med tanke på elevers læringsutbytte og motivasjon, og hvilke oppfatninger elever har om naturvitenskapens egenart. For å svare på problemstillingene brukes to ulike forskningsdesign: *Kvalitativ analyse* i form av filmopptak og *kvantitativ undersøkelse* i form av spørreskjema. Ved at jeg benytter meg av både kvalitativ og kvantitativ forskningsmetode får jeg en oversikt over tendenser innenfor en gruppe samtidig som jeg fanger opp kompleksiteten til respondentene (Robson, 2002).

#### **3.2 FILMOPPTAK**

Det var i hovedsak filmopptak som skulle utgjøre datagrunnlaget i oppgaven. Opptaket består av en 20 minutter film av rollespilldebatten fra utprøvingen av undervisningsopplegget. Rollespilldebatten består av 4 aktører og det er de som vil legge hovedgrunnlaget for informasjonen fra filmopptaket.

Filmopptak velges som forskningsmetode fordi det skal innhentes informasjon fra få personer og fordi det gir mulighet for mer utdypende informasjon (sammenlignet med for eksempel spørreskjema). Filmopptak vil styrke reliabiliteten sammenlignet med observasjon siden film gjør det mulig å gå tilbake til en situasjon i ettertid. Ved å ha opptaket på film kan man også kan spole fram og tilbake som man vil, noe som gjør at hver lille detalj kan snappes opp og gjør det mulig å få innblikk i respondentenes syn, følelser og holdninger i forhold til undervisningsopplegget som (i dette tilfellet) prøves ut. Det var dette som gjorde at filmopptak ble hovedkilden i innhenting av informasjon til undersøkelsen.

I rollespilldebatten tar jeg rollen som *deltagende observatør* med at jeg virker som debattleder. Gjennom min rolle som debattleder var jeg helt klart med på å påvirke respondentene under debatten. Jeg sitter også igjen med masse inntrykk som har blitt brukt til å besvare problemstillingene i oppgaven. Skal man fungere som deltagende observatør er det viktig å bli kjent med personene man skal observere. Derfor fungerer metoden best på små grupper der dette enklere lar seg gjøre (Robson, 2002).

Det fine med å være deltagende observatør og i tillegg ha rollespillet på film er at jeg kan se på det i ettertid uten å delta. Det skal nevnes at innhenting av datamateriale til oppgaven primært ble gjort ved å studere filmopptaket i ettertid.

Analyse av filmen ble gjort med hensyn på hvordan elevene argumenterte, hvilke begrunnelser de brukte og i hvilken grad de viste innsikt i naturvitenskapens egenart og i kvantefysikk. Svarene som ble gitt ved analyse av filmen var spesielt egnet til å svare på problemstillingen som går på hvilke oppfatninger har elevene om naturvitenskapens egenart. Underveis i analysen systematiserte jeg datamaterialet fra filmen under forskjellige kategorier. Som skrevet i innledningen er problemstillingene delt inn i mindre og mer beskrivende deler, som for eksempel *hvordan uttrykker elevene seg muntlig i fysikk og hva slags argumenter elevene ser på som gyldige*. Hver disse delene representerer hver sin kategori. Denne systematiseringen gjorde prosessen med å finne svar på problemstillingene enklere og mer oversiktlig å jobbe med. Filmopptaket ble også transkribert. Transkripsjonen kan leses som vedlegg 2.

### 3.3 SPØRRESKJEMA

I tillegg til filmopptak, ble spørreskjema valgt for å innhente datamateriale til oppgaven. Spørreskjemaet ble som tidligere nevnt delt ut til elevene etter endt undervisning og skulle bidra til å gi svar på begge problemstillingene i innledningen. I tillegg til å danne grunnlaget for evaluering av undervisningsopplegget, var hensikten også å la elevene komme med tilbakemeldinger i form av tips og forbedringer. Det er i tråd med Robson (2002), som skriver at en spørreundersøkelse bør ha en nyttefunksjon.

Spørreskjema ble valgt for å innhente data fordi det er enkelt å gjennomføre, tar lite tid og henter ut mye informasjon fra mange personer samtidig. Spørreskjema gir også respondentene like vilkår og analysen gjøres enklere (sammenlignet med for eksempel intervju). Ulempen med spørreskjema er at man mister muligheten å fange opp informasjon utover de spørsmålene eller påstandene respondentene bes å ta stilling til. En måte å løse det på kan være å la respondenten få muligheten til å gi tilbakemelding gjennom åpne spørsmål, som for eksempel ved å la spørreskjemaet inneholde et felt som en merket med *andre kommentarer*. Å ha med noen åpne spørsmål kan også være med på styrke validiteten ved at man får et litt bedre inntrykk av hvor seriøst respondenten tar undersøkelsen og hva de legger i sine svar. Spørreskjema velges som forskningsmetode, i tillegg til filmopptak, fordi det gir meg oversikt over statistiske tendenser i en gruppe.

Spørreskjemaet består av 20 påstander og undersøker elevenes oppfatninger om naturvitenskapens egenart. Samtlige påstander er lukkede ved at de svares ved avkrysning på en firerskala fra *helt enig* til *ikke i det hele tatt*. Spørreskjemaet spør også om undervisningsopplegget var lærerikt og i hvilken grad undervisningsopplegget dekker de aktuelle kompetansemålene fra læreplanen. I tillegg til påstandene inneholder spørreskjemaet 3 åpne spørsmål der elevene kan komme med tilbakemeldinger på undervisningsopplegget. Spørreskjemaet er lagt ved som vedlegg 3.

For å unngå mulige misforståelser, tvetydigheter og lignende ble et første utkast av spørreskjemaet pilotert med universitetsstudenter i god tid før undersøkelsen for å sikre bl.a. validitet, men også for å motta nyttig tilbakemelding. Jeg erfarte bl.a. at noen av påstandene var noe uklare og det var heller ikke satt av nok plass til å besvare de åpne spørsmålene.

Statistiske analyser av datamaterialet fra spørreskjemaene er gjort i statistikkprogrammet SPSS. Histogrammene i oppgaven er laget i EXCEL.

### 3.4 MIN ROLLE

Min rolle som både lærer og forsker er en faktor som må tas i betraktning hvis observasjon skal brukes som datagrunnlag i oppgaven. Det var jeg som fungerte som debattleder og inntok dermed en deltagende rolle som observatør. Dette gjorde det umulig for meg å notere observasjoner underveis i rollespilløkten. Under andre deler av undervisningsopplegget fikk jeg derimot mulighet til å notere meg observasjoner. Det er viktig å være klar over at notater som gjøres i kort tid etter observasjon er mer utsatt for påvirkning og forstyrrelser (Robson, 2002).

I forhold til validitet kan det være viktig å være klar over min rolle som gjestelærer. Det at et ukjent ansikt kommer inn i en klasse kan føre til elevene blir mer oppmerksomme og nysgjerrige. På en annen side kan de også tolke det som at dette ikke er en *ordentlig* del av den ordinære undervisningen. Det er uansett stor sannsynlighet for at elevene oppfører seg annerledes enn hvis deres vanlige lærer hadde hatt ansvar for opplegget, og det er noe som må tas hensyn til i vurderingen av validiteten til undervisningsopplegget.

Bruk av filmkamera er en annen faktor som kan påvirke validiteten. Filming kan gjøre at elever enten blir passive og trekker seg unna, og det kan gjøre at de blir i overkant aktive og skal vise seg fram for både lærer og klassekamerater siden de er i kameras søkelys. Problemet ble forsøkt løst ved å ha minimalt med fokus på filmingen. Likevel er det vanskelig å si noe om hvordan filmingen påvirket elevene. Det at debatten ble filmet ga meg en anledning til å oppleve situasjonen på nytt fra avstand. Situasjoner som oppleves på én måte som deltagende forsker kan oppleves på en annen måte om man inntar en mer observerende og passiv forskerrolle.

## 4 **UTVIKLING AV UNDERVISNINGSSOPPLEGG**

---

Dette kapittelet tar for seg utviklingen av undervisningsopplegget *Bohr vs. Einstein*. Kapittelet starter med en begrunnelse for valget av case og fortsetter med en beskrivelse av innholdet i ressursheftet. Videre gis det en beskrivelse av opplegget, før kapittelet avsluttes med en detaljert redegjørelse for utprøvingen.

### 4.1 **VALG AV CASE**

Årsaken til at kvantefysikkens historiske utvikling ble valgt som tema er sammensatt. Teorien er relativt ung, og bryter med menneskets mekaniske virkelighetssyn ved å hevde at *verden er uskarp*, noe som gjør det at teorien ofte blir møtt med en blanding skepsis og nysgjerrighet siden vi ikke helt forstår hva som skjer. Videre illustrer kvanteteorien et brudd på etablert kunnskap. Paradigmeskifter er en viktig del naturvitenskapen, og ved at casen inneholder et brudd på etablert kunnskap vil elevene få innsikt i at et paradigmeskifte er en naturlig forekomst i utviklingen om å forstå verden.

Sentralt i kvantefysikkens utvikling står to markante personer med ulik virkelighetsoppfatning; Niels Bohr og Albert Einstein. Det at casen har to så markante personligheter (spesielt Einstein) gjør det forhåpentligvis morsommere for elevene å gjennomføre undervisningsopplegget som avsluttes med en rollespilldebatt mellom Bohr og Einstein. Dette støttes av Kolstø (2007) som hevder at det å inkludere menneskelige aktører med håp, strider og suksess sannsynligvis har en positiv innflytelse på motivasjonen hos elever.

Debatten mellom Bohr og Einstein illustrerer to ulike syn på en fysisk teori som ikke ble avklart før begges død, og dermed får elevene være vitne til motstridende argumentasjon rundt en teori *uten fasit*. Casen viser hvordan forskere åpent diskuterer og er uenige rundt resultater fra eksperimenter og hvilke forskningsmetoder som anses som gyldige. Ved at elevene tar på seg rollene som forskere, og diskuterer og argumenterer mot hverandre i en rolledebatt, får de trent på muntlige ferdigheter og uttrykt seg muntlig om fysikk og vitenskap. Denne formen for undervisning støttes av bl.a. Sadler (2004). Han mener at elever spesielt vil ha nytte av undervisning relatert til å håndtere motstridene beviser, konstruere motargumenter og gi begrunnelser for sine påstander.

Jeg vurderer det derfor slik at en historisk case om kvantefysikkens utvikling har gode fortutsetninger for en rollespilldebatt, samtidig som casen tar opp viktige aspekter ved naturvitenskapens egenart.

## 4.2 RESSURSHEFTE

Til undervisningsopplegget ble det utviklet et ressurshefte som beskriver en case fra fysikkens historie. Hensikten med heftet var å gi elevene mer utdypende informasjon enn det læreboka gir, men samtidig mer avgrenset enn hva man finner i fagbøker om emnet. Utarbeidelsen av ressursheftet utgjør en vesentlig del av denne oppgaven.

### *Utvikling av casen med begrunnelse i læreplanen*

Læreplanen for fysikk (Utdannings- og forskningsdepartementet, 2005) var retningsgivende både med hensyn til valg av tema og utforming av ressursheftet. Under formålet for læreplanen i fysikk står det følgende: *Programfaget skal bidra til å øve opp kritisk holdning til undersøkelser og påstander og gi trening i å argumentere for løsninger på fysikkfaglige problemstillinger. Slik skal opplæringen styrke den enkeltes evne til å skille mellom vitenskapelig basert kunnskap og kunnskap som ikke er basert på vitenskapelige metoder (...) Samtidig skal opplæringen legge vekt på de allmenndannende sidene ved fysikkfaget. Og at: Programfaget skal gi innsikt i at fysikk er en del av kulturarven, og at faget må ses i et historisk perspektiv.* Jeg synes at en vitenskapshistorisk case var et fint utgangspunkt for å få elevene til både å øve opp kritiske holdninger til påstander og gi dem trening i å argumentere i fysikk. Samtidig ville en slik case legge vekt på de allmenndannende sidene ved fysikkfaget ved at den tar for seg utviklingen av en fysisk teori, og i tillegg vise at fysikk er en del av kulturarven.

Ressursheftet dekker grunnleggende ferdigheter fra læreplanen og fire kompetansemål i Fysikk 2 som sier noe om hvilke fysikkunnskaper elevene skal ha. I følge læreplanen i fysikk innebærer det å kunne lese fysikk å trekke ut, tolke og reflektere over informasjon i bl.a. fysikkfaglige tekster, aviser og populærvitenskapelige magasiner og bøker. Gjennom å lese og bruke heftet aktivt for å finne argumenter til rollespilldebatten ville elevene få god trening å lese fysikk.



Heftet dekker (deler av) følgende kompetansemål innen hovedområdene *moderne fysikk* og *den unge forskeren* i Fysikk 2:

#### Moderne fysikk

- *Gjøre rede for Einsteins forklaring av fotoelektrisk effekt, og kvalitativt gjøre rede for hvordan resultater fra forsøk med fotoelektrisk effekt, Comptonspredning og partiklers bølgenatur representerer et brudd med klassisk fysikk*
- *Gjøre rede for Heisenbergs uskarprelasjoner, beskrive fenomenet sammenfiltrerende fotoner og gjøre rede for erkjennelsesmessige konsekvenser av dem*

#### Den unge forskeren

- *Drøfte hvordan ulike fysiske teorier kan eksistere ved siden av hverandre, til tross for at de kan være motstridene*
- *Gi eksempel på en strid som avklart, og hvordan avklaringen kom, og gi eksempel på en vitenskapelig strid som ennå ikke er avklart, og gjøre rede for hvorfor den ikke er det*

I oppgaven vil kompetansemålene over omtales som kompetansemål 1, 2, 3 og 4. I tillegg til å ta utgangspunkt i læreplanene fant jeg det naturlig å bruke fortellinger fra populær-vitenskapelige bøker og artikler for å gjøre casen mer levende og spennende for elevene.

#### *Beskrivelse av casen*

Casen gir et historisk blikk på kvantefysikkens utvikling og er på 12 sider. Den historiske fortellingen starter med Max Planck, som blir sett på som kvantefysikkens grunnlegger, og avsluttes med striden som utspant seg mellom Niels Bohr og Albert Einstein. Casen skal brukes i et undervisningsopplegg som tar mål av seg å dramatisere den nevnte striden i en rollespill-debatt, og derfor er denne delen av historien det også legges mest vekt på.

I casen legges det vekt på å få fram den historiske utviklingen på en enkel og oversiktlig måte slik at historien blir enkel å lese for elevene. Hovedtrekkene i argumentasjonen mellom Bohr og Einstein, og hvordan de stilte seg i forhold til eksperimenter, forsøkes gjenfortalt uten å angi

hvem som nødvendigvis hadde rett i ettertid. Dette er fordi casen skal legge til rette for en rollespilldebatt om en uavklart strid.

Elevenes *forståelse* av fysikken er noe jeg forsøkte å vektlegge i produktet. For å få fram kompleksiteten i fysikken la jeg vekt på å formulere meg enkelt og tydelig. Derfor brukte jeg mye tid på å sette meg inn i selve fysikken. Arbeidet ble ikke mindre krevende ved at teorien i utgangspunktet bryter med eget virkelighetssyn. Fysikken burde være på et nivå elevene har mulighet til å forstå ut i fra sine forkunnskaper. Jeg ville også få fram at det var mange forskere og vitenskapsmenn involvert i en fysisk teori, men det uten å drukne elevene i navn og årstall.

Einstein blir i casen framstilt som religiøs gjennom sine referanser til Gud. Det kan føre at hans argumenter *kan* virke useriøse for noen, men kanskje også virke forstyrrende på oppfatningen om hvordan "god fysikk" ser ut.

Oppbyggingen av heftet ble en utfordring. Jeg ønsket en historisk vri på casen fordi det kunne være med på å skape engasjement hos elevene (Kolstø, 2007). Samtidig ønsket jeg å vektlegge historiedelen av fysikkfaget som ofte blir nedprioritert. For at heftet skulle kunne brukes i skoletimer måtte det også dekke kompetansemål fra Læreplanen i fysikk. Løsningen ble å fortelle kvantefysikkens historie og legge ekstra vekt på kompetansemålene. I dette arbeidet oppsto det et dilemma angående avveining om mellom en fullstendig og konsistent beskrivelse og en kortfattet beskrivelse med klart fokus. Siden jeg ønsket at heftet skulle være oversiktelig og enkelt å lese, valgte jeg å tone ned noe av det faglige innholdet i casen. Etter at justeringene ble gjort mener jeg at produktet er representativt i forhold til tittelen; *Et historisk blikk på kvantefysikkens utvikling – med vekt på striden mellom Bohr og Einstein*.

### **4.3 UTVIKLING AV UNDERVISNINGSSOPPLEGGET "BOHR vs. EINSTEIN"**

Ved utviklingen av undervisningsopplegget *Bohr vs. Einstein* hadde jeg som overordnet målsetning å gi elever som tar Fysikk 2 i videregående skole økt kunnskap om naturvitenskapens egenart. Det er i tråd med hva forskere, lærere og didaktikere anbefaler å innlemme i læreplanen (Mork, 2008). Samtidig ville jeg lage et undervisningsopplegg med utgangspunkt i et egenprodusert hefte om en vitenskapshistorisk case. Undervisningsopplegget tar mål av seg å motivere og engasjere elever til å velge side og delta aktivt i en rollespilldebatt. Bruk av rollespill gir i følge Ødegaard (2008) en god støttestruktur til elevene

(og læreren) i arbeidet med å argumentere naturfaglige emner. Mork (2008) hevder at rollespill ofte gjør det enklere å snakke om fagstoff siden elevene kan skjule seg bak rollefiguren sin og dermed kan føle seg friere til å komme med synspunkt på saken.

Gjennom å forberede seg til debatt var meningen at elevene skulle få innsikt i hvordan en vitenskapelig teori utvikles og at diskusjon og uenighet er viktig for utvikling. Rollespilldebatten ble organisert som en TV-debatt mellom politikere. Settingen er velkjent for de fleste elever og konteksten fremmer en argumenterende atmosfære (Mork, 2008).

### *Utvikling av undervisningsopplegget med begrunnelse i læreplanen*

Akkurat som for ressursheftet, var læreplanen i fysikk retningsgivende i utviklingen av undervisningsopplegget. Grunnleggende ferdighetene i læreplanen sier følgende om det å uttrykke seg muntlig og skriftlig i faget:

*Å formulere spørsmål og hypoteser og å bruke fysikkfaglige begreper og uttrykksformer inngår i dette. Det betyr å argumentere for egne vurderinger, gi tilbakemeldinger og presentere resultater. Det vil si å beherske et presist og entydig språk (Utdannings- og forskningsdepartementet, 2005).*

Jeg vurderte det slik at en rollespilldebatt ville kunne legge til rette for bruk av fysikkfaglige begreper og samtidig argumentasjon. Rollespilldebatten lot ikke elevene argumentere for egne vurderinger. I stedet skulle de argumentere for enten Bohr eller Einstein sitt syn på kvantebatten. Elevene var avhengige av å benytte seg av et presist og entydig språk for å fremme sitt lags argumenter i den fysikkfaglige debatten og samtidig forstå og møte motpartens argumenter.

I læreplanen står det:

*Programfaget skal legge grunnlag for kreativitet, kritisk sans og metodeinnsikt i fysikkfaget. For å utvikle ferdigheter og kunnskap er det nødvendig å arbeide både praktisk og teoretisk i programfaget (Utdannings- og forskningsdepartementet, 2005).*

Undervisningsopplegget *Bohr vs. Einstein* legger til rette for å bruke drama i undervisningen og dermed skape mer variert undervisning i fysikk. Hensikten ved å benytte seg av kjente

personer var å gjøre elevene mer motiverte og mottagelige for læring. I tillegg fikk elever som vanligvis ikke mestrer de tradisjonelle undervisningsmetodene så godt som de burde, en mulighet til å møte fysikk på en ny og annerledes måte. De fikk også en mulighet til å vise seg fram for læreren i en annen setting en hva de vanligvis pleier å gjøre.

### *Beskrivelse av undervisningsopplegget*

Punktvis beskrivelse av undervisningsopplegget Bohr vs. Einstein:

- Varighet: 3\*90 minutter fordelt over 3 dager
- Beregnet for én klasse, maks 30 elever
- På første dag holdes en undervisningsøkt av lærer om kvantefysikkens historiske utvikling basert på ressursheftet *Et historisk blikk på kvantefysikkens utvikling*. Heftet får elevene utdelt slik at de kan følge med i det mens undervisningen foregår.
- Elevene velger side i striden mellom Bohr og Einstein og danner to lag, et "Bohr-lag" og et "Einstein-lag"
- Andre dag brukes til å utvikle argumenter for *sitt* lag og forberede seg til rollespilldebatt i grupper
- Rollespilldebatten gjennomføres som en paneldebatt på undervisningsoppleggets tredje og siste dag
- To elever fra hvert lag stiller som representanter i et panel for sitt lag. Elevene velger selv ut representantene
- Representantene fra de to lagene settes bak hvert sitt bord med resten av laget sitt bak seg
- Lærer fungerer som debattleder og plasserer seg mellom bordene slik at han eller hun har god oversikt
- Lærer setter i gang debatten

De fire siste punktene angår debatten i undervisningsopplegget.

#### 4.4 UTPRØVING

Utprøvingen av undervisningsopplegget foregikk på Byåsen videregående skole i Trondheim. Jeg hadde fått tilgang til en klasse i Fysikk 2 bestående av 24 elever. På forhånd hadde jeg fått informasjon av faglærer om at klassen var ujevn karaktermessig og at klassen heller ikke var blant de sterkeste hun hadde undervist. Klassen skulle være grei å ha med å gjøre, men kunne være litt stille av seg. Det var et klart flertall av gutter i klassen.

##### **Dag 1 – undervisningsøkt om kvantefysikken historiske utvikling**

Klassen ble forspurt om bruk av filmkamera var i orden, og det ble informert om at filmopptaket kun ville bli brukt til oppgaven min. Før jeg startet undervisningen om kvantefysikkens historie, som tok utgangspunkt i det utdelte heftet, fikk elevene beskjed om å ta stilling til hvilken side de ønsket å representere i debatten. Hensikten med det var å få elevene til allerede nå å lete etter argumenter og forberede seg til debatt. Det ble informert om at en liste ville bli sendt rundt på slutten timen der de kunne komme med ønske om å representere Bohr eller Einstein.

Det var et mål å få elevene aktivt med i undervisningssekvensen om kvantefysikkens historie. Elevene hadde vært gjennom kapittelet om kvantefysikk i læreboka tidligere, og elevene ble oppfordret til å forsøke å forklare fenomenene som ble gått igjennom. Etter hvert som stoffet ble vanskeligere ble elevene mer passive. Da elevene kom inn igjen etter en kort pause, ble det presentert en kort repetisjon av det som hadde blitt gjennomgått før pausen.

For å gjøre gjennomgangen av kvantefysikkens historie og utvikling mer oversiktlig for elevene, ble en tidslinje tegnet opp. De viktigste hendelsene ble kontinuerlig oppdatert på tidslinjen. I undervisningssekvensen ble det forsøkt å vektlegge det som kunne være lurt å merke seg i striden mellom Bohr og Einstein uten å virke *for* ledende i forhold til debatten.

Rundt fem elever manglet den første dagen på grunn av fotballturnering. Med tanke på at flest mulig elever burde være aktive i undervisningsopplegget var ikke dette særlig gunstig. For at elevene som ikke var til stede i den første timen skulle få med seg det vi hadde gjennomgått ble en kort repetisjon vurdert. Det ble også vurdert å la elevene lese seg opp på ressurshefte på egenhånd. Valget falt på at elevene som var til stede i første timen introduserte stoffet som ble gjennomgått til de som ikke var til stede. På den måten ble tid spart og gruppene fikk mer tid til å finne argumenter for sin representant og forberede seg til debatt.

## Dag 2 – utvikling av argumenter og forberedelse til debatt

Dagen ble, som tidligere nevnt, brukt til forberedelse for debatten påfølgende dag. Første time brukte elevene til å utvikle argumenter i små grupper. I andre time satte smågruppene seg sammen i to store grupper hhv. en Bohr- og en Einstein-gruppe. Hensikten ved å la elevene først få arbeide i smågrupper var for å sørge for at flere elever skulle tørre å komme med sine synspunkter og for at arbeidet skulle bli mer effektivt enn om jeg satt elevene i to store grupper med en gang. Det er også i tråd med hva Osborne (gjengitt i Mork, 2006) foreslår som undervisningssekvens for å fremme argumentasjon. Lærerne hjalp elevene i gang.

Elevene som ikke var til stede den første dagen fikk utdelt ressursheftet. Det ble spurt om elevene trengte en felles repetisjon av det som hadde blitt gjennomgått på undervisningsoppleggets første dag. Repetisjon ble droppet da et par elever sa det ikke var nødvendig. Elevene ble delt i grupper på 3 og 4 elever. Elevene som enda ikke hadde ønsket seg side i striden, og elevene som ikke var til stede første dagen, ble fordelt rundt. Det oppsto et lite dilemma da jeg fikk beskjed om at 6 elever ikke kunne delta på debatten fordi de skulle ta Cambridge-eksamen samme dagen. Det ble løst ved at de elevene det gjaldt dannet sine egne grupper. De, fikk som alle andre, beskjed om å finne argumenter som de i neste time skulle legge fram når gruppene ble samlet til 2 store grupper.

Fram til pausen satt jeg med inntrykket av at det ikke ble gjort like mye som jeg hadde håpet på. Jeg gikk rundt for å spørre hva de ulike gruppene hadde kommet fram til. Med unntak av 3 grupper, som jobbet veldig bra, virket det som om det ikke ble gjort stort. Årsaken til at flere grupper slet med å komme i gang kan ha vært at det var såpass lenge siden de hadde sett i heftet og ikke husket alt for mye fra undervisningen før vinterferien.

Etter pausen ble elevene samlet i gruppene de skulle representere i debatten. Undervisningslokalet på skolen besto av to rom og derfor fikk hver gruppe sitt eget rom. Det gjorde at gruppene ikke kunne høre hverandre. I utgangspunktet var ikke dette noe jeg hadde tenkt på, men i ettertid ser jeg at dette var en veldig heldig løsning. Da gruppene kom sammen og startet arbeidet med å samle opp og diskutere argumentene de hadde funnet i timen før, merket jeg en tydelig forskjell på gruppene. "Einstein-gruppen" lot seg styre selv og jeg trengte nesten ikke hjelp til å forberede seg. "Bohr-gruppen" derimot, slet med å komme i gang. Elevene fikk beskjed om å utnevne en ordstyrer og de ble gitt tavle og tusj slik at de kunne få mer flyt og orden i arbeidet. Da dette heller ikke så ut til å hjelpe stort måtte jeg sette meg ned med gruppen å liste opp en del punkter de kunne bruke. Etter hvert kom også denne gruppen

godt i gang og flere meldte seg på. Det siste jeg hørte før elevene forlot fysikkrommet den dagen var en elev fra Bohr-gruppen som uttalte: *Det her skal vi vinne!* Dette tyder på at på elevenes motivasjon var bygget opp.

Rollespilldebatten mellom Bohr og Einstein trengte til sammen fire elever, to på hvert lag. Oppgaven deres var å representere sitt lag på best mulig vis. Det ble derfor tidlig stilt spørsmål om noen kunne tenke seg å stille som debattanter. Det ble informert om at debatten kun ville slå positivt ut på karakteren, og ikke minst at dette ville være en fin anledning for å vise seg fram faglig. Dette virket å hjelpe.

### **Dag 3 – gjennomføring av debatt**

Gruppene fikk 10 minutter på å forberede seg til debatten og for å friske opp argumentene de hadde jobbet med dagen før. Det gjorde at jeg fikk tid til å organisere klasserommet. Det var ordnet med kameramann for å filme debatten. Debattpanelet og kameraet ble plassert slik at filmingen skulle gå enklest mulig for seg. Lyd ble også testet. I fysikkrommet var det langbord som ikke kunne flyttes. Løsningen å sette debattantene på hver sin side av to langbord med et par meters mellomrom. Det gjorde at debattleder kunne stå mellom bordene med full oversikt for å lede debatten. Elevene som ikke skulle være i panelet ble plassert på bordene bak sine respektive lag. Slik kunne de under debatten virke som støttespillere for sine representanter i panelet og komme med innspill og unngå å bli passive tilskuere.

Før lærer satte i gang debatten ble noen enkle debattregler listet opp, som for eksempel at man ikke skal avbryte hverandres innlegg og vise replikktegn hvis man ønsker å komme med en kort replikk. Støttespillerne ble oppfordret til å komme med replikker og ikke bare sitte og høre på. Lagene ble oppfordret til å vise hverandre respekt, akkurat som Bohr og Einstein gjorde under sine diskusjoner. Elevene ble bedt om å leve seg inn i sine rollefigurer slik at debatten skulle bli så realistisk og levende som mulig. Debatten ble lagt tilbake i tid til da Bohr og Einstein holdt striden gående, omkring 1930. Årsaken til dette var å skape en realistisk atmosfære for argumentasjonsduellen.

Debatten startet med at hvert lag fikk tid til en kort redegjørelse om hva de stod for. Debatten fløt fint, og det var det kun få ganger i løpet av den rundt 15 minutter lange sekvensen at jeg som debattleder fant det nødvendig å gripe inn. Da var det for å unngå uklarheter, som for

eksempel: *Det er Heisenbergs uskarphetsrelasjon du snakker om nå, ikke sant?* Eller det var for å rette debatten inn på rett spor eller reintrodusere et tema fordi begrunnelsen var uklar.

Halveis stoppet debatten opp. Det ble løst med en *time-out* der elevene fikk satt seg sammen for å forberede innspurten av debatten. Jeg forhørte meg med lagene om de ønsket å bytte ut sine deltagere i panelet for at flere skulle prøve seg, men det var det ingen som ønsket. Siden det kun var de som satt i panelet som hadde vært aktive fram til pausen, ble oppfordringen om at elevene ikke måtte være redde for å ta ordet gjentatt. Det virket som om time-uten hadde sin hensikt da de fleste elevene meldte seg på og diskuterte ivrig, samtidig som den ga debatten ny giv.

Debatten er innom forskjellene på kvantefysikk og klassisk fysikk og om det er noen overensstemmelse mellom teoriene. I tillegg diskuteres Youngs dobbeltspalteeksperiment og Einsteins EPR-paradoks, måling av elektroner og fotoner, determinisme (forutsigbarhet) og vitenskap i utvikling. Debatten ender med at debattantene blir enige om at de er uenige i det de diskuterer om fysikken må ha to sett med lover eller ikke.

Etter debatten ble elevene samlet for en kort evaluering av undervisningsopplegget. Det ble åpnet for muntlige tilbakemeldinger fra elevene og jeg fikk muligheten til å følge opp interessante tilbakemeldinger. Elevene fylte også ut et spørreskjema i forbindelse med undervisningsopplegget.



## **5 RESULTATER OG ANALYSE AV EMPIRISK MATERIALE**

---

Resultatene fra det empiriske materialet har vært med på å gi meg svar på problemstillingene presentert i innledningen av oppgaven (side 12); kort oppsummert en evaluering av selve undervisningsopplegget og elevenes oppfatninger om naturvitenskapens egenart. For å gjøre presentasjonen av resultater og analyse oversiktig velger jeg å dele resultatdelen etter problemstillingene i oppgaven. Kapittelet inneholder et utvalg histogrammer som viser hvordan elevene stilte seg til de ulike påstandene i spørreskjemaet. Histogrammer med resultater for samtlige påstander finnes i vedlegg 4.

I første del av kapittelet presenteres resultater fra elevens evaluering av undervisningsopplegget. Det vil bli gjort analyser i forhold til hva elevene synes de lærer, hvordan ulike elevtyper responderer på opplegget og hvorvidt det var motiverende å bruke dramatisering i undervisningen. Ressursheftet kommenteres også.

Andre del av kapittelet brukes til å se på hva elevene uttrykker om naturvitenskapens egenart gjennom debatt. Her vil det bli gitt svar og analyser på hvilke argumenter elevene anser som gyldige og ikke, hvordan elevene uttrykker seg muntlig i faget og hvilken innsikt elevene viser i kvantefysikk.

I dette kapittelet vil det brukes flere sitater fra rollespilldebatten. Siden elevene representerer hvert sitt lag med ulikt syn på deler av kvanteteorien vil laget til eleven som siteres vil derfor stå i en parentes bak navnet, f.eks. Per (Einstein). Dette for å vite om det er Bohr eller Einstein som *snakker*. Før resultater og a som berører problemstillingene presenteres.

### **5.1 ELEVENES EVALUERING AV UNDERVISNINGSSOPPLEGGET**

*Hva synes elevene at de lærer?*

Av figur 1 ser vi at 10 av 16 besvarelser *i stor grad* gir uttrykk for at opplegget var lærerikt. Flere elever gir tilbakemelding på at de fikk frisket opp kunnskapene i kvantefysikk. Alle bortsett fra én elev mener opplegget hjalp til med å forstå kvantefysikken bedre (Figur 2). Elevene hadde tidligere på skoleåret gått igjennom kapittelet om kvantefysikk, så opplegget med rollespilldebatt ble noe repetisjon av det faglige. Likevel er det gledelig å se at elevene mener at

opplegget har vært med på å bedre forståelsen. Figur 3 viser at elevene totalt sett svarer helt jevnt på om opplegget har inspirert dem til å studere fysikk videre.

En elev skriver det slik når han eller hun blir spurt om hva som var bra:

*Drøfte viktig stoff i kvantefysikk som er med på å få en bedre forståelse*

Det er interessant å se at eleven uoppfordret viser fysikkfaglig fokus i tilbakemeldingen om hva som var ble med undervisningsopplegget.



Figur 1: Elevsvar på påstanden om de synes opplegget var lærerikt.



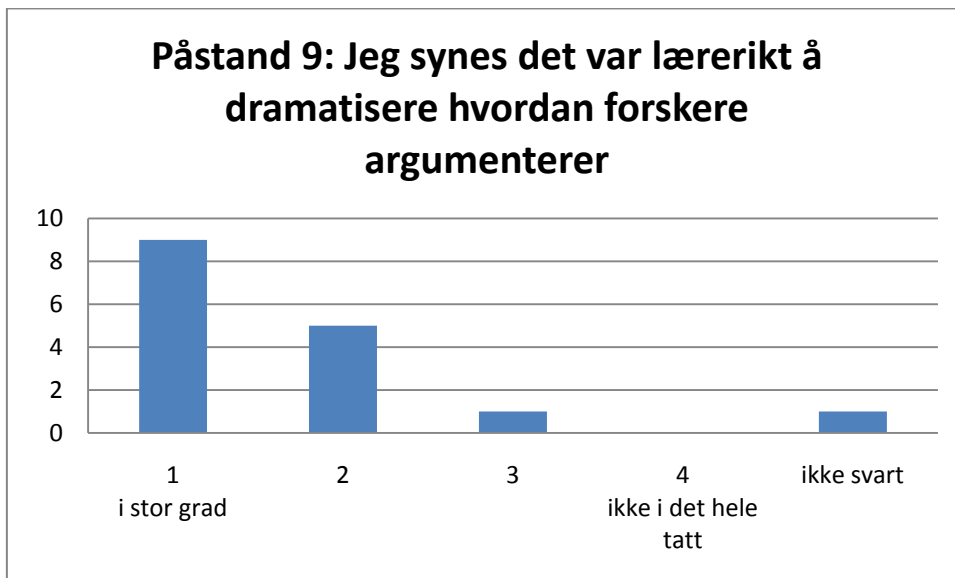
Figur 2: Elevsvar på påstanden om at opplegget hjalp til en bedre forståelse av kvantefysikk.



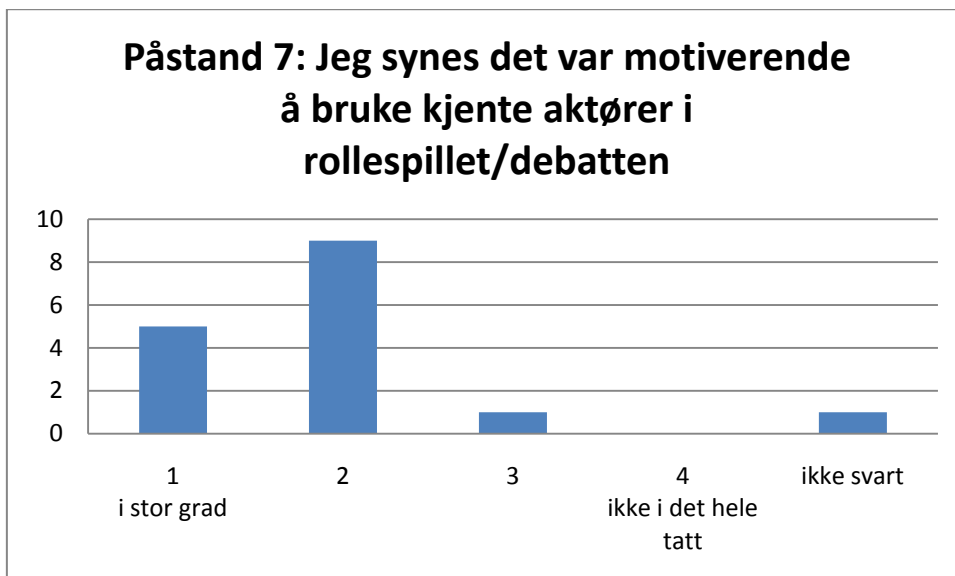
Figur 3: Elevsvar på påstanden om at opplegget har inspirert til å lære mer om fysikk.

9 av 16 elever syntes det i stor grad var lærerikt å dramatisere hvordan forskere argumenterer (Figur 4). I følge figur 5 synes også elevene det var motiverende å bruke kjente aktører i rollespilldebatten. Det tyder på at bruk av dramatisering i dette tilfellet var vellykket. Opplegget blir sett på som lærerikt fordi det er annerledes enn vanlig undervisning. I elevenes

kommentarer blir det trukket fram at opplegget er spennende og morsomt, og derfor også mer lærerikt.

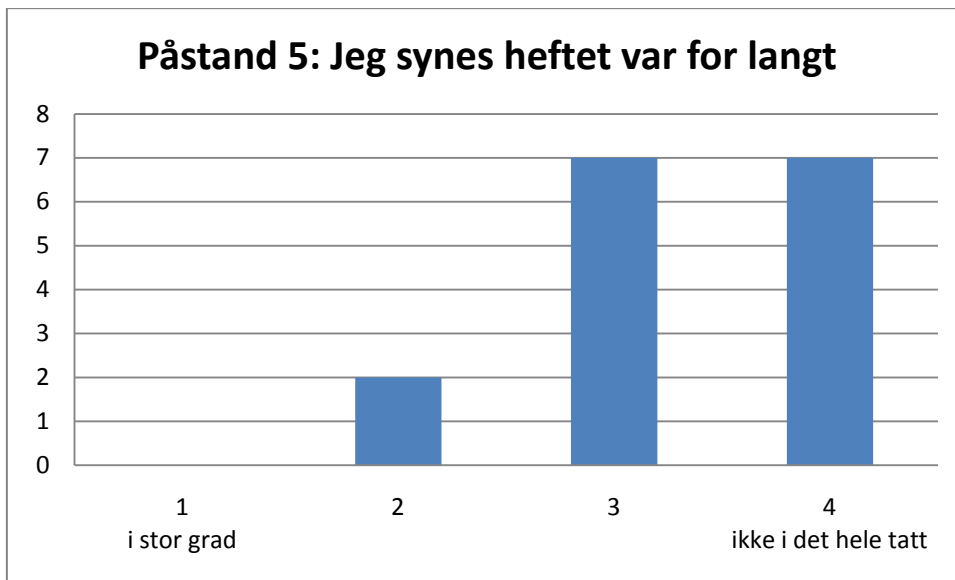


Figur 4: Elevsvar på påstanden om at det var lærerikt å dramatisere hvordan forskere argumenterer.



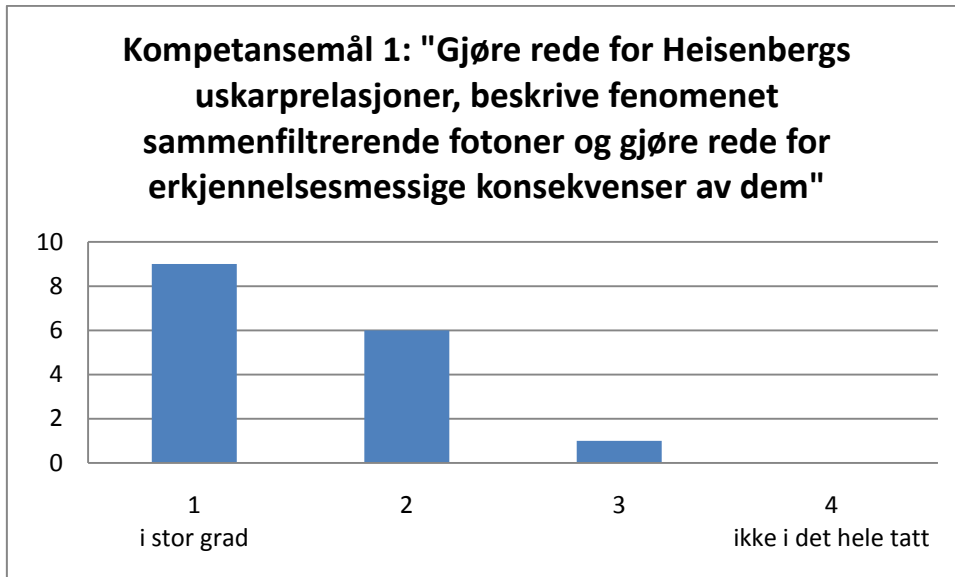
Figur 5: Elevsvar på påstanden om at det var motiverende å bruke kjente aktører i rollespilledebatten.

Elevene opplevde heftet som en nyttig ressurs. I figur 6 kommer det fram at de fleste elevene ikke synes heftet var for langt. Det blir gitt tilbakemelding på at heftet er godt skrevet og lærerikt.

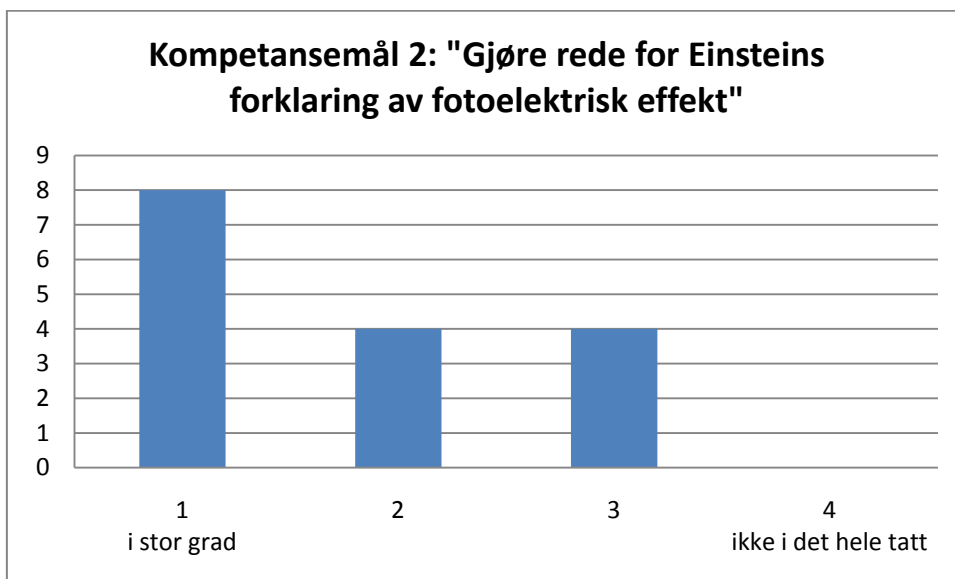


Figur 6: Elevsvar på påstanden om at heftet var for langt.

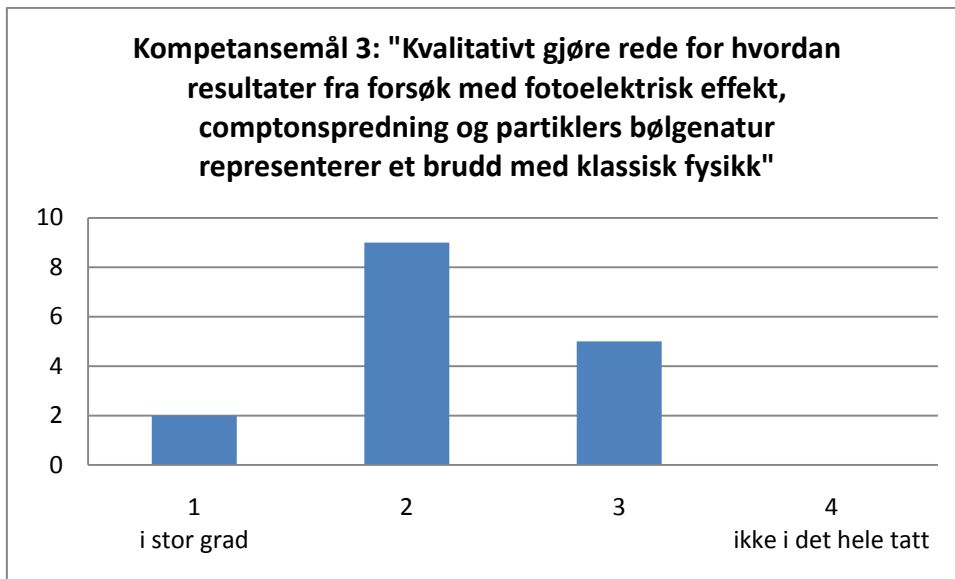
Undervisningsopplegget tar mål av seg å dekke 4 kompetansemål fra læreplanen i fysikk for kurset Fysikk 2. Ved å vurdere i hvilken grad de har oppnådd kompetansemålene gir elevene svar på hva de har lært gjennom opplegget. Det gis litt blandede tilbakemeldinger på hvorvidt de ulike kompetansemålene oppnås gjennom undervisningsopplegget eller ikke. Elevene mener kompetansemål 1 og 4 er de som oppnås i størst grad (hhv. Figur 7 og Figur 10). Kompetansemål 2 og 5 oppnås også i en viss grad i følge elevene, mens kun 2 elever svarer at de i stor grad oppnår kompetansemål 3 gjennom undervisningsopplegget. Kompetansemål 2 og 3 utgjør ett kompetansemål i læreplanen, men siden opplegget kun tar mål av seg å dekke første del av kompetansemålet valgte jeg å dele kompetansemålet i 2. Det er interessant å se at noen elever likevel synes de får dekket siste del av kompetansemålet; *Kvalitativt gjøre rede for hvordan resultater fra forsøk med fotoelektrisk effekt, comptonspredning og partiklers bølgenatur representerer et brudd med klassisk fysikk.*



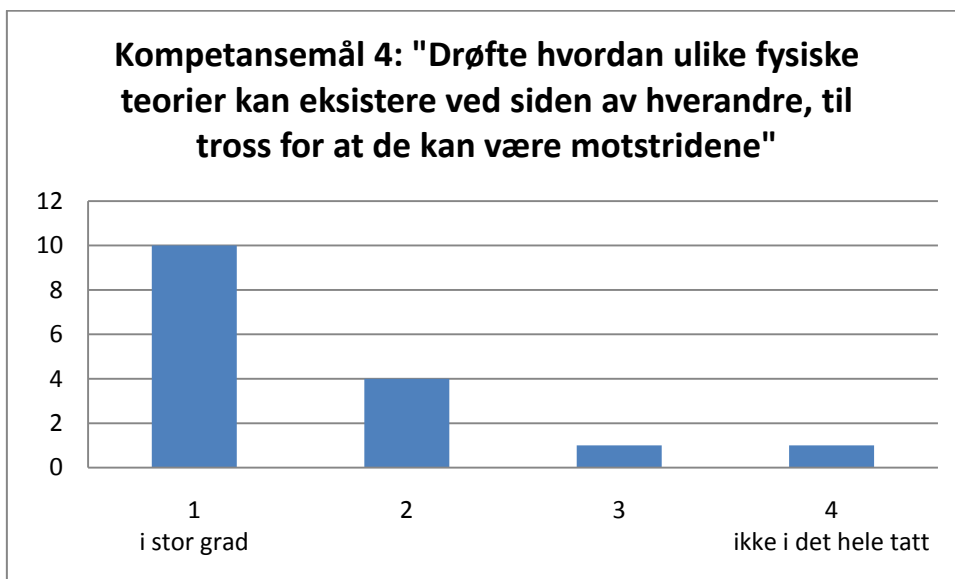
Figur 7: Elevsvar på om undervisningsopplegget dekker kompetansemålet: "Gjøre rede for Heisenbergs uskarprelasjoner, beskrive fenomenet sammenfiltrerende fotoner og gjøre rede for erkjennelsesmessige konsekvenser av dem".



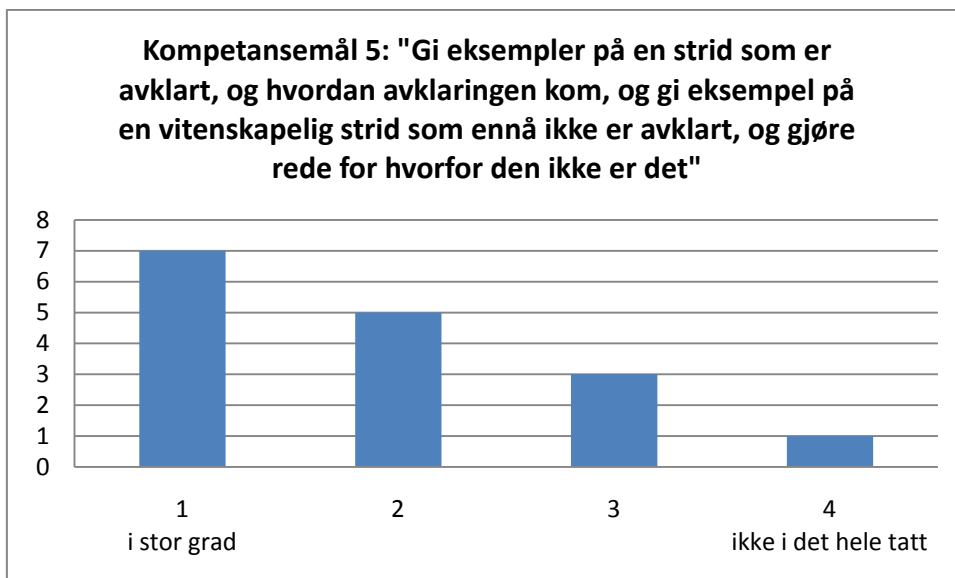
Figur 8: Elevsvar på om undervisningsopplegget dekker kompetansemålet: "Gjøre rede for Einsteins forklaring av fotoelektrisk effekt".



Figur 9: Elevsvar på om undervisningsopplegget dekker kompetansemålet: "Kvalitativt gjøre rede for hvordan resultater fra forsøk med fotoelektrisk effekt, comptonspredning og partiklers bølgenatur representerer et brudd med klassisk fysikk".



Figur 10: Elevsvar på om undervisningsopplegget dekker kompetansemålet: "Drøfte hvordan ulike fysiske teorier kan eksistere ved siden av hverandre, til tross for at de kan være motstridene".



Figur 11: Elevsvar på om undervisningsopplegget dekker kompetansemålet: "Gi eksempler på en strid som er avklart, og hvordan avklaringen kom, og gi eksempel på en vitenskapelig strid som ennå ikke er avklart, og gjøre rede for hvorfor den ikke er det".

### *Hva likte elevene med opplegget?*

På spørsmålet om hva som var bra med opplegget vektlegger elevene at opplegget var annerledes enn vanlig undervisning. Det å få gjøre noe annerledes i undervisningen viser seg å virke positivt på elevene.

En del nevner at det var viktig å få diskutert fysikk, slik som disse elevene:

*Man lærer på en annen måte når man får satt ord på det og diskutert*

*Fikk satt ord på temaer i fysikken, ofte blir det bare formel og lesing*

Jeg antar det er å sette ord på begreper elevene sikter til, altså begrepsbruk i fysikk.

Noen trekker frem at opplegget bidro til at elevene faktisk måtte tenke selv i stedet for bare å lese fysikk. Det ble også sett på som positivt at elevene måtte finne argumenter selv. Ellers nevnes konkurranseaspektet som positivt:

*Aktiverte vinnerinstinktet som ga oss lyst til å lære*

Det var et bevisst valg å spille på konkurranseaspektet i opplegget, der hensikten var å få elevene til å sette seg tilstrekkelig inn i stoffet for å unngå å tape debatten.



### *Hva likte elevene mindre godt ved opplegget?*

På spørsmålet om hva som ikke var bra med undervisningsopplegget er det flere som svarer at det kunne vært flere i panelet siden det var vanskelig for elevene som satt bak å delta i diskusjonen. Noen skriver også at det ikke var så lett å tørre å rekke opp hånda for dem som satt bak. På en annen side uttrykker elever at forberedelsen til debatten var aktiviserende:

*Du klarte å få alle til å delta. Kanskje ikke under debatten, men før*

Det viser seg at en liten repetisjon av undervisningsøkten fra første dagen burde vært gitt på starten av den andre dagen. På grunn av lang tid i mellom dagene var det vanskelig for elevene å huske hva som var blitt gjennomgått forrige time, og derfor også vanskelig å komme i gang. Ellers er det et par som kommenterer at det var litt vanskelig, og en som uttrykker seg slik:

*Tror ikke det blir særlig lettere for meg å løse oppgavene på prøvene i fysikk..*

Denne eleven peker på at det som testes på prøver er evne til å løse (regne-)oppgaver. Sitatet står delvis i kontrast til et elevsitat på side 42 som peker på at drøfting av stoff i fysikk er med på å bedre forståelsen. Det viser at elever har ulike oppfatninger av hva fysikk innebærer som fag.

### *Hvordan responderer ulike elevtyper på undervisningsopplegget?*

Opplegget krever at elever skal være aktive. Det var derfor elever som i utgangspunktet var litt frampå som engasjerte seg mest, mens de som ikke "turte" eller ikke ønsket å engasjere seg lett havnet utenfor. Her finnes det imidlertid unntak. Jonas var en av elevene som meldte seg frivillig til å sitte i panelet under debatten. I følge læreren holder han på å stryke i Fysikk 2 på grunn av dårlig oppmøte og fordi han viser liten interesse i å gjøre det bra i de timene han deltar i. Det finnes flere elever i klassen med omtrent samme utgangspunkt som Jonas, men der Jonas blomstrer og viser faglig forståelse både i forarbeidet til- og under debatten, er de andre ganske passive.

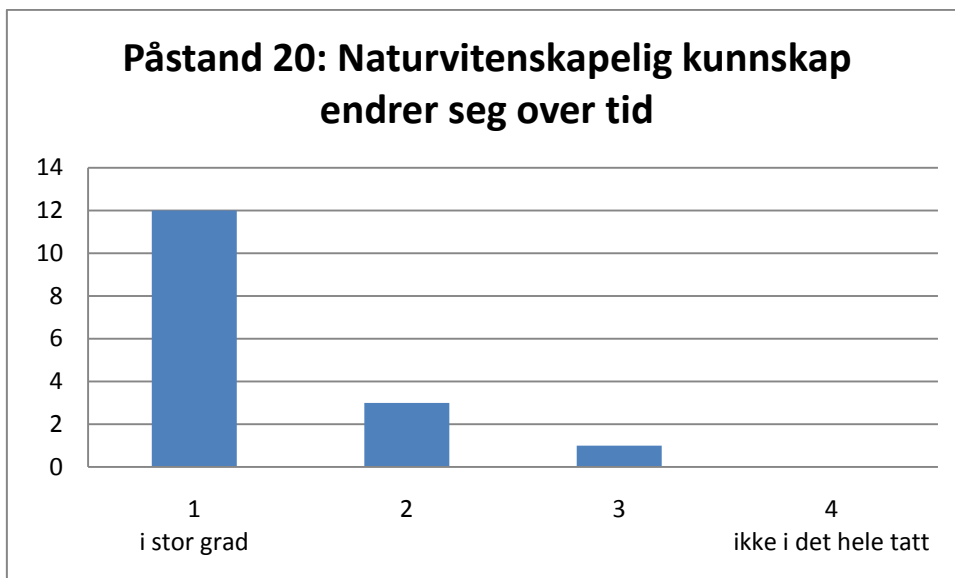
Resten av elevene som satt i panelet under debatten var elever som i utgangspunktet ikke var sjenerte. Likevel var lærer overrasket over at Stian og Øystein var blant de som meldte seg frivillig. Ingen av dem ble karakterisert som *faglig sterke* elever. Det skyldtes ikke potensial, men heller latskap og mangel på motivasjon. Det er derfor interessant å observere at opplegget er med på å aktivisere og motivere elever som i utgangspunktet bare møter opp for

*å bli lært fysikk.* Jeg tror at årsaken til at elever som Stian og Øystein motiveres til å bidra så mye som de gjorde kommer av at opplegget var annerledes enn en vanlig fysikkøkt og la opp til kreativitet. Når opplegget aktiviserer elevene, gir dem ansvar (i form av å skape argument) i forberedelsene til debatten og oppmerksomhet under debatten, virker de elevene som tør å engasjere synes at dette er gøy. Ved at de deltar aktivt, og synes det er gøy, vil det også bli mer lærerikt. Det kommer fram av besvarelsene på spørreundersøkelsen.

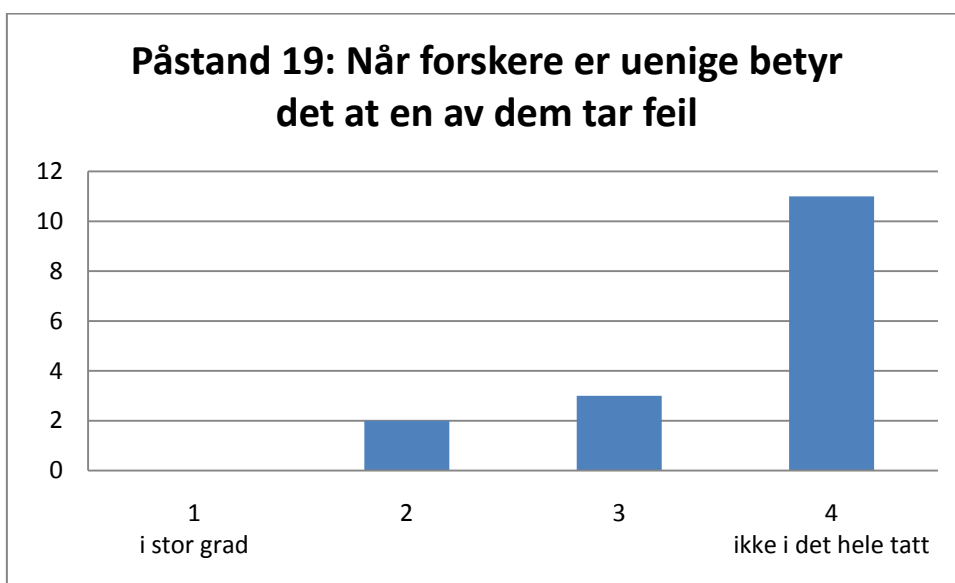
Elever som oppfattes som faglig sterke er de som tar mest ansvar i forberedelsene til debatten. 2 av de 3 jentene setter seg nøye inn i ressursheftet allerede første dagen. De 3 jentene har alle karakterene 4 eller 5. Det er også gutter som tidlig viser interesse og ansvarsfølelse til forarbeidet, men de er ikke flertall. På grunn av den skjeve kjønnsfordelingen er det imidlertid vanskelig å si noe om generell forskjell på hvordan gutter og jenter responderer på opplegget.

## **5.2 HVA UTTRYKKER ELEVENE OM NATURVITENSKAPENS EGENART?**

I påstandene om naturvitenskapens egenart, var målet først og fremst å avdekke i hvilken grad elevene viste innsikt i temaet. Så godt som alle elevene mener *i stor grad* at naturvitenskapelig kunnskap endrer seg over tid (*Figur 12*). De er også rimelig enige i at når forskere er uenige betyr det ikke nødvendigvis at en av dem tar feil (*Figur 13*). Det gir en indikasjon på at de fleste elevene er oppmerksomme på viktige aspekter ved naturvitenskapens egenart. Kun ut fra spørreundersøkelsen er det derimot vanskelig å måle om dette er noe de har blitt bevisste på gjennom undervisningsopplegget, eller noe de var bevisste på fra før.

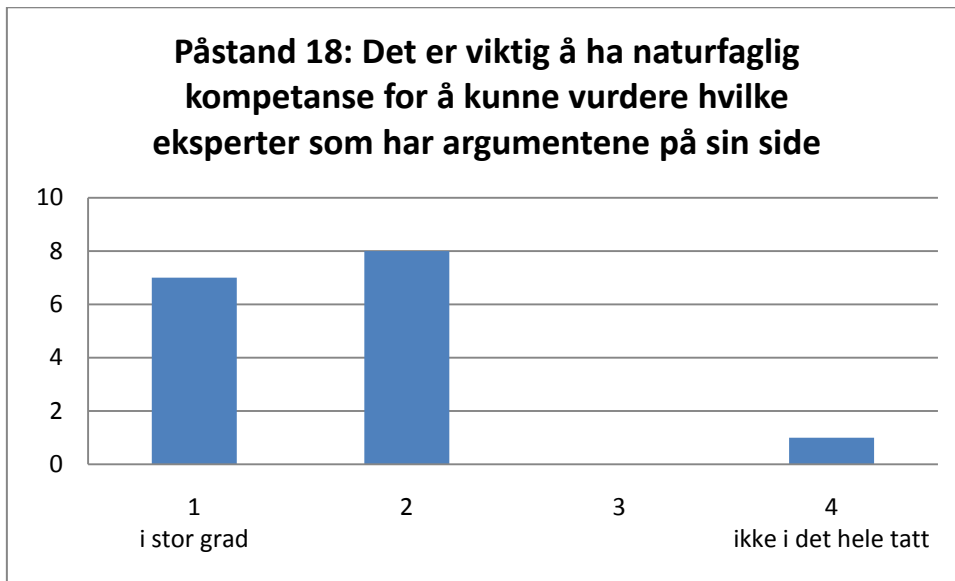


Figur 12: Elevsvar på påstanden om naturvitenskapelig kunnskap endrer seg over tid.



Figur 13: Elevsvar på påstanden om at når forskere er uenige betyr det at en av dem tar feil.

Figur 14 viser at 15 av 16 elever, i stor eller noen grad, mener det viktig å ha naturfaglig kompetanse for å kunne vurdere hvilke eksperter som har argumentene på sin side. Elevene er nesten like enige i at kunnskap om naturvitenskap er viktig for å kunne ta stilling til samfunnsvitenskapelige spørsmål (Figur 15). Det gir en indikasjon på at de fleste elevene ser viktigheten av å være opplyst og oppdatert på naturvitenskap.



Figur 14: Elevsvar på påstanden som at det er viktig å ha naturfaglig kompetanse for å kunne vurdere hvilke eksperter som har argumentene på sin side.



Figur 15: Elevsvar på påstanden om kunnskap om naturvitenskap er viktig for å kunne ta stilling til samfunnsvitenskapelige spørsmål.

*"I forskning oppdager man nye ting og da gjelder det å komme videre og ikke holde seg til det gamle..."*

I debatten viser elevene en tydelig forståelse for at uenighet og diskusjon må til for at fysikken skal utvikle seg og gjøre framskritt. Et av temaene som diskuteres mest i løpet av debatten er hvorvidt ny kunnskap må være i overensstemmelse med etablert kunnskap. Elevene beveger seg inn på interessante aspekter ved naturvitenskapens egenart som brudd på etablert kunnskap, paradigmeskifter og konsistente sammenhenger.

Her er en diskusjon mellom 3 av elevene i debatten:

*Per (Einstein): Men hvis du skal ha en ny fysikk så må den stemme med den gamle fysikken for at du skal kunne bruke den, og for at den skal bli riktig*

*Jonas (Bohr): Jo, men så stemte ikke jo ikke Einstein sin helt med Newtons heller da.. Den er jo en slags forbedring, sant*

*Øystein (Einstein): Men så gjaldt Newtons ganske lenge da..*

*Jonas (Bohr): Ja, den gjorde det, men det er jo fordi ingen har utfordret den tidlig nok da..*

Elevene viser innsikt i hvordan teorier kan bygge på hverandre, forbedres eller forkastes. Det er interessant å se hvordan Jonas møter Per sitt innlegg. Jonas peker på at Einstein sin fysikk var en slags forbedring av Newton sin, selv om den ikke stemte helt. Det er litt uklart hva han mener med en *slags* forbedring, men jeg antar det vil si at Einstein bygde på det "korrekte" fra Newtons teori og utviklet dette videre.

Elevene fronter i debatten hver sin side av en vitenskapelig strid og har derfor et påtatt syn på det hele. De har derfor ulike syn på hva det korrekte er i sin rolle i spillet. Der Per påpeker at ny fysikk må stemme med gammel fysikk for at den skal kunne brukes og være korrekt, ønsker Jonas et brudd med etablert kunnskap. At Newtons fysikk holdt så lenge som den gjorde begrunner Jonas med at ingen utfordret den tidlig nok. Argumentet er interessant. Det kan virke som Jonas mener et paradigmeskifte burde kommet tidligere enn det gjorde, men at ingen utfordret Newtons mekaniske lover før Einstein kom på banen. Historien har vist at det skal mye til for å velte en etablert teori, og brudd på etablert kunnskap som regel tar lang tid å akseptere. Newtonsk fysikk har overlevd et paradigmeskifte i den forstand at Einsteins teorier er konsistente med Newtons lover ved lave hastigheter. Derfor bruker også Jonas ordet

*forbedring* når han skal beskrive hvordan Einsteins fysikk er i forhold til Newtonsk. Øystein påpeker at Bohr bruker mange av Einsteins teorier i sitt arbeid.

Elevene diskuterer videre hvordan fysikken skal forholde seg til å ha flere sett med lover:

*Jeg mener at hvis vi skal ha to sett med lover så må det være en overensstemmelse mellom de to lovene*

Det virker som om elevene har fått med seg hvordan kunnskap kan utvikles. De har oppfattet at det kan forekomme brudd på etablert kunnskap i paradigmeskifter, og at naturvitenskap forutsetter konsistens i det de vektlegger viktigheten av å vurdere overensstemmelse mellom ny og gammel kunnskap.

Utvikling av vitenskap blir flere ganger diskutert i løpet av debatten. Her er et eksempel:

*Ja, det blir litt sånn konservativt. I forskning så oppdager man nye ting, og da er det videre.. å opp.. å komme seg videre med det nye stoffet man finner ut, og ikke.. ikke.. holde seg i det gamle. For da kommer man ingen vei innenfor vitenskapen..*

Eleven gjør det videre klart at uten framdrift kommer man ingen vei innenfor vitenskapen. Derfor må man ikke være for *konservativ* i sin forskning, som eleven kaller det. Det er med på å understreke elevenes forståelse av at utvikling og fornying trengs for at vitenskapen skal bevege seg framover. En konsekvens av dette kan være at uenighet og argumentasjon er en naturlig del av forskningsfronten, og det synes som elevene har forståelse for dette.

### *Einsteins "gammeldagse" forskningsmåte og forskerfellesskap*

Det viser seg at elevene ser på Einstein som et geni som sitter for seg selv og grubler. Bohr derimot blir framstilt som den som faktisk gjør eksperimenter (sammen med andre), og som gjør at han får resultater. Elevene uttrykker meninger om de ulike arbeidsmetodene og hvordan det kan lønne seg (og ikke lønne seg) å forske for å få aksept for sine ideer. En elev kommer med følgende kommentar:

*... Einstein.. han forsker på en veldig gammeldags måte. Han driver med tankeeksperimenter. Han sitter alene og tenker. Han får ikke noe input fra andre..*

Et annet utdrag fra debatten:

*Øystein (Einstein): Og det dere sier om at Einstein jobber gammeldags... Asså... dere kan jo bare se hvor mye han har oppnådd opp igjennom tida. Han blir jo betegnet som en av verdens smarteste menn. Og det at han gjør det gammeldags.. det gjør jo at det funker jo... Hvor mange teorier har dere, Bohr, akseptert som han har kommet med?*

*Stian (Bohr): Det er jo ikke poenget, det som er poenget er at Einstein bestemmer seg for en ting, også vil han ikke ta inn input fra andre. Han må...*

Elevenes beskrivelse av *gammeldags* er interessant. Mens *gammeldags* brukes som en negativ karakteristikk i det øverste sitatet, vrir Øystein *gammeldags* til noe positivt og solid.

Det er vanskelig å vite om Einstein sin måte å forske på blir sett på som *gammeldags* fordi han bedriver tankeeksperiment, sitter alene og tenker, eller ikke får input fra andre. Mest sannsynlig er det en kombinasjon. Det er ikke til å legge skjul på at Einstein er myteomspunnet person. Derfor vil det være urimelig å utelukke at elevenes oppfatninger av ham bygger på myter rundt hans personlighet og arbeidsmetoder. Det tyder på at elevene er *for* input fra andre når man *gjør* sin forskning og at de ser naturvitenskapelig kunnskap som et kulturprodukt.

*"Gud spiller ikke med terninger" – Hva slags argumenter ser elevene som gyldige?*

Filmopptaket av debatten avdekker hva slags argumenter elevene oppfatter som gyldige og ikke gyldige i en vitenskapelig debatt. Elevene anser generelt argumenter som er relaterte til fysikk som gyldige. Selv om partene er uenige om fysikken viser de respekt for argumentene til motstanderen forutsatt de er innenfor rammene for debatten. Det blir for eksempel lagt inn *protest* hvis et argument inneholder informasjon om noe som ligger fram i tid for debatten. Argumenter uten særlig faglig innhold blir av og til gjennomskuet. Det kommer imidlertid veldig an på hvor god innsikt eleven som blir utfordret har i det som blir diskutert faglig sett. Det kan nok tenkes at argumenter uten særlig innhold blir sett på som gyldige fordi kunnskapen ikke strekker til for å vurdere om det som blir sagt er riktig.

Det er flere eksempler på argumenter som elevene *ikke* anser som gyldige. Einstein blir for eksempel framstilt som en religiøs type, noe argumentene hans lider av. Det kan virke som at han, gjennom sitt religiøse syn, blir beskyldt for å blande vitenskap og tro. En elev sier det slik:

*... man må tråkke utenfor dette religiøse synet, og se verden som den egentlig er*

Eleven ser religion som utenfor den *egentlige* verden. Religiøse argumenter blir derfor sett på som irrelevante.

Einstein-sitatet: *Gud spiller ikke med terninger* skaper naturlig nok diskusjon. Det forsvares med at det ikke har så mye med religion å gjøre, men heller er brukt som en metafor på at universet skal være oversiktlig og forutsigbart. Likevel virker det ikke som redegjørelsen av sitatet har innvikning på motstanderlaget da de allerede har motsatt seg sitatet på grunn av referansene til Gud.

Elevene uttrykker i tillegg skepsis til Einsteins noe isolerte arbeidsmetode. Likevel er elevene skjønt enige i at han er et geni, og at Bohr baserer sin teori på arbeidet fra nettopp Einstein. Det viser at elevene gjør seg tanker om kombinasjonen tro – fysikk (vitenskap), en kombinasjon som har preget naturvitenskap i all tid.

Kvanteteorien er vanskelig å forstå uansett om man er forsker ved universitet eller er elev på videregående skole. Derfor blir argumenter ved flere anledninger avsluttet med *det må man bare akseptere* eller *det er bare slik det er*. Dette kommer av at elevene rett og slett ikke har noen bedre forklaring. Slike avrundinger observeres å svekke slagkraften i argumentene.

*”Det er forskjell på en badeball og et elektron” – Hvilken innsikt viser elevene i kvantefysikk?*

Den uskarpe og ofte uforståelige kvanteverdenen diskuteres nøye i løpet av debatten. Elevene gir ved flere tilfeller uttrykk de er klar over forskjellene mellom klassisk fysikk og kvantefysikk. De gir også uttrykk for at det trengs *to sett med lover* fordi klassiske lover ikke gir korrekte beregninger i kvanteverdenen. Stian uttrykker seg på denne måten:

*Hele poenget er at det er forskjell på en badeball og på et elektron*

Kommentaren kan først virke som noe flåsete, men han følger opp med å si at *verden på et så lite spenn blir umulig å forske på*. At verden blir umulig å forske på skal nok ikke tas bokstavelig. Det er nok mer en antydning om at det ikke går an å si noe hundre prosent nøyaktig om oppførselen til så små partikler som elektroner.



En av elevene forsøker å gjøre rede for hvor grensen går mellom kvanteverdenen og den klassiske verdenen uttrykkes på denne måten:

*... grensen går jo da du skal måle noe som ikke lar seg måle da. Fotoner, elektroner og sånn...*

En annen elev nevner at verden er uskarp på nanonivå. Det er usikkert om eleven har begrep på hvor lite størrelsen nano er, men at den er så lite at det ikke lar seg måle er rimelig å anta. Elevene gir uttrykk for at de vet det går en grense, og at kvanteteori anvendes på veldig små partikler som fotoner og elektroner.

Elevene gir gode argumenter i forhold til hvorvidt determinisme eksisterer på kvantenivå eller ikke. Det er tydelig at begge lag er klare på hva determinisme innebærer. Det gis eksempler på eksperimenter som er gjort for å beskrive Bohr og Einsteins ulike syn på determinisme, da både Youngs dobbelspalteforsøk og Einsteins EPR-pradoks brukes for å illustrere fenomenet.

Elevene diskuterer EPR-paradokset:

*Per (Einstein): Ja, hvis to sånne fotoner beveger seg fra hverandre... med samme fart og som er like store.. dem må jo kunne måle farten til den ene uten å påvirke den andre, og samtidig måle posisjonen til det andre uten at det forstyrrer den ene da... Så på den måten kan du bestemme fart og posisjon til begge dem herre her da... Hva har dere å si til der? Det er jo i mot uskarphetsprinsippet..*

*Jonas (Bohr): Det... Nå har du gått glipp av en veldig viktig ting. Det er en viss sammenheng mellom de to fotonene. Når de to fotonene blir laget slik at de har samme fart, da har de samtidig en sammenheng. Det ene vil påvirke det ene, mens det andre vil skjære seg. Det vil skje noe med det og...*

*Stian (Bohr): Alt i ett system og det påvirker hverandre*

Per viser at han har oversikt over de sentrale aspektene i EPR-eksperimentet. Forklaringen er noe forenklet, noe som beskrivelsen av partiklenes konstante bevegelsesmengde lider av. Det blir ikke riktig å si at partiklene har lik fart og lik masse i beskrivelsen av partiklenes konstante bevegelsesmengde (jeg tolker det som at det er masse Per sikter til når han bruker betegnelsen *like store*). Likevel synes jeg Per klarer å få fram hovedbudskapet i Einsteins tankeeksperiment: Ved å betrakte to uavhengige partikler som beveger seg i motsatt retning,

og der den totale bevegelsesmengden er konstant, kan man ved å måle den ene partikkelen kan man samtidig få en uforstyrret måling av den andre. Per utfordrer samtidig motparten til å svare på sin redegjørelse av EPR-eksperimentet og hevder tankeeksperimentet er i mot uskarphetsprinsippet som Bohr-laget støtter seg på. Angrepet blir møtt med samme forklaring som Niels Bohr selv svarte med: To partikler kan ikke betraktes som uavhengige i kvantefysikk. *Det er en viss sammenheng mellom de to fotonene*, som Jonas uttrykker det. Stian er raskt framme og presiserer at alt er i ett system og at fotonene vil påvirke hverandre.

Selv om elevene av og til er litt utydelige og upresise i sine beskrivelser av kvantefysikk synes jeg elevene viser god innsikt i kvantefysikk. Siden kvanteteorien er en vanskelig og uforståelig fysisk teori er det vanskelig å unngå at det forekommer noen missforståelser og i overkant forenklete forklaringer.

### *Å uttrykke seg muntlig – en grunnleggende ferdighet i fysikkfaget*

Elevens muntlige uttrykksmåte er en av de grunnleggende ferdighetene som skal vurderes i følge læreplanen i Fysikk. Læreplanen vektlegger et presist og entydig språk, bruk av fysikkfaglige begreper og argumentering for vurderinger elevene måtte gjøre seg (Utdannings- og forskningsdepartementet, 2005). Gjennom undervisningsopplegget får elevene (særlig elevene som sitter i debattpanelet) anledning til å vise sine muntlige ferdigheter i fysikk.

De muntlige ferdighetene som elevene viser gjennom undervisningsopplegget, og spesielt paneldebatten, er etter min oppfatning av varierende kvalitet. At fagstoffet er vanskelig og krevende må tas i betraktning. Likevel er noen formuleringer presise og inneholder relevante begreper, mens andre formuleringer lider av et upresist språk. De kan derfor tyde på at elevene trenger mer trening i å uttrykke seg muntlig i fysikk. Jeg vil presentere noen eksempler på uttrykksmåter hentet fra debatten og analysere sitatene i forhold til hva læreplanen muntlige ferdigheter i fysikk.

Et eksempel på en lite presis uttrykksmåte:

*Men det er som jeg sa tidligere.. Det er som en badeball og et elektron, det er ikke noe.. så når man skal måle det så er det forskjellige egenskaper. Du vet ikke hvordan elektroner forflytter seg og.. man kan ikke måle fart og posisjon på samme tid. Rett og slett fordi det ikke lar seg gjøre.*

Et annet eksempel er denne sekvensen:

*Jonas (Bohr): Ja, så.. vi har fortsatt de gamle prinsippene som gjelder alt det andre, men så at du skal måle et foton da så.. vet du at i det du har målt det så har det ikke no.. har det ikke no.. da er det ikke det samme lenger. Så hvordan det.. det.. er i mellom hver måling det er irrelevant. Rett og slett..*

*Øystein (Einstein): Asså.. et elektron har jo fart og posisjon til en hver tid. Det er jo ikke sånn at.. den mister ikke farten med en gang vi slutter å måle. Det må jo ha.. det må jo bevege seg.. det må jo ha fart og posisjon!*

Begge eksemplene viser tidvis ufullstendige formuleringer og et upresist språk. Ved flere anledninger virker det som elevene ikke helt finner formuleringene de er ute etter og må derfor gjenta seg selv før de uttrykker seg videre. Det gjør at språket kan bli hakkete til tider og budskapet vanskelig å fatte. Likevel får Jonas, selv med en litt upresis uttrykksform, fram budskapet: *det som skjer mellom hver måling er irrelevant*. I løpet av debatten forekommer flere eksempler som ligner på Jonas sitt. Formuleringer og språk kan være noe upresist og lite entydig, men budskapet i argumentet kommer likevel fram på en måte for en som er inneforstått med hva debatten skal dreie seg om. Når elevene er flinke til å bruke fysikk-relaterte begreper i argumentene sine er de enklere å forstå fordi argumentene blir mer presise, noe Stian sin beskrivelse av Youngs dobbeltspalteeksperiment viser:

*Et annet eksempel på dette her er da Youngs dobbeltspalteforsøk. Vi sender elektroner gjennom to spalter. Ehh.. Når man ikke følger med på hvilken spalte elektronet går igjennom vil man få det derre.. det derre.. interferensmønsteret. Men hvis man følger med på hvilken spalte elektronet vil komme til å gå igjennom vil man ikke få interferensmønsteret. Altså, man kan ikke finne ut begge deler.*

Stians bruk av begreper som spalte, elektron og interferensmønster gjør at det ikke er spørsmål om hva han beskriver. I tillegg er språket presist og det er enkelt å følge med på hva han uttrykker.



## 6 DISKUSJON OG KONKLUSJON

---

I dette kapittelet skal jeg ta for meg problemstillingene som ble presentert i innledingen. Med bakgrunn i det empiriske materialet fra filmopptak og spørreundersøkelse, egne erfaringer fra utprøvingen av undervisningsopplegget og støtte fra fagdidaktisk og pedagogisk teori, skal jeg forsøke å gi svar på disse. I avslutningen av kapittelet vil jeg forsøke å gi en kort oppsummerende konklusjon på de nevnte problemstillingene og presentere fordeler og anbefalinger i tilknytning til videre bruk av undervisningsopplegget.

### 6.1 DISKUSJON

Diskusjonen starter med problemstillingen som handler om elevenes evaluering av undervisningsopplegget. Jeg vil diskutere interessante tilbakemeldinger i forhold til hvordan undervisningsopplegget ble tatt i mot, og se på hvorvidt elevene fant opplegget motiverende i seg selv og for videre læring i fysikk. Videre vil jeg diskutere hvilke fordeler drama som metode har i fysikkundervisningen og ta for meg elevenes muntlige ferdigheter i fysikk.

Diskusjonsdelen avsluttes med å diskutere den andre problemstillingen; *Hvilke oppfatninger har elevene om naturvitenskapens egenart slik det kommer til uttrykk i rollespilldebatten?* I denne delen av diskusjonen ønsker jeg å se på elevenes syn på utvikling av kunnskap innen for vitenskapen og hva slags argumenter elevene ser på som gyldige og ikke. I tillegg vil jeg diskutere om en historisk fortelling, som casen *Bohr vs. Einstein*, gir elevene noe innsikt i dagens post-akademiske vitenskap og hvilken innsikt elevene viser i kvantefysikk.

#### *Hvordan ble undervisningsopplegget "Bohr vs. Einstein" tatt i mot?*

Undervisningsopplegget ble stort sett tatt godt i mot av elevene. Elevene synes opplegget var lærerikt og det hjalp dem til å forstå kvantefysikken bedre. I tilbakemeldingene på hva som var bra med opplegget viser en elev uoppfordret faglig fokus ved å kommentere at det var bra å drøfte viktig stoff i kvantefysikk for å få en bedre forståelse. Når man utvikler et undervisningsopplegg som innebærer drama, og i tillegg skal filmes, kan det fort bli at fokus på det faglige faller bort. Derfor er det interessant å se at det faglige i hvert fall er i fokus hos noen.

Det som går igjen i tilbakemeldingene om hva elevene likte med undervisningen var at opplegget er annerledes enn vanlig undervisning. Elevene blir ikke direkte spurt om hva som var annerledes med dette opplegget i forhold til vanlig undervisning, men gjennom tilbakemeldingene elevene gir, kommer det fram at det blant annet er fordi opplegget bidro til å aktivisere elevene. Det å aktivisere elevene var noe som ble særlig vektlagt i utviklingen av opplegget siden flere av komponentene i undervisningen forutsatte aktivt engasjement fra elevenes side.

Elevene som ikke deltok som debattanter ble passive. Som debattleder oppfordret jeg elevene til å komme med replikker og ikke bare sitte og høre på, uten at det så ut til å virke. Noen elever ga tilbakemelding om at det burde vært plass til flere elever i panelet. Problemet med å øke antallet elever i panelet er at det sannsynligvis ville ført til at debattdeltagere ville blitt overkjørt og dermed blitt passive. Derfor er jeg kritisk til å utvide antallet debattdeltagere med mer enn 2 elever. Da ville det til sammen vært 6 elever; 2 på hvert lag. Det *kan* være et grep å foreta seg.

Jeg mener det er mer hensiktsmessig å se etter grep som kan få lagenes støttespillere til å bli mer aktive og unngå kun å opptre som *publikum*. Et grep kan være å rullere på plassene i panelet. Det kan være med å bidra til at flere av elevene får mer eieforhold til det laget står for, og dermed bidra i større grad. Et annet grep kan være å trene elevene i rollen som støttespillere. Det ville sannsynligvis gjort det mindre farlig å rekke opp hånda og ta ordet for de som hadde rollen som støttespillere.

### **Motivasjon**

Resultatene viser at elevene fant undervisningsopplegget motiverende. En av årsakene kan være at det spiller på konkurranseaspektet. Lagene møtes til debatt og det skal gå litt stolthet i ikke å tape debatten. Hensikten med dette var å forsøke å aktivere vinnerinstinkt hos elevene tidlig i prosessen slik at fagstoffet ble jobbet med allerede fra starten av. Det er i forberedelsene til prestasjoner man legger grunnlaget for suksess, og det ble brukt som en motivasjonsfaktor overfor elevene. Det å spille på konkurranse og vinnerinstinkt kan være farlig i forhold til at vinnerviljen kan ta overhånd og ta fokus vekk fra det som faktisk er formålet. Det er heller ikke alle elever som lar seg motivere av konkurranse. Derfor ble

tilnærmingen med å motivere elevene gjennom konkurranse selvfølgelig gjort med litt humor og med et glimt i øyet.

Det er interessant å se hvordan ulike elevtyper responderer på opplegget. Flere elever som i utgangspunktet slet med motivasjon i faget, blomstret plutselig i forberedelsene til rollespilldebatten. Det virket som at opplegget traff dem på en eller annen måte. Jeg tror det kan ha å gjøre med at opplegget legger opp til kreativitet gjennom dramatiseringen og har en litt annen innfallsvinkel enn en vanlig undervisningstime i fysikk. I tillegg representerer drama variasjon, noe som mottas med glede hos elever flest. Drama er en læringsaktivitet som er inkluderende av natur, noe som gjør at elevene føler seg inkludert i læringsprosessen om det gjøres riktig (Mork, 2006). Ved at elevene får dramatisere en rollespilldebatt blir fokus tatt bort fra formler og regneoppgaver på tavla og erstattet med sosial aktivitet og kreativitet. Det kan være med på å gjøre at opplegget når ut til elever som ikke anses som de sterkeste og mest motiverte i faget. Det virket i hvert fall slik i utprøvingen av dette undervisningsopplegget.

Et annet moment som kan ha slått inn på motivasjonen til elevene var beskjeden om at prestasjonene som ble vist i løpet av undervisningssekvensen kun ville slå positivt ut på karakteren i fysikk. Det gjorde forhåpentligvis at rollespilldebatten ble mindre *farlig*, men likevel ikke uten betydning. Med unntak av jentene, var det jevnt over de som bidro mest i forberedelsene som også sa seg villige til å sitte i panelet og representere Bohr eller Einstein i debatten. Det at det ble informert om at debatten kun ville slå positivt ut på karakteren, kan ha vært med på å bidra til at såpass mange antatt faglig svake elever (3 av 4) deltok i rollespilldebatten. I forhold til vurdering av elevene er det nok viktig å bruke karakter på elevenes innsats i et slikt opplegg. Opplegg som inneholder drama kan fort bli sett på som lek og moro, og for at elevene skal ta opplegget like alvorlig som andre deler av faget, kan det være viktig at elevenes innsats har innvirkning på karakteren.

Det er interessant å se at elever har oppfatninger av hva fysikk innebærer som fag. Noen fokuserer på viktigheten av å drøfte stoff for å bedre forståelsen, mens andre er mer opptatt av oppgaveregning og formler. Det gjør at dette undervisningsopplegget bryter med hva en del av elevene oppfatter at fysikkfaget skal inneholde. Opplegget er fritt for oppgaveregning og bruker kun et fåtall formler i beskrivelse av fysiske fenomener.

Selv om undervisningsopplegget har en motiverende effekt på elevene av årsaker som er nevnt over virker ikke opplegget å ha samme motiverende effekt i forhold i forhold til å studere

fysikk videre. Det er like mange elever som svarer for som mot på påstanden om at opplegget har inspirert til å studere fysikk videre. Det kan være et tegn på at det ikke er fysikken i seg selv som er interessant, men måten den blir undervist på. En annen årsak kan være at kvante-teorien skiller seg litt fra andre grener i fysikken elevene har vært innom til nå, og at elevene ikke ser på dette opplegget som representativt for fysikkfaget generelt.

### **Drama som metode – en metode å motivere for historie i fysikkundervisningen?**

Spørreundersøkelsen viser at alle elevene bortsett fra én synes det var motiverende å bruke kjente aktører i rollespillet. Det viser seg at å bruke en case med kjente personer kan være med på å motivere elever, noe som støttes av Kolstø (2007). Han skriver at når en case inkluderer menneskelige aktører med håp, strider og suksess har det sannsynligvis en positiv innflytelse på motivasjonen hos elever. Dette er noe Bohr-Einstein-debatten absolutt illustrerer. Flere didaktikere viser også til at historiske fortellinger om naturvitenskap i undervisningen kan virke motiverende på elever (Kolstø, 2007). Motivasjon av elevene er udiskutabelt viktig for læring. Det har nå blitt pekt på at bruk av historiske caser og at kjente vitenskapsmenn kan være med på å motivere elevene til å lære. Men hva er det elevene lærer? Lærer de noe om naturvitenskapens egenart og lærer de fysikk?

Elevene gir uttrykk for at kompetansemålene jevnt over oppnås gjennom undervisningsopplegget, noe som må bety at de lærer seg en god porsjon fysikk. Det er viktig å presisere at dette er elevenes oppfatning. Siden elevene har vært igjennom kapittelet om kvantefysikk tidligere i skoleåret kan det være vanskelig å vite om elevene lærer seg fysikk og vitenskaps-historie gjennom *dette* opplegget.

Et annet poeng er at det ikke tas for gitt at elever lærer vitenskap gjennom å arbeide med historiske caser (Kolstø, 2007). Det kan derfor være viktig for lærere å tenke gjennom hvilken historisk fortelling man ønsker å ta utgangspunkt i. Hvilke aspekter innenfor vitenskapen ønsker man å illustrere gjennom nettopp denne casen? Hvordan skal undervisningssekvensen legges opp for at formålet med casen skal komme best mulig fram og for at elevene faktisk skal lære noe om vitenskap gjennom undervisningen? Dette er vesentlige problemstillinger for lærere å tenke igjennom før man setter i gang med å undervise om vitenskapens historie i fysikkfaget.



## *Muntlige ferdigheter i fysikk*

### **Språkets rolle i undervisningsopplegget**

I innledningen til oppgaven blir det vist til FUN-undersøkelsen, som viser at elever ønsker hyppigere bruk av gruppediskusjoner og lærerstyrt drøfting av begreper. En av årsakene til at aktiviteter som involverer diskusjon og argumentasjon ikke benyttes så ofte som de kanskje burde kan forklares med at lærere ofte er faglige usikre, mangler strategier for å håndtere klasseromsdiskusjoner, og at slike aktiviteter både er tidkrevende og uforutsigbare (Mork, 2006). Undervisningsopplegget *Bohr vs. Einstein* tar mål av seg å møte elevenes ønske om hyppigere bruk av kvalitative undervisningsmetoder ved å benytte seg av en rollespilldebatt der fokus på muntlig aktivitet og spesielt argumentasjon vektlegges. I utviklingen av opplegget fikk jeg selv oppleve hvorfor lærere ofte vegrer seg for å benytte seg av aktiviteter som involverer diskusjon og argumentasjon. Det er mange hensyn å ta i forhold til planlegging og organisering, og betydningen av å være faglig sterk i teamet som ble diskutert var for meg som lærer uvurderlig.

Hensikten med å bruke diskusjon og argumentasjon i fysikkundervisningen var sammensatt. For det første er ferdigheter i å argumentere og evaluere informasjon er en viktig del av allmenndannelsen (Sjøberg, 2004). I tillegg viser flere studier at aktiviteter som involverer argumentasjon kan bidra til økt læring (Mork, 2006).

Vygotsky mente at språket var det viktigste redskapet i prosessen med å tilegne seg kunnskap. Gjennom å ta del i sosiale aktiviteter der språket brukes som hjelpemiddel vil man utvikle sin egen forståelse. Det ikke alltid hva som blir sagt som er det viktige, men det at man får brukt språk og handling i en prosess som resulterer i økt forståelse som er viktig. I dette undervisningsopplegget får elevene (som tar del i rollespilldebatten) gjort nettopp dette. De får brukt språket i en sosial aktivitet der de legger fram påstander og argumenter i skikkelsen av enten Bohr eller Einstein, samtidig som de får muligheten til å konstruere motargumenter for å møte motpartens påstander.

### **Hvordan uttrykker elevene seg muntlig i fysikk?**

De muntlige ferdighetene som ble vist i debatten var av varierende kvalitet. Mye skyldes nok at fagstoffet både er vanskelig og krevende i forhold til mer samfunnsrelaterte tema som diskuteres i naturfagundervisningen. Et annet poeng er at elevene tildeles roller under

debatten der egne meninger ikke tillates. Det kan være med på å gjøre det vanskeligere å formulere seg enn hvis man skulle argumentert for sin personlige mening om saken.

En gjennomgående trend i innleggene under debatten er at språket ofte er upresist. Begrepsbruken er til tider god, men formuleringene blir ofte noe stotrete og uklare. For en person som er inne i stoffet som blir diskutert er det ikke et problem, men for en uavhengig person ville det helt klart bydd på utfordringer. Selv om Vygotsky peker på at det viktigste for å utvikle forståelse i forhold til noe, er at man *deltar* i et sosialt samspill hvor muntlig aktivitet utøves, burde også det som blir sagt ha en viss betydning. Ut fra inntrykket jeg sitter igjen med etter utprøvingen av dette undervisningsopplegget, tyder det på at elevene kan trenge mer trening i å uttrykke seg muntlig i fysikk.

Det ble trukket fram i spørreundersøkelsen at *man lærer på en annen måte når man får satt ord på det og diskutert*. Det blir også gitt tilbakemelding om at det var positivt å få satt ord på *temaer i fysikk*. Som jeg skriver i resultatdelen, antar jeg det er å få satt ord på begreper i fysikk elevene sikter til. Disse tilbakemeldingene støtter opp om resultatene fra FUN, som viser at elevene ønsker mer kvalitativ undervisning i fysikk.

### *Hvilke oppfatninger har elevene om naturvitenskapens egenart?*

Resultatene gir indikasjon på at de fleste elevene er oppmerksomme på viktige aspekter ved naturvitenskapens egenart. Elevene er enige i at det er viktig å være i besittelse av kunnskap for å kunne vurdere hvilke eksperter som har argumentene på sin side. De fleste er også enige i at kunnskap om naturvitenskap er viktig for å kunne ta stilling til samfunnsvitenskapelige spørsmål. Dette er i tråd med Sjøberg (2004) sitt demokratiargument som framhever at naturvitenskapelig kunnskap er viktig for informert meningsdannelse og ansvarlig deltaking i demokratiet. Han støttes av flere forskere (bl.a. Erduran & Jiménez-Aleixandre, 2008 og Stein Dankert Kolstø, 2007) som viser til at naturfaglig kompetanse er en nødvendig ballast for folk flest for at demokratiet skal fungere. Ved at elever og alle andre er opplyste og har nok kunnskap til å vurdere hvilke eksperter som har argumentene på sin side, vil man være med på styrke demokratiet. Det kunne vært spennende og forhørt seg med elevene på et senere tidspunkt i forhold til deres bidrag til demokratiet. Jeg har en mistanke om at flere av elevene sa seg enige i påstandene nevnt over uten å tenke særlig over dem.

Elevene viser gjennom rollespilldebatten at de er inneforstått med at eksperimentelle resultater gir rom for diskusjon og tolkning. Det at kvantefysikken er uskarp og ikke gir presise målinger virker å gjøre at eksperimentets troverdighet svekkes. Spesielt Einsteins tankeeksperimenter lider av dette. Hans myte-omspunnede personlighet og religiøse tro er med på å svekke troverdigheten til eksperimentene, og argumentasjonen som inneholder referanser til Gud anses som ugyldige i fysikksammenheng.

Videre viser elevene en skepsis til isolerte arbeidsmetoder, og viktiggjør betydningen av å få input fra andre i når man forsker. Et syn som er i samsvar med hva naturvitenskapens egenart vektlegger, der det skal være rom for åpne diskusjoner der ideer og tanker skal kunne kritiseres og revideres når de ikke stemmer med observasjoner (Sjøberg, 2004). De fleste elevene mener i stor grad at naturvitenskap endrer seg over tid. De fleste elevene mener også at det når forskere er uenige betyr det ikke nødvendigvis at en av dem tar feil. Ser man dette i sammenheng med vitenskap i utvikling slik det foregår på forskningsfronten, der det legges til rette for uenighet og debatt, vil jeg si at elevene har god innsikt på dette området av vitenskapen ut fra det de svarer i spørreundersøkelsen og uttrykker gjennom undervisningstidene.

Vitenskapen er som nevnt stadig i utvikling. Moderne teknologi gjør det enklere enn før å legge til rette for et argumentasjonsfellesskap blant forskere og ved at naturvitenskapelig artikler blir lagt ut på nett gjøres forskning enklere kjent for allmennheten enn tidligere. Med tiden har også andre aspekter ved vitenskapen utviklet seg. Forskningsmetodene som Bohr og Einstein benyttet seg av på 1930-tallet er ikke representative for hvordan forskning foregår i dag. I følge Ziman (2000, gjengitt etter Mork, 2006) befinner vi oss nå det post-akademiske stadiet når det gjelder vitenskap. I forhold til akademisk vitenskap der erkjennelsesmessige verdier sto i fokus, er post-akademisk vitenskap i mye større grad knyttet opp til industri, økonomi og konkurranse. Casen introduserer elevene til akademisk vitenskap ved å ta for seg herrene Bohr og Einstein og deres ulike virkelighetsoppfatninger. Spørsmålet er om casen gir elevene en realistisk innsikt i dagens post-akademiske vitenskap.

I forhold til nytteaspektet og kobling opp mot industri er ikke casen Bohr vs. Einstein dekkende for dagens metoder for fysikkforskning. Problemet med å bruke fortellinger til å illustrere mer moderne forskningsforhold er at de tradisjonelle historiene som regel er "hundre år gamle". Det gjør at slike fortellinger egner seg best til å gi elevene et bilde av vitenskap som en levende prosess i utvikling. Fortellingene kan også brukes som utgangspunkt til diskusjoner om dagens

metoder ved å se på likheter og ulikheter, men alene kan ikke historiene brukes for å gi et riktig bilde av dagens forskning. Historiske fortellinger *kan* også bidra til fysikkfaglig forståelse. Selv om det fortelles en historie behøver ikke fagstoffet fortrenses. I neste avsnitt vil jeg se på hva elevene forstår av innholdet og dilemmaene i kvantefysikken.

### *Hvilken innsikt viser elevene i kvantefysikk?*

Det er vanskelig å måle hva majoriteten av elevene forstår av innholdet og dilemmaene i kvantefysikken siden det ikke ble lagt opp til noen test av hele klassen. Det burde kanskje vært gjort med tanke på at jeg nå kun sitter med grunnlag for å vurdere hva 4 av elevene står for faglig. Fra observasjon vet jeg likevel at det var flere enn de 4 elevene som satt i debattpanelet som bidro i forberedelsene. Det er også observasjon som må legges til grunn hvis jeg skal vurdere fysikkferdighetene til resten av klassen. I denne sammenhengen har ikke det gitt tilstrekkelig med informasjon.

Elevene viste igjennom rollespillet å ha skaffet seg god overordnet kunnskap om både innholdet og dilemmaene i kvantefysikken. Det blir gjort rede for viktige punkter som determinisme og bølge-partikkel dualiteten uten at det beskrives i detalj. Elevene klarer også i store trekk å forklare sentrale eksperiment som EPR-paradokset og Youngs dobbeltspalte-eksperiment. Videre går det klart fram at kvanteverdenen er uskarp fordi man forstyrrer målinger i det man foretar seg dem, noe elevene beskriver gjennom Heisenbergs uskarpheitsrelasjon. Det sies derimot ikke noe om at det vi *kan* si noe om i kvantefysikken er sannsynligheten for at en partikkel er i en bestemt posisjon, og at det er det Heisenbergs bølgeligninger beskriver. Elevene bruker heller ikke bevegelsesmengde i beskrivelsen av EPR-paradokset. En gjennomgående trend er at beskrivelsene er noe forenklet, men at elevene har fattet poenget med fenomenet eller dilemmaet de forklarer. Det kan godt være det oppleves slik siden jeg selv er *inne* i kvantefysikken og at en utenforstående ville hatt vanskeligheter med å fatte hva det ble snakket om. For meg blir det uansett umulig å ta stilling til.

Bohr-laget viser at de vet at to partikler ikke kan betraktes som uavhengige i kvantefysikk og at partikler påvirker hverandre uansett hvor langt de er fra hverandre. Det uttrykkes at kvante-teori er en teori som brukes på små systemer; typisk nanonivå. Det er imidlertid vanskelig å vite om elevene har begrep på hvor lite størrelsen nano er. Det går også fram at vi trenger et

ekstra sett med lover, i tillegg det vi allerede har for klassisk fysikk, for å kunne beskrive det som foregår på kvantenivå.

Dilemmaet om hvorvidt verden er uskarp eller ikke, og hvilke erkjennelsesmessige konsekvenser det har, blir også diskutert. Einstein-laget gjør det klart at Gud har skapt et univers der forutsigbarhet råder, og at å hevde at verden plutselig har blitt uskarp bare er tull. Det må derfor finnes en eller annen måte å forklare det som oppfattes som uskarpt.

## 6.2 KONKLUSJON OG ANBEFALINGER

Her vil jeg komme med kort oppsummerende konklusjon og presentere fordeler og anbefalinger i tilknytning til videre bruk av undervisningsopplegget.

### *Konklusjon*

Undervisningsopplegget må sies å fungere etter hensikten med tanke på elevenes læringsutbytte og motivasjon. Elevene gir uttrykk for at kompetansemålene undervisningsopplegget tar mål av seg å dekke, jevnt over oppnås. Bruk av drama som metode virket å ha en motiverende effekt på elevene uten at det gikk utover det fysikkfaglige. Selv om elevene finner undervisningsopplegget motiverende i seg selv, klarer ikke opplegget å motivere like mye for videre læring i fysikk. Videre viser opplegget at drama som metode *kan* være med på øke elevers interesse for historie i fysikkundervisningen.

Det at undervisningsopplegget tar fokus bort fra formler og regneoppgaver og erstatter det med kreativitet og sosial aktivitet gjør at opplegget også henvender seg til elever som i utgangspunktet ikke er *skolevinnere*.

Rollespilldebatten må anses som en kvalitativ undervisningsmetode i det den legger opplegger opp til diskusjon og argumentering i plenum. Dette er en undervisningsform som elever i følge FUN ønsker seg mer av (Angell mfl., 2003). Etter utprøvingen av dette undervisningsopplegget tyder det også på at elever kan trenge mer trening i å uttrykke seg muntlig i fysikk. Vygotsky mente at språket, og først og fremst talen, var det viktigste redskapet i prosessen med å tilegne seg kunnskap. Ved at elever deltar i sosiale aktiviteter der språket brukes som

hjelpemiddel (som i dette undervisningsopplegget) vil man ikke bare få trening i muntlige ferdigheter, men også utvikle sin egen forståelse i fysikk.

Elevene gjør det klart at uenighet og åpne diskusjoner er viktige ingredienser for utvikling av kunnskap innenfor vitenskapen. Videre viktiggjør elevene betydningen av forskerfelleskap og eksperimentelle resultater og teorier som publiseres for å kunne bli vurdert av andre. Argumenter som involverer referanser til religion og argumenter som inneholder opplysninger fram i tid anses imidlertid som ugyldige.

Den historiske fortellingen Bohr vs. Einstein er ikke fullstendig dekkende for dagens forskningsmetoder som i mye større grad er preget av konkurranse og industri. Casen kan derimot brukes som utgangspunkt til diskusjoner om dagens metoder ved å se på likheter og ulikheter nå og da. Historiske fortellinger *kan* også bidra til fysikkfaglig forståelse. Selv om det fortelles en historie behøver ikke fagstoffet fortrenses.

Elevene viser gjennom rollespillet god overordnet kunnskap om både innhold og ulike dilemma i kvantefysikken. Det virker som om de har fattet poengene med fenomenene og dilemmaene de forklarer, men det er en gjennomgående trend at beskrivelsene er noe forenklet.

Disse momentene er viktige for rekrutteringen, men også for allmenndannelsen. Ved at elever erverver seg kunnskap om naturvitenskap styrkes demokratiet samtidig som samfunnet får tilført kvalifisert arbeidskraft.

### *Undervisningsopplegget: Fordeler og anbefalinger*

#### **Fordeler**

- ✓ Opplegget legger til rette for undervisning om naturvitenskapens egenart
- ✓ Opplegget legger til rette for trening i muntlige ferdigheter
- ✓ Opplegger legger særlig til rette for kompetansemål 1 og 4, men også kompetansemål 2 og 5
- ✓ Opplegget kan være med på å øke elevers interesse for historie i fysikkundervisningen
- ✓ Ressursheftet kan brukes som fordypningslitteratur til både lærere og elever i Fysikk 2
- ✓ Opplegget bidrar til variasjon i fysikkundervisningen

## Anbefalinger

- ✓ Undervisningsopplegget bør komme i tillegg til ordinær undervisning. Jeg erfarte i utprøvingen av opplegget at det var en klar fordel at klassen hadde vært igjennom kvantefysikkapittelet i læreboka på forhånd. Man kan ikke forvente at teorien skal læres inn i løpet av en 2 timers undervisningsøkt.
- ✓ Dersom undervisningsøkten om kvantefysikkens historie (2 timer) utføres på forhånd kan resten av undervisningsopplegget gjennomføres på en fagdag (4 timer). Har man 6 timer tilgjengelig på en fagdag kan undervisningsopplegget gjennomføres i sin helhet.
- ✓ Ikke la det gå for lang tid mellom hver undervisningsøkt. Særlig de 2 siste undervisningsøktene bør komme med maks noen dagers mellomrom.
- ✓ Aktiviser elevene! Det kan være et smart trekk å sette av litt tid for å trene *publikum* i å bli aktive støttespillere for lagene sine. Vurder også om du vil rullere på plassene i debattpanelet og/eller øke antall debattdeltagere (maks 6 totalt).
- ✓ For læreren som tenker å gjennomføre opplegget vil det lønne seg å starte planleggingen i god tid. Det kan være lurt å tenke igjennom på forhånd hvordan man vil organisere av klasserommet, hvordan man skal opptre som debattleder og en rettferdig gruppeinndeling av elevene.
- ✓ La elevene tidlig få komme med ønsker om hvilken part de vil representere i rollespilldebatten og skap litt konkurranse. Jeg er erfarte det hadde en motiverende effekt på elevene. Pass på at fokus ikke tas bort fra fagstoffet.
- ✓ Oppfordre elevene til å leve seg inn i rollene som hhv. Niels Bohr og Albert Einstein. Gjerne ved å kle seg ut eller lignende. Ikke vær redd for å legge opp til kreativitet!

Hvis disse anbefalingene tas til følge har opplegget et godt potensial for undervisning om vitenskapshistorie og kvantefysikkens dilemmaer. Det er absolutt ingen selvfølge at historiske fortellinger om naturvitenskap i undervisningen i fysikk virker motiverende på elever. FUN (Angell mfl., 2003) viser at elever synes historie i fysikkfaget er lite interessant. Undervisningsopplegget *Bohr vs. Einstein* viser at drama som metode kan bidra til å rette på dette.





## LITTERATUR

---

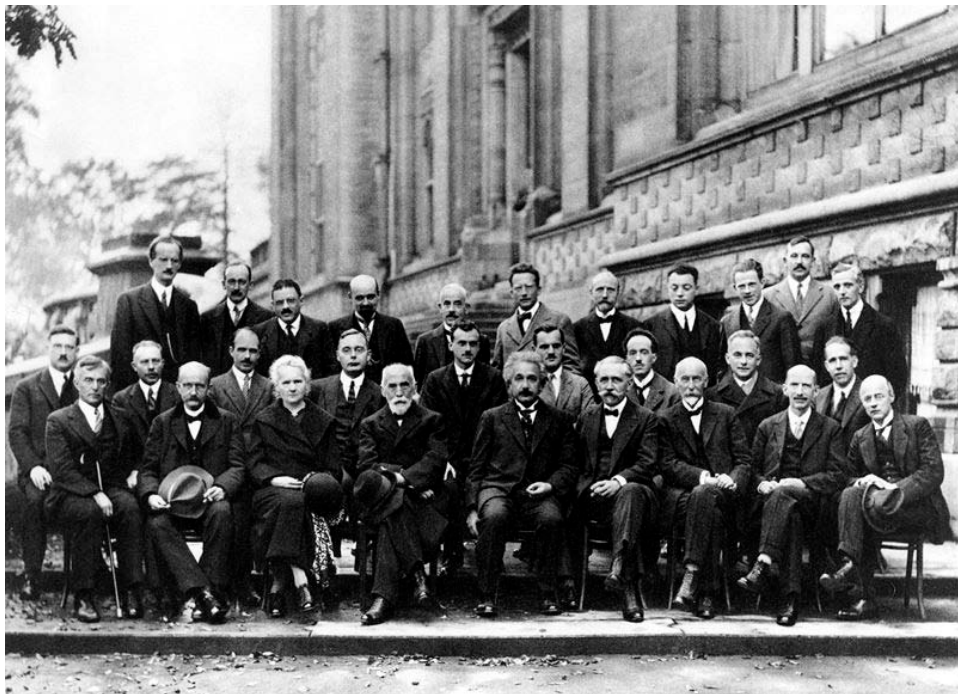
- Angell, C., A. Isnes, et al. (2003). *Hvorfor lære fysikk? Det kan andre ta seg av! Fysikkfaget i norsk utdanning: innhold - oppfatninger - valg*. I Jorde, D., Bungum B. (2003, red.), *Naturfagdidaktikk. Perspektiver - forskning - utvikling*. Oslo, Gyldendal Akademisk.
- Barton, A. C., M. D. Osborne (2001). *Teaching science in diverse settings: marginalized discourses and classroom practice*. New York, P. Lang.
- Costello, P. J. M. and S. Mitchell (1995). *Competing and consensual voices : the theory and practice of argument*. Clevedon; Philadelphia, Multilingual Matters.
- Dillon, J. T. (1994). *Using discussion in classrooms*. Buckingham [England]; Philadelphia, Open University Press.
- Driver, R., P. Newton, et al. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education* **84**(3): 287-312.
- Imsen, G. (2005). *Elevens verden : innføring i pedagogisk psykologi*. Oslo, Universitetsforlaget.
- Jimenez-Aleixandre, M. P., S. Erduran (2008). Argumentation in Science Education: An overview. *Argumentation in Science Education*. S. Erduran, M. P. Jimenez-Aleixandre. New York, Springer: 3-28.
- Jimenez-Aleixandre, M. P., A. B. Rodriguez, et al. (2000). "Doing the lesson" or "doing science": Argument in high school genetics. *Science Education* **84**(6): 757-792.
- Kelly, G. J. and A. Takao (2002). Epistemic levels in argument: An analysis of university oceanography students' use of evidence in writing. *Science Education* **86**(3): 314-342.
- Kolstø, S. D. (2001). 'To trust or not to trust, ... '- pupils' ways of judging information encountered in a socio-scientific issue. *International Journal of Science Education* **23**(9): 877-901.
- Kolstø, S. D. (2007) Science education for democratic citizenship through the use of the history of science **2008**, 977-997.
- Layton, D. (1991). Science Education and Praxis: The Relationship of School Science to Practical Action. *Studies in Science Education* **19**(1): 43-79.
- Mercer, N., S. Hodgkinson (2008). *Exploring talk in schools : inspired by the work of Douglas Barnes*. Los Angeles, SAGE.
- Mork, S. M. (2005). Argumentation in science lessons: Focusing on the teacher role. *NorDiNa* **2005**(1): 17-30.

- Mork, S. M. (2006). Argumentasjon som læringsstrategi: Hvordan kan læreren tilrettelegge for elevenes faglige argumentasjon? I E. Elstad og A. Turmo (red.), *Læringsstrategier. Søkelys på lærernes praksis*. Oslo, Universitetsforlaget: 127-144.
- Mork, S. M. (2008). Hvorfor argumentasjon i naturfag? *Naturfag* **2008**(3): 10-13.
- Osborne, J., S. Erduran, et al. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching* **41**(10): 994-1020.
- Robson, C. (2002). *Real world Research: A Resource for Social Scientists and Practitioner-Researchers*. Oxford [England]; Malden, Mass., Blackwell Publishers.
- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching* **41**(5): 513-536.
- Sjøberg, S. (2004). *Naturfag som allmenndannelse : en kritisk fagdidaktikk*. Oslo, Gyldendal Akademisk.
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge [England], University Press.
- Utdannings- og forskningsdepartementet (2005). *Kunnskapsløftet : læreplaner for gjennomgående fag i grunnskolen og videregående opplæring : læreplaner for grunnskolen / elektronisk ressurs*. Oslo, Utdanningsdirektoratet.
- Ziman, J. (2000). *Real Science. What it is, and What it means*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Zohar, A. and F. Nemet (2002). "Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics." *Journal of Research in Science Teaching* **39**(1): 35-62.
- Ødegaard, M. (2007). "Naturfag til nytte og glede! : naturvitenskapelig allmenndannelse ved dramatiske virkemidler." *NorDiNa* **2007**(1): s. 45-58.
- Ødegaard, M. (2008). "Rollespill og argumentasjon." *Naturfag* **2008**(3): 26.

# Et historisk blikk på kvantefysikkens utvikling

- med vekt på striden mellom Bohr og Einstein

---



*Frode Aalmen*

---

**Plassering av kjente navn på  
forsidebildet:**

Albert Einstein – 1. rad i midten,  
Niels Bohr – 2. rad lengst til  
høyre, Louis de Broglie – 2. rad  
nr. 3 fra høyre, Erwin Schrödinger  
– 3. rad i midten, Werner  
Heisenberg – 3. rad nr. 3 fra  
høyre.

## Forord

---

Kvantefysikken er nok den fysiske teorien som i størst grad har gitt grunnlag for debatt i nyere tid. Det kommer naturligvis av at det er en relativt ny teori, men også av at den er såpass uvirkelig og magisk for oss mennesker. Av den grunn er ikke kvantefysikk et enkelt tema verken å undervise i for læreren, eller å forstå for elevene. Denne casen er ment som et supplement til stoffet i læreboka, og vil forhåpentligvis være med å øke forståelsen av hva kvantefysikk er. Casen skal også kunne legge til rette for en dramatisering av striden mellom Bohr og Einstein.

Casen tar for seg hovedlinjene i kvantefysikkens historiske utvikling. Jeg ønsker at denne casen skal redegjøre for hvordan sterke personligheter gjennom historien har vært med på å forme kvantefysikken både med sine bidrag eksperimentelt og gjennom debatt.

Casen dekker følgende kompetansemål i Fysikk 2:

### Moderne fysikk

*Gjøre rede for Heisenbergs uskarphetsrelasjoner, beskrive fenomenet sammenfiltrede fotoner og gjøre rede for erkjennelsesmessige konsekvenser av dem*

*Gjøre rede for Heisenbergs uskarprelasjoner, beskrive fenomenet sammenfiltrerende fotoner og gjøre rede for erkjennelsesmessige konsekvenser av dem*

### Den unge forskeren

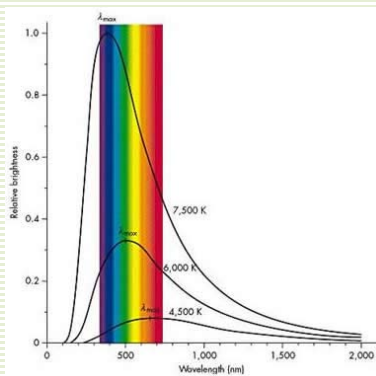
*Gi eksempel på en strid som er avklart, og hvordan avklaringen kom, og gi eksempel på en vitenskapelig strid som ennå ikke er avklart, og gjøre rede hvorfor den ikke er det*

*Drøfte hvordan ulike fysiske teorier kan eksistere ved siden av hverandre, til tross for at de kan være motstridende*

### Max Planck (1858-1947)

Blir sett på som kvantefysikkens grunnlegger ved å introdusere kvantepriippet.

### Strålingskurve fra svart legeme



Figur 1

## Case

### KVANTEMEKANIKKENS BARNDOM

#### Max Planck

Max Planck blir sett på som grunnleggeren av kvantefysikk. Han ble født i Kiel, Tyskland 23. april 1858. Som ung student så Planck for seg en karriere innen musikk. Han oppsøkte en musiker for å rådspørre seg om hva innen musikken han burde fordype seg i. Det skulle vise seg å bli skjebnesvangert for unge Planck. Han fikk rask beskjed om at hvis han trengte å spørre om den slags kunne han begynne å studere noe annet omgående! Valget ble stående mellom matematikk og fysikk. Unge Planck ble sterkt oppfordret til å velge fysikk av de gamle professorene ved universitet, da de mente alle gjennombruddene allerede var gjort innen fysikkens verden. Planck ble forsikret om at det kommende århundre kun ville gå med til å sikre og forbedre fysikken, ikke til revolusjon. En ung og nysgjerrig Planck ignorerte heldigvis bemerkningene fra de gamle professorene om at alle gjennombruddene allerede var gjort, og kastet seg ut i fysikkens verden.

I flere tiår hadde fysikere arbeidet med å finne sammenhengen mellom temperaturen til et legeme og hvordan strålingen fra legemet fordeler seg på de ulike bølgelengdene. Før svaret blir presentert skal vi raskt se på hva stråling fra svart legeme er for noe.

#### Stråling fra svart legeme

Et svart legeme absorberer absolutt all stråling som treffer overflaten til objektet. Alle varme legemer avgir stråling, men det er kun svarte legemer som ikke reflekterer stråling. Figuren i margen viser intensiteten til lyset ved forskjellige bølgelengder frekvenser, eller bølgelengder om du vil. Intensitet er mengde energi emittert hvert sek per kvadratmeter fra objektets overflate. Frekvensspekteret bestemmes av legemets temperatur, noe som betyr at jo varmere legemet er, desto høyere frekvenser og energier sendes ut i form av stråling. Det er veldig viktig å huske på at kurvens høyde og form kun avhenger av objektets temperatur og har ingen ting å gjøre med materialet objektet består av.

Det er ikke uten grunn at vi bruker betegnelsen *stråling fra svart legeme*, eller *black body radiation*, som det heter på engelsk. Svarte overflater er de som både stråler og absorberer mest. Det er grunnen til at det er så varmt å gå med svart t-skjorte på solfylte sommerdager. Da kan det være mer gjennomtenkt å velge en hvit t-

---

### **Kvantepriksippet**

*Bestemte kvanter (minste enheten av energi som finnes) i naturen opptrer kun i diskrete intervaller, og størrelsen på disse intervallene er bestemt ved Plancks konstant,  $h$ .*

### **Albert Einstein (1879-1955)**

*Ga i 1905 ut 3 artikler innen fysikk som skulle vise seg å få en enorm innflytelse. Han blir sett på som symbolet på selve geniet.*

skjorte som reflekterer sollyset, og om som gjør at oppvarmingen ikke blir like så stor.

### **Max Planck introduserer kvantepriksippet**

Situasjonen ble reddet i 1900 da den 44-årige professoren, Max Planck, nærmest i en handling av desperasjon oppdaget noe oppsiktsvekkende. Hans målinger av lyspartikler, som senere har blitt kalt fotoner, passet som hånd i hanske med kurven av stråling fra svarte legemer og kunne beskrives ved den enkle formelen:

$$E_{\text{lys}} = hf \quad (1)$$

Her er  $f$  strålingsfrekvensen og  $h$  en konstant. Planck målte konstanten til å være  $6,63 \times 10^{-34} \text{ Js}$ , noe som er svært lite tall. Det betyr også at energien til ett foton er ytterst liten. I dag kaller vi  $h$  for Plancks konstant for å hedre hans arbeide. Planck er en av få fysikere som er alfabetisert med bokstaven  $h$ , der hensikten slett ikke er å hjelpe hukommelsen, men fordi initialene hans,  $m$  og  $p$ , allerede var tatt. Med sin oppdagelse blir han sett på som mannen som la grunnlaget for kvantefysikken ved å introdusere *kvantepriksippet* i fysikken. Det blir sagt han angret på nettopp dette til sin død, og at han brukte resten av sitt liv på å forsøke å bevise for seg selv at han hadde tatt feil. Hensikten med arbeidet var nemlig ment å være et bidrag til en mer korrekt bølgeteori, og  $h$  var bare en konstant for å få matematikken til å gå opp med de fysiske lovene. Uansett, et såkorn var plantet og skulle vise seg å utvikle seg til et av de viktigste feltene innen fysikk, nemlig kvantemekanikken.

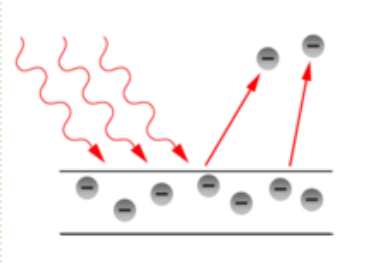
### **FOTOLEKTRISK EFFEKT**

Elektromagnetiske bølger og ladninger i bevegelse virket å være et vanskelig fysisk fenomen, å sette dem i sammenheng enda vanskeligere.

Rundt 1890 observerte Heinrich Hertz og Aleksandr Stoletov fotoelektrisk effekt uavhengig av hverandre. Det de begge la merke til var at når lys treffer et metall, kan metallet sende ut elektroner. Strømmen av elektroner ga en elektrisk strøm som kunne måles med et amperemeter. Problemet var å beskrive fenomenet med datidens fysikk. Noe av det fysikerne overhodet ikke kunne forstå var hvorfor elektroner først ble "produsert" når lysets frekvens lå over en bestemt frekvens. Det ble foreslått ulike forklaringsmodeller basert på klassisk fysikk uten at det ga særlig resultater. Fotoelektrisk effekt forble et mysterium inntil 1905 da en ung

### **Fotoelektrisk effekt**

Opptreer når et metall gir fra seg elektroner under påvirkning av lys (fotoner). Fotoelektrisk effekt har et stort teknisk anvendelsesområde, blant annet i solceller.



**Figur 2**

### **Fotoner**

Lyspartikler, har ingen hvilemasse og beveger seg med lysets hastighet.

### **Grensefrekvens**

For at alle fotoner skal løsrive elektroner i et metall, må frekvensen til fotonene være minst like stor som grensefrekvensen til metallet

$$f \geq f_g$$

### **Brownske bevegelser**

Uregelmessige bevegelser av partikler i en væske eller gass. De skyldes kollisjoner mellom partiklene og molekylene væsken (gassen).

fysiker med navn Albert Einstein kom opp med en radikal idé publisert i sin artikkel om fotoelektriske effekten.

### **Albert Einstein forklarer fotoelektrisk effekt**

Albert Einstein, som vi skal høre mer om siden, ble født i Ulm i Sør-Tyskland i 1879, og det var lite i barndommen som vitnet om det som skulle komme. Det sies at han ikke lærte å snakke før han var 3 år gammel, og at han strøk på den første opptaksprøven til høyskolen. Likevel står han som symbolet på selve *geniet*.

Inspirert av Plancks kvantehypotese utviklet Einstein en teori der lys ikke bare skulle tolkes som elektromagnetiske bølger, men også som en strøm av lyspartikler, også kjent som fotoner. Disse fotonene kunne eksistere i små energipakker, også kalt kvanter eller porsjoner, og passet perfekt med Plancks fem år gamle definisjon. Einstein viste at fotonenergien var proporsjonal med bølgens frekvens, og der proporsjonalitetskonstanten var Plancks konstant,  $h$  (se formel 1).

For å beskrive fenomenet fotoelektrisk effekt kan vi tenke oss at hvert foton bærer energien  $hf$ . Et foton bruker så all sin energi til å løsrive et elektron fra metalloverflaten det treffer. I denne prosessen bruker fotonet energien,  $W$ , på å løsrive elektronet fra metalloverflaten.  $W$  kaller vi for løsrivingsarbeidet og varierer fra metall til metall. Einstein satte opp formelen

$$E_k = hf - W \quad (2)$$

som viser at fotonenergien må være større enn løsrivingsenergien til metallet for at elektronet i det hele tatt skal kunne rives løs. Elektronets energi er kinetisk. Dette minner oss på at energimengden til et foton er kun avhengig av *frekvens*, og at frekvensen må være over viss *grense* for at et foton skal klare å rive løs et elektron.

### **En ukomfortabel idé**

1905 blir sett på som et mirakuløst år innen fysikk. I tillegg til sin artikkel om fotoelektrisk effekt, ga Einstein ut ytterligere to artikler, én om brownske bevegelser og én om den spesielle relativitetsteorien. Einsteins bidrag var ikke bare kontroversielt, det la grunnlag for en ukomfortabel idé om at lys kunne være både bølge og partikkel på en gang! Det var hans enorme tankesprang fra en klassisk lysbølgetenkning til en helt ny lyspartikkeltenkning som la grunnlaget for at Einstein mottok Nobelprisen i 1921. Ved å vise at lys også var en strøm av fotoner hadde Einstein virkelig sjokkert en hel verden!

---

### **Louis de Broglie (1892-1987)**

*Sa at partikler har*

*bølgeegenskaper. Noen sier han*

*angret på det.  $\lambda = \frac{h}{p}$*

### **Erwin Schrödinger (1887-1961)**

*Kjent for sitt katteeksperiment,*

*Schrödingers katt. Oppfant det vi*

*kaller for kvantemekanikk, eller*

*bølgemekanikk. Hatet*

*Heisenbergs versjon av*

*kvantemekanikken.*

### **Werner Heisenberg (1901-1976)**

*Oppfant uavhengig av*

*Schrödinger en annen form for*

*kvantemekanikk, nemlig*

*matrisemekanikk. Hatet*

*Schrödingers versjon. Oppdaget*

*også uskarphetsrelasjonen.*

### **Kvanteparadokset**

*Elektroner og fotoner opptrer*

*som partikler, men vi må bruke*

*bølger for å beskrive hvordan*

*partiklene kan bevege seg.*

### **Matrise**

*En matrise er et rektangulært sett*

*av elementer ordnet i rader og*

*kolonner. Elementene vil vanligvis*

*være reelle eller komplekse tall.*

## **PARTIKLENES BØLGEEGENSKAPER**

Dagens fysikere er nok ikke fortsatt i sjokk, til det har fysikk utviklet alt seg for mye siden 1905. Likevel strides fysikere fortsatt angående partiklenes bølgeegenskaper. Ideen om at partikler oppfører seg som bølger og motsatt, gir oss oppsiktsvekkende resultater. For eksempel vet vi fra Youngs dobbeltpalteforsøk at hvis vi sender lys mot to smale spalter, får vi et interferensmønster på en skjerm bak spaltene. Dekker man for den ene spalten, oppfører fotonene (eller elektronene) seg nøyaktig som man skulle forventet dersom de var partikler, nemlig ingen avbøyning eller interferens. Det er gjort forsøk der lyset er så svakt at ett og ett foton (hver partikkel) passerer gjennom spaltene om gangen. Når kun et fåtall partikler har truffet skjermen, kan man ikke se noe mønster. Men etter som flere og flere partikler treffer skjermen, kommer et interferensmønster tydelig fram. Det gir oss følgende resultat: *lyset har passert gjennom begge spaltene og oppfører seg som en bølge, men treffer skjermen som partikler.*

Spørsmålet fysikerne stilte seg selv var selvfølgelig: "Går elektronene gjennom én spalte, eller begge spaltene?" Målinger viste at fotoner gikk gjennom én spalte, noe som virker naturlig. Problemet var at når man visste hvilken spalte fotonet hadde gått igjennom, oppsto det ikke noe interferensmønster, altså oppførte fotonet seg som en partikkel. Fotonet optrådte som en bølge bare når man ikke kunne fastslå hvilken av de to spaltene det hadde gått igjennom. Robert Mills beskriver fenomenet på følgende måte: "It travels like a wave and hits like a particle." En rekke eksperimenter med dobbeltpalte, inkludert Youngs dobbeltpalteeksperiment, har ført til det vi kaller for *Kvanteparadokset*.

Kvanteparadokset har stått som et sentralt dilemma gjennom hele det tjuende århundre. Det har ført til akademisk krigføring og mest sannsynlig også forårsaket utallige nervøse sammenbrudd hos fysikere i deres jakt etter en løsning på paradokset.

## **KVANTEMEKANIKKEN KOMMER TIL SYNE**

Etter flere år med arbeid, inspirert av Einsteins bidrag om at lys har partikkelegenskaper, lanserte den franske fysikeren og hertug-sønnen Louis de Broglie i 1924 ideen om at partikler måtte ha bølgeegenskaper. Denne observasjonen vekket interessen til to personer som skulle vise seg å sette sitt preg på det vi betegner som den moderne kvantefysikken, kvantemekanikken.

Østerrikeren Erwin Schrödinger og tyskeren Werner Heisenberg fremla omtrent samtidig to konkurrerende teorier. Schrödinger



---

### Heisenbergs uskarphetsrelasjon

$$(1) \Delta p \cdot \Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$$

Det er umulig å måle både posisjon og bevegelsesmengde for en partikkel samtidig.

$$(2) \Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$$

Det er umulig å måle energien til en partikkel på ett bestemt tidspunkt.

utarbeidet et hendig system som beskriver sannsynligheten for posisjonen til en partikkel gitt ved en bølge ligning. Schrödinger ønsket, som mange etablerte fysikere på den tiden, å beskrive partikler ut fra et bilde vi kan forstå med vår sunne fornuft. I sin teori benyttet han seg av samme matematikk som i den klassiske fysikken. Heisenberg, på sin side, brukte et system han kalte matrisemekanikk. Dette systemet var så matematisk komplekst at det nesten ikke var noen som forstod det, heller ikke Heisenberg selv. "Jeg vet ikke engang hva en matrise er," skal Heisenberg fortvilet ha sagt til en venn.

### Heisenbergs uskarphetsrelasjon

I 1927 landet Heisenberg på et heldig kompromiss, noe som førte til en ny disiplin som skulle komme til å bli hetende kvantemekanikken. Grunnlaget for den lå i Heisenbergs uskarphetsrelasjon, som hevder at elektronet er en partikkel, men kan bli beskrevet som en bølgebevegelse. Uskarphetsrelasjonen sier at det er umulig å måle både posisjon og bevegelsesmengde for en partikkel samtidig, og at det er umulig å måle energien til en partikkel nøyaktig i løpet av et kort tidsintervall. Heisenbergs fysiske forklaring på uskarpheten var at vi i alle eksperimenter forstyrrer det vi undersøker. Konsekvensen av uskarphetsrelasjonen er at det i prinsippet ikke er mulig å få kjennskap til en partikkels posisjon og fart samtidig. I Newtons mekanikk, som Einstein støttet seg på, er nettopp det en forutsetning for å bruke bevegelsesligningene. Det var uskarphetsrelasjonen som viste seg å bli selve kjernen til striden mellom Niels Bohr og Albert Einstein, der Bohr støttet Heisenberg og aksepterte at naturen er *uskarph*, noe Einstein ikke kunne godta.

### Schrödingers katt

Før vi går videre med striden mellom herrerne Bohr og Einstein tar vi en titt på tankeeksperimentet Schrödingers katt. Tankeeksperimentet, som kalles Schrödingers katt, blir ofte brukt som et bilde på hvor uforståelig kvantemekanikken framstår. Det var Erwin Schrödinger som i 1935 lanserte tankeeksperimentet. Han mente det nye fagområdet, kvantemekanikken, ville få store tankemessige konsekvenser. Da han ikke ble enig med sine kollegaer om hva disse konsekvensene ville være utarbeidet han Schrödingers katt i et forsøk på å klargjøre dette.

Eksperimentet er som følger: En tenker seg en boks som kan lukkes. Inne i boksen plasseres et radioaktivt atom. Det vil være 50 % sjans for at atomet brytes ned i løpet av en gitt tid, for eksempel en time. En detektor kan registrere om atomet brytes ned. Detektoren kan utløse en dose gift. Dersom atomet brytes ned, blir

---

### **Niels Bohr (1885-1962)**

*Anvendte kvanteprinsippet på hydrogenatomet, og forklarte hydrogenspekteret.*

### **Bohrs atommodell**

*En måte å vise hvordan et atom ser ut. Modellen sorterer elektronene i skall utover i atomet rundt atomkjernen. Modellen ble lagt fram av Niels Bohr i 1913.*

giften frigjort, og den vil ta livet av en katt som er lukket inne i et bur sammen med giftampullen.

En vanlig oppfatning vil være: Etter en time er katten enten levende eller død, alt etter om giften er blitt sluppet fri eller ikke. Begge tilstandene vil være like sannsynlige. Først når en lukker opp boksen vil en kunne si om katten lever.

## **BOHR vs. EINSTEIN**

### **Bohr, Heisenberg og Københavnerfortolkningen**

Niels Bohr og Werner Heisenberg møttes for første gang ved universitetet i Göttingen i 1922 da Bohr holdt forelesninger om sin atommodell. En av tilhørerne i Göttingen var 20 år gamle Werner Heisenberg, doktorgradsstudent i teoretisk fysikk. Den skarpe studenten ble fascinert selv om Bohr på ingen måte var god til å forelese. Bohr stod ofte vendt mot tavlen, og det var vanskelig for forsamlingen å få sammenheng i det han formidlet. Bohr hadde stor respekt for sin yngre kollega, og foreleser og elev skulle senere utviklet et nært samarbeid.

Det sies at Bohr var svært begeistret over uskarphetsrelasjonene som Heisenberg hadde utarbeidet, men ikke forklaringen. Ifølge Heisenberg følger elektronet en bestemt bane, med en bestemt posisjon og fart på ethvert tidspunkt, men den er skjult for oss fordi vi i enhver måling vil forstyrre elektronets posisjon eller fart. Bohr hevdet at prinsippet om uskarphet forteller oss noe mye mer grunnleggende om naturen enn det Heisenberg hadde innsett. Vi kan ikke tillegge elektronet størrelsen fart og posisjon som egenskaper det har til en hver tid. Det er først når vi gjør et eksperiment at disse egenskapene kan tillegges elektronet. Denne forklaringen på kvantemekanikken la grunnlaget for det som har blitt kjent som Københavnerfortolkningen.

Samme år som Heisenberg uskarprelasjon ble publisert, i 1927, ble Københavnerfortolkningen offentlig kjent da Niels Bohr på en forelesning i Brussel la fram sin nye forståelse av prinsippet om uskarphetsrelasjon. Bohr hadde blandet bølgeligningen til Schrödinger og uskarphetsrelasjonen til Heisenberg. Han argumenterte for at vi må godta at ethvert inngrep for å observere et system, vil forstyrre systemet. Alt vi vet, er resultater av eksperimenter. Vi kan ikke si noe om hva som skjer den tiden vi ikke observerer systemet. Å stille spørsmål om hva som ligger i mellom

---

### **Einsteins relativitetsteori**

#### **1. postulat – relativitetsprinsippet**

*Alle de grunnleggende lovene i fysikken må ha samme form i alle treghetssystemer.*

#### **2. postulat – lysfarten**

*Lysfarten har samme verdi i alle treghetssystemer.*

observasjonene, og hvordan systemet går fra den ene tilstanden til den andre, har ingen mening.

På konferansen i Brussel var både grunnleggene av den gamle kvanteteorien og den nye kvantemekanikken til stede. Til å begynne med forsto forsamlingen overhodet ingenting av det Bohr prøvde å formidle, men litt etter litt vant han flere og flere tilhengere. Blant dem var ikke Einstein, og på denne konferansen innledet Bohr og Einstein en livslang debatt om tolkningen av kvantemekanikken.

### **”Gud spiller ikke med terninger” – Albert Einstein**

Ingen mislikte kvanteteorien mer enn Albert Einstein. Det er ikke så rent lite ironisk, siden det var han som så overbevisende hadde forklart hvordan fotoner noen ganger oppførte seg som partikler og andre ganger som bølger – ideen som var selve grunnlaget for kvanteteorien. Han bemerket høflig at kvanteteorien var verdt å ta med i betraktning, men han likte den egentlig ikke. Flere ganger brukte han en bestemt bemerkning for å uttrykke sin mening om kvantemekanikken:

*Det forekommer meg vanskelig å kikke Vårherre i kortene. Men jeg tror ikke et øyeblikk på at Han spiller med terninger og benytter seg av ”telepatiske” hjelpemidler (som den aktuelle kvanteteori hevder at Han gjør).*

For å forstå hva Einstein mente med at Gud ikke spiller med terninger, må vi sammenligne fysikkens klassiske teorier med den nye kvantemekanikken. Den klassiske mekanikken beskriver for eksempel en kollisjon mellom to kuler nøyaktig. Dersom vi kjenner kulenes fart før kollisjonen, kan farten etter kollisjonen beregnes. Slik er det ikke i kvantemekanikken. I kvantemekanikken får vi ikke svar om hva farten til kulene er etter kollisjonen, men hvor sannsynlig en bestemt effekt av kollisjonen er. All erfaring viser at kulene adlyder sannsynlighetslovene, og at sannsynlighet er en integrert del av kvantemekanikken.

Einstein var klar på at Gud aldri ville skapt et univers hvor mangel på forutsigbarhet eksisterte og der det fantes ting som for alltid ville være uforståelige. Han var overbevist om at det eksisterte en objektiv og forutsigbar virkelighet. Et elektron ville i denne forståelsen av virkeligheten for eksempel ha egenskapene fart og posisjon til enhver tid, helt uavhengig av om vi utfører målinger. Samtidig innebar teorien ideen om at partikler kunne bevege seg raskere enn lysets hastighet, noe som var stikk i strid med Einsteins relativitetsteori. Det skal sies at ingen har noen gang klart å forklare hvordan partiklene oppnår å bevege seg raskere enn lysets

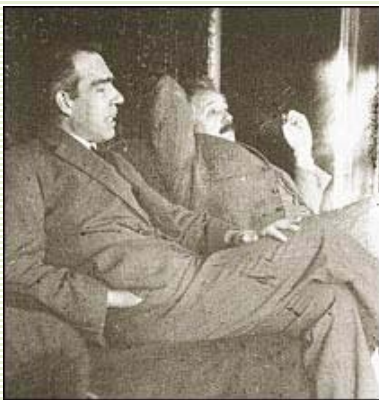
---

### **Morsomheter fra debatten om kvantefysikken**

*Bohr bemerket en gang at den personen som ikke ble rasende første gang han hørte om kvanteteorien, hadde ikke forstått det som ble sagt.*

*Da Heisenberg ble spurt om hvordan man kunne se for seg et atom, svarte han: "Ikke prøv."*

*"Poeten Valéry spurte en gang Einstein om han noterte funnene sine i noen slags notatbok" Einstein så forbauset ut, men svarte, mildt: "Åh, det er ikke nødvendig."*



**Figur 3:** Niels Bohr og Albert Einstein avbildet under en diskusjon i 1925.

hastighet. Ifølge en ikke navngitt fysiker har vitenskapen forholdt seg til dette "ved ikke å tenke på det".

Einstein delte absolutt ikke Bohr og Heisenbergs tolking av Schrödingers bølge ligning som sannsynlighetsbølger, og han aksepterte ikke Heisenbergs uskarphetsrelasjon. Han mente kvantemekanikken vel var imponerende, men "den bringer oss neppe nærmere Guds hemmelighet." Einstein ønsket en universell naturlov utledet fra bestemte aksiomer, og som kunne gi samme mulighet for nøyaktige beregninger av fremtiden som det Newtons ligninger gjør. Han betraktet derfor kvantemekanikken som den beste teorien fysikken hadde, men ikke som en endelig teori. Til det fanget den ikke *hele* virkeligheten. Det sies at Einstein viet resten av sitt liv til å lete etter en superkraft som skulle knytte *kvanteverdenen* til den *klassiske verdenen*.

### **Tid for debatt**

Bohr og Einstein møttes første gang i 1920 i Berlin. Selv om de på ingen måte delte hverandres syn på kvantemekanikken, var det ingen ting i veien med deres beundring for hverandre. Einstein er sitert i et brev på at han beundret "den storslåtte gave fra Danmark". Bohr svarte med å møte Einstein var den største opplevelsen han noen hadde hatt. I årene som fulgte møttes de ikke så ofte, men uenigheten om kvantemekanikken førte dem inn i en intellektuell debatt, kanskje det forrige århundrets mest betydningsfulle. For Bohr ble det helt avgjørende for hans egen forståelse av kvantemekanikken at Einstein ble hans motstander.

Gjennom tankeeksperimenter forsøkte Einstein å vise at Bohr tok feil og at kvantemekanikkens elementer måtte være fullstendig bestemte, som i klassisk fysikk. I 1935 kom Einstein med et angrep på Bohrs tolkning av uskarphetsrelasjonene. I en artikkel, skrevet i samarbeid med Boris Podolsky og Nathan Rosen, ville han vise at kvantemekanikkens beskrivelse av den fysiske virkeligheten var ufullstendig. Tankeeksperimentet som ble presentert i artikkelen, og senere blitt svært berømt, går under navnet EPR-paradokset. EPR står for forboksavene i navnene til de tre som først beskrev paradokset.

### **EPR-paradokset**

I EPR-paradokset ville Einstein vise at en partikkel til enhver tid har en bestemt fart og bestemt posisjon. Ved å betrakte to uavhengige partikler som beveget seg i motsatt retning, og der den totale bevegelsesmengden var konstant, kunne han ved å måle den ene partikkelen samtidig få en uforstyrret måling av den andre. Ut fra dette tankeeksperimentet hevdet Einstein å kunne bevise at en

---

### **Sammenfiltrerende fotoner**

*To fotoner er sammenfiltrert når de befinner seg i en felles kvantetilstand.*

partikkel kunne ha en veldefinert bevegelsesmengde og en veldefinert posisjon på samme tid, stikk i strid med hva Bohr og Heisenbergs hevdet. Derfor mente Einstein at kvantemekanikken var en ufullstendig beskrivelse av virkeligheten.

Bohr kunne ikke vise til noen konkret feil ved Einsteins tankeeksperiment, men det hindret ham ikke i å bli svært oppgitt da artikkelen kom ut. Einstein hadde ikke tatt hensyn til at de to partiklene i kvantemekanikken ikke kan betraktes som uavhengige. I følge Bohr måtte de to partiklene betraktes som ett system uansett hvor langt de er fra hverandre. En måling på én av partiklene er i kvantemekanikken en måling på begge. I kvantemekanikken er ikke de to partiklene uavhengige, de er sammenfiltrert. Men for Einstein var det opplagt at en måling på en av partiklene ikke kunne ha noen innvirkning på den andre. Da måtte partiklenes innbyrdes vekselvirkning virke raskere enn lysets hastighet, noe som i følge Einstein egen relativitetsteori ikke er mulig.

### **Striden avgjøres etter begges død**

Uenigheten mellom Bohr og Einstein ble ikke helt avklart før begynnelsen av 1980-tallet da franskmannen Alain Aspect klarte å utføre eksperimenter som skilte Bohr og Einsteins oppfatninger. I 1982, da resultatene ble kunngjort, sto det følgende på forsiden i danske aviser: "Epokeavgjørende oppdagelser avgjør striden mellom Einstein og Bohr" og "Århundrets viktigste eksperiment". Aspect tok ikke for seg bevegelsesmengde, slik Einstein hadde gjort. I stedet så han på polarisert lys. Med polarisert lys menes at en lyspartikkel, et foton, har en pil som angir retningen på polarisasjonen til lyset. Det kan for eksempel være horisontalt (høyre/venstre) eller vertikalt (opp/ned). I Einsteins virkelighetsoppfatning har en måling på det ene fotonet ingenting å bety for polarisasjonen til det andre fotonet. Aspect sine målingsresultater viste derimot gang på gang at det ene fotonet faktisk har innvirkning på det andre fotonet. Dermed fikk tilhengere av Bohr rett i sin oppfatning om at vi ikke kan betrakte polarisasjon som en egenskap fotonet har uavhengig av målinger, og en måling på det ene fotonet får betydning for det andre fotonet. Bølgefunksjonen som beskriver hendelsen, inneholder begge fotonene, noe som gir oss at sannsynligheten også er avhengig av begge fotonene. I kvantemekanikken må man se på dette som ett og samme system, noe som gjør uavhengighet mellom fotonene umulig.

---

### **Fordypningslitteratur**

Barker, J., *50 physics ideas*, 2007

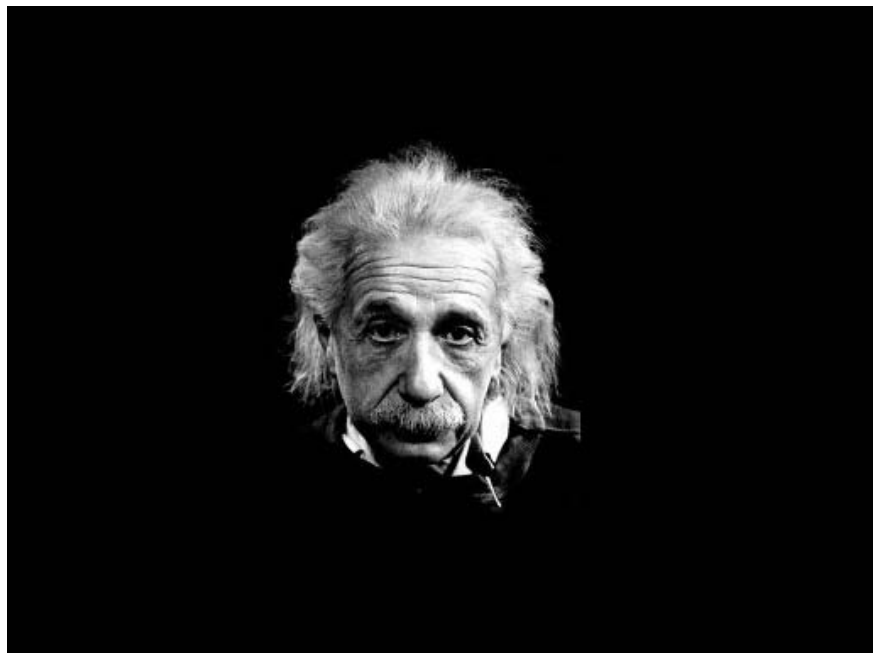
Bryson, B., *En kort historie om nesten alt*, 2005

Renstrøm, R., *Fysikkens Historie*, 2006

Rothman, T., *Instant Physics*, 1995

## **KVANTEMKANIKK I DAG**

I dag mener de fleste fysikere verden rundt at kvantemekanikken er en fullstendig teori. Likevel har ingen kunne fremlegge noe bevis for at den er det. Skulle det vise seg at kvantemekanikken ikke er den endelige teorien, er det lite sannsynlig at teorien vil snu i retning av Einsteins virkelighetssyn. Fascinerende nok ser det ut til at virkeligheten virkelig er uskarp, og at den ikke alltid kan beskrives ut fra våre forestillinger!



**Figur 4:** Albert Einstein blir ofte framstilt som symbolet på kvantemekanikken. Likevel er det svært lite som tyder på at kvanteteorien, selv med nye oppdagelser, vil passe med hans virkelighetssyn.

1 ***TRANSKRIPSJON AV ROLLESPILLDEBATT 2010-03-02***

---

2 Leder av debatten: Frode

3 Deltagere: Jonas (Bohr), Stian (Bohr), Per (Einstein), Øystein (Einstein).

4 Frode: Ønsker velkommen og introduserer "lagene", Bohr og Einstein. Bemerket at debattantene har  
5 respekt for hverandre selv om de ikke er uenige. Går igjennom spilleregler for debatten. "Debatten  
6 skal være saklig og på et vitenskapelig plan". Hvert lag får inntil 3 min på seg for å redegjøre for sitt  
7 syn før vi kjører i gang med debatt. To frontmenn som har hovedansvar, men oppfordrer resten av  
8 laget til å bidra med støtte og replikker.

9 Frode: "Er det noen av lagene som føler for å starte med sin agenda?"

10 Jonas (Bohr): "ehmm.. vi kan godt start vi"

11 Frode: "Da er ordet deres, Niels Bohr"

12 Jonas (Bohr): "Ja, vi mener det at naturen er uskarp, og at fotoner har sammenheng. Sånn at du kan  
13 ikke måle et foton uten at det påvirker det andre. Det, det er bare sånn det er det.. Det er kanskje litt  
14 sånn nytt og vanskelig for dere å begripe, men det har seg faktisk sånn at...ikke alltid er lett å  
15 begripe"

16 Stian (Bohr): "En annen ting er at Einstein.. han forsker på en veldig gammeldags måte. Han driver  
17 med tankeeksperimenter. Han sitter alene og tenker. Han får ikke noe input fra andre, men Bohr  
18 faktisk gjør eksperimenter som gjør at han får resultater.. i stedet for å sitte i et hjørne å tenke for  
19 seg selv. Einstein er en religiøs type og han sier at Gud ikke leker med terninger. Kaster ikke  
20 terninger... Ehh.. det synes vi også er gammeldags av Einstein. Mener at man må trække utenfor dette  
21 religiøse synet, og se verden som den egentlig er".

22 Litt fram og tilbake. [Latter]

23 Per (Einstein): "Det med at dere sier at Gud ikke spiller med terninger.. det.. det har ikke så mye med  
24 religion å gjøre da. Mer med det at.. ehh.. universet skal være fullstendig oversiktelig g at det ikke  
25 skal være noen tilfeldigheter i universet. Så.. det skal jo gå an å bestemme alt gjennom vanlig fysikk.  
26 Asså.. det er jo ikke noen overensstemmelse mellom klassisk fysikk og moderne fysikk."

27 Øystein (Einstein): "Og det dere sier om at Einstein jobber gammeldags.. Asså.. dere kan jo bare se  
28 hvor mye han har oppnådd opp igjennom tida. Han blir jo betegnet som en av verdens smarteste

## Vedlegg 2

29 menn. Og det at han gjør det gammeldags.. det gjør jo at det funker jo.. Hvor mange teorier har dere,  
30 Bohr, akseptert som han har kommet med?

31 Stian (Bohr): "Det er jo ikke poenget, det som er poenget er at Einstein bestemmer seg for en ting,  
32 også vil han ikke ta inn input fra andre. Han må..

33 Jonas (Bohr): "Han må akseptere at den er litt uskarp.. verden er litt uskarp. Han må.. tilfeldigheter er  
34 en del av systemet og alt henger sammen.

35 Stian (Bohr): "Man må, man må akseptere det at på nanonivå så er verden uskarp og kan den kan  
36 ikke.. ehh.. forskes på helt nøyaktig."

37 Per (Einstein): "Som dere sier så atte fotonet.. dem to sammenfiltra.. og dem virker sammen. Men da  
38 går jo det ut fra at uansett hvor langt unna dem er fra hverandre så vil de påvirke hverandre."

39 Jonas (Bohr): "ja..?"

40 Øystein (Einstein): "Men hvordan kan da de to påvirke hverandre når dem går raskere enn lysets  
41 hastighet? Som dem må gjøre for å sammenf... å påvirke hverandre.. Det går ikke an på grunn av  
42 relativitetsteorien."

43 Jonas (Bohr): "Ja, det viser jo til at relativitetsteorien må et hull i seg da..

44 Stian (Bohr): "Poenget er det da at verden fungerer i et(t) system, naturen fungerer i et system, og alt  
45 påvirker alt hele tiden.

46 Per (Einstein): "For at man skal ha et system må man klare å bestemme det systemet da på en måte..  
47 Man kan jo da som for eksempel i klassisk fysikk, som sagt, så du jo måle både posisjon og fart til et  
48 annet legeme. Det kan du jo ikke i moderne fysikk tydeligvis.."

49 Jonas (Bohr): "Nei, tydeligvis ikke."

50 Per (Einstein): "Det må jo gå an!"

51 Jonas (Bohr): "Nei, nei det.."

52 Per (Einstein): "Hvorfor ikke?"

53 Stian (Bohr): "Hele poenget er at det er forskjell på en badeball og på et elektron."

54 Jonas (Bohr): "Ja, ikke sant.."



## Vedlegg 2

55 Stian (Bohr): "Og verden på et så lite.. lite spenn, da det umulig å forske på ...(skjønner ikke hva som  
56 blir sagt)"

57 Per (Einstein): "Hvorfor det?"

58 Stian (Bohr): "Fordi det er bare sånn."

59 Litt i munnen på hverandre

60 Stian (Bohr): "Det går ikke an å forklare det mer enn at det er sånn. Verden er uskarp... Og det må  
61 man bare akseptere.. Selv om man er jøde.

62 Litt støy etter jødebemerkningen. Frode kremter. Vil ha ro. Frode tar ordet og påpeker at begge lag  
63 er inne på noen veldig interessante poenger. Siden Bohr fikk starte debatten gis nå ordet over til  
64 Einstein.

65 Per og Øystein diskuterer litt lavt med hverandre

66 Per (Einstein): " Ja, hvis to sånne fotoner beveger seg fra hverandre..... med samme fart og som er  
67 like store.. dem må jo kunne måle farten til den ene uten å påvirke den andre, og samtidig måle  
68 posisjonen til det andre uten at det forstyrrer den ene da.. Så på den måten kan du bestemme fart og  
69 posisjon til begge dem herre her da.. Hva har dere å si til der? Det er jo i mot uskarpheitsprinsippet.."

70 Frode spør om det er EPR-paradokset Per er inne på nå. Dette for å opplyse andre elever om nettopp  
71 det. Per samtykker.

72 Jonas (Bohr): "Det.. Nå har du gått glipp av en veldig viktig ting. Det er en viss sammenheng mellom  
73 de to fotonene. Når de to fotonene blir laget slik at de har samme fart, da har de samtidig en  
74 sammenheng. Det ene vil påvirke det ene, mens det andre vil skjære seg. Det vil skje noe med det  
75 og.."

76 Stian (Bohr): " Alt i ett system og det påvirker hverandre. Et annet eksempel på dette her er da  
77 Youngs dobbeltspalteforsøk. Vi sender elektroner gjennom to spalter. Ehh.. Når man *ikke* følger med  
78 på hvilken spalte elektronet går igjennom vil man få det derre.. det derre.. interferensmønsteret. Men  
79 hvis man følger med på hvilken spalte elektronet vil komme til å gå igjennom vil man ikke få  
80 interferensmønsteret. Altså, man kan ikke finne ut begge deler."

81 Jonas (Bohr): "Det er jo rett og slett et bevis på at du kan ikke observere det."

## Vedlegg 2

82 Stille en liten stund. Frode tar ordet og påpeker det at de er inne på det at lys både er partikler og  
83 bølger. Derfor interferensmønster. Henveder seg til Einstein og sier: "Men det her var det jo dere  
84 som fant ut, var det ikke det? Og beviste".

85 Øystein (Einstein): "Jo, det atte fotoner oppfører seg både som partikler og som bølger."

86 Frode skyter inn at her er debattantene egentlig enige.. Før Stian tar ordet.

87 Stian (Bohr): Jo, men vi er tydeligvis ikke enige på selve målinger av et sånn foton da.. For det har jo  
88 dere også vært inne på at man kan jo ikke vite begge deler.

89 Frode skyter inn og får bekreftet nå er vi inne på Heisenbergs uskarphetsrelasjon. Stian bekrefter.

90 Øystein (Einstein): "Vi mener det at.."

91 Frode avbryter uheldig, men spør om Øystein vil fortsette. Øystein sier nei. Frode fortsetter: "Dere  
92 mener jo det at dere hele tiden kan finne posisjon og...

93 Øystein (Einstein): "..Fart."

94 Frode: "Hvorfor må det være sånn?"

95 Per (Einstein): " det har alltid vært sånn før. Det må jo være en sammenheng mellom det og den nye  
96 fysikken. Hvis ikke så går det jo ikke an å bruke den nye fysikken. Den klassiske er jo riktig! Så.. ja..  
97 logisk."

98 Jonas (Bohr): "Men nå har det seg slik at i noen tilfeller klarer vi ikke å måle ting ved å bruke den  
99 gamle fysikken. Da må du bruke den nye selv om den ikke er så lett å begripe og forstå så må du lære  
100 deg å bruke den. Det er vi har den for.

101 Elev 3: "Men hvis du skal ha en ny fysikk så må den stemme med den gamle fysikken for at du skal  
102 kunne bruke den, og for at den skal bli riktig."

103 Jonas (Bohr): "Jo, men så stemte ikke jo ikke Einstein sin helt med Newtons heller da.. Den er jo en  
104 slags forbedring, sant.

105 Per (Einstein): "Nja.."

106 Jonas (Bohr): "Den er det."

107 Mumlig fra begge lag

108 Øystein (Einstein): "Men så gjaldt Newtons ganske lenge da.."

## Vedlegg 2

109 Jonas (Bohr): "Ja, den gjorde det, men det er jo fordi ingen har utfordret den tidlig nok da.. Så nå har  
110 jo vi allerede kommet opp med det her ny da.. Så det er jo bare å akseptere det."

111 Per (Einstein): "Nå beveger du seg utenfor den tiden vi lever i. For det ble sånn. Det vet dere ikke en  
112 gang selv."

113 Frode prøver å bryte inn

114 Stian (Bohr): "Nei, men rundt ca 1980 så kommer det her til å bli bevist"

115 Latter i hele rommet

116 Frode tar ordet. Fornøyd og gir uttrykk for gode poenger. Påpeker at lagene bak de to som sitter å  
117 snakker blir passive. Spør om det kunne vært en idé å ta en liten time-out på 2 min der de to foran  
118 snur seg mot lagene sine og tar en liten peptalk for å se om de kan komme med nye poenger og  
119 argumenter. Dette for å aktivisere alle litt. Per og Øystein snur seg raskt og får innspill fra 2 gutter og  
120 2 jenter fra laget sitt. Litt mer spøking på den andre gruppen. Her brukes ikke time-uten spesielt  
121 bra. Forbereder seg til motangrep fra Einstein ved å ta fram en mynt. Frode tenker å sette i gang  
122 debatten igjen. Ser at Einstein fortsatt sitter og diskuterer. Velger å vente litt. De har nå brukt lenger  
123 enn de tilmålte minuttene jeg gav beskjed om. Frode går bort til hvert lag og spør om noen av de bak  
124 vil bytte med de i panelet. Ingen vil. Oppfordrer de bak til å komme med innspill.

125 Frode: "Skal vi kjøre debatt igjen eller? Siste inspurt!"

126 Elevene faller til ro

127 Frode tar ordet og spør om Einstein nå vil starte siden Bohr fikk starte første runde.

128 Per (Einstein): "Ja, vi vil si at Gud spiller *ikke* med terninger. Vi vil ha et ordentlig univers der alt har  
129 en sammenheng. Så vær så god!" Kaster en terning over til Bohr.

130 Latter

131 Bohr kaster en mynt over til Einstein. Mer latter.

132 Frode: "Ja, terningen er kastet over til dere". Retter spørsmålet til Bohr.

133 Elev på laget til Bohr: "Og vi kaster mynten tilbake!"

134 Snakking i munnen på hverandre.

135 Stian (Bohr): "Jeg.. Jeg skjønner jo litt.. Jeg har jo respekt for min motpart her."

## Vedlegg 2

136 Latter

137 Jonas (Bohr): "Vi synes dere er litt konservative".

138 Stian (Bohr): "Ja, det blir litt sånn konservativ. I forskning på oppdager man nye ting, og da er det  
139 videre.. å opp.. å komme seg videre med det nye stoffet man finner ut, og ikke.. ikke.. holde seg i det  
140 gamle. For da kommer man ingen vei innenfor vitenskapen.

141 Øystein (Einstein): "Vi kan jo ikke vite at det ny, som du kaller det, er riktig. Asså.. vi er ikke enige i  
142 det. Dere kan jo ikke si at det nye er det som er riktig, og at det er det som vi må fortsette med. Når  
143 vi ikke er enige i det, og mener at det er noe annet som er riktig, så må jo vi følge det."

144 Stian (Bohr): "Jajaja.. for all del!"

145 Per (Einstein): "Det nye må jo bygge på det gamle."

146 Stian (Bohr): "Vær så god å følge det dere mener, men vi mener vi har rett og hvis dere skal klare å  
147 forstå det så må dere legge bak dere det konservative tenke... tankegangen.

148 Frode påpeker at det er et veldig godt poeng. Tar opp det Einstein sa om at det nye må peke på det  
149 gamle. Hva sier Bohr til det?

150 Jonas (Bohr): "Ja, så.. vi har fortsatt de gamle prinsippene som gjelder alt det andre, men så at du  
151 skal måle et foton da så.. vet du at i det du har målt det så har det ikke no.. har det ikke no.. da er det  
152 ikke det samme lenger. Så hvordan det.. det.. er i mellom hver måling det er urelevant. Rett og  
153 slett.."

154 Øystein (Einstein): "Asså.. et elektron har jo fart og posisjon til en hver tid. Det er jo ikke sånn at.. den  
155 mister ikke farten med en gang vi slutter å måle. Det må jo ha.. det må jo bevege seg.. det må jo ha  
156 fart og posisjon!"

157 Jonas (Bohr): "Nei, men du vet jo.. du vil aldri kunne finne ut".

158 Snakking i munnen på hverandre.

159 Øystein (Einstein): "Asså.. det er vi helt uenige i.. Det skal gå an."

160 Stille

161 Stian (Bohr): "Nå ..... forlatt EPR-paradokset fordi det ikke vil ha noen innvirkning på hverandre."

## Vedlegg 2

162 Øystein (Einstein): "Ja, som igjen som jeg sier, da vil den greia gå fortere enn lysets hastighet. Og det  
163 er ikke mulig."

164 Jonas (Bohr): "Ja, men vi mener det er mulig. Rett og slett."

165 Øystein (Einstein): "Kan dere ikke forklare hvordan det er mulig da"

166 Stian (Bohr): "Nei, asså.. nei.. vi kan ikke forklare det enda. Men det vil absolutt være et altern.. en  
167 mulighet da. Siden det er.. siden det går an å måle.."

168 Frode:" Da lar vi det være siste ordet akkurat der." Spør Bohr om vi må ha to sett med lover siden vi  
169 har to ulike teorier.

170 Stian (Bohr): "Ja det er vel det da.." Per rekker opp en hånd. Og får ordet da Bohr ikke gir videre svar.

171 Per (Einstein): "Jeg mener at hvis vi skal ha to sett med lover så må det være en overensstemmelse  
172 mellom de to lovene.

173 Stian (Bohr): "Men da vil det ikke bli korrekt."

174 Per (Einstein): "Å? Hvorfor ikke det?"

175 Stian (Bohr): "Nei, for man ikke.. det er som å slå sammen norsk og nynorsk det. Og det blir jo ikke  
176 samnorsk det. Det er jo fullstendig urett."

177 Litt snakk i munnen på hverandre

178 Stian (Bohr): "For at det skal bli rett må vi ha to sett med lover. Og dem må følges sånn som dem er."

179 Per (Einstein): "men må det jo være en grense for når man kan bruke de to lovene da.. Og det må jo  
180 være en sammenheng da."

181 Jonas (Bohr): "Men grensen går jo da du skal måle noe som ikke lar seg måle da. Fotoner, elektroner  
182 og sånn.. "

183 Stian (Bohr): "Du kan ikke drive og slå sammen lover. Da blir det jo feil."

184 Per (Einstein): "Man *kan* begynne å slå sammen lover?"

185 Stian (Bohr): "Man kan ikke det."

186 Jonas (Bohr): "Nei, du kan ikke si at det går halvveis an å måle farta"

187 Per (Einstein): "Det er jo det fysikken består av da."

## Vedlegg 2

188 Øystein (Einstein): "Vi ser jo det at elektroner har masse og ... alle de egenskapene som klassisk fysikk  
189 som i denne boka her. Men hvorfor.. kan du forklare hvorfor det blir forskjell mellom dem to? Det er  
190 jo det samme."

191 Stian (Bohr): "Det er som jeg sa tidligere.. Det er som en badeball og et elektron, det er ikke noe.. så  
192 når man skal måle det så er det forskjellige egenskaper. Du vet ikke hvordan elektroner forflytter seg  
193 og.. man kan ikke måle fart og posisjon på samme tid. Rett og slett fordi det ikke lar seg gjøre."

194 Jonas (Bohr): "Hvis dere kommer her og viser oss at dere har målt farta på et elektron, og at den  
195 fortsetter likt etter på, da må dere komme og bevise det til oss ass.."

196 Stille. Frode spør om det er noen som har noen siste poenger før vi avslutter. Noen av elevene bak i  
197 gruppen til Einstein virker å ha det, men ønsker ikke å kommentere. Det blir spurt om det er lov å  
198 avslutte med vitser. Ender ikke i noe spesielt. Frode runder av debatten med å takke begge lag for  
199 innsatsen. Lagene oppfordres til å ta hverandre i hånda og takke for debatten. Klapping.

200 Frode roser debattantene for å klare å holde debatten i gang selv om mye av de sentrale punktene  
201 kjapt ble brukt.

202 Pause

203

### 204 **Transkripsjon av evaluering 2010-03-02**

205 Frode starter opp etter pausen. Ønsker tilbakemelding på hvordan opplegget de siste 6 timene har  
206 vært. Informerer om at det vil gis ut en spørreundersøkelse der de også kan gi tilbakemelding på  
207 opplegget.

208 Elev: "Det var jo artig da, også fikk du jo lært opp igjen det.. det vi hadde hatt om før i det kapitelet  
209 her. Det var jo lærerikt også, så der var bra."

210 Nei, jeg synes det var greit jeg. Litt avkobling fra den vanlige fysikken.

211 Frode snakker litt om at det med dette opplegget var ment å angripe fysikken fra en litt annet side.  
212 Bla bla..

213 Frode: "Rollespilldebatt.. hører det hjemme i fysikkfaget, eller gjør det ikke det. Burde det høre  
214 hjemme?"

215 Elev: "JA!"

## Vedlegg 2

- 216 Frode følger opp svar med å spørre hvorfor det
- 217 Elev: "Nei, det er greit med en gang i blant."
- 218 Elev: "Også hvis du kommer opp med en stor oppdagelse en gang fram i tida så har du forberedt  
219 deg."
- 220 Får tilbakemelding av en jente om at hun kunne kanskje likt å deltatt litt mer. Men hun ville ikke sitte  
221 framme i panelet.
- 222 Frode: "Hadde første dag noen relevans for resten av opplegget? Husket dere ting?" Første gang var  
223 tirsdag før vinterferien.
- 224 Elev: "Ja, men det hadde vært bedre om det hadde vært nærmere da."
- 225 Frode: "Burde jeg hatt en repetisjon i går (dagen før debatten) for å lettere komme i gang?"
- 226 Elev: "Kanskje en liten en."
- 227 Hvis du hadde skrevet opp den tidslinja igjen. Hadde kanskje husket bedre..
- 228 Frode tar opp at ikke alle kom i gang like godt på økten på mandag (dagen før debatten). Burde noe  
229 vært gjort annerledes? Klarere beskjeder? Stor gruppe med en gang?
- 230 Elev: "Bare tungt å komme i gang etter vinterferien"
- 231 Frode takker for at elever har vært flinke og samarbeidsvillig, og fysikklærer for å få bruke klassen til  
232 litt annerledes undervisning. Deler ut spørreskjema.





## Spørreundersøkelse

Dette er en spørreundersøkelse i forbindelse med opplegget i kvantefysikk jeg har hatt med dere i til sammen 6 skoletimer. Undersøkelsen tar for seg ulike aspekter ved opplegget og vil ikke ta lang tid å besvare. Resultatene vil kun bli brukt i masteroppgaven min. Det er skrift på begge sider av arket.

Kjønn (sett ring rundt):            Jente            Gutt

I Fysikk 2 ligger jeg an til følgende karakter:

Etter videregående skole har jeg tenkt å studere følgende:

Jeg deltok på følgende timer (sett ring rundt):    mandag 1/2,    mandag 1/3,    tirsdag 2/3

I debatten representerte jeg (sett ring rundt):            Bohr            Einstein

Her kommer en rekke påstander. Ta stilling til disse og vurder dem på en skala fra **1** til **4**.

Der 1 er i **stor grad** og 4 er **ikke i det hele tatt**.

Påstand	I stor grad		Ikke i det hele tatt	
	1	2	3	4
1. Jeg synes opplegget var lærerikt				
2. Jeg synes opplegget var vanskelig				
3. Jeg er fornøyd med min egen innsats				
4. Jeg har lest heftet nøye				
5. Jeg synes heftet var for langt				
6. Jeg synes det var vanskelig å sette ord på det jeg har lært innen kvantefysikk i dramaopplegget				
7. Jeg synes det var motiverende å bruke kjente aktører i rollespillet/debatten				
8. Jeg synes det var vanskelig å tenke ut argumenter aktørene ville brukt				
9. Jeg synes det var lærerikt å dramatisere hvordan forskere argumenterer				
10. Jeg fikk vist hva jeg kan om kvantefysikk				
11. Jeg har fått et bedre innblikk i hvordan en fysisk teori utvikles				
12. Debatten motiverte meg for å sette meg bedre inn i fagstoffet				
13. Opplegget hjalp meg til å forstå kvantefysikken bedre				
14. Opplegget har inspirert meg til å lære mer om fysikk				
15. Jeg lærte mer av dette enn av vanlig undervisning i fysikk				
16. Dette var mer motiverende enn annen undervisning i fysikk				
17. Kunnskap om naturvitenskap er viktig for å kunne ta stilling samfunnsvitenskapelige spørsmål				
18. Det er viktig å ha naturfaglig kompetanse for å kunne vurdere hvilke eksperter som har argumentene på sin side				
19. Når forskere er uenige betyr det at en dem tar feil				
20. Naturvitenskapelig kunnskap endrer seg over tid				

### Vedlegg 3

Ta stilling til følgende kompetansemål fra læreplanen, og vurder i hvilken grad du har oppnådd dem gjennom opplegget.

Kompetansemål fra læreplanen	I stor grad		Ikke i det hele tatt	
	1	2	3	4
21. "Gjøre rede for Heisenbergs uskarprelasjoner, beskrive fenomenet sammenfiltrerende fotoner og gjøre rede for erkjennelsesmessige konsekvenser av dem"				
22. "Gjøre rede for Einsteins forklaring av fotoelektrisk effekt"				
23. "Kvalitativt gjøre rede for hvordan resultater fra forsøk med fotoelektrisk effekt, comptonspredning og partiklers bølgenatur representerer et brudd med klassisk fysikk"				
24. "Drøfte hvordan ulike fysiske teorier kan eksistere ved siden av hverandre, til tross for at de kan være motstridene"				
25. "Gi eksempel på en strid som avklart, og hvordan avklaringen kom, og gi eksempel på en vitenskapelig strid som ennå ikke er avklart, og gjøre rede for hvorfor den ikke er det"				

26. Hva var bra med opplegget?

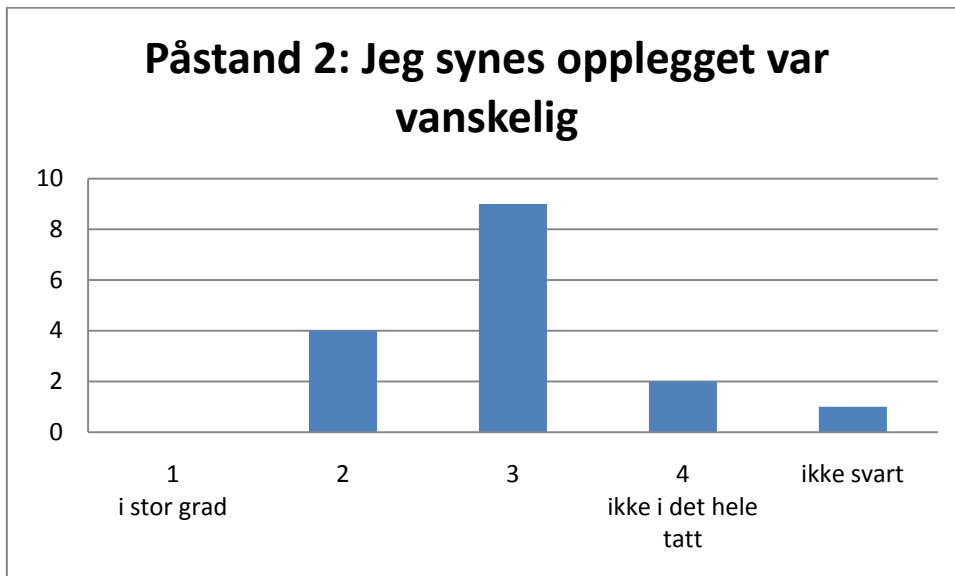
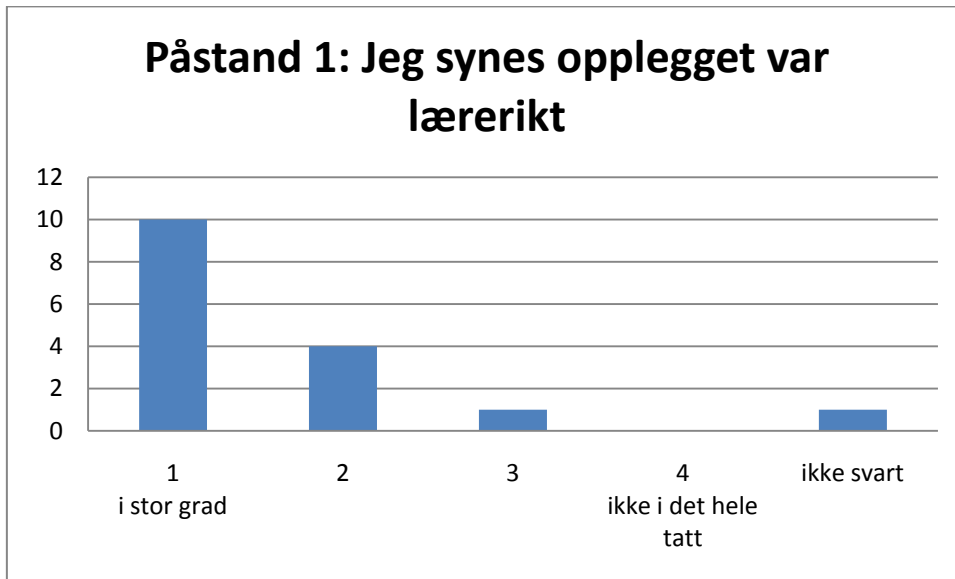
27. Hva var dårlig med opplegget?

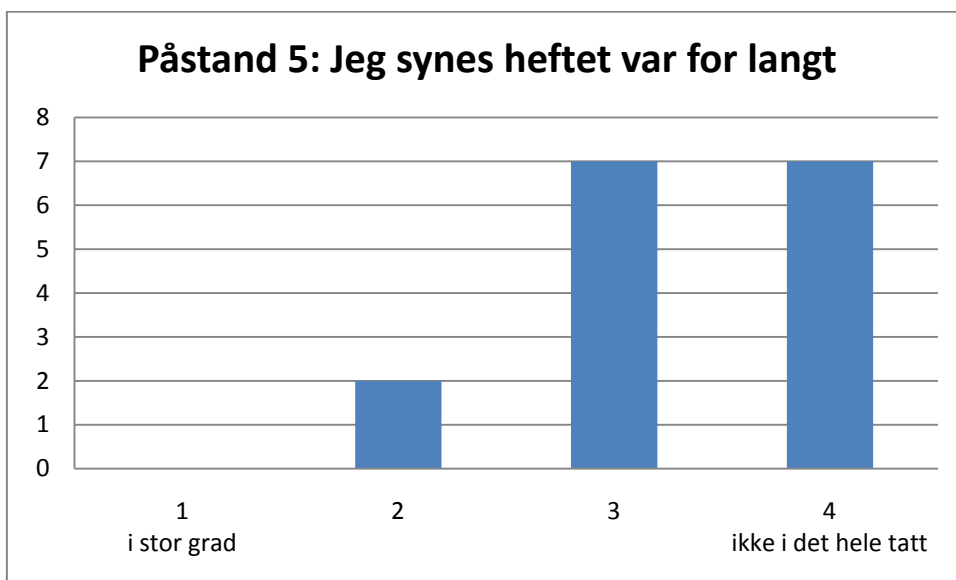
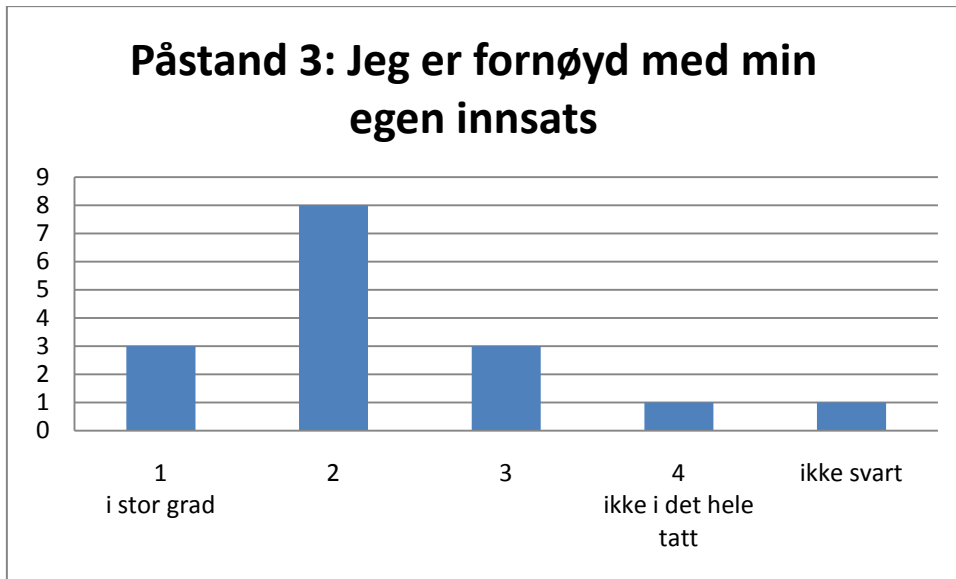
28. Andre kommentarer

Takk for at du tok deg tid til å svare på spørreundersøkelsen 😊

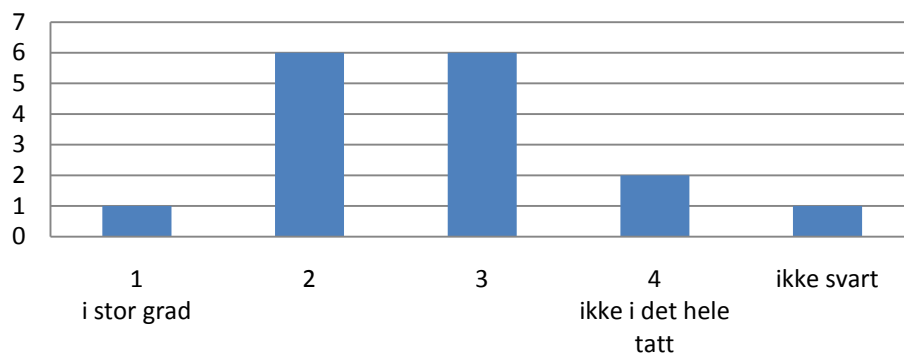
***HISTOGRAMMER FRA SPØRREUNDERSØKELSE***

---

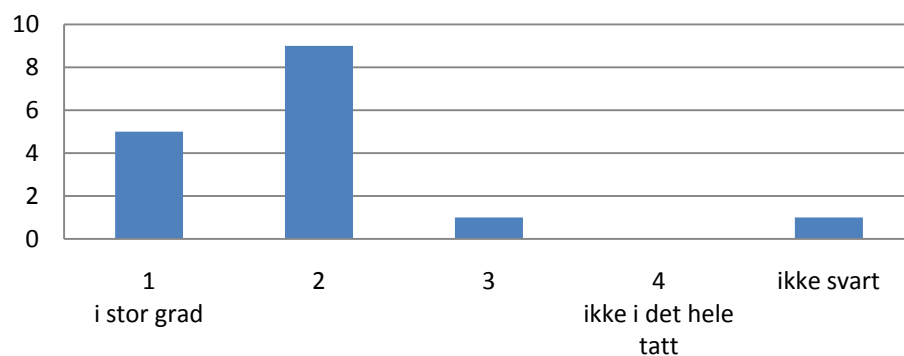




**Påstand 6: Jeg synes det var vanskelig å sette ord på det jeg har lært innen kvantefysikk i dramaopplegget**



**Påstand 7: Jeg synes det var motiverende å bruke kjente aktører i rollespillet/debatten**



**Påstand 8: Jeg synes det var vanskelig å tenke ut argumenter aktørene ville brukt**

