



## **Forord**

Denne masteroppgåva avrundar og symboliserer slutten på ei femårig lektorutdanning i realfag. Fem år med mykje læring, utfordringar, meistring og ikkje minst mange nye vener. Det har vore ei ære å gå på NTNU med så mange kunnskapsrike førelesarar, rettleiarar og studentar.

Først vil eg gje ein stor takk til rettleiaren min Berit Bungum, som gjennom arbeidet med oppgåva har lest korrektur, kome med konstruktive tilbakemeldingar og gjeve faglege rettleiingar på framifrå vis.

Takk til mine gode vener og medstudentar, som har vore viktige for meg gjennom heile utdanninga. Dykk har fylt åra med glede og gode opplevingar.

Eg vil takke elevane og studentane, som har vore essensielle for resultatane og gjort det mogeleg å skrive denne oppgåva. Alle var imøtekomande, engasjerte og viste interesse.

Ein stor takk til min familie. Utan hjelp og støtte frå dykk ville eg aldri ha klart meg gjennom desse fem åra på NTNU. Spesielt vil eg takke min bror, Arild Lote Henden, som eg har budd med i tre av åra og lest korrektur i oppgåva.

Til slutt vil eg seie at eg gleder meg svært mykje til å starte og jobbe som lektor.

Trondheim, November 2016

Bjørn Erik Lote Henden



## Samandrag

Denne oppgåva er eit delprosjekt innan forskings- og utviklingsprosjektet ReleKvant, eit prosjekt som utviklar nettbaserte undervisningsressursar tilpassa kompetansemåla for kvantefysikk og relativitetsteori i programfaget Fysikk 2.

Oppgåva handlar om å få kjennskap til kva forståing, førestillingar og faglege utfordringar elevar har innan røntgenstråling, ved å undersøkje Fysikk 2-elevar. Oppgåva vil også handle om å utvikle ReleKvant sin multimodal undervisningsressurs, ved å undersøkje Fysikk 2-elevar og førsteårs-universitetsstudentar. Det empiriske grunnlaget for denne undersøkinga er skriftlege elevresponsar frå arbeid med ressursane, tre intervju med studentar og to gruppeintervju med elevar. Analysen av datamaterialet leia fram til fire utfordringar elevar har innan røntgenstråling, samt fleire essensielle tilbakemeldingar for vidareutvikling av undervisningsressursen.

Resultata tyder på at elevane har mange små misoppfatningar innan røntgen. Til dømes forveksla elevar ord som *lys* med *røntgenstråling* og *elektron* med *røntgenstråling*. Det tyder på at elevar ikkje brukar nok tid på fagstoffet, går lite i djupna, og oppnår dermed ikkje god nok forståing av røntgen. Til dømes tyder det på at elevar slit med å forstå kva gjennomtrengingsevna til røntgenstråling er, og korleis røntgenstråling oppstår. Resultata tyder på at elevane og studentane generelt er positive til ReleKvant sin multimodale undervisningsressurs. Tilbakemeldingane frå elevane og studentane tyder på at modulen om røntgen nesten er ferdig, men der er fleire små endringar som kan gjere ressursen endå betre. Med bakgrunn i resultata trekk eg inn tydinga for moderne fysikk i læreplanen, og anbefalingar for vidareutvikling av ressursen.



## Abstract

This thesis is a subproject in the research and development project ReleKvant, a project which develops educational resources, adapted competence aims in quantum physics and relativity, to the norwegian secondary school programsubject "Fysikk 2" online.

The thesis is to become aware of what conceptions, understanding and scientific challenges pupils have about X-ray, by research responses from pupil in secondary school. The thesis will also be about developing ReleQuants multimodal educational resource, by research on feedbacks from pupils in secondary school and first year university students. The empirical basis for this study is: written student responses from work in the educational resource, three interviews with students and two group interviews with secondary school pupils. The analysis of the data lead to four challenges pupils have in X-ray, as well as several essential feedback for further development of the educational resource.

The results indicate that pupils have many small misconceptions about X-rays. For example, pupils confused the words *light* with *X-rays* and *electron* with *X-rays*. This suggests that pupils do not spend enough time on the subject matter, goes to little in the depth, and do not accomplishes good enough understanding of X-ray. For example pupils struggle with the understanding of the ability X-rays have to go through materials and how X-rays occurs. The results indicate that pupils and students are generally positive to ReleKvants multimodal educational resource. Feedback from pupils and students indicate that the module on X-ray is almost finished, but there is some small changes that will make the resource better. According to the discussion I question about the meaning of modern physics in the curriculum standards, and recommendations for further development of resource.



# Innhald

<b>1 Innleiing</b>	<b>3</b>
<b>2 ReleKvant-prosjektet</b>	<b>5</b>
2.1 Om ReleKvant-prosjektet	5
2.2 ReleKvant-prosjektet sine sju prinsipp	6
<b>3 Historisk og fagleg perspektiv - Røntgenstråling</b>	<b>8</b>
3.1 Oppdaginga av røntgenstrålen	9
3.2 Korleis røntgenstråling oppstår	10
3.3 Fotoelektrisk effekt, Compton-spreiing og brote med klassisk mekanikk	12
3.4 Tilbakespreiing, litt om den praktiske bruken av røntgenstråling og kor farleg er egentleg røntgenstråling?	14
<b>4 Didaktisk perspektiv</b>	<b>18</b>
4.1 Elevar si erfaring, førestilling og utfordringar i generell fysikk og kvantefysikk	18
4.2 Generelle utfordringar i Fysikk 2	21
4.3 Representasjonsformer i fysikk	22
4.4 Representasjonsformer og læring i ei multimediasetjing	22
4.4.1 Visuell persepsjon og kognitiv omarbeiding av informasjon	23
4.4.2 Designprinsipp for multimediaundervising	24
4.4.3 Kritikk av designprinsippa for multimediaundervising	26
4.5 Røntgenmodulen i ReleKvant	28
<b>5 Metode</b>	<b>30</b>
5.1 Forskingsdesign	30
5.2 Utval og datainnsamling	31
5.2.1 Intervju med første års universitetsstudentar i fysikk	32
5.2.2 Intervju med Fysikk 2-elevar frå Branden og Vetem vidaregåande skule	32
5.2.3 Datamaterial frå dei skriftlege elevresponsane	33
5.3 Databehandling og analysemetode	34
5.4 Ethiske forholdsreglar og metodekritikk	35
5.4.1 Ethiske forholdsreglar	35
5.4.2 Metodekritikk	36
<b>6 Resultat</b>	<b>38</b>
6.1 Resultata av dei skriftlege elevresponsane frå Røntgenmodulen	38
6.2 Resultata frå intervjuet om Røntgenmodulen	44
6.2.1 Kva meiner elevar og studentar kjenneteiknar ein god animasjon	44
6.2.2 Kva som kan forbedrast på den noverande ReleKvant-modulen	46
6.2.3 Intervjudeltakarane sine forslag til endringar i ReleKvant-modulen	48
6.2.4 Positiv tilbakemelding om ReleKvant-modulane	50



<b>7 Diskusjon og konklusjon</b>	<b>52</b>
7.1 Elevar si forståing og utfordringar innan røntgen	52
7.2 Diskusjon av elevane og studentane sine tilbakemeldingar om Røntgenmodulen i lys av designprinsippa	53
7.3 Anbefalingar til vidareutvikling av ReleKvant-modulane	55
7.4 Tydinga for moderne fysikk i læreplanen	57
<b>Referansar</b>	<b>60</b>
<b>Vedlegg 1: Sidene i Røntgenmodulen</b>	<b>64</b>
<b>Vedlegg 2: Intervjuguide</b>	<b>67</b>

## 1 Innleiing

Røntgen er eit sentralt tema i kunnskapslyftet sin læreplanen for Fysikk 2. Målet i studien er både å bidra til å få kunnskap om elevane si forståing, førestillingar og faglige utfordringar innan røntgen, samt kome med anbefalingar til å utvikle ein nettbasert undervisningsressurs basert på tilbakemeldingar frå elevar og studentar. I læreplanen ligg røntgen i hovudområda “Moderne fysikk” og “Fysikk og teknologi”. Kompetansemåla om røntgen frå Udir (2016) er, eleven skal kunne:

- *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*
- *beskrive fysiske prinsipper bak medisinske undersøkelser som røntgen, ultralydbildning og magnetisk resonansavbildning*

Kompetansemåla brukar omgrep som ”gjere reie”, ”kvalitativt gjere reie” og ”skildre”. I Bloom sitt taksonomiske hierarki (sjå t.d. Imsen, 1999) ligg desse omgrepa på eit lågt nivå. Eleven skal ut frå kompetansemåla ha forståing og forklare prinsippa innan røntgen.

Frå kunnskapslyftet er det i dei seinare åra kome meir fokus på kvantefysikk, og denne oppgåva skal avdekke forståing elevar har innan røntgen. Dette skal vere til hjelp for lærarar som underviser i Fysikk 2, samt bidra til å utvikle ReleKvant sin undervisningsressurs. For å få kunnskap om elevane si forståing, førestillingar og faglege utfordringar om røntgen i Fysikk 2, er problemstillinga følgjande:

*Kva forståing, førestillingar og faglege utfordringar har Fysikk 2-elevar innan røntgen?*

For å svare på dette, valde eg å knytte elevane si forståing, førestillingar og faglege utfordringar opp mot tidligare teoriar om elevane si forståing og utfordringar i fysikk og opp mot teori innan kvantefysikk og røntgen.

Det var behov for å vidareutvikle undervisningsressursen til ReleKvant. For å vidareutvikle ressursen vert det sett på kva elevar og studentar synast om den noverande ressursen, kva dei meiner fungerer bra og kva dei meiner burde endrast. Problemstillinga for å utvikle ressursen er følgjande:

*Kva er det Fysikk 2-elevar og førsteårs-universitetsstudentar innan realfag meiner kan bidra til å utvikle den multimodale undervisningsressursen ReleKvant?*

For å svare på denne problemstillinga, valde eg å sette resultata opp mot tidligare forskning om utarbeiding av multimodale undervisningsressurs.

Opggåva er bygd opp på følgjande vis: I kapittel 2 presenterast ReleKvant-prosjektet, og korleis dei har utvikla den nettbaserte undervisningsressursen. Historisk og fagleg perspektiv, i kapittel 3, dannar eit teoretisk perspektiv om røntgen og røntgenstråling. Didaktisk perspektiv, i kapittel 4, vil gje eit innblikk i elevar sine erfaringar, førestillingar og utfordringar generelt i fysikk og spesielt i kvantefysikk. Dei ulike representasjonsformene i fysikk vert presentert i dette kapittelet, samt læring i ei multimediasetjing. Kapittel 4 inneber også designprinsipp for utformingar av multimodale undervisningsressurs, og kritikk av desse designprinsippa. Det teoretiske rammeverket i oppgåva vert presentert i kapittel 3 og 4. Metodane som er brukt til å svare på problemstillinga er gjort reie for i kapittel 5. Resultata med empiriske data frå elevar og studentar vert presentert i kapittel 6. Til slutt vert resultata diskutert opp mot dei teoretiske perspektiva, samt det vil kome refleksjonar med utgangspunkt i problemstillingane.

## 2 ReleKvant-prosjektet

ReleKvant-prosjektet utviklar nettbasert undervisningsmaterieil for Fysikk 2 som legg til rette for elevar si kvalitative forståing av sentrale tema i moderne fysikk. Materialet er tilgjengeleg på plattformen *viten.no* og er tilpassa læreplanen for programfaget Fysikk 2. Prosjektet utviklar digitale og forskingsbaserte ressursar for læring i generell relativitetsteori og kvantefysikk. For å utvikle prosjektet vert praktiserande fysikklærarar og lektorstudentar i fysikk trekt inn i arbeidet gjennom delprosjektet ReleKvant Kompetanse.

I dette kapitlet går eg nærare inn på ReleKvant-prosjektet sine samarbeidspartnarar, målsetjingar, prosjektet sin bakgrunn og forskingsmetode. Vidare vert hovudprinsippa bak utviklinga av undervisningsmaterialet presentert. Til slutt vert det ei skildring av Røntgenmodulen. Grunnen til dette er å få eit innblikk i korleis undervisningsmaterialet til elevane på *viten.no* har blitt utforma til den utgåva ReleKvant har i dag.

### 2.1 Om ReleKvant-prosjektet

ReleKvant-prosjektet har tre målsetjingar. Den første målsetjinga er å utvikle digitale ressursane for læring innan kvantefysikk og generell relativitetsteori. Den andre målsetjinga er å undersøkje korleis ressursane for læring fungerer i undervisinga, og å få innsikt i elevane sin motivasjon, forståing og læring innan moderne fysikk. Den siste målsetjinga er å skape og utforske eit praksisfellesskap der fysikklærarar, lektorutdannerar, forskarar og lektorstudentar samarbeider om forskingsbasert utvikling av variert og engasjerande undervising i fysikk. Utviklinga av undervisningsmaterialet har eit sosiokulturelt preg, noko som inneber at språk er ein viktig del av prosessen for læring. Gjennom elevane sine samhandlingar med medelevar og lærar gjer dei fysikk konseptet til sitt eige (sjå t.d. Vygotsky, 1978). Fysikkfaget på det 13. årstrinnet går gjennom veldig mange spennande tema og fenomen i fysikk. Alt frå store stjerner i astrofysikk til dei minste kjernepartiklane ein veit om i dag. Dette gjer at tida ein har tilgjengeleg for å undervise alle desse tema og fenomen vert tidsavgrensa. Derfor må også modulane som ReleKvant utviklar følgje dei same tidskrava. Ein *modul* er ein seksjon av sider som handlar om det same temaet.

Skulelaboratoriet ved NTNU samarbeida med Skulelaboratoriet i Fysikk ved UiO (Universitetet i Oslo) og Naturfagsenteret ved UiO om forskingsprosjektet ReleKvant. ReleKvant har hovudkvarteret sitt ved UiO.

I norsk skule består moderne fysikk av relativitetsteori og kvantefysikk, noko som gav grunnlag til ordspelet ReleKvant som namn på prosjektet. Prosjektet ønskjer å gje elevane ei vinkling på fagstoffet som oppfattast som “relevant” for elevane. For å gje eit relevant og interessant fagstoff i fysikkfaget er bakgrunnen for Relekvant-prosjektet:

- *lite norsk eller internasjonal forskning på elevers forståelse og læring i moderne fysikk*
- *mindre undervisningserfaring i moderne fysikk enn klassisk fysikk blant lærere*
- *kompetansemålene i moderne fysikk LK06 er ganske nye og spesielle for Norge*
- *lite kunnskap om hensiktsmessige undervisningsressurser til disse kompetansemålene*

(ReleKvant, 2016)

Prosjektet starta våren 2013 og vil holde på fram til ca. 2019. Det er altså allereie gjort ein del forskning på elevar si forståing av moderne fysikk i prosjektet. Utviklinga av undervisningsressursane er kome langt, der blant anna programmet “Kvantefysikk” er publisert. Denne oppgåva skal bidra med å vidareutvikle ein av dei noverande modulane, samt å få eit meir heilskapleg bilete av kva elevane synast kan vere utfordrande innan moderne fysikk.

Forskningsmetoden til ReleKvant er blant anna gjennom fleire utprøvingar av læringsressursane i undervisinga på dei samarbeidande vidaregåande skulane. ReleKvant utviklar dei nettbaserte læringsressursane gjennom *Educational Design Research* (EDR). Dette gjerast gjennom fleire syklusar, blant anna ved å studere elevane sin bruk av læringsressursane og elevar sin motivasjon gjennom observasjon, video- og lydopptak, innsamling av skriftlege og munnlege arbeid, samt intervju med elevar, studentar og lærarar (ReleKvant, 2016). Deretter utvikla ein innhaldet på modulen for undervising og gjer tilnærmingar for kvar utprøving. EDR vert gått nærare inn på i metodekapittelet.

## 2.2 ReleKvant-prosjektet sine sju prinsipp

Prosjektet ReleKvant har som mål om å fremme kunnskap om korleis elevane kan lære kvantefysikk og relativitetsteori der dei opplever meiningsfulle og motiverande læring som gir ei djup konseptuell forståing. Dette gjerast gjennom å utvikle og teste dei nettbaserte undervisningsmodulane. Eit anna mål er å få innsikt i elevar si forståing av relativitets teori og kvantefysikk, og undersøkje strategiar for læring som er utforma for å fremme kvalitativ forståing og verdsette sannkjenningsteorien i fysikk. For å oppfylle desse måla har ReleKvant

utvikla sju hovudprinsipp til utviklinga av den først prototypen av modulen for kvantefysikk. Desse sju hovudprinsippa beskriv korleis modulane skal framstå. ReleKvant har som mål at modulen skal følgje desse prinsippa (Bungum et al., 2015):

1. *Forklare korleis kvantefysikk bryt med den klassiske fysikken eksplisitt, og gjere elevane oppmerksame på det filosofiske aspektet som klassisk fysikk er bygd opp av.*
2. *Visualisere og simulere fenomen som ein ikkje kan erfare direkte, desse bør vere interaktive slik at elevane vert engasjert.*
3. *Sørgje for at elevane bruka både det skriftelege og munnlege språket i ei konseptuell utvikling. Ressursane skal også gi læraren spørsmål og eit konkret innhald til gode diskusjonar.*
4. *Gå i djupna når ein skal forklare og diskutere utfordringar i moderne fysikk, som til dømes bølge-partikkel dualitet og usikkerheit prinsippet. Undervisningsmaterialet bør eksplisitt løyse typiske misoppfatningar elevane har.*
5. *Bruke døme frå historia om fysikk til å støtte konseptutvikling.*
6. *Vise døme på korleis fysikarar er ueinige om tolkingar av kvantefysikk.*
7. *Presentere dømer og program som er relevante for eleven si verd. Dette bør innehalde teknologisk bruk, samt filosofiske aspekt av kvantefysikken.*

### 3 Historisk og fagleg perspektiv - Røntgenstråling

I dette kapittelet vert det tatt føre seg alt frå første gang røntgenstråling vart oppdaga til det røntgenstråling vert brukt til i samfunnet i dag. Det vert vidare skildra fotoelektrisk effekt og Compton-spreiing, medan Rayleigh-spreiing vert ikkje skildra. Avslutningsvis litt om tilbesperiing, praktisk bruk av røntgenstråling og kor farleg røntgenstråling er.

Når ein møter fysikk for første gang på vidaregåande skule, startar ein som oftast med klassisk fysikk, der dei fleste teoriane i klassisk fysikk kom før 1900-talet. Sir Isaac Newton (1642-1726) og James Clerk Maxwell (1831-1879) er nokon av fysikarane som levde før 1900-talet. Desse to fysikarane er nokon av dei som har bidratt mest til den klassiske mekanikken vi har i dag, mellom anna med Newton sine rørslelover og Maxwell sine likningar i elektrodynamikken. Teoriane i klassisk fysikk sto støtt innanfor fysikarane sine kretsar og det begynte å sjå ut som ein hadde fått med dei mest grunnleggande elementa i fysikken. Teoriane var uten kritikk heilt fram til rundt 1900, då det likevel vart klart at grunnforskinga i fysikk var på langt nær avslutta. Ei rekke oppdagingar vart gjort rundt 1900, og fleire av fysikarane fekk seinare nobelprisen i fysikk for desse oppdagingane. Mellom anna oppdaga dei elektronet (Joseph John Thomson i 1896), radioaktivitet (Henri Becquerel i 1896) og at alfastråling er positivt ladde partiklar (Ernest Rutherford i 1903). Seinare viste Rutherford at alfastrålinga var heliumkjernar, noko som viste at atom ikkje var udeleleg. Ein hadde tatt grundig feil på fleire områder då ein trudde teorien om vår fysiske verd var fullkomen:

- *Newtons ligninger viste seg å være et spesialtilfelle (en tilnærming for små hastigheter) av Einsteins spesielle relativitetsteori.*
- *Newtons gravitasjonsteori ble utvidet til (erstattet av) Einsteins generelle relativitetsteori.*
- *Oppdagelsen av at atomet består av en veldig liten og kompakt kjerne omgitt av elektroner, og visse egenskaper ved vekselvirkningen mellom atomer og annen materie og stråling, førte til utviklingen av kvantefysikken og den kvantemekaniske teorien.*

(Øverbø, 2011, s. 1)

Etter 1900-talet kom det altså ein revolusjon for menneske (i alle fall fysikaren) sitt verdsbilete av fysikk. Dette førte til at vi i dag har eit heilt anna syn på mellom anna atomfysikk, partikkelfysikk og kjernefysikk enn det dei fremste fysikarane hadde for berre litt

over hundre år sidan. Den moderne fysikken og bruken av den utgjer mykje av grunnlaget til all vår moderne teknologi. Paradoksalt nok handlar skulefysikken i dag mest om den gamle klassiske fysikken.

Framstillingane i dette kapittelet baserer seg på følgjande kjelder: Jerstad, Sletbak, Grimnes og Renstrøm (2008), Moore (1995), Gerward (1993), Hemmer (2005), Statens strålevern (2016), NTNU (2005) og U.S. Food and Drug Administration (2016).

### 3.1 Oppdaginga av røntgenstrålen

I 1895 oppdaga Wilhelm Conrad Röntgen, professor i fysikk i Bayern, ei ny form for stråling. Röntgen heldt eigentleg på å utforske bana til elektriske strålar som passerte frå ein induksjonsspole og gjennom eit glasrøyr som var i delvis vakuum. Sjølv om røytret vart dekt av svart papir og rommet var heilt mørkt la han merke til at skjermen (dekt av fluorescerande materiale) vart opplyst av strålar. Han oppdaga at desse strålane kunne penetrere ei rekkje objekt. Röntgen kalla strålen for “X-strahlen”, sidan strålen var ukjent. På norsk kallar vi denne strålen for røntgenstråling (oppkalt etter Röntgen), medan på engelsk brukar ein framleis “X-rays”. I 1901 vart Röntgen tildelt nobelprisen i fysikk for dette viktige funnet.

Allereie i 1896 vart det opna ei røntgenavdeling på eit universitetssjukehus i Glasgow. Det vart produsert ei rekke røntgenbilete: det første røntgenbilete av ein nyrestein, eit bilete som viser ein mynt i halsen på eit barn og eit bilete av froskelår i rørsle. Det første bilete, tatt av Röntgen, er det berømte bilete som viser ein giftering på handa til Röntgen si kone, og er mykje brukt i populære framstillingar. Dette illustrer at oppdaginga gjorde det mogeleg å sjå indre delar av kroppen uten å måtte gjere synlige inngrep i kroppen. Metoden vart brukt under første verdskrig i behandlinga av soldatar for å finne beinbrot og kuler som sat fast.

Det her skildra korleis røntgenstråling vart oppdaga og litt om bruken av den, men kva er eigentleg *stråling*? Stråling kan definerast som “transport av energi frå ei strålekjelde”, dette inkluderer elektromagnetisk stråling, akustisk stråling og partikkelstråling. Røntgenstråling er elektromagnetisk stråling som har energi i form av *foton* som “strømmer” med lyset si hastigheit (ca.  $3 \cdot 10^8$  m/s). Namnet foton kjem frå det greske ordet *phos*, som betyr lys. Ein radikal hypotese om fotonet vart sett fram av Albert Einstein i 1905, nemleg at fotonet var ein *kvant*. Noko som betydde at det vart sett på som ein strøm av udelelige einingar.

*Det elektromagnetiske spekteret* består av ei rekke strålar med forskjellige bølglengder, frekvensar og ulike eigenskapar. Røntgenstrålinga er i det



elektromagnetiske spekteret og har ei bølgjelengd mellom 0.1 og 10 nm og dermed ein frekvens mellom  $3 \cdot 10^{16}$  og  $3 \cdot 10^{18}$  Hz. Frekvensen kan reknast ut ved formelen:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

Der  $f$  er frekvensen,  $c$  er lysfarta og bølgjelengda  $\lambda$ . Denne strålen har nok energi til å *ionisere* eit elektron. Å ionisere betyr at fotonet har nok energi til lausrive eit elektron frå eit atom, medan ein kan rekne ut energien ved hjelp av formelen:

$$E = hf \quad (2)$$

$h$  er Planckkonstanten ( $6,63 \cdot 10^{-34}$  m<sup>2</sup>kg/s). Røntgenstråling har ein energi frå ca. 100 eV til ca. 100 keV.

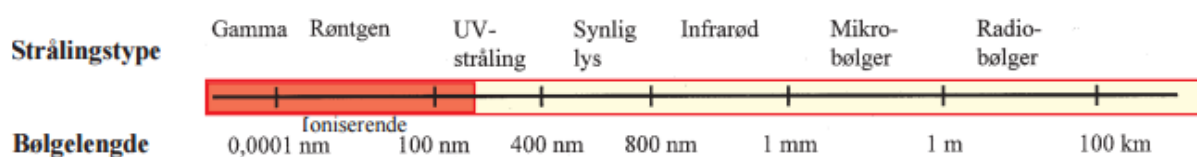
Noko ganske oppsiktsvekkande med foton (elektromagnetisk stråling) er at den ikkje har masse (stoffmengd), men har likevel energi og mange av eigenskapane til ein partikkel med masse.

Dei fleste elektromagnetiske strålane er ikkje-ioniserande strålar som er heilt ufarlige å vere i nærleiken av, medan ein skal vere litt meir forsiktig med å bli bestrålt for mykje av røntgenstråling, UV-stråling og gammastråling. Ein kan sjå dei ulike typane stråling ved sidan av kvarandre i figur 1. Figuren viser namna på strålane, bølgjelengda og kva strålar som har høg nok energi til å ionisere eit atom (markert med raud farge).

### 3.2 Korleis røntgenstråling oppstår

Røntgenstråling kan oppstå på to forskjellige måtar, enten ved *bremsestråling* eller ved *karaktéristisk stråling* frå eksiterte atom. Begge fenomenen oppstår ved at elektron vert akselerert i eit røntgenrøyr av ei elektrisk spenning  $U$  mellom ein (negativ) katode og ein (positiv) metallanode, til dømes wolfram.

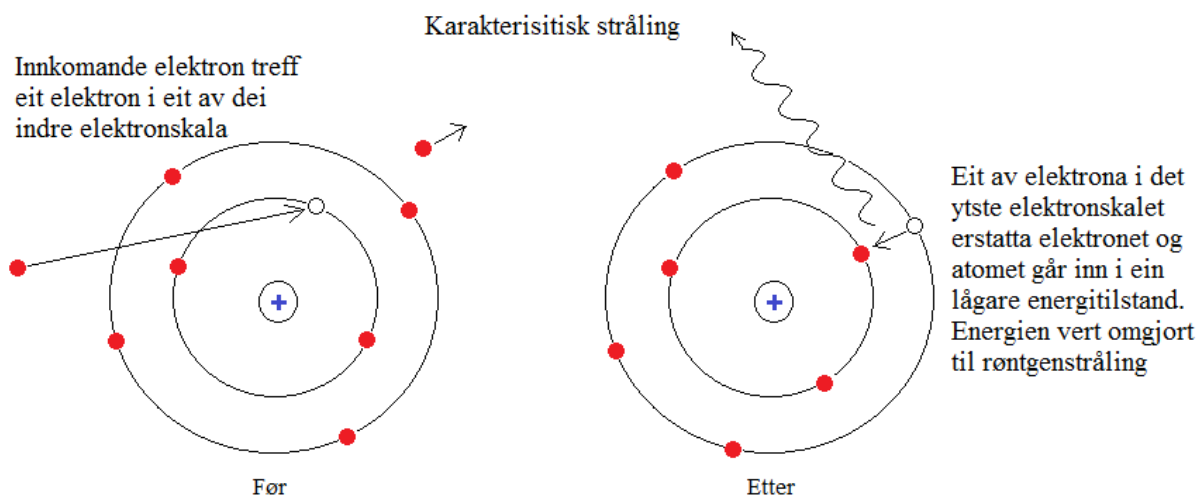
Ein får karakteristisk stråling dersom elektrona treff eit elektron i et av dei indre elektronkala. Wolframatomet vil miste elektronet og bli ionisert. Atomet får då ein reaksjon i form av at eit av dei ytre elektrona med høgt energinivå erstatta elektronet med lågare



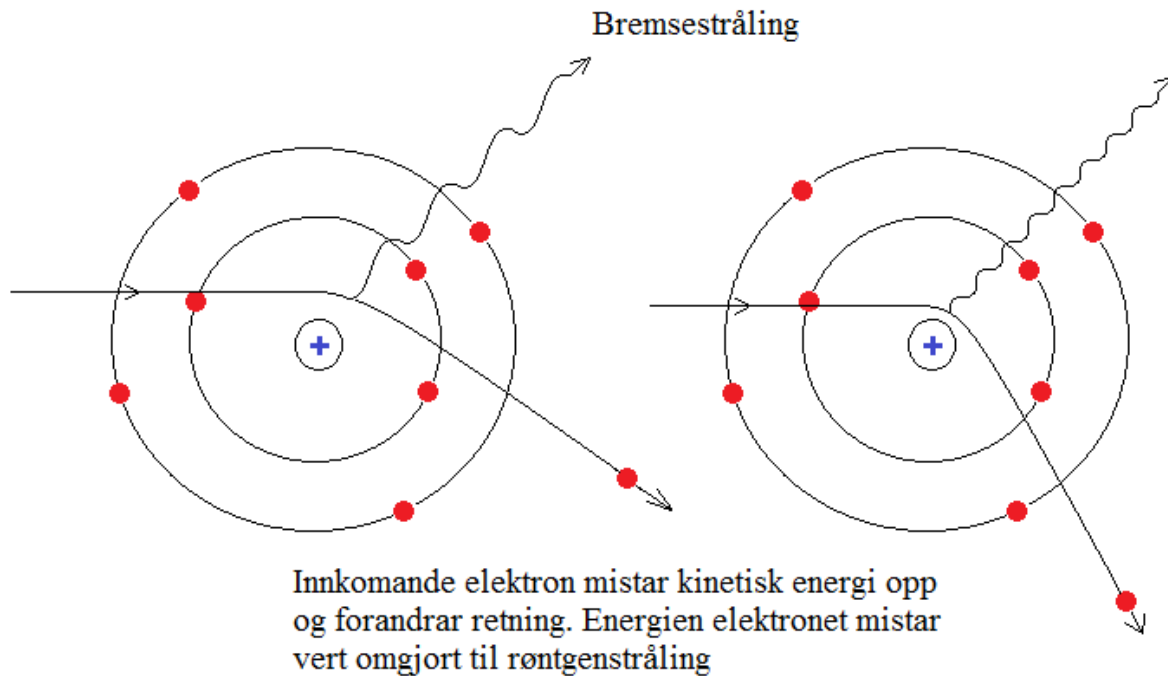
**Figur 1** Det elektromagnetiske spekteret. (Henriksen & Henriksen, 1998, modifisert)

energinivå, noko som vert kalla *emisjon*. Dette atomet får då ein lågare energitilstand og sender samtidig ut eit røntgenfoton med ein energi tilsvarande forskjellen mellom dei to energitilstandane. Strålen som vert sendt ut er karakteristisk for wolframatom, som vil seie at strålen si bølglengde er bestemt av elektronskalstrukturen til wolfram. Figur 2 viser ei enkel skisse på korleis ein karakteristisk stråle kan oppstå.

Treff ikkje elektronet eit anna elektron, men går nærme kjerna til wolframatomet vil elektronet som vart sendt ut av katoden bli påverka av kjerna. Bremsar strålen opp og forandre retning. Rørsleenergien elektronet mistar vert omgjort til røntgenstråling med den tilsvarande energien som elektronet mista. Bremsestrålen kan gi opphav til foton med alle mulige frekvensar, berre avgrensa av kor høg ein sett den elektriske spenninga. Både den karakteristiske strålen og bremsestrålen vert produsert inne i røntgenrøret. Figur 3 viser to forskjellige strålar som får forskjellige endringar på retninga og hastigheita. Ein kan sjå på Figur 3 at den eine strålen har større frekvens enn den andre, ved å sjå på bølglengda.



**Figur 2** Karakteristisk stråling



**Figur 3** Bremsstråling

### 3.3 Fotoelektrisk effekt, Compton-spreiing og brote med klassisk mekanikk

Klassisk mekanikk kan ikkje forklare fenomen som emisjonsspektrere, varmestråling, fotoelektrisk effekt og Compton-spreiing. Når røntgenstråling treng inn i kroppen din i det du tar bilete for å undersøkje ein brekt arm, kan strålen enten bli fullstendig absorbert eller få ei spreiiing. Dersom strålen vert fullstendig absorbert har vi med fotoelektrisk effekt å gjere. Spreier røntgentrålen seg og fotonet har meir energi igjen er det snakk om Compton-spreiing. I begge tilfella er det eit innkomande foton med energi  $E_f$ , som treff eit elektron  $i$ , for eksempel kalsium.

Har fotonet ein energi  $E_f$  større enn lausrivingsarbeidet  $W$ , der  $W$  er arbeidet som skal til for å lausrive bundne elektron frå atomet, får vi ein fotoelektrisk effekt. Når energien til fotonet er større enn lausrivingsarbeidet til det bundne elektronet vil den resterande energien til fotonet gå med på å gi elektronet ein kinetisk energi  $E_k$ . Å lausrive eit elektron er ikkje det same som å ionisere eit atom. Eit elektron som er rive laust er fortsatt ein del av metallet slik som i solcellepanel, medan når ein ionisere eit atom forsvinn elektronet frå atomet.

Einstein si likninga for fotoelektriske effekt kan skrivast på følgjande måte:

$$E_f = W + E_k \quad (3)$$

Energien ( $E_f = hf$ ) til fotonet går med til lausrivingsarbeidet  $W$  og til å gje elektronet ein kinetisk energi  $E_k$ . I 1921 fekk Einstein nobelprisen i fysikk for sitt arbeid innan teoretisk fysikk, og spesielt for oppdaginga av lova: fotoelektrisk effekt.

Det er ikkje slik at fotonet automatisk gjev all energien til elektronet. Om ein antek at elektronet i ro og kan bevege seg fritt, må ein sjå på vekselverknaden som eit støyt mellom to partiklar, vanlegvis kalla Compton-spreiing. Støytet reknast som eit elastisk støyt og ei uelastisk spreining mellom eit foton og eit elektron. Har fotonet nok energi (røntgenstråling eller høgare) vil elektronet bli tilført noko av energien, fotonet vil dermed endre retning og energien vil avta. Når energien til fotonet vert endra vil også bølgjelengda bli endra, og kan bli uttrykt med Compton si likning:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta) \quad (4)$$

Der  $\lambda'$  er bølgjelengda etter spreininga,  $\lambda$  innkomande bølgjelengd,  $m_e$  er massen til elektronet, og inkomande foton og utgåande foton danna vinkelen  $\theta$ .

Det var først etter at fysikaren Arthur Compton utførte eit forsøk i starten 1920-åra at ein godtok Einstein sin radikale ide om fotoelektrisk effekt. Fordi i Maxwell sin klassiske teori meinte at at lys ikkje endra bølgjelengda i ei vekselverking mellom eit foton og elektron. Dette kan bli motbevist ved å følgje ei rekkje logiske argument. Lys er ein strøm av foton, og fotona har ei rørslemengd. Dermed vil eit foton overføre ein del av rørslemengda si til elektronet i denne vekselverkinga. Rørslemengda til fotonet vil dermed avta og sidan den er avhengig av bølgjelengda vil også denne endre seg. Resultata i eksperimentet til Compton viste ei endring i bølgjelengda til fotonet. Dette enda motstanden mot Einstein sin fointeorien. Likning (4) viser dette med ei endring av bølgjelengda  $\lambda$  før og etter spreininga.

I klassisk fysikk antar ein at foton er bølger, men for å kunne slå eit elektron ut av eit atom må fotonet også vere ein partikkel også. Då må fotonet også ha energi. Energien til fotonet kan representerast matematisk med  $E = hf$ , som Planck postulerte i eit foredrag i 1900. Denne teorien om at lys er både bølge og partikkel er i dag ein teori innan kvantefysikk (gjeld også røntgenstråling og andre partiklar), dette kallar ein *bølge-partikkel dualitet*.

Noko anna som bryt med klassisk mekanikk er at energien til fotonet som skal slå vekk eit elektron frå eit atom må fotonet ha ein bestemt frekvens og energi. Medan ein i klassisk fysikk trudde at det å sende mange nok foton med låg energi kunne slå ut eit elektron over

tid. Elektron som vert slått laust er uavhengig av intensiteten. Det må altså bestemte energiar til for å få eit elektron til å hoppe får eit elektronskal til eit anna, eller få eit atom ionisert.

Kvantefysikk bryt med klassisk fysikk på fleire punkt i tillegg til dei ovanfor, blant anna determinisme og lokal verkelegheit, men desse vert ikkje gått nærare innpå i denne oppgåva.

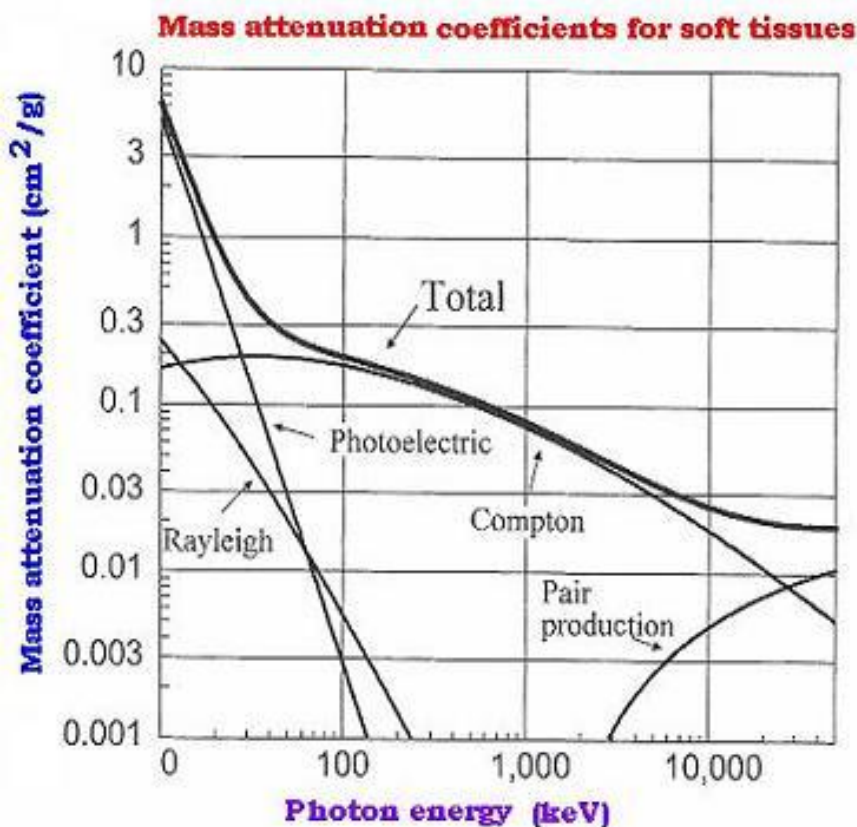
I kvantemekaniske prosessar er “valet” om fotoelektrisk effekt og Compton-spreiing i utgangspunktet tilfeldig. Ein gitt interaksjon vil skje med eit sannsyn proporsjonal med tverrsnittet, også kalt *verknadstverrsnittet*. Til dømes vil fotoelektrisk effekt dominere for foton med låg energi (opptil 50 keV), medan Compton-spreiing dominera når fotonenergien er frå 100 keV til 5 MeV. Evna eit atom eller molekyl har til å absorbere eller spreie røntgenstrålen er avhengig av tettleiken til stoffet og energien til fotonet. Innanfor røntgen kan ein rekne ut sannsynet for at ein røntgenstråle vert dempa eller absorbert når det er på veg gjennom eit metall. Verdiane av *massedempingsfaktoren* (*mass attenuation coefficient*) er avhengig om strålen absorberer eller spreier seg, samt energien til fotonet. Basert på teoretiske verdiar kan formelen for massedempingsfaktoren skrivast som:

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\sigma_{tot}}{uA} \quad (5)$$

Venstresida av likninga er masse dempingsfaktoren, medan høgresida av likninga består av det totale tverrsnitt for ei vekselverknad for fotonet  $\sigma_{tot}$ ,  $u$  er eininga for atommassen ( $1.66 \cdot 10^{-24}$  g) og  $A$  er den relative atommassen. Figur 4 viser at det er større sannsyn for fotoelektrisk effekt når fotonet har låg energi, medan ein plass mellom 50 og 100 keV til 5 MeV dominerar sannsynet for Compton-spreiing.

### 3.4 Tilbakespreiing, litt om den praktiske bruken av røntgenstråling og kor farleg er eigentleg røntgenstråling?

Vanlegvis vil ei røntgenmaskin gi oss eit røft bilete av kroppen sin tettleik. Når energi eller partiklar vert reflektert tilbake mot kjelda etter det har kome i kontakt med ein gjenstand, vert dette kalla *tilbakespreiing*. Innan røntgen er tilbakespreiing eit tilfelle av Compton-spreiing.



**Figur 4** Masse dempingsfaktoren for blautt vev. (The Scientific Sentence, 2010)

Ei avansert røntgenmaskin sender ut foton med energi som skal til for å få tilbakespreiing og produserer dermed eit bilete av din organiske kropp, men også ikkje organisk materiale, som ein kniv eller eit beltespenn, er med på bilete. Ein brukar store detektorar til å fange røntgenstrålinga si tilbakespreiinga og lagar røntgenbilete i løpet av få sekund. I vanlege røntgenmaskiner er sannsynet å få tilbakespreiing svært liten, og der brukar ein ikkje store detektorar på begge sidene av kroppen. Tilbakespreiing vert blant anna brukt på flyplassar når ein skal gå gjennom sikkerheitskontrollen. I den nyaste teknologien innanfor sikkerheit brukar ein tilbakespreiingsskannerar til å sjå om dei har på seg våpen, ved å lage ei detaljert oversikt og samanlikne denne med eit ekstremt detaljert røntgenbilete. Ein kan då oppdage material som plastisk sprengstoff, ulovlege rusmiddel og våpen laga av keramikk. Noko ein ikkje kunne ha oppdaga ved bruk av metalldetektorar eller eldre røntgenmaskiner.

Tidligare i dette kapittelet var vi inne på at røntgenstråling vert brukt innan medisin blant, anna i røntgenfotografi og CT-skanning (computertomografi). Røntgenfotografi tar røntgenbilete til dømes for å sjekke om ein har hol i tenna eller om ein har eit knekt ribbein. Kroppsvev med stor tettleik (bein) absorberer røntgenstråling betre enn vev med låg tettleik

(musklar og blaute vev). Flesteparten av røntgenstrålane går gjennom det blaute vevet og skjermbilete vert mørkt der røntgenstrålinga treff. Bein i menneskekroppen svertar ikkje røntgenbilete like mykje som blautt vev, fordi langt fleire av røntgenstrålane vert absorbert av beinet. I røntgenundersøking av mage og tarm nyttar ein eit kontrastmiddel, til dømes barium. I CT-skanning derimot vert røntgenstråling brukt til å lage eit bilete av eit snitt gjennom kroppen. Ein brukar då eit roterande røntgenrør til å ta bilete i frå forskjellige vinklar, og sjølv om røntgenstrålane stoppar i beinvevet vil denne metoden gjere at ein likevel klarer å danne eit snittbilete av det som ligg gjømt bak beinvevet.

På grunn av den høge energien røntgenstråling innehar vert den brukt til strålebehandling av kreftceller. Arvematerialet til kreftcellene vert dermed påverka og cellene vil på den måten døy eller slutte å dele seg. Røntgenstrålen kan også skade friskt vev og ein må gi ein stråledose som rammar kun kreftcellene, men ikkje det friske vevet. Ein må bruke røntgenstråling frå mange forskjellige posisjonar, og samle all stråling i kreftcellepunktet, noko som er utfordrande. Ved å bruke denne behandlinga fleire gangar kan pasienten bli lækja eller ein kan avgrense spreinga av kreften, samt at dei normale cellene får tid til å reparere seg sjølv. Ein stor fordel er at dei normale cellene er meir robuste og har ei større evne til å reparere seg sjølv enn kreftcellene.

Ein brukar *Sievert*, med forkortinga Sv, som mål på den biologiske effekten av ein ioniserande stråle. Eininga for Sv er J/kg og ein målar ut Sivert ved å multiplisere *Gray* (Gy, den absorberte strålingdosen med eining J/kg) med to faktorar avhengig av kva type stråling det er og kva organ som strålen eksponerer. I Noreg har vi dosegrenser for kor mykje stråling ein kan bli bestrålt av i løpet av eit år. Grensa varierer med tanke på om ein er yrkeseksponert arbeidstakar (fast vitskapeleg tilsett, ingeniørar og stipendiat) eller om ein ikkje er ein yrkeseksponert innan medisin eller forskning. Yrkeseksponerte arbeidstakarar skal ikkje utsettast for meir enn 1 mSv/år utanfor kontrollert eller overvåka område, medan arbeidstakarar som ikkje er yrkeseksponerte skal ikkje utsettast for meir enn 0,25 mSv/år. Til dømes har røntgenstråling ein *strålingsvektfaktor*  $W_R$  på 1 ( $\alpha$ -partikkel har 20). Strålingsvektfaktor er eit mål på kor sterk den biologiske stråleverknaden er. Hender har ein *vektfaktor*  $W_T$  på 0,01 (magesekken har 0,12). Vert ein bestrålt med ei dose på 500 mSv i løpet av året kan dette enkelt reknast ut:  $500 \text{ mSv} \cdot 1 \cdot 0,01 = 5 \text{ mSv}$ . Dersom heile kroppen vert bestrålt av 150 mSv i løpet av eit år er menn mellombels sterile. 500 mSv gjev signifikant endring i blodet, svikt i beinmargen ved 2 Sv og dødsrisiko på 50% ved 3-5 Sv. For å samanlikne dette gir ei CT-skanning vanlegvis ein stråledose frå på ca. 10 mSv. U.S.

Food and Drug Administration (FDA) har estimert at eit inntak på 10 mSv auka risikoen for kreft med omlag 1 per 2000. Dette kan verke mykje, men på den andre sida så estimerte også FDA at totalt 1 av 5 amerikanarar vil døy av kreft i løpet av livet.



## 4 Didaktisk perspektiv

Didaktikk kjem frå det dei greske ordet *didaskein*, ein kan omsetje det til “undervisingskunst”. Myrhe (2001) brukar omgrepet didaktikk om undervisingsteori og undervisingsteoretisk refleksjon. I skulen har ein ulike didaktiske teoriar for å fremje elevane sin kunnskap i kvart fag, dette kan vere til dømes i matematikk, engelsk og fysikk. I Angell et al. (2011, s. 19) står det: “*Fysikkdidaktikk dreier seg om undervisning og formidling av faget, og dermed om hva som er fagets egenart*”.

Det vil i dette kapittelet gått inn på korleis ein skal formidle fysikkfaget, ved å først framstille tidligare forskning på elevar sitt møte med fysikk, kvantefysikk og røntgenstråling. Vidare vert det ein gjennomgang av korleis ein kan representere fysikk for å oppnå viten, og avslutningsvis vert det sett på representasjonsformer og læring i ei multimediasetjing, sidan dette er relevant for det empiriske arbeidet i oppgåva.

Kvantemekanikk og røntgenstråling er to sentrale omgrep i kunnskapslyftet sin læreplan i Fysikk 2. I følge Lie, Angell og Rohatgi (2010) har den noverande læreplanen LK06 meir fokus på matematisk modellering, teknologisk bruk og moderne fysikk. Kunnskapslyftet har to sentrale prinsipp innan røntgenstråling i Fysikk 2: det eine i “Moderne fysikk” og det andre i “Fysikk og teknologi” (presentert i innleiinga).

### 4.1 Elevar si erfaring, førestilling og utfordringar i generell fysikk og kvantefysikk

Moderne fysikk er relativt ny fysikk, og det er berre litt over hundre år sidan nokon av dei fremste fysikarane oppdaga, til dømes fotoelektrisk effekt og Compton-spreiing. På den tida var det vanskeleg sjølv for annerkjente fysikarar å akseptere desse nye teoriane. Det er kanskje dette som gjer det både spennande og interessant for elevar å lære om moderne fysikk (sjå t.d. Angell, Guttersrud, Henriksen & Isnes 2004), nettopp fordi det vert stadig oppdaga nye fenomen og ein forska fram ny teknologi eleven sjølv brukar i dagleglivet. På den andre sida er fysikk eit krevjande fag på vidaregåande skule (Angell et al. 2011). Noko som gjer fysikk krevjande i følge Angell et al. (2011) er at ein brukar matematikk og abstrakte omgrep for å skildre modellar av den fysiske verda. Dette gjerast ved å generalisere naturen og sette det i eit system, og dermed fjerna vi oss frå dei konkrete fenomena. På den måten kan vi skildre og føreseie ulike hendingar i liknande situasjonar kor dette fenomenet oppstår, ved å bruke omgrep og samanhengar ein ikkje kan observere direkte. Fysikk vert

vanskeleg fordi ein heile tida prøvar å generalisere kunnskapen og må skifte mellom representasjonsformer kor fleire er abstrakte. Dette fører til at ein aukar avstanden mellom kunnskapen som er etablert i fysikken og det som vi kan observere i kvardagen. Elevane må bruke generaliserte modellar og nye omgrep til å forklare eit konkret fenomen, noko som er krevjande og vanskeleg (ibid.).

Når eleven starta å lære fysikk på vidaregåande skule har dei gjennom fleire år opparbeida seg erfaringar og relativt fornuftige betraktningar om korleis den fysiske verda fungerer (Angell et al. 2011). Dette kan ofte vere logiske måtar å tenke på, fornuftig sett frå eleven si side og betraktningane kan bli delt av mange. Desse førestillingane om korleis den fysiske verda fungerer kan ofte skape utfordringar når ein skal lære idear som bryt med desse innarbeidde førestillingane. Det er derfor viktig å kartleggje, få ei oversikt og ta utgangspunkt i dei mest vanlege førestillingane elevane sitt med når læraren skal undervise i fysikk.

Det er forska mykje på elevar si førestilling innan klassisk fysikk, men betrakteleg mindre i moderne fysikk (sjå t.d. Henriksen 2014; Çaliskan, Selçuk & Erol 2009). Dette er naturleg sidan det ikkje har vore så stort fokus på den moderne fysikken i skulen tidligare. Ayene, Kriek og Dantie (2011) er nokon av dei som har forska på dette med studentar, og dei fant ut at studentane ofte føretrekkjer eit klassisk bilete av tolkingar innan kvantemekanikk. I kvantefysikk er det fleire forskarar (i følgje Angell et al. 2011) som peikar på bruk av klassiske modellar i introduksjonen til kvantefysikk er hovudårsaka til at elevane ikkje brukar riktige omgrep til å skildre kvantefysikk. Hadzidaki (2008) meiner det å bruke klassiske analogiar og semi-klassiske modellar er ei av årsakene til at elevane ikkje får moglegheita til forstå den store skilnaden mellom klassisk fysikk og kvantefysikk. Det er også utfordrande å lære seg kvantefysikk fordi det er umogeleg å erfare direkte i frå naturen. Derfor er det i følgje Singh (2008) gunstig å lære seg kvantefysikk ved hjelp av animasjonar og interaktive simuleringar på ei datamaskin, dette hjelper eleven å byggje ein link mellom dei matematiske formlane og ideane bak kvantefysikk. Fleire studentar som vart introdusert til kvantefysikk tenkte på amplituda til lyset som ei romeleg mengd (Steinberg, Wittmann, Bao & Redish 1999). Det viste seg at blant studentane tenkte fleire at fotona bevege seg parallelt langs bølgeretninga når dei lærte om foton som ein partikkel. Andre studentar i den same studien skildra at fotonet bevege seg opp og ned som ei bølgerørsle, Olsen (2002) fant det same resultatet på norske elevar. Noko av grunnen til desse misoppfatningane kan vere at lærebøkene og den tradisjonelle undervisinga ikkje klarer å formidle ei god og hensiktsmessig forståing av kvantefysikken sine omgrep.

Det er forska ein god del på forståing av ioniserande stråling blant elevar og medisinstudentar (sjå t.d. Millar & Singh, 1996; Prather & Harrington, 2001; Mubeen, Abbas & Nisar, 2008; Sesen & Ince, 2010; Colclough, Lock & Soares, 2011). Desse studia har utgangspunkt i enten studentane sin kunnskap og forståing om helserisikoen av ioniserande stråling eller elevar si forståing og holdning av prosessar som involverer radioaktivt stoff og ioniserande stråling. Mubeen et al. (2008) fant desse resultatane i sin studie: 40% av medisinstudentane meinte at objekta i røntgenrommet ville sende ut røntgenstråling etter ei undersøking med røntgenstråling (Kaszmarek, Bednarek & Wong, 1987 og Prather & Harrington, 2001 fant også dette resultatet); 18% hadde ei formeining om at magnetresonanstomografi (MR) sender ut ioniserande stråling; og 28% av studentane meinte radiologar hadde kortare levetid enn andre spesialistar innan medisin. I småskalastudien til Millar og Singh (1996) på 16 år gamle elevar var det mange som var forvirra av omgrepa til dei sentrale ideane om radioaktivt stoff, stråling, radioaktiv forureining og bestråling. Det burde ha vore meir diskusjon på korleis ein stråle vart absorbert i undervisinga, meinte Millar og Singh (1996). Neumann og Hopf (2012), som såg på 9. klasse elevar si oppfatning av stråling, fann at elevane såg på stråling som kunstig og skadeleg. Berre nokon få hadde ei nøytral oppfatning av dette omgrepet. I tillegg var elevane si førestilling av dette temaet i stor grad påverka av assosiasjonane elevane hadde frå media.

Forsking på elevar sine førestillingar, oppfatningar og utfordringar spesifikt om røntgenstråling er det lite av. Røntgenstråling går som regel inn under ioniserande stråling. Studia ser på korleis elevar og studentar ser røntgenstråling i samanheng med radioaktive stoff eller helserisikoen av ioniserande stråling. Dette er naturleg i og med det er stort fokus på dette i media, og mange har ei oppfatning av kor farleg ioniserande stråling er. I Sesen og Ince (2010) si undersøking om internett som ei kjelde for misoppfatningar av stråling og radioaktivitet analyserte tre ekspertar 200 internettsider. På 80 av desse sidene fant dei setningar som:

*Ionising radiation is not natural and it is always harmful. There is many sources of ionising radiation sources. The mobile phone, radio, television, electronic devices, X-ray for medical applications are the most commonly encountered.*

Desse setningane er vitenskaplege feil, fordi ioniserande stråling kan vere nøytrale slik som ultrafiolett, gammastråling og røntgenstråling. På grunn av energien kan desse strålane vere skadelige, men det betyr ikkje at dei alltid er skadelege. Elektroniske apparat som

mobiltelefon, radio og fjernsyn produsera ikkje-ioniserande stråling. Ei røntgenmaskin sender ut ioniserande stråling, men her må ein huske på at effekten er avhengig av stråledosen, og det er klare forskrifter om strålevern og bruk av apparat som kan sende ut ioniserande stråling.

## 4.2 Generelle utfordringar i Fysikk 2

Ei spørjeundersøking vart gjort av Utdanningsdirektoratet (2014) for å få eit kunnskapsgrunnlag om dei naturvitskapelege faga i grunnopplæringa. I undersøkinga svarte over 60% av dei 117 Fysikk 2-lærarane at dei var “svært einig” eller “noko einig” til følgjande påstandar:

- omfanget av læreplanen er for stort
- liten moglegheit til å gå i djupna
- eksamen styrer innhaldet i staden for læreplanen
- for mange elevar sluttar etter Fysikk 1
- eksamen styrer kva arbeidsform som brukast i faget
- eksamen styrer kva vurderingsformer som brukast i faget

Noko av grunnane til dette kan vere at kompetansemåla er upresist angitt, og representerer fagstoff som i lita grad kan knyttast til andre emne eller gje elevane ei djupare forståing (ibid.). Mykje av fysikken innan desse emna er svært avansert, og det er uklart kva nivå det skal gjerast på. I tillegg vert blant anna medisinsk fysikk ikkje følgt opp i noko anna fag på vidaregåande, og vert dermed ståande for seg sjølv. Fysikk 2 er eit avansert emne som byggjer på Fysikk 1. Det bør derfor i følgje Udir (2014) vere eit meir tydeleg fokus på ei djupare læring i faget, men dette fokuset er svekka sidan læreplanen inneheld så mange enkeltstående emne. Lærarane i undersøkinga synast det er utfordrande at mange av elevane sluttar etter Fysikk 1. Grunnen til dette kan vere at det ikkje er noko krav om Fysikk 2 til høgare utdanning og elevane gjer eit strategisk val ved å la vere å ta faget, fordi dei har eit inntrykk av at det er vanskeleg å få ein god karakter. I spørjeundersøkinga kom det fram at rundt 60% av lærarane hoppa over kompetansemål, og hovudgrunnen til dette var tidsnød og dei fant stoffet lite eksamensrelevant.

### 4.3 Representasjonsformer i fysikk

I undervising vert omgrepet representasjonsform brukt ulikt, til dømes i matematikk og fysikk. Dolin (2001) beskriv representasjonsform i fysikk som “*forskellige former for organisering eller opnåelse af viden og forståelse [...]*” (s. 104). Representasjonsform vert brukt som eit omgrep som beskriv dei forskjellige formene for kunnskap som kan bli oppnådd om eit og same fenomen, slik som til dømes matematiske eller omgrepsmessig kunnskap. Representasjonsformer vert i denne oppgåve referert til dei forskjellige formene informasjon kan ha. Informasjon vert representert på forskjellige måtar, ved bruk av tekst, visualisering, fysiske modellar, lyd og interaktivt. I framstillinga av representasjonsformer opererer Roth (gjengitt av Dolin, 2001, s. 106-107) med fem hovudkategoriar:

- *Fenomenologisk representasjon er ei oppleving eller skildring av fenomenet slik det umiddelbart opptrer. Det er kva vi observerer direkte, men det kan også vere ein fysikar si oppfatning av fenomenet.*
- *Eksperimentell representasjon er korleis fenomenet opptrer eksperimentelt ved bruk av måleinstrument og anna utstyr. Det eksperimentelle oppsette sine avgrensingar og moglegheiter inngår her.*
- *Grafisk representasjon består typisk av tabellar, grafar, figurar og avbendingar i både konkret og abstrakt form.*
- *Matematisk-symbolsk representasjonsformer skildra fenomenet ved bruk av matematiske symbol og likningar.*
- *Omgrepsmessig representasjon er korleis fenomenet kan uttrykkast gjennom klart definerte omgrep og relaterast til meir generelle samanhengar.*

I fysikk er det viktig å kunne beherske alle desse representasjonsformene, og kunne å oversette mellom dei. Til dømes er det viktig å kunne uttrykke fenomenet ved matematisk-symbolsk form når ein når ein har ei omgrepsmessig skildring av fenomenet.

### 4.4 Representasjonsformer og læring i ei multimediasetjing

I Fysikk prøvar ein å skildre røyndommen ved hjelp av dei ulike representasjonsformene. Dersom ein kastar ein ball opp og fram, kan ein med fysikk skildre rørsleballen si bane ved å bruke dei fem representasjonsformene ovanfor. Fysikk består altså i å bruke fleire representasjonsformer til å forklare eit fenomen, i kontrast til meir litterære fag, der formidlinga forgår mest gjennom eit tekstleg format.

Omgrepet modalitet brukast om kva sansar vi nyttar når vi tar inn stimuleringar frå omverda. Mellingsæter (2009, s. 17) skildra *multimodal undervising* som: “Når flere representasjonsformer blir benyttet for å kommunisere et budskap kan man si at undervisningen er multimodal”. På ei nettbaserte undervisningsressursar som viten.no er det stort potensial å utnytte seg av multimodalitet, fordi ein kan bruke kombinasjonar av tekst, bilete, symbol, lyd og animasjonar. Til dømes kan eleven sjå på animasjonar av ein prosess i endring samtidig som ein forteljar skildrar prosessen.

#### 4.4.1 Visuell persepsjon og kognitiv omarbeiding av informasjon

Multimedia skapar nye moglegheitlar for læring, og ofte brukar ein teoriar om læring for å utvikle multimodale undervisningsressursane. Det finst ulike teoriar om læring, der alle teoriane går ut i frå at mennesket kan skaffe seg kunnskap. Det som skil dei ulike teoriane frå kvarandre er korleis ein får kunnskap, kor kunnskapen kjem frå og forståinga av kva kunnskap er (Helland, Lillejord, Manger & Nordahl, 2013). Gibson hevder at synet er ein av sansane som heile tida prøvar å prosessere informasjonen som er i omgjevnadane rundt oss (i følge Plass et al., 2009). I hjernen kan denne informasjonen ta to ruter etter signalet er gjort om til elektrisk impulsar. Den eine ruta fører til kognitiv behandling av den visuelle stimuleringa, medan den andre ruta gir emosjonelle og åtferdsmessige responsar i ein førehandskognitiv prosess (LeDoux 2003).

Teorien om *kognitiv utvikling* var det franskmannen Jean Piaget som kom med på 1900-talet. Piaget sin teori om kognitiv utvikling er ei forventning om at menneske prøvar å få meining og aktiv skape kunnskap gjennom erfaring med objekt, menneske og tankar (sjå t.d. Imsen, 2008). I følge Piaget har læring to sider. Den eine sida er læring å lagre kunnskap frå ytre påverknadar, og den andre sida er læring (det Piaget kallar utvikling) noko som krev forståing (ibid.). Designprinsippa seinare i kapittelet baserer seg på blant anna kognitiv utvikling ved å bygge kunnskap i *arbeidsminne* ved å delta i passande kognitive behandling av mentale representasjonar under læring. Arbeidsminne er der vi bevist behandlar informasjonen frå ein kognitive konstruksjonen, og er kjent for sin store kapasitet og er tidsavgrensa når ein arbeidar med ny informasjon.

Ein teori på korleis ein får kunnskap, *Information Delivery Theory of Multimedia Learning* (sjå t.d. Mayer & Moreno, 2002), er at ein berre legg informasjonen til minnet. Til dømes kan ei datamaskin gjennom multimediaundervising levere informasjon til minnet til eleven som held på å lære. Designaren si rolle av dataprogrammet eller nettsida si rolle vert

då å presentere informasjonen, medan eleven skal ta til seg informasjonen. I følge denne teorien lærer ein ikkje meir av å representere informasjonen på fleire måtar, så lenge det inneheld den same informasjonen. Derimot kan ulike elevar føretrekke grafiske representasjonar framfor omgrepsmessige representasjonar. Ved å bruke omgrepsmessige og grafiske representasjonar kan ein få ei meir effektiv levering av informasjon til fleire ulike elevar, og dei kan velje kva levering av informasjon dei føretrekker. I følge denne leveringa av informasjon i multimedia læring skal representasjonane ved bruk av multimedia gje betre læring enn bruk av dei einskilte representasjonane.

Ein annan teori på korleis ein skaffar seg kunnskap, *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (sjå t.d. Mayer & Moreno 2002), er tanken at meningsfylt læring skjer når elevenane mentalt konstruerer kunnskap ved ein logisk representasjon. Den kognitive teorien av multimedia læring er basert på tre føresetnader innan kognitive forskning. Den første er *dobbeltkanal* ideen, der menneskjer har to separate kanalar: ein kanal for behandling av visuelle representasjonar og ein for behandling av *auditive* representasjonar (ibid.). I den andre, *avgrensa kapasitet*, er ideen at berre noko av informasjonen kan aktivt omarbeidast til ei kvar tid i kvar kanal (ibid.). Dette er lik John Sweller sin notasjon *Cognitive load*, og er basert på Miller (1956) sin teori: *Information Processing Theory*. I den siste, *aktiv omarbeiding*, er ideen at meningsfull læring skjer når eleven engasjerer seg i kognitive prosessar slik som i ein diskusjon med medelevar eller vere interaktiv på datamaskina. Ein integrerer då den nye kunnskapen med den eksisterande (Mayer & Moreno, 2002). Tre kognitive prosessar er nødvendig for aktiv læring (Mayer, 2005). Desse tre er: *velje* relevant materiale i den presenterte undervisinga for overføring av til arbeidsminne; mentalt *organisere* informasjonen i arbeidsminne til ein samanhengande kognitiv struktur; og kople kognitive strukturar med kvarandre, og relevante forkunnskapar aktiverast i langtidsminne (*integrere*). Det er i langtidsminne eit mennesket lagrar den kognitive strukturen i kunnskapsbasen sin. Mennesket er berre bevisst av det innhaldet i langtidsminne som er overført til arbeidsminne.

#### 4.4.2 Designprinsipp for multimediaundervising

Bruk av multimedia i undervising er anerkjend for ha eit holde stort potensial for å forbetre måten ein lærer på (sjå t.d. Mayer, 2005). Ein av dei som har forska mykje på dette feltet er Richard E. Mayer. Saman med kollegaer har Mayer gjennom snart to tiår studert faktorar som påverkar læring ved bruk av ulike representasjonsformer i ei multimediasetjing. Dei har kome

fram til forskjellige designprinsipp for utarbeiding av multimediamaterialet, der målet er å gi størst mogleg potensial for at elevane skal lære mest mogeleg frå ei multimediaundervising (sjå t.d. Mayer & Moreno 2003; Mayer 2005). Prinsippa er laga i utgangspunkt i teoriane nemnt ovanfor, blant anna Piaget sin teori om kognitive utvikling.

Basert på Mayer (2005) , kombinert med Plass, Homer og Hayward (2009), sine prinsipp er det laga ein tabell. Prinsippa til Plass et al. (2009) er basert på ein litteraturstudie ut frå fleire tidligare studiar som visar at elevane lærer betre eller meir på som har vore testa. Prinsippa i Tabell 1 vert brukt som verktøy for diskusjon av empiriske resultat i oppgåva.

**Tabell 1** 18 prinsipp om multimedialæring basert på Mayer (2005), Plass et al. (2009, markert med ei stjerne)..

Namn på prinsippa	Kva prinsippet dreiar seg om
Multimediaprinsippet ( <i>Multimedia Principle</i> )	Elevar lærer meir frå ord og grafisk representasjon saman enn frå ord åleine.
Overflødigheitsprinsippet ( <i>Redundancy Principle</i> )	Elevar lærer meir frå grafisk representasjon og verbal forklaring enn frå grafisk representasjon, forteljar og tekst på skjermen.
Personleggjeringsprinsippet ( <i>Personilization principle</i> )	Elevar lærer meir ved bruk av ein samtale enn om ein har ei meir formell stil i kommuniseringa.
Delt-oppmerksemd prinsippet ( <i>Split-attention principle</i> )	Læringa vert hindra dersom eleven må dele oppmerksemda mellom fleire kjelder, der kvar informasjonskjelde er vesentleg for å forstå innhaldet.
Det romlege sambandsprinsippet ( <i>Spatial Contiguity Principle</i> )	Elevar lærer meir når tilsvarande ord og bilete vert presentert nær kvarandre i staden for langt i frå.
Det tidsmessige sambandsprinsippet ( <i>Temporal Contiguity Principle</i> )	Elevar lærer meir når tilsvarande forteljing og grafisk representasjon vert presentert samtidig i staden for påfølgjande.
Framhevingsprinsippet ( <i>Cueing principle</i> )	Elevar legg betre merke til det som er mest visuelt framståande i ein animasjon, om eleven ikkje interaktivt kan gjere noko med animasjonen.
Representasjonsform av informasjon prinsippet ( <i>Representation type of information</i> )*	Elevar lærer betre når nøkkelinformasjon er representert ved ei ikonisk (biletleg) form enn kun ved å bruke symbolsk (tekstleg) form.



Fargekodingsprinsippet ( <i>Color coding principle</i> )*	Elevar lærer betre når undervisningsmaterialet brukar fargar for å markere viktige funksjonar og eigenskapar i ein grafisk representasjon.
Segmentprinsippet ( <i>Segmenting Principle</i> )	Elevar lærer meir når ein multimedialeksjon er presentert i segment, der brukaren vel tempo i staden for ei kontinuerleg eining.
Leiande-oppdaging prinsippet ( <i>Guided-discovery principle</i> )	Elevar lærer betre når ein brukar leiande oppdaging enn om eleven skal oppdage alt sjølv.
Elevkontrollert gjennomgang prinsippet ( <i>Learner control of pacing principle</i> )*	Elevar lærer meir når dei kontrollerer funksjonar i gjennomgangen av informasjonen.
Oppgåve eigna prinsippet ( <i>Task appropriateness principle</i> )*	Effekten av simuleringa er avhengig av i kor stor grad det er i tråd med læremåla.
Endre innhaldet prinsippet ( <i>Manipulation of content</i> )*	Elevane lærer meir når dei kan endre på innhaldet i ei dynamisk visualisering enn om dei ikkje kan det.
Organiseringprinsippet ( <i>Signaling Principle</i> )	Elevar lærer betre når materialet er organisert med klare konturar og overskrifter.
Modalitetprinsippet ( <i>Modality Principle</i> )	Elevar lærer meir frå grafiske representasjonar og forteljing enn frå grafiske representasjonar og tekst på skjermen.
Samsvarsprinsippet ( <i>Coherence Principle</i> )	Elevar lærer betre når ein ser vekk frå overflødig material.
Førehandsopplæring-prinsippet ( <i>Pre-training Principle</i> )	Elevar lærer betre frå ein multimedialeksjon når dei veit namna og eigenskapane på dei viktigaste konseptane.

#### 4.4.3 Kritikk av designprinsippa for multimediaundervising

Alle designprinsippa er basert på empirisk forskning, der alle har vist at eleven enten lærer meir eller lærer betre. Det er likevel svakheitane ved nokon av desse prinsippa. Svakheitane kan dreie seg om at prinsippet gjelder berre for dei med høg kognitiv forståing eller det er forska lite på prinsippet.

Lowe (2004) i sin studie, om dynamisk visualisering gjennom læring, gav han tolv elevar fleire animerte vêrkart og ba dei om å finne eigenskapane til karta og endringane. Lowe fant at elevane hadde avgrensa leitestrategi med fokus på lågnivå utforsking på berre enkelt aspekt i animasjonen. Det tyda på at den kognitive belastninga var for høg for elevane (Lowe, 2004).

Dette kan avgrense prinsippet Endre innhaldet, og ein mogleg måte å unngå dette på er å gje elevane støtte ved å bruke prinsippet Leiande-oppdaging.

Mange av studia på Det romlege sambandsprinsippet har innebore små utval, og lengda på behandlingstida har vore kort (Moreno & Mayer, 1999). Utvalet har vore på elevar med låg erfaring, og tidligare studiar har vist at elevar med høg erfaring drar mindre nytte av å ha fleire kognitive ressursar tilgjengeleg (ibid.).

På bakgrunn av tidligare forskning har studentar med høg kunnskap mindre sannsyn for å dra nytte av effekten til Modalitetprinsippet (Mayer, 1997). Modalitetprinsippet vil heller ikkje gjelde om teksten er lang og komplisert, har tekniske omgrep eller symbol, det ikkje er på eleven sitt morsmål, samt om materialet er presentert i eit langsamt tempo eller at det er kjent for eleven (Clark & Mayer, 2011). I tillegg vil læringa bli redusert om forteljarstemma og animasjonen ikkje er synkronisert (Foshay & Silber, 2009).

Det er også nødvendig med meir forskning på Overflødigheitsprinsippet, slik at ein kan avgjere når dette prinsippet held (Clark & Mayer 2011). Det varierer også med kor mykje kunnskap eleven sitt inne med på det aktuelle temaet. For nokon kan til dømes eit diagram med tekst vere nyttig informasjon for dei med liten kunnskap, medan det på same tid det verke overflødig for elevar med meir kunnskap (Sorden, 2005).

Mayer og Jackson (2005) fant ut at å leggje til detaljar om berekningar svekker læringsprosessen til elevar med liten kunnskap, medan elevar med høg kunnskap kan ha nytte av desse tilleggsmateriala. Samsvarsprinsippet er godt egna for elevar med lav evne til å lære, men for elevar med høg kunnskap er det meir diskutabelt. Kalyuga (2005) nemner at prinsipp om korleis ein skal designe ei multimediaundervising som er effektivt for novisar ikkje treng å vere effektivt for elevar med meir kunnskap.

I følgje Ngyun (2013) viser ingen studiar på Personleggjeringsprinsippet om kva som fremjar læring. På grunn av mangfaldet treng ein altså forskning på bestemte typar elevar som til dømes kjønn og kunnskapsnivået. Det er også nødvendig å vurdere kjønnet til forteljarstemma. Vidare er ytterligare arbeid nødvendig for å bestemme langtidseffekten ved bruk av denne forteljarstilen, i tilfelle elevane brukar meir tid på emnet (Clark & Mayer 2011).

I Førehandsopplæringprinsippet er Clark og Mayer (2003, referet i Northern State University, 2016) usikre på korleis ein best kan identifisere dei mest sentrale omgrepa som ein bør utvikle før ein går igang med ein multimedialeksjon og kor intensiv denne opplæringa treng å vere.

## 4.5 Røntgenmodulen i ReleKvant

*Røntgenmodulen* er eit omgrep som skildra den eine modulen og omfattar alle sidene i Røntgenstråling i modulane for kvantefysikk (bilete oppe til høgre på Figur 5). Fire sider frå modulen *Røntgenstråling* og ei side frå modulen *Lys som partikler* er lagt mest vekt på denne i oppgåve (sjå Metode kapittelet for grunngjeving). Sidene er forstørre i Vedlegg 1. Målet med sidene er å presentere teori ved bruk av ein multimodal undervisningsressurs. Sidene er følgjande:

**Compton-spredning** - Eleven skal lese den tekstlege forklaringa. Starte animasjonen, samt fleire gangar lese ein tekst som kjem opp i animasjonen og starte animasjonen igjen. Til slutt kjem det spørsmål om kva ein såg i animasjonen og korleis Compton-spreiing bryt med klassisk fysikk, som ein skal diskutere med ein medelev eller i plenum. Eleven kan enkelt manøvrere seg fram og tilbake i dei ulike sekvensane i animasjonen.

**Røntgenbilder - tre møter** - Eleven skal ut frå å sjå på animasjonen og lese teksten kvalitativt lære seg korleis prosessen for å lage eit røntgenbilete.

**Snakk om røntgenbilder** - Her skal eleven lese teksten og diskutere med ein medelev, og deretter i plenum om korleis teikninga gjev eit feilaktig bilete om korleis ein lagar røntgenbilete.

**Fysiske prinsippet i møtet mellom røntgenfotoner og kroppen** - Eleven skal ved å lese den tekstlege forklaringa og sjå på bileta lære seg kva som skjer i prosessane fotoelektrisk effekt og Compton-spreiing. Eleven har også høve til å samanlikne fotoelektrisk effekt og Compton-spreiing når dei står ved sidan av kvarandre.

Kvantefysikk (vår 2016)

Røntgenstråling

Denne delen er laget som en prototype for nettbrett.

START

Behov for en ny fysikk  
Lys som partikler  
Røntgenstråling  
Partikler som bølger  
Kvantefysikk og filosofi

### Compton-spredning

Da vi beskrev fotoelektrisk effekt ved å bruke fotonmodellen, antok vi at fotonene ga fra seg hele energien til det elektronet som ble løsrevet fra atomet sitt og at total energi var bevart. **Compton-spredning** kan vi også beskrive med fotonmodellen, men her skjer det noe litt annet.

Animasjonen viser en modell for Compton-spredning når røntgenstråling (røntgenfotoner) treffer grafit. I grafit er noen av elektronene løst bundet til karbonatomene.

▶ III

### Røntgenbilder – tre møter

Prosessens som lager et røntgenbilde består av tre møter mellom partikler, stråling og stoff.

1. Raske elektroner møter metall, og det dannes røntgenfotoner
2. Røntgenfotoner møter kroppen, og noen av dem blir absorbert av stoffer med høyt atomnummer (og dermed mange elektroner), som det særlig finnes mye av i skjelettet
3. Røntgenfotonene som ikke ble absorbert, møter en detektor.

Røntgenbildet får derfor lyse områder der røntgenfotonene ble absorbert av tunge kjerner, og mørke områder der strålingen gikk rett igjennom. Slik kan vi se bein som lyse partier på røntgenbilder, fordi de består av relativt tunge atomkjerner.

### Snakk om røntgenbilder

Dette er en vitsetegning fra Life Magazine fra 1896, da røntgenstrålingen var nyoppdaget og både litt spennende og litt skremmende.

Diskuter med en annen elev, og deretter med resten av klassen: Hvordan kan denne tegningen gi et feilaktig bilde av hvordan man lager røntgenbilder?

### Fysiske prinsipper i møtet mellom røntgenfotoner og kroppen

**Fotoelektrisk effekt**  
Et røntgenfoton trenger inn i kroppen. Et elektron som er tett bundet til atomkjernen, får tilført all fotonenergien, og rives løs fra atomet. Atomet blir ionisert, og fotonet blir borte.

**Compton-spredning**  
Et røntgenfoton trenger inn i kroppen. Et elektron som er løst bundet til atomkjernen, får tilført noe av fotonenergien, og rives løs fra atomet. Atomet blir ionisert. Resten av fotonenergien sendes ut som et foton med lavere energi.

### Hvilken geometrisk figur skjuler seg i midten?

Et røntgenbilde gir et skyggebilde av det indre av kroppen. Hvordan vi ser skyggene, avhenger av retningen til strålingen. Dette gjør at vi kan gå glipp av viktig informasjon. Vi får vite mer om den tredimensjonale formen til strukturer inne i kroppen hvis vi lager skyggebilder fra flere retninger.

Dra riktig figur til spørsmålstegnet!

Lyskastere

Skyggebilde 1

Skyggebilde 2

Svar

Nullstill

Figur 5 Sider frå den nettbasert læringsressursen (tilgjengeleg via: [www.viten.no/relevant4](http://www.viten.no/relevant4))

## 5 Metode

I oppgåva er det brukt ein kvantitativ metode for å undersøkje kva forståing og utfordringar Fysikk 2-elevar har innan røntgenstråling. I tillegg er det ein kvalitativ studie av Fysikk 2-elevar og 1. års studentar i realfag om kva dei meiner om ReleKvant-modulen. Studentane er med i denne oppgåva fordi det er nyttig å sjå på kva dei tenkjer om nettstaden og animasjonane når dei er nettopp ferdig med Fysikk 2 og har kome eit steg lenger i utdanninga. Det kan også interessert å sjå på forskjellar og likskapar mellom det elevane og studentane har å seie om Røntgenmodulen.

Det vert i følgjande kapittel sett først på forskingsdesignet. Deretter vert kva metodar som vart nytta i datainnsamlinga presentert, samt utvalet. Vidare vert det gått nærare inn på dei etiske forholdsreglane i undersøkinga og kritikk av metodane. Til slutt greier eg ut om korleis datamaterialet vart behandla og kva analysemetode og -program som vart nytta.

### 5.1 Forskingsdesign

I forskinga til prosjektet som heilskap er det brukt educational design research. Reeves og McKenney (2012) skriv at i motsetning til mange andre metodar for å forske på utdanning har EDR to primære mål: utvikle kunnskap og utvikle løysingar. I denne oppgåva er det i hovudsak å utvikle kunnskap innanfor dei respektive problemstillingane, men det vil forhåpentlegvis utvikla løysingar av ReleKvant på grunnlag av kunnskapen eg utviklar på eit seinare tidspunkt. EDR strekk seg, i likskap med andre undersøkingar, mot generell kunnskap. Det som skil seg frå dei andre undersøkingane er at ein utviklar ei løysing på utfordringa. Det er nyleg blitt vanleg i felta: fagleg utvikling av lærarar og design av undervisningsmetodar (ibid.).

EDR går gjennom tre hovudfasar, der kvar fase vert gjentatt fleire gangar. Fasane er *analysering*, *design* og *evaluering*. I den første fasen, analysering, snakkar forskarar saman med andre (til dømes elevar og studentar) for å lære om årsaka til utfordringane. Ved design av materialet er det ofte eit tverrfagleg team der ein brukar den teoretiske kunnskapen som er relevant for utfordringa. Når ei løysing på ein prototype er utvikla går prosessen vidare til å teste og revidere både designet og ideane det er bygd på. ReleKvant-ressursane har allereie gått gjennom desse tre fasane fleire gangar. Det som ReleKvant ikkje hadde gjort frå før av å utvikle kunnskap om elevar si oppfatning av røntgenstråling, i tillegg var behov for å undersøkje prototypen fleire gangar

## 5.2 Utval og datainnsamling

Datamaterialet består totalt sett av fem intervju, to observasjonar og nesten fem hundre skriftlege elevresponsar frå ReleKvant-prosjektet. Tre av intervjua er frå 1. års studentar ved universitetet hausten 2015, og dei to siste gruppeintervjua er frå Fysikk 2-elevar på to vidaregåande skula våren 2016. Eg observerte begge klassene før eg skulle intervju elevane, begge klassene samarbeidar med ReleKvant-prosjektet.

I følge Postholm (2005) får ein gjennom intervju moglegheita til å få innsikt i “intervjuobjektet” si meining, oppleving og tankeverd. Intervjumetoden som vart nytta på både studentane og elevane er det Robson (2011) karakteriserer som eit semi-strukturert intervju, der det vart nytta ein intervjuguide (sjå Vedlegg 2). I ein intervjusamtala får ein sjansen til å stille oppfølgingsspørsmål for å oppklare og greie ut dersom noko som vart sagt er uklart. Samtidig gjev det moglegheita til å gå nærmare inn på tema som ein meiner er relevant og viktig for undersøkinga. Under intervjuet med ønska eg å få ei innsikt i deltakarane sitt perspektiv på Røntgenmodulen, noko som er hensikta når ein brukar kvalitative intervju i forskinga (Kvale, 1997). Spørsmåla i intervjuet var ein guide på kva eg hadde tenkt å spørje om, ein intervjuguide (Cohen, Manion & Morrison, 2011). Det vart naturleg nok endringar på spørsmåla undervegs, dersom det til dømes vart meir naturleg å endre rekkefølgja. Temaet og spørsmåla vart bestemt på førehand, noko som kjenneteiknar eit strukturert ope intervju (Cohen, Manion & Morrison, 2011). Leiande spørsmål under intervjuet kan påverke svaret (Kvale, 1997). Derfor prøvde eg å stille opne spørsmål og unngå “ja og nei” spørsmål. For å unngå misoppfatningar av det deltakarane svarte spurte eg riktig nok leiande spørsmål for å stadfeste kva deltakaren meinte. Dette vart gjort for at svara i intervjuet skal ha reliabilitet, samt å unngå feiltolkingar (ibid.). Elevane kan ha påverka kvarandre og når flesteparten av gruppa er einige om noko, minka sannsynet for at nokon seier imot det som vart sagt. Det er også ein moglegheit at eg som intervjuar kan ha påverka elevane ubevisst (Yin, 2014). Under intervjuet vart det ikkje tatt notat, men det vart brukt lydopptak for å ha fokuset på deltakarane sine meiningar.

Fysikkelevane som er med i utvalet er vanlege Fysikk 2-elevar på vanlege vidaregåande skular i Noreg. Utvalet er representativt for fysikkelevar sidan det er alt frå svake til sterke elevar.

### 5.2.1 Intervju med første års universitetsstudentar i fysikk

Hausten 2015 var det tre første års studentar frå universitetet som vart intervjuet. Intervjua fokuserte på kva dei la positivt merkje til, og konstruktive tilbakemeldingar om forbetringar i Røntgenmodulen. Undersøkinga vart gjennomført på studentar, ei jente og to gutar, som hadde hatt Fysikk 2 på vidaregåande, og hadde byrja på universitetet innan realfag same året. Studentane hadde akkurat fullført vidaregåande skule og var dermed av dei meir motiverte fysikkelevane på dei vidaregåande skulane. Dette gjer at studentane mest sannsynleg representerer dei sterkare elevane frå Fysikk 2. Intervjua med studentane vart gjort av pragmatiske omsyn.

Før intervjuet skulle studentane gå gjennom Røntgenmodulen på eigahand for å kunne uttale seg om modulen. Dette vart gjort for at studentane skulle kunne gjenkalle tankane sine under gjennomgangen av Røntgenmodulen. Dette vert innan forskingsmetode kalla (sjå t.d. Fox-Turnbull, 2009) for *stimulert tilbakekalling* eller *stimulated recall*, noko som gjer det mogeleg å granske kognitive prosessar gjennom å invitere studentane til å gjenkalle tankane. Hensikta med intervjua var å få innblikk i kva dei la merke til positivt og negativt på Røntgenmodulen, og korleis dei ville gjort det annleis om dei skulle ha designa sida sjølv. Til intervjua hadde eg med meg ein berbar PC, der dei aktuelle sidene frå Røntgenmodulen vart vist.

### 5.2.2 Intervju med Fysikk 2-elevar frå Branden og Vetten vidaregåande skule

Elevar på austlandet som hadde Fysikk 2 på vidaregåande skule vart intervjuet i grupper våren 2016. Desse skulane er i samarbeid med ReleKvant-prosjektet, noko som gjorde det enklare å få gjennomført datainnsamlinga mi. Dei to skulane som eg intervjuet elevane på er nokon av skulane i landet som har tilgang til alle funksjonane i ReleKvant-modulane, og nokon av dei som brukar prototypen til ReleKvant i undervisinga (i løpet av hauste 2016 vert det tilgjengeleg for alle).

Valet av elevar på skulane vart gjennomført av faglærarane på dei respektive skulane. Læraren vald tilfeldig ut frå prestasjonsnivå, men eg forsikra meg med læraren at elevane var taleføre. Ved å ha gruppeintervju med elevane vert kunnskapen situert og kjem til syne gjennom sosial vekselverknad mellom deltakarane. Noko som ReleKvant legg som eit grunnlag for læring, ved å ha eit sosiokulturelt syn. Det var totalt ni gutar og tre jenter med i desse to gruppeintervjua, noko som er representativt med tanke på at det er fleire gutar enn jenter i Fysikk 2 (Angell et al., 2011).

I intervjuet med elevane var det i hovudsak spørsmål om Røntgenmodulen. I tillegg vart elevane, under intervjuet, spurt spørsmål om animasjonen *Compton-spredning* (Figur 7) inne i modulen: *Lys som partikler*, sidan animasjonen viser Compton-spreiing når røntgenstråling treff grafitt. Ei side med ein figur, som også vart gjennomgått under intervjuet, og heller ikkje er i Røntgenmodulen er sida *Kvantetilstander* i modulen *Kvantefysikk og filosofi*. Denne sida hadde ikkje alle gått igjennom, og elevane hadde ikkje så mykje å kome med.

Ei klasse på Branden vgs vart skildra som ei svak klasse av læraren uten at dette vart lagt merke til under intervjuet. Fire gutar og to jenter vart intervjuet i 29 minutt. Før intervjuet var eg med inn i klassa som ein ikkje-deltakande observatør. Dette var både for å få eit innblikk i lærarane si undervising, men også for å ikkje vere framande for elevane eg skulle intervjuet. Gjennom denne tilvenjingsprosessen blir intervjuet meir naturleg for både meg og elevane, noko som kan auke validiteten (Postholm, 2005). Elevane sat og arbeida med ReleKvant-modulane under observasjonen og hadde akkurat jobba med Røntgenmodulen før intervjuet. I starten av intervjuet fekk elevane mat og drikke, slik at dei skulle bli meir avslappa og få ein trivelegare atmosfære. Under innleiinga vart elevane opplyst om at dei kunne når som helst trekkje si deltaking, og om dei ville skulle det dei hadde sagt bli sletta. Under intervjuet gjekk vi gjennom fem av sidene i Røntgenmodulen, og avslutta med at elevane skulle skildre kva dei meinte kjenneteikna ein god animasjon.

På Vetten vgs vart den same prosedyren som på Branden vgs. Med observasjon, mat og drikke, og elevane hadde jobba med Røntgenmodulen før intervjuet. Dette var ei variert og middels sterk klasse, alt frå veldig svake elevar til veldig sterke. Det var ein elev som tok meir initiativ enn dei andre på intervjuet, men alle elevane kom med innspel. Fire gutar og ei jente som vart intervjuet i 42 minutt. Det er heile 13 minutt lenger enn på Branden med same opplegg. Ein av grunnane til dette kan vere at elevane på Branden vgs hadde ny skuletime to minutt etter intervjuet var ferdig, mens på Vetten vgs var det på slutten av dagen og dei skulle heim etterpå. Dette gav meg moglegheita til å snakke om NTNU etter intervjuet, noko elevane var interessert i.

### 5.2.3 Datamaterial frå dei skriftlege elevresponsane

Elevresponsane frå ReleKvant-modulane er autentiske svar som elevane har svart på i løpet av skuletimen. Oppgåvene står på sida og der er boksar elevane kan skrive inn svaret. Responsane vert lagra og er tilgjengeleg for lærarane og forskarane i prosjektet. I mitt datamaterial er det seks spørsmål frå Røntgenmodulen. Elevresponsane er frå ein tidligare



versjon, og kan påverke nokon av svara til elevane. Dei fire første oppgåvene er frå starten av modulen om røntgen. Då fant eg svar på kva faglige utfordringar elevane har før dei hadde brukt Røntgenmodulen. Dette gjer at sjølv om elevresponsane kjem frå ein tidligare versjon, så påverkar det ikkje problemstillinga mi: kva forståing, førestillingar og utfordringar elevar har innan røntgen. Elevane har høve til å bruke læreboka når dei jobbar med ReleKvant-modulane. To dokument med skriftlege elevresponsar frå Røntgenmodulen vart analysert. Det eine dokumentet hadde responsar frå alle oppgåvene utan om oppgåve A. Medan det andre dokumentet hadde responsar frå spørsmål A, B og F. I tabell 2 er det tatt med talet på elevresponsane per oppgåve.

**Tabell 2** Talet på elevresponnar per oppgåve.

Oppgåve	A	B	C	D	E	F	Det totale talet på elevsvar
Talet på elevresponsar	126	148	29	28	23	128	482

På Røntgenmodulen var der totalt sju oppgåver inne på sida, men det eine spørsmålet gav for lite svar på problemstillingane. Dermed vart denne oppgåva utelukka. Spørsmåla eg valde til å svare på problemstillinga er som følgjande:

Oppgåve A - **Hva vet du om røntgenstråling?**

Oppgåve B - **Hva er røntgenstråling?**

Oppgåve C - **Hvordan oppstår røntgenstråling?**

Oppgåve D - **Beskriv likheter og forskjeller mellom synlig lys og røntgenstråling.**

Oppgåve E - **En person som skal ta røntgenbilder av mage eller tarm, spiser**

**“bariumgrøt” før undersøkelsen. Kan du tenke deg hvorfor?**

Oppgåve F - **I et røntgenbilde gir fotoelektrisk effekt i bein og vev kontrast i bildet, mens**

**Compton-spredning gjør kontrasten dårlig. Hvorfor er det slik?**

### 5.3 Databehandling og analysemetode

Det kvalitative datamaterialet mitt er opptaka frå intervju som er tatt opp på ein diktafon eller mobiltelefon og deretter transkribert på PC i sin heilskap. Skriftlege responsar frå Røntgenmodulen vart organisert inn i dei seks spørsmåla som er vald. Analyseprogrammet NVivo 11 vart brukt, der ein enkelt kan kode og kategorisere delar av teksten inn i forskjellige kodar. Eg fann det hensiktsmessig å analysere datamaterialet med utgangspunkt i dei to problemstillingane.

Dei skriftlege elevresponsane frå Røntgenmodulen vart gått gjennom tre gongar for å få best mogeleg koding og kategoriar. Her vart det brukt ein induktiv framgangsmåte ved å først sjå på datamaterialet og vidare kome fram til ulike utfordringar elevane har innan røntgenstråling. I første omgang prøvde eg å finne faglege utfordringar til elevane, samt få ei oversikt over heile datamaterialet. Den andre gongen hadde eg funne nokon kategoriar og meinte det var fleire av og prøvde å kode dei under den same kategorien. Kategoriane den andre gongen var til dømes: brukar ordet “lys”; brukar ordet “radio”; og brukte boka. Den tredje gongen hadde eg ei viss oversikt, og fekk kategorisert dei inn i sju kategoriar: fem kategoriar for fagleg utfordringar, ein kategori for ikkje-kategoriserte elevresponsar og ein kategori der eleven hadde vist god fysikkforståing i responsen. Dette vert presentert i resultatkapittelet.

Det transkriberte materialet frå intervjuet vart først kategorisert med dei same kategoriane som eg hadde ovanfor med responsane til elevane. Grunnen til dette var å sjå om det var samanheng eller forskjellar mellom elevane sine kommentarar i intervjuet og dei skriftlege elevresponsar. Det som vart sagt om kvar enkelt røntgenside av studentane og elevane vart samla saman, slik at eg visste kva alle hadde sagt om akkurat den sida. Dette gjorde det lettare å finne kva deltakarane meinte om den same side. Eg kunne dermed lett samanlikne alle intervjuet og sjå på likskapar og forskjellar mellom skulane, elevane og studentane. Dei følgjande kategoriane vart brukt til å få ei oversikt over datamaterialet: Kva som er bra på sida; Kva elevane meiner kjenneteikna ein god animasjon eller ei god nettside; Forslag elevane har til endringar på sida; og Kva er elevane kritiske til på sida. Det er ganske store kategoriar, men etterpå jakta eg på utsegn som bidrar til å svare på problemstillinga deduktivt og eventuelt induktivt.

## 5.4 Ethiske forholdsreglar og metodekritikk

### 5.4.1 Ethiske forholdsreglar

Elevane hadde allereie skrevet under på samtykkeskjema om deltaking til datainnsamlingar av ReleKvant, samt gitt sitt skriftlege samtykke om eventuelle lydopptak ved intervju. Prosjektet er registrert hos NSD (Norsk senter for forskningsdata).

I presentasjonen av analysane mine er det naturleg å bruke delar av transkripsjon eller elevane sine skriftlege responsar som belegg for mine funn og påstandar. Datamaterialet vart derfor handtert etter både prosjektet og dei nasjonale forskningsetiske retningslinjene. All rapportert informasjon i denne oppgåva er anonymisert og aidentifisert, ved at namna på

skulane, elevane og studentane er pseudonym. Alt elevane eller studentane har sagt er skriven om til bokmål, slik at ein det ikkje skal vere mogeleg å spore opp studentane eller elevane som var med i undersøkinga gjennom å røpe dei ulike dialektane. Det vart mest naturleg å skrive det dei sa på bokmål i og med det er nærast talemålet deira.

I følgje NSD treng ein ikkje samtykkje frå deltakaren dersom opptaket vert tatt opp på diktafon og aldri lagt inn på ein digital disk. Derfor trengte eg ikkje noko anna enn munnlege stadfestingar frå studentane at det var i orden å ta opp intervjuet på diktafonen.

#### 5.4.2 Metodekritikk

For å finne svar på problemstillinga er ein alltid avhengig av eit godt datamateriale. Eit datamateriale som gjev belegg for å seie noko om det eg vil forske på, samt resultat som kan sjåast som valide. Gronlund (1981) seier at ein må sjå på grada av validitet, og ikkje validitet som ein absolutt tilstand. Vi må derfor streve etter å minimalisere ugyldigheit og maksimere validitet.

Sjølv om eg intervjuar elevane og studentane i kjente omgjevnader, på skulen, var situasjonen ganske ukjent for dei. To av studentane hadde aldri møtt meg før, medan den eine hadde eg spelt fotball med tidligare. Elevane hadde kun sett meg i ein skuletime, men det verka som dei var vande med å ha studentar på besøk. Eg kan ikkje sjå vekk i frå at den nye situasjonen kan ha påverka deltakarane, og dermed datamaterialet. Likevel følte eg at forholda vart lagt mest mogeleg tilrette for at dei skulle føle seg trygge i situasjonen. Ved å lytte på kva dei hadde å seie og ha full oppmerksemd på personen som snakka.

Ved å presentere ei mengde rådata som belegg for mine analytiske påstandar kan eg likevel arbeide for å sikre truverdige påstandar. Lesaren får dermed moglegheita til å identifisere trinna i prosessen, noko Robson (2011) kallar *audit trail* (*revisjonsspor*).

Eit av mitt første intervju var med studentane hausten 2015. Dette kan vere ein grunn til at det var veldig stor variasjon i kor lange tid intervjuar med studentane varte. Det første intervjuet varte i 15 minutt, medan det andre varte 34 minutt, og det siste i 45 minutt, noko som kan svekkje validiteten til datamaterialet frå studentane. Dette kan sjåast i lys av Robson (2011) sine generelle tips for intervju, for etterkvart som eg gjennomførte fleire intervju vart eg rolegare og lytta meir til studentane. Når eg var med elevane hadde eg meir erfaring, men framleis ny innan det å intervju andre. I tillegg var det fleire å forholdet seg til på ein gang. Noko som var nytt for meg, og dette kan også ha påverka intervjuar og dermed datamaterialet.

Det er ei viss usikkerheit knytta til elevane sine responsar til oppgåvene i Røntgenmodulen. For det første kan elevane bruke læreboka, internett eller gå gjennom Røntgenmodulen før dei svarar på oppgåvene. Dermed er det usikkert om kor stor validitet elevresponsane eigentleg har. For det andre kan elevane sitte saman med ein medelev og det den svarte på oppgåva. Fleire svar tydar på at dette har skjedd, fordi responsar etter kvarandre er heilt identiske. For det tredje kan svara tyde på at det er elevar som ikkje viser kva dei eigentleg kan, til dømes er nokon elevresponsar veldig korte og det kan virke som dei ikkje legg arbeid i svara. På den andre sida kan det vere at eleven ikkje veit svaret på oppgåva og responderer kort på grunn av mangel på viten.

Dersom eg skulle gjort intervjuet igjen ville eg forandre på nokon av delane i intervjuet. Då ville fokuset vore meir på kva dei synast om å bruke lyd i staden for tekst, der ei forteljarstemme hadde forklart det den grafiske representasjonen verbalt. Til dømes kunne eg ha hatt eksempel av ein grafisk representasjon saman med tekstleg forklaring og den same grafiske representasjonen saman med verbal forklaring. Då kunne ein ha sett på kva dei synast ville gitt best læring ut frå: om det er verbal eller tekstleg forklaring; avheng av lengda på teksten; kva den grafiske representasjonen representerer; og det taksonomiske nivået på den grafiske representasjonen. Grunnen til denne endringa er fordi ingen nemnte noko om verbal forklaring i forhold til tekstleg forklaring under intervjuet.

Nokon av oppgåvene til elevane i Røntgenmodulen var ikkje så godt eigna til å svare på problemstillinga. For å bidra til undersøkinga burde oppgåvene vore meir sikta mot utfordringane elevar har innan røntgenstråling. På den andre sida er modulane mest designa for elevane si læring, og i mindre grad forskning. Utfordringane eg har kome fram til vert presentert og diskutert i dei komande kapitla.

## 6 Resultat

I det følgjande kapittelet beskriv eg kva materialet frå dei skriftlege elevresponsane som skal avdekke elevar si forståing av røntgenstråling. Vidare presentera eg funn frå intervju, om kva elevane og studentane hadde å seie om dei visuelle representasjonane og animasjonane, samt kva dei generelt meiner om Røntgenmodulen inne på ReleKvant sin undervisingsressurs. Dette skal bidra til å avdekke misoppfatningar elevar har om røntgenstråling, og gje grunnlag for endringar og vidareutvikle ReleKvant-modulane.

Dei forskjellige teikna eller framhevingane i resultatdelen er lagt til av meg. Der er understreking for å vise kvar utfordringa ligg. Parantesar () er der eg har kome med forslag til kva som kunne ha stått der. Der er to punktum.. der eleven eller studenten har brukt litt tid eller berre fortsatt det den hadde begynt på. I tillegg er der tre punktum... der deltakaren har tenkt seg om ei stund, og starta på ei ny setning eller fortsatt på den same. [...] er brukt dersom ein starta seinare eller slutta før deltakaren starta eller slutta.

### 6.1 Resultata av dei skriftlege elevresponsane frå Røntgenmodulen

Det vil no gjort greie for kva eg legg i dei ulike kategoriane, samt representative eksempel på det elevane sjølv har sendt inn som skriftlege responsar. Det er fem hovudutfordringar for elevar i Fysikk 2 innan røntgenstråling. Det er veldig mange mindre utfordringar og ein kan ikkje ta føre seg alle. Utfordring 5 er derfor alle dei forskjellige faglege utfordringane elevane har, men kvar for seg er for liten til å ha sin eigen kategori. *Faglege utfordringar* er i denne oppgåva eit samla omgrep av alle utfordringane elevane har innanfor røntgenstråling. Det vert også vist døme frå kategoriane: Ikkje-kategoriserte elevresponsar og God forståing. Dei sju kategoriane er som følgjande:

**Utfordring 1** - Elevane blandar eller misforstår når ein har med eit elektron i ein prosess og når ein har med eit foton. Til dømes responderte den eine eleven på oppgåva A, Kva veit du om røntgenstråling?, følgjande:

*Røntgenstråling var en revolusjon innen medisin da den først ble til. Dette kunne hjelpe leger og finne ut om noe var brukket eller ei. Et røntgenbilde blir fremstilt ved at raske elektroner blir sendt igjennom kroppen din og danner et bilde av skjellet ditt.*

Ein ser at eleven har ein del riktig, men eleven forveksla elektron og foton. Eleven skulle brukt omgrepet “røntgenstråling” i staden for “raske elektroner”.

**Utfordring 2** - Elevane trur røntgenstråling reflekterast eller sendast tilbake når strålen treff til dømes skjelettet i ei vanleg røntgenundersøking. Ein elev svarte dette på oppgåve A:

*Du sender ut stråling og måler det som blir reflektert tilbake. På denne måten er det for eksempel mulig å se brukne bein.*

Utfordringa er å forstå at strålen ikkje vert reflektert tilbake for å sjå om det er beinet er brekt. Eit anna eksempel frå den same oppgåva:

*Spesiell type stråler som gjør det mulig å få tatt et bilde av skjelett. Strålene går gjennom bløte organer, men sendes tilbake når de treffer bein.*

Her skriv eleven at strålane sendast tilbake når dei treff eit bein. Dette kan vere sant ved ei tilbakespreiing, men her meiner eleven at det er for å ta bilete av skjelettet. I ei tilbakespreiing tek ein ikkje bilete for å sjå på skjelettet. Det er derfor antatt at eleven meiner ei vanleg røntgenundersøking. Den andre utfordringa, i den første elevresponsen, er at eleven skriv: “*Du sender ut stråling og måler det som blir reflektert tilbake*”, dette er ei misoppfatning sidan ein ikkje målar den reflekterte strålen i ei vanleg røntgenundersøking for å sjå moglege beinbrot (denne utfordringa går inn under utfordring 5).

**Utfordring 3** - er ei litt meir samansett utfordring. Den inneheld responsar som tyder på at eleven trur røntgenstrålen går gjennom alle lette atomkjernar og vert stoppa av tunge atomkjernar. Den inneheld også svar frå elevar som trur at røntgenstråling både går gjennom alle lette atomkjernar og ingen går gjennom tunge atomkjernar. Her er to forskjellige dømer på denne utfordringa frå oppgåve E, om kvifor ein et bariumgraut før ei undersøking av mage eller tarm:

*Grunnet mage eller tarm som består av atomer med lavt atomnummer, får pasienten i seg bariumgrøt som består av atomer med høyere atomnummer. Det er fordi fotonene fra en røntgenstråling går rett igjennom atomer med mindre atomnummer men blir absorbert av atomer med høyere atomnummer, så for å få et bilde av mage eller tarm må de inneholde bariumgrøten. Det fungerer som et kontrastmiddel.*

Fleire responsar tyder på at elevane trur røntgenstrålen går rett gjennom atom med lave atomnummer, noko som er ei misoppfatning i og med at absorpsjonsevna til eit stoff auka med tettleiken og aukande atomnummer. Uansett kva atom det er snakk om vil stoffet ha ei viss absorpsjonsevne. Røntgenstråla passerer relativt lett gjennom musklar og andre blaute

deler i kroppen, men det vil alltid vere absorpsjon av røntgenstråla uansett stoff. Eit anna eksempel på utfordring 3 er denne elevresponsen:

*Siden mage og tarm er vev så vil røntgenstrålene gå rett gjennom, derfor spiser personen bariumgrøt siden da blir det en kontrast. Og da viser bariumgrøten hvordan den går gjennom.*

Eleven trur her at røntgenstrålane går rett gjennom dei blaute delane i kroppen, slik som hud og vev. Denne utfordringa er som sagt litt samansett, og det er mange forskjellige responsar som går inn under denne kategorien. Til felles har responsane den same utfordringa, nemleg at alle stoff har ei evne til å absorbere. Der evna til å absorbere aukar når talet på atomnummer aukar.

**Utfordring 4** - Elevane brukar omgrepet “lys” når dei egentleg skulle ha brukt eit anna omgrep, til dømes “røntgenstråling” eller “foton med høg energi”. Det kan vere problematisk å bruke omgrepet lys i denne samanhengen, fordi lys har heilt andre eigenskapar enn røntgenstråling. Lys kan for eksempel ikkje gå gjennom kroppen slik som mange av røntgenstrålane vil gjere. Dersom dette var tilfelle ville vi fått nokon heilt andre skuggar når vi er ute i sola. Eit eksempel frå oppgåve A i datamaterialet, kva veit du om røntgenstråling?, er følgjande:

*Det er lys med en bølgelengde vi ikke kan oppfatte med øynene, men brukes til å gjennom lyse vev i kroppen for å se om skjellet og knokler en intakte ved skader. Det er skadelig for oss hvis vi blir utsatt for for mye av strålingen over lengre tid, noe som også er grunnen til at leger går ut av rommet eller har på seg sikkerhetsutstyr når de tar bildene. Røntgenstrålingen ble først oppdaget av Wilhelm von Røntgen.*

Her vert orda lys og lyse brukt. Når eleven brukar ordet *lyse* er det av ei heilt anna betyding, og i denne samanhengen er det meir akseptert å bruke ordet *lyse* sidan dette omgrepet er brukt i læreboka (sjå t.d. Jerstad et al., 2008, s. 261). Eleven har også her veldig mykje rett i det den skriv, men skulle brukt eit anna omgrep i svaret sitt.

**Utfordring 5** - er diverse misoppfatningar elevane har, men kvar enkel misoppfatning er representert for få gangar til å ha si eiga utfordring. Dette gjeld alle dei elevresponsane som har faglege utfordringar i seg, men hamnar utanfor utfordringane 1-4. Kategorien har veldig mange forskjellige faglege utfordringar i seg. Her vert det vist eksempel frå nokon av desse utfordringane. Ein elevrespons frå oppgåve F som hamna i denne kategorien er følgjande:

*Fordi Compton sparer på noe av den fotoelektriske effekten. Alt blir ikke gjort om til fotoner og derfor får ikke fotonene så høy energi.*

Her er det fleire misoppfatningar, Compton (-spreiing) sparar ikkje på noko av den fotoelektriske effekten. Elven skriver “Alt blir ikke gjort om til fotoner”, og det er ei misoppfatning sidan røntgenstråling vert ikkje omgjort til eit foton i Compton-spreiing (det er eit foton). Det er vanskeleg å tyde kva eleven meiner. Det eleven meiner er kanskje at ikkje all energien vert brukt til å eksitere eit elektron, og derfor får ikkje elektronet så høg energi. Det er fleire måtar å tolke dette svaret på, men det er ikkje poenget i denne oppgåva. Ein anna elevrespons frå oppgåve A går ut på at eleven drar inn at elektromagnetiske stråling har ei hastigheit når ein dannar eit røntgenbilette:

*Det er en type strålling med nok energi til å gå igjennom ting som hud og muskler, men ting som bein og metall senker strålene før de når mottakeren så mottakeren kan lage et bilde utifra hastighet og når de ankomm.*

Elektromagnetisk stråling har alltid lyset si hastigheit, noko som eleven har misoppfatta. Derfor vil det vere umuleg å danne eit bilete ut frå hastigheita til fotonet. Svaret tyder på at eleven trur metall og tyngre atom senker hastigheita til fotonet ved Compton-spreiing, som er ei misoppfatning.

Oppgåve C har si eiga utfordring, fordi dette gjeld kun denne oppgåva, i motsetning til utfordringane 1-4. Denne utfordringa går inn under utfordring 5, men vert lagt fram i resultatata og diskutert i kapittel 7. I oppgåve C skulle elevane svare på: Korleis oppstår røntgenstråling?. Det var veldig mange elevar som svarte tilsvarende desse to elevresponsane:

*Når elektroner med stor kinetisk energi treffer et metall, oppstår røntgenstråler.*

*Elektroner treffer en plate og fotoner med høy energi sendes ut.*

Desse svara er ganske korte og elevane trekkjer ikkje inn at det er den kinetiske energien til elektronet som går over til fotonenergi. I dette tilfelle skulle elevane ha nemnt at den kinetiske energien til elektronet går over til røntgenstråling ved enten bremsestråling eller karakteristisk stråling. Elevane kan enten nemne at røntgenstråling oppstår ved emisjon i atom eller oppstår ved endringar av sin kinetisk energi og elektronet dannar røntgenstråling.

**Ikkje-kategoriserte elevresponsar** - er elevresponsar som er veldig korte, til dømes ein elevrespons frå oppgåve F:



*Fordi da blir strålen bøyd av.*

I tillegg går responsar som ikkje svarar på spørsmålet under denne kategorien, slik som denne responsen frå oppgåve E:

*For science!*

Kategorien inneheld altså elevresponsar som er for korte til å gi eit meningsfullt svar, samt responsar som ikkje svarar på spørsmålet. Ein kunne ha valt å sett på responsane som faglege utfordringar. I denne oppgåva vart heller slike responsar valt til å få sin eigen kategori, sidan det er vanskeleg å seie noko om kva forståing eleven innehar om emnet ut frå responsen.

**God forståing** - er elevresponsar som viser god forståing og har med viktige omgrep i responsen. Kategorien inneber at responsen frå eleven er utfyllande og har med vesentlege omgrepa innan røntgenstråling som er nødvendig til å svare skikkeleg på spørsmålet. I tillegg kan ikkje svaret innehalde ei av dei faglege utfordringane. Det er veldig variert kor lange desse responsane treng å vere, nokon har fem fullstendige setningar og andre er på eit par setningar. Eit døme på ein respons som viser god forståing og er utfyllande nok er denne responsen frå oppgåve F:

*Ved Compton-spredning blir et løst elektron ionisert, mens et foton med lavere frekvens enn den opprinnelige blir sendt ut. Ved kollisjonen, skifter retningen til fotonet, og dette kan påvirke bildet vi får. Fotonet som sendes ut fører også til dårligere kontrast på bildet. Ved fotoelektrisk effekt blir derimot hele fotonet absorbert. Dette fører til større kontrast mellom vev med ulike innhold av grunnstoffer med høye eller lave atomnummer.*

Utifrå kva oppgåve elevane har svart på treng ikkje responsane å vere like lange for å vise God forståing. Til dømes i oppgåve D treng ikkje responsen å vere lang for å svare godt på spørsmålet. Ein respons som viser god forståing på oppgåve D, Beskriv likskapar og forskjellar mellom synleg lys og røntgenstråling, er følgjande:

*Begge er fotoner, begge er elektromagnetisk stråling. Røntgen har høyere frekvens og energi men lavere bølgelengde. Begge blir påvirket av gravitasjon.*

Begge dess svara har dei viktigaste omgrepa som skal til for å hamne i kategorien God forståing.

I tabell 3, rad 2, vert talet på dei faglege utfordringane per oppgåve vist. Vidare viser tabell 3 talet på elevresponsar som hamnar i kategoriane: Utfordring 1, 2, 3, 4 og 5, Ikkje-

kategoriserte elevresponsar og God forståing. Den nest siste rada viser kor stor prosentdel av elevresponsane som hamna i utfordring 1 til 5. Den siste rada viser prosentdelen av elevresponsar som viser god forståing per oppgåve. Kolonnen heilt til høgre viser prosentdelen for kvar kategori.

Tabell 3, nest siste rad, er Utfordring 1 til 5 samla saman, og utgjer 29.3%. Ut frå alle elevresponsane inneheldt tre av responsane både Utfordring 5 og ei anna utfordring, noko som gjer at dersom ein reknar ut prosentdelen vil ein kome over 100%. Tre av dei fire innleiande oppgåvene, oppgåve A, B og C, har flest faglege utfordringar i svara. I prosent har desse oppgåvene ei fagleg utfordring på høvesvis 33.3%, 28.4% og 65.5%. Oppgåve D er også eit av dei innleiande spørsmål, men den faglege utfordringa har berre ein prosentdel på 17.9%. Dei to siste oppgåvene, oppgåve E og F, som kjem seinare på Røntgenmodulen har elevane høvesvis 21.7% og 21.9% faglege utfordringar i svara. Den siste rada, som viser prosentdelen av god forståing per oppgåve, ligg prosentdelen for fem av dei seks oppgåvene på mellom 50 og 70 prosent. Unntaket er oppgåve C, Korleis oppstår røntgenstråling?, der berre 20.7% av elevresponsane viser god forståing. Grunnen til at det er så liten prosentdel er fordi 18 av dei 28 elevresponsane frå oppgåve C hamna i utfordring 5.

Kategorien Ikkje-kategoriserte elevresponsar utgjer heile 14.5% av elevresponsane. Der heile 31 av dei 128 elevresponsane frå oppgåve F hamna under denne kategorien.

Dei fire første utfordringane har to ting til felles: dei er konsistent på tvers av oppgåvene og er i over to prosent av elevresponsane. Dette kan verke lite og det kan godt hende det ikkje er mange store utfordringar innan røntgenstråling. På den andre sida må ein huske på at i oppgåvene treng ein ikkje nemne noko som helst om at røntgenstråling reflekterer tilbake til kjelda for å undersøkje eit beinbrot. Ein treng ikkje å bruke alle omgrepa som er med i utfordringane. Til dømes treng ein ikkje å nemne noko om absorpsjonsevna til eit stoff (Utfordring 3) for å svare på oppgåve F.

Utfordring 3, der elevane misoppfattar absorpsjonsevna til ulike atom, og inneber i heile 9.5% av elevresponsane. Denne utfordringa er altså i nesten ein av ti elevresponsar, noko som verkar lite. På den andre sida så treng ein ikkje å nemne absorpsjonsevna til stoffet i oppgåve F. Det kan altså vere fleire som har denne misoppfatninga, men det kjem ikkje fram i responsane til desse elevane.

11 % av svara til elevane hamna i utfordring 5. Dette er ikkje heilt unaturleg sidan denne kategorien omfattar veldig mange forskjellige misoppfatningar.

**Tabell 3** Talet på elevresponsar fordelt på oppgåver og kategoriar. Oppgåve A: Hva vet du om røntgenstråling? B: Hva er røntgenstråling? C: Hvordan oppstår røntgenstråling? D: Beskriv likheter og forskjeller mellom synlig lys og røntgenstråling. E: En person skal ta røntgenbilder av mage eller tarm, spiser “bariumgrøt” før undersøkelsen. Kan du tenke deg hvorfor? F: I et røntgenbilde gir fotoelektrisk effekt i bein og vev kontrast i bildet, mens i Compton-spredning gjør kontrasten dårlig. Hvorfor er det slik?

Oppgåve	A	B	C	D	E	F	SUM	Prosent
Tal på elevresponsar	126	148	29	28	23	128	482	
Tal på faglege utfordringar per oppgåve	42	42	19	5	5	28	141	29.3%
Utfordring 1 (“Foton/elektron”)	3	6	0	0	1	3	13	2.7%
Utfordring 2 (“Refleksjon”)	11	1	0	0	0	1	13	2.7%
Utfordring 3 (Absorpsjonsevne)	18	24	0	2	0	2	46	9.5%
Utfordring 4 (“Lys”)	5	0	1	3	0	4	13	2.7%
Utfordring 5	5	11	18	0	4	18	56	11.6%
Ikkje-kategoriserte elevresponsar	13	12	3	5	6	31	70	14.5%
God forståing	72	95	6	18	12	70	274	56.8%
Faglege utfordringar i prosent for kvar oppgåve	33.3%	28.4%	65.5%	17.9%	21.7%	21.9%		29.3%
Prosentdelen av god forståing per oppgåve	57.1%	64.2%	20.7%	64.3%	52.2%	54.7%		

## 6.2 Resultata frå intervju om Røntgenmodulen

I dette delkapittelet vert resultata frå intervju med elevane og studentane lagt fram. Det vert sett nærare på kva dei meiner kjenneteiknar ein god animasjon, korleis og kva dei meiner kan forbetre den noverande modulen, og kva dei legg merke til som positivt.

### 6.2.1 Kva meiner elevar og studentar kjenneteiknar ein god animasjon

Noko intervjudeltakarane meinte kjenneteikna ein god animasjon for fysikkundervisinga var at animasjonen skal vere enkel, eller “simplisitet” som eine eleven seier. Animasjonane skal

vere ryddig og unngå å ha unødvendig mange stilige effektar som er lite relevant for kva som skal lærast. På Branden vidaregåande skule sa Ivar dette når eg spurte elevane om kva dei legg vekt på i skildringa av ein god animasjon:

*Jeg hadde først og fremst gått for simplisitet, fordi èn: fysikk er vanskelig nok som det er, men også fordi at hvis du har noe som er masse å se på på en gang så blir det... du hadde den med røntgen opp i der. Det blir ikke noe store fancy greier. Du viser bare rett frem, ned sånn, bort sånn og det er mye enklere enn om det hadde vært en flyttende figur og sånt, og det er lettere å se det i perspektiv der.. det er rett fram.*

Den animasjonen eleven snakkar om her er i *Røntgenbilder - tre møter* (Figur 9). Dette var ein animasjon som gjorde eit godt inntrykk på dei fleste av intervjudeltakarane. Til dømes seier Sigrid dette om animasjonen:

*Det jeg liker særlig med den animasjonen der er at den er kontinuerlig og den ikke er sånn at man må starte om igjen og det på en måte.. er ett bildet, og du får en litt bedre forståelse med at den beveger seg, men du har ikke lyst å trykke (på) startknappen vær gang du skal se den på nytt igjen.. så det synes jeg er en fordel, men det er jo varierende hvor stor fordele det er.. hvis du har en kollisjon så er det jo bedre med en start- og stoppknapp... men hvis det er kontinuerlig så er det bedre med sånn som den er.*

I følgje Sigrid bør det vere ein kontinuerleg animasjon dersom det er ein prosess utan støyt. Er det eit støyt bør ein derimot kunne ha ein start, stopp og pause-knapp i animasjonen, slik som i animasjonen *Compton-spreiing* (Figur 7) i følgje Sigrid.

Elevstyrt tempo på animasjonen gjekk elevane på Veten vgs meir inn på. I ein elev diskusjon på spørsmålet, kva er viktig å tenkje på dersom dykk skulle ha laga ein god animasjon?, svarte dei følgjande:

*Linn: Hvis du har en prosess så er det veldig fint om det er stegvis og du kan stoppe på veien og (få det) litt inn med teskje av og til.*

*Arild: Og så eventuelt ha den muligheten å gå tilbake.. den ene der trykker man bare til den går, og så må man starte på nytt igjen og så kan du ikke gå til forskjellige punkter underveis, så man må liksom kjøre gjennom hele og så en gang til.*

*Linn: Du har på en måte trodd at du har forstått ett punkt og så kommer du til neste, og så har du lyst å gå tilbake til forrige punktet for å forstå det neste litt bedre.. og da blir det at man må kjøre gjennom og så må du begynne på nytt for å gå til det forrige punktet da.*

Elevane syntest det var viktig å kunne enkelt manøvrere seg fram og tilbake på ein animasjon som er samansett og ikkje går kontinuerlig. Linn beskrev dette om animasjonen Compton-spredning i modulen *Lys som partikler*:

*Spesielt når en går inn i den grafitten på en måte. Animasjonen gav dei dette trinnvis, og så at du følger en logisk rekke fram til.. gjennom hele animasjonen da.*

Animasjonen viser korleis Compton-spreiing utspela seg inne i ein grafitt. Animasjonen må dermed følgje ei rekke med logiske trinn i følgje elevane. Denne animasjonen startar langt ifrå ein grafittstein, vidare zoomar den seg inn på molekyla i steinen og inn på eit elektron som ligg i ro. Eit innkomande foton med blå farge treff elektronet, gjev elektronet rørslemengd, og fotonet endrar vinkel og farge. Den endrar farge frå blå til raud, noko som utifrå synleg lys vil seie at bølgjelenda auka, frekvensen minka og fotonet mistar dermed noko av energi den hadde ( $\Delta E = \Delta hf$ ).

Ein god animasjon i følgje elevane er enkel, har lite effektar og fokuset ligg på fysikken. Elevane liker også at animasjonen er kontinuerleg dersom den ikkje inneheld støyt. Om det forgår eit støyt i animasjonen vil dei styre hastigheita interaktivt og dermed kunne sjå nærare på kva som skjer i sjølve støytet i sitt tempo.

### 6.2.2 *Kva som kan forbeistrast på den noverande ReleKvant-modulen*

Inntrykket mitt ut frå det elevane og studentane sa hadde dei for det meste positive tilbakemeldingar, og som den eine eleven sa: *“hvis man på død og liv skal kritisere designet her [...]”*. Der er likevel nokre tilbakemeldingar frå intervjuet som går igjen hos fleire av deltakarane. Det både elevane og studentane var kritiske til på modulen var mangel på fasit etter dei hadde svart på oppgåvene. Dette kommenterte nesten alle, til dømes når vi var inne på *Snakk om røntgenbilder* (Figur 10) i Røntgenmodulen. På sida *Snakk om røntgenbilder* skal ein diskutere med ein annan elev og deretter med resten av klassa om ei vitseteikning. Målet er å kome fram til kva som er feil på bilete når ein lagar røntgenbilete. Arild frå Vetenvgs syntest det burde vere ein fasit på oppgåver som denne:

*Det er dumt at det ikke er noen forklaring på det senere fordi man lurer på om.. tok jeg riktig nå eller tok jeg feil? på en måte det kunne forklart.. sola ville blitt hvit.. den ville blitt svart og sant da.*

Arild nemner også at ein ikkje lærer noko av oppgåva når ein ikkje har fasit, og etterpå gjekk ein rundt og lurte på om ein hadde svart riktig eller feil.

Noko anna studentane og elevane var opptatt av under intervjuet var å utnytte ressursane ein har tilgjengeleg på ein nettbasert læringsressurs. To av studentane var opptatt av kor mykje tekst og tal på animasjonar det skulle vere, Espen meinte dette var viktig:

*Jeg tenker bare sånn at når du lager en sånn type side som forklarer fysikk begrep, så er du på en måte.. du må utnytte det at det ikke er en bok. Det at du har mulighet til å ha filmer og animasjoner, mye bilder. Minimaliser teksten for de har jo boka også og der har de jo på en måte mer en godt forklart. Da kan dei sitte med boka... så lite forklaring via tekst som mulig vil jeg si er ganske optimalt når du lager en nettside i forhold, så det kan godt være flere videoer eller animasjoner. Jeg tenker særlig i forhold til CT for det var ikke så tydelig som det kunne ha vært. Jeg mener vi hadde det, og såg videoer på det når jeg tok fysikk og da føler jeg det kom tydeligere fram og det er så vanskelig å lese om føler jeg.. så CT er vanskelig å forklare.. selv muntlig er det vanskelig å forklare.*

Espen har allereie lært om CT, og seier at det kom utydeleg fram inne på Røntgenmodulen, i forhold til videoen han sjølv hadde sett. Den andre studenten, Kåre, var også opptatt av kor mykje tekst det skulle vere med og talet på animasjonar. I intervjuet, på sida *Fysiske prinsipper i møtet mellom røntgenfotoner og kroppen* (Figur 11), meinte Kåre dette:

*Jeg føler ikke de bruker det privilegiet om å lage en internett side. Har bare hatt en animasjon pluss den videoen. De utnytter ikke potensialet. De kunne jo spandert på noen animasjoner her. Kunne ha brukt flere effekter enn de har brukt her da... Jeg føler det er litt lite tekst, det er tre setninger på hver. Hvis de hadde tatt en side på hver kunne de hatt seks-syv setninger. Det er veldig overfladisk når det er så kort. Hvis dette er et supplement til boka er de setningene her noe du i hvert fall kan. Du burde kanskje gi noe mer, noe ekstra. Formålet her er vel å få inn det mer visuelle enn det du får med i boka. Spesielt bruke animasjoner og sånn. Det her regner jeg med står bedre i boka da. Hvis jeg skulle anbefalt en elev, så ville jeg anbefalt boka enn det her, fordi det (er) så overfladisk. Du kan ha en animasjon, men man skjønner jo det da. Jeg regner med det bildet her er i boka og på en måte. Hvis det ikke er i boka er det jo en super side, hvis ikke er det bortkasta.*

Kåre meiner altså at ein burde ha fleire animasjonar, brukt fleire effektar og meir tekst i Røntgenmodulen. Studenten trur dette står betre i boka og sida er overflatisk, fordi det står så kort om fotoelektrisk effekt og Compton-spreiing. Seinare kom det fram at studenten ikkje hugsar alt i frå då den hadde om røntgen på skulen, men studenten var veldig opptatt av at det skulle stå meir utfyllande om kvart enkelt omgrep og fenomen.

I intervjuet med elevane på Branden vgs meinte Sigrid at mange av omgrepa i ReleKvant-modulane var underforståtte:

*Jeg tror kanskje at modulen er veldig sånn.. noe er på en måte underforstått då.. det står for eksempel ett elektron er tett bundet til atomkjernen og det er.. og de som ikke er langt unna ikke er tettbundet.. det står ikke at det er derfor og det er kanskje ikke alle som visste det.. vi har om det i kjemi, men jeg vet ikke om vi har det i fysikk... At de skjønner at det er det som gjør at den er tett bundet til på en måte. Det har vært en gjennganger.. at litt sånn at det skjønner dere liksom og det kunne vært litt mer sånn tatt inn med teskje noen steder da. Sånn som med den lyd.. vi skal kanskje ikke innom den.. den med lydbølgene og sånn..*

Kort oppsummert vil elevane og studentane ha ein fasit etter dei har svart på spørsmåla. Fleire av studentane meinte det burde vere fleire animasjonar i modulen og ein må utnytte at det ikkje er ei bok. I tillegg var fleire av studentane og elevane opptatt av at mange av fysikkomgrepa vert tatt forgitt at elevane kan dei, når eleven jobbar i dei forskjellige modulane.

### 6.2.3 Intervjudeltakarane sine forslag til endringar i ReleKvant-modulen

Etter at intervjudeltakarane hadde kome med det dei meiner kan forbeholdast på sida kom dei ofte med forslag til korleis ein kunne endre sida, og dermed få ein betre undervisningsressurs. Ivar frå Branden vgs på si side synast det var mykje tekst og vill ha heile modulen meir oversynleg:

*Ivar: Jeg synes at sånn som det er nå så er det veldig mye stoff der. Det som er med den er at det er en veldig bra (modul), men hvis man skal sitte hjemme eller gjøre oppgaver i boken, så kan man bruke den på en måte som.*

*Linn: Informasjonskilde.*

*Ivar: Ja, ikke sant. Så hvis den hadde vært litt mer som.. jeg vet ikke helt..*

*Linn: Enklere å slå opp i.*

*Ivar: Ja, enklere å slå opp i fordi da hadde det blitt.. okei, hvis en skal lete etter en bestemt person eller det bildet hvor det var sammenligner av de to bildene og sånne ting da. Fordi de der er jo mye bedre enn det som står i boken.*

Elevane vil altså bruke ReleKvant-modulane som eit oppslagsverk når dei jobbar med oppgåver heime, fordi det som står på sida er mykje betre enn det som står i boka.

Elevane på Vetten vgs ville ha fleire praktiske eksempel i modulane. På sida *Hvilken geometrisk figur skjuler seg i midten?* (Figur 12) i Røntgenmodulen var dette eit tema. Når eg

spurte elevane om dei ville gjort noko annleis og om det skulle ha vore mindre tekst svarte dei følgjande:

*Linn: Teksten er viktig tror jeg.*

*Alle: Ja.*

*Linn: Men da jeg gjorde den i hvert fall skjønte jeg ikke sammenhengen mellom.. hvordan det fungerer på et skjelett da, for eksempel.. hvordan skyggen blir da og sånn.. hvor forskjellig den blir.. der er det enkle former ser man det, men det blir komplisert om man ser hvordan bildet ser ut på forskjellige vinkler kanskje og legge inn et bildet av det også.. så en kan forstå det enda mer i praksis da. Så man ser det med skjelett og ikke bare firkanter og sånn. Jeg vet ikke, hva synes dere?*

*Anders: Det er ide å ha et praktisk eksempel.*

*Arild: Å ha det i tillegg til den her.*

*Ellen: Man må ta det i frå forskjellige vinkler.*

Det virka som elevane skjønna korleis skuggebilete til dei geometriske figurane vert, men slit meir med å tenkje seg korleis skuggebilete vert når ein brukar til dømes eit menneskeskjelett i staden..

Når eg snakka med elevane på Veten vgs var vi inne på animasjonen Compton-spredning som viser ein grafittstein, så spurte eg om det var noko dei ville sette “fingeren” på. Linn svarte då dette:

*I så fall er det å vise hvordan det ville sett ut hvis du brukte klassisk fysikk.*

*Alle: Ja.*

Dette var resten av gruppa svært einig med Linn i. Ein av grunnane til at Linn tok opp dette kan vere fordi på slutten av animasjonen kjem spørsmålet: På kva måte bryt Compton-spreiing med klassisk fysikk? Der elevane gjerne skal diskutere dette med ein medelev eller læraren tar det opp i ein diskusjon i plenum.

Forslaga til korleis ein skal få fasit på oppgåvene var det fleire av. Branden vgs meinte det kunne kome på ei eiga kortfatta side på slutten av modulen:

*Knut: [...] hvis du kunne hatt et lite fasit eller noe.. helt på slutten.. tar en liten sånn gjennomgang av.*

*Ivar: Eller en veldig kort oppsummering på en måte. En kortfattet side om hva det er.. sånn at det ikke er en fasit som er såpass ukonkludert at man på en måte i resten av teksten, men det å lese den hjelper.. man får bedre svar på om man hadde riktig på oppgaven. Det er de skrive oppgaven*



*man ikke har fasit på og det er de som er problematiske å finne riktig løsning på. De velg riktig svar oppgavene eller miniquiz, de er jo enklere oppgaver generelt som regel.. og der får du ofte svaret, men de kan jo brukes istedenfor skriveoppgaver på en måte..*

*Knut: Det er ganske greit med skrivoppgaver óg.. du har ett lite fasit og så skriver du bare i fasit. For eksempel da ting du burde ha nevnt. Ikke ting du må ha nevnt, men ting du burde ha nevnt ikke sant. Så kan du skrive sånn for eksempel at delingsprinsippet for elektroner og sånt.*

Det treng altså ikkje å vere ein fullstendig fasit, men stikkord eller eksempel på det ein burde nemne.

Elevane vil bruke ReleKvant-modulane utanfor skuletida, men dei vil at det skal vere lettare å slå opp i modulen. I tillegg vil elevane ha fasitsvar på oppgåver dei har jobba med i timen, slik at dei kan lære av sine feil og få ei meir komplett røyndomsoppfatning. Ut frå elevane kan gjerast ved å ha ein fasit etter oppgåva eller ei oppsummering på slutten av modulen. Dei vil også gjerne ha praktiske døme frå røyndommen. Til dømes å vise eit klassisk støyt for å gjere det enklare å skjønne korleis kvantefysikk bryt med klassisk mekanikk.

#### *6.2.4 Positiv tilbakemelding om ReleKvant-modulane*

Elevane og studentane kom med mange positive tilbakemeldingar, og no vil nokon av desse bli presentert. Spesielt godt likt dei animasjonen på sida Røntgenbilder - tre møter. På Branden vgs hadde dei dette å seie, når eg spurte dei om dei ville forandra noko på animasjonen:

*Knut: Jeg vil si den er bra til sitt formål og at den illustrerer det den skal illustrere, så jeg ville beholdt den her.*

*Asgeir: Jeg synes animasjonen henger sammen med teksten og det kommer frem med formåle sitt.. så det.. den er fin.*

Animasjonen heng godt saman med teksten. Grunnen til dette gjekk Veten vgs innpå:

*Linn: Den er bra fordi du kan se at noen av elektronene forsvinner inn i kroppen hans da, og man legger merke til det på en måte.. oi ja de blir borte.. fordi de blir absorberte så det er bra.*

*Anders: Talla fungerer bra.*

*Arild: Jeg synes nummereringa forklarer veldig godt hva som skjer hvor at du får på en måte.. ikke bare ramsa opp, men at du får en måte forklaring på.. du får på en måte punktvis forklaring då og ikke bare får en forklaring av hva som skjer gjennom hele, men du får på en måte hva som skjer i det og det punktet.*

Studentane nemnde også at det var fint med tala slik at ein lett ser kva som skjer i dei forskjellige trinna i prosessen. Linn seier at nokon av “elektronene” forsvinn i kroppen, men det skal vere “fotonene ” som forsvinn i kroppen. Dette er utfordring 1 frå elevresponsane.

Ei anna side i Røntgenmodulen som gjorde eit godt inntrykk på dei fleste elevane og studentane var Fysiske prinsipper i møtet mellom røntgenfotoner og kroppen. Fotoelektrisk effekt og Compton-spreiing er relativt like fenomen om ein berre lesar teksten, men Asgeir likte godt å ha dei ved siden av kvarandre for å samanlikne:

*Asgeir: Hvis du ikke ser det med en gang så går du frem og tilbake. Nå har du de bildene ved siden av hverandre så ser du forskjellen liksom, så husker man kanskje bildet eller husker forskjellen lettere.*

*Sigrid: Så er det også lett å sjå på teksten sammen. Hvis man leser noe.. så leser man noe som er tilknyttet det man leser til og man glemmer hva den første handlet om hvis de er hånd i hånd.. ikke sant..*

*Bjørnar: Så teksten er ganske like egentlig.*

*Sigrid: Så det kan vere til forvirring, og du har ganske god oversikt til hva som tilhører hvor.*

Å samanlikne og sjå forskjell på desse to fenomena var også både Vetem vgs og studentane inne på, og alle var positive til dette. Den ein studenten meinte det ville vere meir forvirrande dersom det hadde vore ein animasjon:

*Kåre: Bildet hadde vært mer forvirrende om det hadde vært animasjon, jeg liker det veldig godt sann som det er no. Teksten er veldig grei og enkel synes jeg.*

Alle hadde også eit godt inntrykk av begge animasjonane som vart vist. På slutten av intervjuet spurte eg elevane om kva animasjonar eller side i Røntgenmodulen dei ville ha forklart. Flesteparten av dei ville forklart animasjonen Røntgenbilder - tre møter, ein god del ville forklart grafitt animasjonen på sida Compton-spredning, medan nokon ville ha samanlikna og forklart forskjellen på fotoelektrisk effekt og Compton-spreiing ved hjelp av modellane i Fysiske prinsipper i møtet mellom røntgenfotoner og kroppen. Desse tre sidene hadde deltakarane mest positive tilbakemeldingar på.

Elevane likte godt dei to animasjonane som vart vist i intervjuet. Dei likte animasjonen på sida Røntgenbilder - Tre møter, fordi teksten samsvarar godt med animasjonen, og fordi tala viser kva som skjer i dei tre sentrale punkta i prosessen. Når teksten forklarar to forskjellige fenomen som er veldig like likte elevane at representasjonsforma var med tekst og bilete for å kunne sjå forskjellen på fenomena.

## 7 Diskusjon og konklusjon

I diskusjonen av resultatata vert det i delkapittel 7.1 tatt føre seg den første problemstillinga, som omhandlar elevar si forståing, førestillingar og faglege utfordringar innan røntgenstråling. Delkapittel 7.2 har ein diskusjon av elevane og studentane sine tilbakemeldingar om Røntgenmodulen i lys av designprinsippa. I delkapittel 7.3 vil det komme forslag og anbefalingar om endringar i ReleKvant-modulen. Til slutt i delkapittel 7.4 vil det kome ein diskusjon om kva tyding moderne fysikk har fått norsk læreplan med utgangspunkt i elevar si utfordring innan røntgenstråling.

### 7.1 Elevar si forståing og utfordringar innan røntgen

Elevane viser kvalitativt god forståing ut frå resultatata. Utfordringane som det er kome fram til er små. I tre av dei fem utfordringane som vart identifisert forveksla elevane omgrep, noko som er relativt enkelt å lære seg. Grunnen til forvekslinga kan vere at elevane blandar inn klassisk fysikk i nokre av svara. Til dømes kan eleven ha tenkt på elastiske støyt frå klassisk fysikk når eleven skriver at strålen reflekterer og treff kjelda. Eleven kan då ha brukt det den har lært i klassisk fysikk til å skildre ein kvantemekanisk prosess (noko Ayene et al. (2011) kom fram til i sin studie). I følgje Angell et al. (2011) er fysikk eit krevjande fag fordi ein abstrakte omgrep for å skildre modellar av den fysiske verda. Ein må bruke nye omgrep til å forklare konkrete fenomen, noko som er krevjande og vanskeleg. I tillegg til tidsnød, liten moglegheit til å gå i djupna og at læraren synast det er lite eksamensrelevant (Udir, 2014) kan totalen gjere at elevane forvekslar dei abstrakte omgrepa. Lita tid i gjennomgangen av modulane kan også vere ein av grunnane til at mange av elevane svarte kort eller mindre presist på spørsmåla.

Frå eleven si side kan det verke fornuftig å betrakte at all røntgenstråling går gjennom blautt vev, medan strålane vert absorbert eller spreidd når dei treff skjelett. I følgje Angell et al. (2011) kan elevane ha opparbeida seg erfaringane som verkar fornuftige sett frå eleven si side. Det verkar relativt fornuftig at all stråling treng gjennom blautt vev sidan eit røntgenbilete er mørkt der røntgenstrålinga treng gjennom, og kvitt der strålane vert absorbert eller spreidd. Dette kan vere ei årsak til at fleire hadde misoppfatningar om evna stoff har til å absorbere. Millar og Singh (1996) meiner det burde vere ein diskusjon på korleis ein stråle vart absorbert i undervisinga. Det burde kanskje kome meir tydeleg fram korleis

røntgenstrålinga oppstår, om dette eit mål i kompetansemålet om å skildre fysiske prinsipp bak medisinske undersøkingar som røntgen.

## 7.2 Diskusjon av elevane og studentane sine tilbakemeldingar om Røntgenmodulen i lys av designprinsippa

Mykje av det både elevane og studentane sa under intervjuet kan grunnleggjast ut frå designprinsippa i kapittel 4. Eleven sa at ein animasjon skal vere enkel og ikkje ha unødvendige effektar som tar vekk oppmerksemda frå formålet av animasjonen. Dette veldig likt Samsvarsprinsippet (Mayer, 2005), som seier at elevar lærer betre når ein ser vekk frå overflødig materiale. Dette kan ta vekk fokuset til elevane, og dei kan bli usikre på om det er relevant. På den andre sida må ikkje ein ta vekk alle effektane, fordi elevar legg meir merke til det mest visuelt framståande i animasjonen og lærer betre når det vert brukt fargar for å markere viktige funksjonar og eigenskapar (Framhevingsprinsippet og Fargekoding prinsippet). Det er derfor viktig å skilje mellom prinsippa, og ut frå mi tolking tenkjer eleven at ein skal unngå at animasjonen skal framstå som eit “fyrverkeri” (min analogi).

Elevane ville bestemme tempoet på animasjonen når den inneheld eit støyt, og ha ein kontinuerleg animasjon om det ikkje var støyt. Begge animasjonane i intervjuet inneheldt støyt, men kanskje ikkje elevane la merke til dette på Røntgenbilder - Tre møter. Eller fokuset var på noko anna, fordi det er veldig mange prosessar og mykje å holde styr på samtidig. Når elevane seier at dei vil bestemme tempoet samsvarar dette godt med Segmentprinsippet (seier at elevar lærer meir når ein multimedialeksjon er presentert i segment, der brukaren vel tempo i staden for ei kontinuerleg eining). Medan det kan tyde på at elevane lærte mindre frå animasjonen på Røntgenbilder - Tre møter (overser at animasjonen inneheld to støyt), fordi den ikkje var delt opp i segment og elevane kunne ikkje styre tempoet. Elevane må dermed splitte oppmerksemda mellom animasjonen og teksten. Dette kan føre til aukning av den kognitive belastninga, som kan redusere læringa i forhold til om informasjonen er omstrukturert. Ein må dermed eliminere Delt-oppmerksemd prinsippet. Ein måte å eliminere delt-oppmerksemd er å bruke Modalitetprinsippet. Ved bruk av verbal forklaring vil ein redusere mengda av informasjon til kanalen som behandlar visuelle representasjonar.

Elevane og studentane var oppteken av mangel på fasit i ReleKvant-modulane. Dette kan splitte oppmerksemda til elevane når dei går igang med neste side på modulen, fordi dei fortsatt tenkjer på om ein har rett, eller lurar på kva som er rett (Delt-oppmerksemd

prinsippet). Tilbakemelding-prinsippet seier at elevar lærer meir når ein har ei forklarande tilbakemelding, i staden for å berre gje tilbakemelding om svaret er rett eller galt. Grunnen til dette er at ein reduserer mengda av overflødig behandling i forhold til det som førekjem. I motsetning til om ein berre treng å korrigere den riktige informasjonen (Mayer, 2005).

Studentane var opptatt av å ha fleire animasjonar, utnytte at det ikkje er ei bok, mindre tekst og meir forklaring. Det at informasjonen kjem klarare fram ved å bruke videoar eller animasjonar enn kun tekst kan ein sjå med utgangspunkt i Multimediaprinsippet. Det er viktig å notere seg at Multimediaprinsippet generelt refererer til verknaden ved bruk av både visuell og verbal informasjon (Mayer, 2005). Ein kan redusere den tekstlege forklaringa ved å bruke verbal forklaring (Modalitetprinsippet). Ved å bruke verbal forklaring kan dette gjere det lettare å ha lengre forklaring på sida, fordi det er avgrensa plass til å ha både teksteleg og verbal forklaring. Ved å redusere teksten og bruke meir verbal forklaring vil ein, fordi ein brukar då begge kanalane i dobbeltkanalen, redusere den kognitive belastninga og fremje læring. Dette kan gje større plass til dei grafiske representasjonar eller ein kan bruke den ekstra plassen til å forklare omgrepa og eigenskapane til dei viktigaste konseptane (Førehandsopplæringsprinsippet), slik at dei underforståtte omgrepa i modulane kan få meir plass.

Elevane ville bruke ReleKvant-modulane som informasjonskjelda i staden for å bruke boka. Dette kan tyde på at elevane synast det er relevant for dei. Effekten av dei grafiske representasjonane vil dermed vere meir effektive når elevane synast det er i tråd med læremåla (Oppgave-eigna prinsippet).

Noko elevane gjekk inn på var å ha praktiske eksempel i dei grafiske representasjonane. Dette er noko designprinsippa i teoridelen av denne oppgåva ikkje går inn på. Det å bruke praktiske eksempel, som elevane er kjent med, kan gjere at ny kunnskap vert raskare integrert med den eksisterande kunnskap. Det vil dermed skje ei meir meningsfylt læring (Mayer, 2005). Dette kan derfor potensielt vere eit nytt prinsipp. Ein må sjølvsagt gjere fleire undersøkingar for å utarbeide eit nytt prinsipp, eksempel frå røyndommen har potensial til at eleven lærer raskare og hugsar det betre.

Elevane og studentane verka veldig fornøgd med sida Fysiske prinsipp i møtet mellom røntgenfotoner og kroppen. Studenten sa det ville vore meir forvirrande å bruke ein animasjonen til å forklare forskjellen mellom fotoelektrisk effekt og Compton-spreiing. Grunnen til dette kan vere at elevane synast det interessant å sjølv kunne sjå forskjellen mellom fotoelektrisk effekt og Compton-spreiing. Ein kan sjølv oppdage kva som er

forskjellane mellom desse to fenomen, når dei er framstilt på denne måten (Leiande-oppdaging prinsippet).

### 7.3 Anbefalingar til vidareutvikling av ReleKvant-modulane

Det vil no kome anbefalingar på kva som kan endrast i Røntgenmodulen med utgangspunkt i diskusjonen framfor. Det vil først kome forslag til kvar side i Røntgenmodulen, og til slutt generelt for alle ReleKvant-modulane. Dei følgjande anbefalinga er:

#### Compton-spredning (Figur 7)

- Bruke verbal forklaring i staden for teksteleg forklaring, i form av ei forteljar stemme. Det kan også vere ein fordel å forklare litt meir undervegs i animasjonen (Personleggjeringsprinsippet og Modalitetprinsippet). Til dømes kan ein ta med at ein zoomar inn på ein grafittstein, vidare inn på den lagvise strukturen og heilt inn på eit av mange elektron som ligg laust bunde og vi tenkjer ligg i ro.
- Ha ein animasjon på eit klassisk støyt, for å lettare sjå korleis Compton-spreiing bryt med klassisk fysikk. Ein anna ide er å starte tankeprosessen til elevane for å kome fram til korleis det bryt. For å starte tankeprosessen kan ein spørje spørsmål til elevane og bruke det Leiande-oppdaging prinsippet. Til dømes: Korleis ville støytet sett ut om det var to biljardkuler som hadde treft kvarandre?

#### Røntgenbilder - tre møter (Figur 9)

- Bruke verbal forklaring i staden for teksteleg forklaring, i form av ei forteljar stemme.
- Endre forklaringa, slik at det kjem endå meir tydeleg fram at alle stoff kan absorbere røntgenstråling (sjå kapittel 7.2.5).
- Få fram at røntgenbilete startar heilt kvitt, og røntgenfotona som treng gjennom svartar bilete.
- Det er viktig å vere bevisst over ordlegginga. Ei setning på sida kan gjere at elevane får ei førestilling om at røntgenstråling går gjennom alle stoff med lågt atomnummer. For å unngå dette kan ein endre setninga frå:

*2. Røntgenfotoner møter kroppen, og noen av dem blir absorbert av stoffer med høyt atomnummer (og dermed mange elektroner), som det særlig finnes mye av i skjelettet*

Til:

*2. Røntgenfotoner møter kroppen, og stoff med høyt atomnummer (og dermed flere elektroner,*

*f.eks skjelettet) absorberer flere stråler enn de med lavt atomnummer*

- Ei anna setning på sida er:

*Røntgenbildet får derfor lyse områder der røntgenfotoner ble absorbert av tunge kjerner, og mørke områder der stråling gikk rett gjennom.*

Denne setninga kan føre til misoppfatning, ved at der står “[...] mørke områder der stråling gikk rettrett gjennom”. Eit forslag til endring er:

*Røntgenbildet får mørkare området der røntgenstråling treng lett gjennom, medan der røntgenstråling ikke trenger så lett gjennom forblir relativt lyse.*

Snakk om røntgenbilder (10)

- Bruke Leiande-oppdaging prinsippet for å starte tankeprosessen til elevane. Eit hint kan til dømes vere: Kva skjer når røntgenstrålane treff jorda?
- Ein kan nemne at det er mange feil på bilete, og eleven bør nemne minst tre av feila: Klarer du og ein medelev å diskutere dykk fram til minst tre feil på bilete?

Fysiske prinsipper i møtet mellom røntgenfotoner og kroppen

- Nemne for dei mest interesserte at fotoelektrisk effekt dominera ved låg fotonenergiar, medan Compton-spreiing dominera for fotonenergiar mellom 100 keV og 5 MeV. Dette kan gjerast ved at eleven trykker på setninga: Kva bestemmer om ein får fotoelektrisk effekt eller Compton-spreiing, og dermed kjem det opp ein boks med ei forklaring.

Hvilken geometrisk figur skjuler seg imidten? (Figur 12)

- Endre oppgåve slik at ein ser eit beinbort på det eine skuggebilete, medan ein ikkje ser det på det andre. Der ein fortsatt skal velje kva figur som gjev det riktige skuggebilete. Ein kan også snu om på det, og heller finne kva skuggebilete som passar til figuren med beinbrotet.

Tilbakespredning (Figur 8)

- Få endå meir tydeleg fram at ein brukar avanserte maskiner som lagar røntgenbilete ved tilbakespreiing. Der ein må bruke store detektorar til å fange røntgenstrålinga si tilbakespreiinga, og maskina lagar røntgenbilete i løpet av få sekund.
- Ein kan illustrere forskjellen mellom ei vanleg røntgenundersøking og tilbakespreiing med ein grafisk representasjon, slik som Figur 6.

## Generelt på ReleKvant-modulen

- Kome med ein fasit på oppgåvene ved å bruke Tilbakemelding-prinsippet, der elevane får ei forklarande tilbakemelding. Dette kan gjerast på fleire måtar. Ein måte er å ha ei oppsummeringsside på slutten av kvar modul, læraren kan ha fasiten og elevane kan sjå kva som er riktig, diskutere det i plenum på slutten av timen, eller gje forklarande tilbakemelding på modulen.

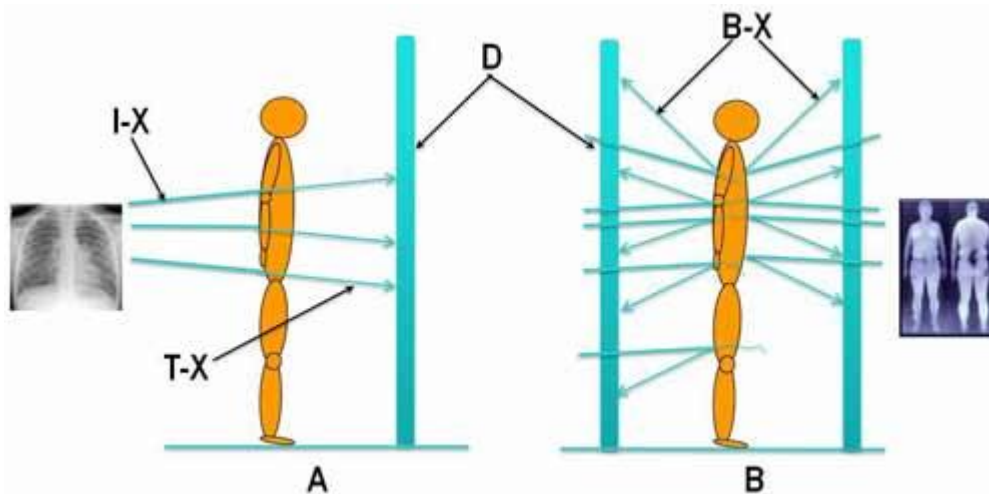
### 7.4 Tydinga for moderne fysikk i læreplanen

Den eine studenten synast at det sto veldig overflatisk i Røntgenmodulen, og ville gå meir i djupna for å lære seg meir om røntgenstråling. I læreplanen for Fysikk 2 står der at eleven skal kunne skildre fysiske prinsipp bak medisinske undersøkingar som røntgen. Læraren står dermed ganske fritt i kor mykje eleven skal kunne når der står “skildre”. Skal eleven kunne skildre heile prosessen, eller skal eleven kunne skildre nokon få av dei fysiske prinsippa i prosessen? Sidan fotoelektrisk effekt og Compton-spreiing eksplisitt er med i eit anna kompetansemål kan det tenkjast at læraren synast det er meir gunstig å gå djupare inn på desse fenomena. Dermed kan ein enkelt redusere omfanget av læreplanen, men er det hensikta?

Utfordringane viser at elevar treng meir tid. Dette samsvara med spørjeundersøkinga til Udir (2014), der nesten 40% av Fysikk 2-lærarane svarte at på grunn av tidsnød var det kompetansemål elevane brukte “inga” eller “svært lita” tid på. Det viser at læraren ikkje har høve til å setje av nok tid til å gå grundig gjennom kvart kompetansemål. Når det vert opptil læraren å bestemme kor mykje ein skal gå inn på tema kan det vere lett å nedprioritere det læraren meiner enten er for lite eksamensrelevante eller det elevane ikkje har føresetnadar til å forstå det.

For å få ei god forståing av moderne fysikk er elevane nøydd til å bruke den klassisk fysikken dei lærer i Fysikk 2. Ut frå undersøkinga til Udir (2014) meiner lærarane det er vel tidleg å starte med kvantefysikk på vidaregåande skule, og vil heller gå endå djupar i klassisk fysikk. Elevane på si side synast at moderne fysikk er eit motiverande tema (sjå t.d. Angell et al. 2004). Ein viktig grunn til at ein har med røntgen som tema i læreplanen er at det representerer bruksområde av fysikk. Det er knytta til helse, noko som kan motivere elevar, spesielt jenter. Det er også relevant for mange utdanningar innan medisin og helsefag. Om ein reduserer omfanget av moderne fysikk og helse kan det vere fleire elevar som vel bort faget,





**Figur 6** Transmittert røntgenstråling i A - innkomande røntgenstråling går gjennom kroppen og treff ein detektor på den andre sida. Tilbakespreiing i B - innkomande røntgenstråling vert tilbakespreidd, og ved hjelp av detektorane klarer maskina å lage uskarpe røntgenbilete.

(RSNA, 2016)

fordi det å minke fokuset på moderne fysikk kan føre til at faget verkar mindre relevant med tanke på vidare utdanning og den praktiske bruken av fysikk.

Eit mål i den norske læreplanen er at moderne fysikk skal få meir plass. Ved å forske på elevlar si forståing i moderne fysikk, og i tillegg utvikle multimodale undervisningsressursar som er “skreddarsydd” (min analogi) for moderne fysikk, er det gode grunnar til å la moderne fysikk få behalde sin nye plass. Når fokuset aukar og det vert meir forskning på moderne fysikk, vil dette føre til endå større fagleg kompetanse blant lærarane. Og i tillegg vil undervisningsressursane bli endå meir hensiktsmessige for elevane ved å bruke elevlar til å gje tilbakemeldingar på kva dei synast er viktig i tilrettelegginga for læring.

I følgje Udir (2014) er målet med Fysikk 2 å gå endå djupare i kompetansemåla til Fysikk 1. Faget skal gje grunnlag for fleire av studia i høgare utdanning. Dette samsvarar ikkje med kompetansemåla i innleiinga, og studenten synast det som nemnt ovanfor at sidene i modulen er overflatiske. I tillegg er omfanget i faget veldig stort, noko som kan vere grunnen til at ein ikkje gå fordjupe seg i alle kompetansemåla. Der er fordelar å ta faget med tanke på høgare utdanning, men det er ikkje eit krav. Om faget vert assosiert med: “lita tid”, “vanskeleg å få god karakter”, “krevjande”, “ikkje nødvendig å ta”, “omfanget er for stort”, “nyttig for høgare utdanning” og “interessant”, vil fleire elevlar velje bort faget når det ikkje er eit krav for vidare utdanning. Få elevlar går dermed vidare til Fysikk 2. Ein burde kanskje tenkje på om det er lurt å kome seg gjennom mest mogeleg på kortast tid. Faget kan bli vanskelegare

med lita tid og stort omfang, og dermed vert det vanskelegare å få god karakter. Ein kan gjere den same innsatsen i eit anna fag og likevel få ein betre karakter (ibid.). Med tanke på ei vidare utdanning kan det derfor vere smartare å velje bort faget, fordi ein då får eit høgare karaktersnitt. Dette er paradoksalt nok eit faktum. Ein vel bort eit realfag for å kome lettare inn på ei utdanning innan realfag. Faget skal på den andre sida ikkje bli for lett heller, slik at det vert gunstig å velje det.

Dersom faget vert for lett kan ein få eit falskt inntrykk av at realfag er lett, og spranget til høgare utdanning kan då bli stort. Men der må finnast ein veg mellom det å “skremme dei vekk” og det å få ein “lett karakter”. Burde ikkje eit av formåla med Fysikk 2 å skape interesse for fysikk, og gå djupare inn tema som elevar er interessert i? I motsetning til å gå litt inn i mange tema. Veldig mange er usikre på kva dei skal velje etter vidaregåande skule. Det kan derfor vere nyttig for elevane å få kunnskap om kva ein realist jobbar med, til dømes ein sivilingeniør. Ved å gå djupare inn i færre tema kan ein til dømes få meir kunnskap og innsikt til kva ein har lyst å jobbe vidare med.

Regjeringa (Meld.St. 28 (2015-2016)) ytrar at nye tema er tatt inn i læreplanen utan at noko anna er tatt ut. Omfanget vert dermed for stort, og regjeringa forslår å fornye læreplanane. Det vil dermed bli meir læring i djupna, men behalde faga ein har i dag. Regjeringa (ibid.) ytrar også at elevane ikkje får tid til å fordjupe seg grundig nok. Lærarane er i tidsnød og hastar seg gjennom nye tema utan at elevane får god nok tid til å få djup nok forståing. Ein treng derfor færre og meir tydelege kompetansemål for å tilpasse betre undervisinga. Læraren si undervising og vurderinga av elevane skal få betre støtte i fornyinga av læreplanen. Ut frå stortingsmeldinga kan tid på færre tema bli meir prioritert, der kvalitetslæring går føre kvantitetslæring. Med tanke på elevane kan dette medføre meir tid til å kvalitativt forstå alle prosessane i røntgen, blant anna korleis røntgenstråling oppstår og evna stoff har til å absorbere røntgenstråling.

## Referansar

- Administration, U.S.F.D. (u.å.). What are the Radiation Risks from CT? Lasta 07.10.2016 frå <http://www.fda.gov/RadiationEmittingProducts/RadiationEmittingProductsandProcedures/MedicalImaging/MedicalX-Rays/ucm115329.htm>
- Angell, C., Guttersrud, Ø., Henriksen, E. K., & Isnes, A. (2004). Physics: Frightful, but fun. Pupils' and teachers' views of physics and physics teaching. *Science Education*, 88(5), 683-706.
- Angell, et. al. (2011). *Fysikkdidaktikk*. Kristiansand: Høyskoleforlaget AS - Norwegian Academic Press.
- Ayene, M., Kriek, J., & Dantie, B. (2011). Wave-particle duality and uncertainty principle: Phenomenographic categories of description of tertiary physics student's depictions. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 7(2). doi: ARTN 02011310.1103/PhysRevSTPER.7.020113
- Bungum, B., Henriksen, E. K., Angell, C., W., T. C., & Bøe, M. V. (2015). ReleQuant - improving teaching and learning in quantum physics through educational design research. *Nordina: Nordic studies in science education*, 11(2), 153-168.
- Çalışkan, S., Selçuk, G. S., & Erol, M. (2009). Student Understanding of Some Quantum Physical Concepts. *American Journal of Physics Education*, 3(2), 202-206.
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2011). *E-Learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Designers of Multimedia Learning* (3rd ed.). San Francisco: John Wiley & Sons.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education*. London: Routledge(6).
- Colclough, N. D., Lock, R., & Soares, A. (2011). Pre-service Teachers' Subject Knowledge of and Attitudes about Radioactivity and Ionising Radiation. *International Journal of Science Education*, 33(3), 423-446. doi: 10.1080/09500691003639905
- Dolin, J. (2001). Repræsentationsformer i fysik. I J. Dolin(Ed.), *At lære fysik - Et studium i gymnasieelevers læreprocesser i fysik*. København: Undervisningsministeriets forlag, 1(1), 103-116.
- Fox-Turnbell, W. (2009). *Stimulated Recall Using Autophotography - A Method for Investigating Technology Education*. University of Waikato, Hamilton, New Zealand: Centre for Science and Technology Education Research (CSTER).
- Gerward, L. (1993). X-ray attenuation coefficients: Current state of knowledge and availability. *Radiation Physics and Chemistry*, 41(4-5), 783-789. doi:10.1016/0969-806X(93)90326-P
- Gibson, J. J. (1961). Ecological optics. *Vision Research*, 1(3-4), 253-262.
- Grondlund, N. (1981). *Measurement and Evaluation in Teaching* (fourth edition). New York: Collier-Macmillan.
- Hadzidaki, P. (2008). 'Quantum Mechanics' and 'Scientific Explanation' An Explanatory Strategy Aiming at Providing 'Understanding'. *Science & Education*, 17(1), 49-73. doi: 10.1007/s11191-006-9052-8
- Helland, T., Lillejord, S., Manger, T., & Nordahl, T. (2013). *Livet i skolen 1 - Grunnbok i pedagogikk og elevkunnskap: Undervisning og læring*. (3).

- Hemmer, P. C. (2005). *Kvantemekanikk*. Tondheim: Tapir Akademiske Forlag, 5.
- Henriksen, E. K., & Henriksen, T. (2005). Radioaktivitet, røntgenstråling og helse. *Vår strålende Verden*, 2(2).
- Henriksen, E. K. et. al. (2014). Relativity, quantum physics and philosophy in the upper secondary curriculum: Challenges, opportunities and proposed approaches. *Physics Education*, 49(6), 678-684. doi: 10.1088/0031-9120/49/6/678
- Imsen, G. (1999). *Lærerens verden*. Universitetsforlaget, 2.
- Imsen, G. (2008). *Elevenes verden*. Oslo: Universitetsforlaget
- Jerstad, P., Sletbak, B., Grimenes, A. A., & Renstrøm, R. (2008). *Rom Stoff Tid*. Oslo: Cappelen Damm AS, 1(1).
- Kalyuga, S. (2005). Prior knowledge principle in multimedia learning. In R. Mayer (Ed.), *Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. New York: Cambridge, 325-337.
- LeDoux, J. (2003). The emotional brain, fear, and the amygdala. *Cellular and molecular neurobiology*, 23, 727-738.
- Lie, S., Angell, C., & Rohatgi, A. (2010). *Fysikk i fritt fall? TIMSS Advenced 2008 i videregående skole*. Oslo: Unipub.
- Lovdata. (2010). Forskrift om strålevern og bruk av stråling (strålevernforskriftene). Helse- og omsorgsdepartementet, 12. Lasta 06.10.2016 frå [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-10-29-1380#KAPITTEL\\_3](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-10-29-1380#KAPITTEL_3)
- Lowe, R. (2004). Interrogation of a dynamic visualization during learning. *Learning and Instruction*, 14, 257-274.
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia learning: Are we asking the right questions? *Educational Psychologist*, 32, 1-19.
- Mayer, R. E., & Jackson, J. (2005). The case for coherence in scientific explanations: quantitative details can hurt qualitative understanding. *Journal of Experimental Psychology*, 11, 13-18.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2002). Animation as an aid to multimedia learning. *Educational Psychology Review*, 14(1), 87-99. doi: 10.1023/A:1013184611077
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43-52. doi: 10.1207/S15326985ep3801\_6
- Mayer, R. E. E. (2005). *Cambridge handbook of multimedia learning*. New York: Cambridge.
- Meld.St. 28 (2015-2016). *Fag- Fordypning – Forståelse: En fornyelse av Kunnskapsløftet*.
- Mellingsæter, M. S. (2009). *Hva kan animasjoner bidra med i fysikkundervisning? En litteraturstudie og en kasusstudie fra forkurs til ingeniørutdanning*. Trondheim: Institutt for fysikk, Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Unversitet.
- Millar, R., & Singh, G. (1996). School students' understanding of processes involving radioactive substances and ionizing radiation. *Physics Education*, 31(1), 27-33.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Moore, I. (1995). *Observation of the Transition from Thomson to Compton Scattering in Optical Multiphoton Interactions with Electrons* New York: University of Rochester.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (1999). Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. *Journal of Educational Psychology*, 91(2), 358-368.

- Mubeen, S. M., Abbas, Q., & Nisar, N. (2008). Knowledge about ionising and non-ionising radiation among medical students. Department of Community Health Sciences, Hamdard College of Medicine & Dentistry, Hamdard University, Karachi, Pakistan., 20(1), 118-121.
- Myhre, R. (2001). Didaktisk basiskunnskap. Oslo, Gyldendal.
- Neumann, S., & Hopf, M. (2012). Students' Conceptions About 'Radiation': Results from an Explorative Interview Study of 9th Grade Students. *Journal of Science Education and Technology*, 21(6), 826-834. doi: 10.1007/s10956-012-9369-9
- Nguyen, T. (2013). Personalization Principle. Aberdeen: Northern State University. Lasta 24.10.2016 frå <https://sites.google.com/site/cognitivetheorymlearning/personalization-principle>
- NTNU. (2005). HMS-håndbok. Trondheim: Institutt for fysikk, Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Unversitet. Lasta 07.10.2016 frå <http://www.ntnu.no/documents/10334/14914655/hmshefte.pdf>
- Olsen, R. V. (2002). Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: A study in Norway. *Information Journal of Science Education*, 24(6), 565-574. doi: 10.1080/09500690110073982
- Plass, J. L., Homer, B. D., & Hayward, E. O. (2009). Design for educationally effective animations and simulations. *Journal of Computing in Higher Education*, 21(1), 31-61.
- Postholm, M. B. (2005). Kvalitativ metode: En innføring med fokus på fenomenologi, etnografi og kasusstudier. Oslo: Universitetsforlaget.
- Prather, E. E., & Harrington, R. R. (2001). Student Understanding of Ionizing Radiation and Radioactivity: Recognizing the Differences Between Irradiation and Contamination *Journal of College Science Teaching*, 31(2), 89-93.
- Reeves, T. C., & McKenney, S. (2012). 7 Things You Should Know About Educational Design Research. Educause Learning Initiative (ELI).
- ReleKvant. (2013). Lasta 10.09.2016 frå <http://www.mn.uio.no/fysikk/forskning/prosjekter/relekvant/>
- RSNA (2016). Radiological Society of Northern America. Lasta 27.11.2016 frå <http://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?pg=safety-airport-scanners>
- Renstrøm, R. (2011). Kvantefysikkens utvikling i fysikk lærebøker, vitenskapshistorie og undervisning.
- Robson, C. (2011). Real World Research. Oxford: Blackwell Publishing(3).
- Scientific Sentence. (2010). Attenuation coefficients. Lasta 05.10.2016 frå <http://scientificsentence.net/Radiations/index.php?key=yes&Integer=attenuation>
- Sesen, B. A., & Ince, E. (2010). Internet as a Source of Misconception: "Radiation and Radioactivity". *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 9(4), 94-100.
- Singh, C. (2008). Interactive learning tutorials on quantum mechanics. *American Journal of Physics*, 76, 400-405.
- Sorden, S. D. (2005). A cognitive approach to instructional design for multimedia learning. *Information Science Journal*, 8(1), 263-279.
- Statens strålevern. (2013). Effekten eller skadeligheten av stråling er avhengig av strålemengden, eller dosen. Lasta 05.10.2016 frå

<http://www.nrpa.no/fakta/90643/effekten-eller-skadeligheten-av-straaling-er-avhengig-av-straalemengden-eller-dosen>

Steinberg, R., Wittmann, M. C., Boa, L., & Redish, E. F. (1999). The influence of student understanding of classical physics when learning quantum mechanics. Department of Physics, University of Maryland, College Park, MD. doi: 20742-4111

Utdanningsdirektoratet. (2016). Kompetansemål - Fysikk 2. Lasta 19.09.2016 frå <http://www.udir.no/kl06/FYS1-01/Hele/Kompetansemaal/fysikk-2>

Vygotsky, L. (1978). Mind in Society: The development of Higher Psychological Processes. (Eds: M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner & E. Souberman.) Cambridge: Harvard University Press.

Øverbø, I. (2011). Tillegg 1 - 1. Innledning til kvantemekanikk. Lasta 20.09.2016 frå <http://folk.ntnu.no/ioverbo/TFY4215/til1.pdf>



## Vedlegg 1: Sidene i Røntgenmodulen

### Compton-spredning

Da vi beskrev fotoelektrisk effekt ved å bruke fotonmodellen, antok vi at fotonene ga fra seg hele energien til det elektronet som ble løsrevet fra atomet sitt og at total energi var bevart. **Compton-spredning** kan vi også beskrive med fotonmodellen, men her skjer det noe litt annet.

Animasjonen viser en modell for Compton-spredning når røntgenstråling (røntgenfotoner) treffer grafitt. I grafitt er noen av elektronene løst bundet til karbonatomene.



**Figur 7** Compton-spredning

### Tilbakespredning

Compton-spredning kan gjøre vanlige røntgenbilder uskarpe, men effekten kan brukes til å se gjennom vegger og klær. I Compton-spredningen blir noen fotoner sendt tilbake mot røntgenkilden. Dette kalles tilbakespredning. De tilbakespredte fotonene kan brukes til å lage bilder, og dette utnyttes bl.a. av tollvesenet og sikkerhetskontrollen på flyplasser.



**Figur 8** Tilbakespredning



Disse bildene er tatt med tilbakespredt røntgenstråling.

## Røntgenbilder – tre møter



1. Raske elektroner møter metall, og det dannes røntgenfotoner
2. Røntgenfotoner møter kroppen, og noen av dem blir absorbert av stoffer med høyt atomnummer (og dermed mange elektroner), som det særlig finnes mye av i skjelettet
3. Røntgenfotonene som ikke ble absorbert, møter en detektor.

Røntgenbildet får derfor lyse områder der røntgenfotonene ble absorbert av tunge kjerner, og mørke områder der strålingen gikk rett igjennom. Slik kan vi se bein som lyse partier på røntgenbilder, fordi de består av relativt tunge atomkjerner.

**Figur 9** Røntgenbilder - tre møter

## Snakk om røntgenbilder

Dette er en vitsetegning fra Life Magazine fra 1896, da røntgenstrålingen var nyopplaget og både litt spennende og litt skremmende.

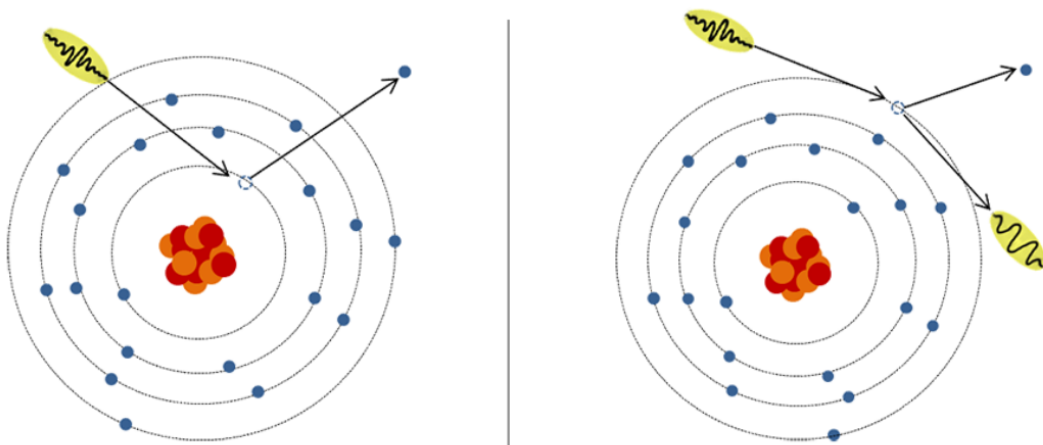
Diskuter med en annen elev, og deretter med resten av klassen: Hvordan kan denne tegningen gi et feilaktig bilde av hvordan man lager røntgenbilder?



**Figur 10** Snakk om røntgenbilder



## Fysiske prinsipper i møtet mellom røntgenfotoner og kroppen



### Fotoelektrisk effekt

Et røntgenfoton trenger inn i kroppen.  
Et elektron som er tett bundet til atomkjernen, får tilført all fotonenergien, og rives løs fra atomet.  
Atomet blir ionisert, og fotonet blir borte.

### Compton-spredning

Et røntgenfoton trenger inn i kroppen  
Et elektron som er løst bundet til atomkjernen, får tilført noe av fotonenergien, og rives løs fra atomet.  
Atomet blir ionisert.  
Resten av fotonenergien sendes ut som et foton med lavere energi.

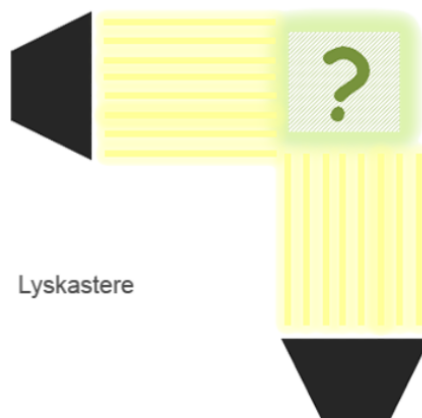
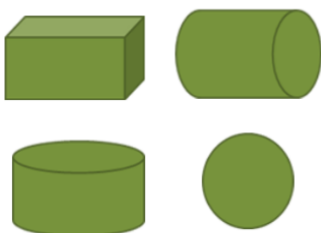
**Figur 11** Fysiske prinsipper i møtet mellom røntgenfotoner og kroppen

## Hvilken geometrisk figur skjuler seg i midten?

Et røntgenbilde gir et skyggebilde av det indre av kroppen. Hvordan vi ser skyggene, avhenger av retningen til strålingen. Dette gjør at vi kan gå glipp av viktig informasjon. Vi får vite mer om den tredimensjonale formen til strukturer inne i kroppen hvis vi lager skyggebilder fra flere retninger.



Dra riktig figur til spørsmålstegnet!



Skyggebilde 2



Svar

Nullstill

**Figur 12** Hvilken geometrisk figur skjuler seg i midten?

## Vedlegg 2: Intervjuguide

Til intervju med elevane

Røntgenbilder - tre møter

Kan dokke forklare kva det er som skjer ut i frå animasjonen?

Korleis kan animasjonen bli endå betre?

Kva ville dokke endra på sida for å lære betre?

Snakke om røntgenbilder

Kva er det som er feil på bilete?

Kva lærte dokke av denne?

Kva bidrar denne sida med til læring?

Korleis kan oppgåva og sida bli endå betre?

Kva ville dokke ha endra på sida?

Compton-spredning

Elevane seier kva det er som skjer. Få dei til å kommentere kva som skjer.

Kva ville dokke ha endra på i animasjonen?

Er det lettare å forstå statiske bilete enn om det er ein animasjon?

Fysiske prinsipp i møtet mellom røntgenfotoner og kroppen

Kan dokke forklare kva forskjellen på fotoelektrisk effekt og Compton-spreiing ut i frå figurane?

Kva ville dokke endra på sida for å lære betre?

Ville det vore betre å bruke animasjonar?

Hvilken geometrisk figur skjuler seg i midten?

Kva er det denne oppgåva prøver å illustrere i forhold til røntgen?

Ser dokke samanhengen mellom oppgåva og korleis ein tar eit røntgenbilete ved bruk av CT?

Kva ville dokke ha endra på sida?

Korleis kan sida bli betre?

Er det hensiktsmessig å vise kva dei som "ikkje er riktige" ville ha vist?

Kva lærte dokke på sida?

Kvantetilstander

Forstår dokke kva kvantetilstandar vil seie ut frå figuren?

Kva ville dokke ha forandra på sida for å gjere den endå betre?

Er det eit illustrerande bilete?

Til slutt

Kva synes dokke er kjenneteiknar ein god animasjon?

Kva synes dokke er viktigast med tanke på læring?

Kva konkrete råd og tips vil dokke gje for å forbetre modulane?

Dersom du skulle ha vald ut ein animasjon eller eit bilete på sidene vi har gått igjennom, der du skulle ha beskrive prosessen, kva ville du ha vald? (Alle elevane skal svare)

Til intervju med studentane

Røntgenbilder - tre deler

Korleis kan animasjonen bli endå betre?

Kva ville dokke endra på sida for å lære betre?

Snakke om røntgenbilder

Kva er det som er feil på bilete?

Kva bidrar denne sida med til læring?

Korleis kan oppgåva og sida bli endå betre?

Kva ville du ha endra på sida?

Fysiske prinsipper i møtet mellom røntgenfotoner og kroppen

Kan dokke forklare kva forskjellen på fotoelektrisk effekt og Compton-spreiing ut i frå figurane?

Kva ville du endra på sida for å lære betre?

Ville det vore betre å bruke animasjonar?

Hvilken geometrisk figur skjuler seg i midten?

Kva er det denne oppgåva prøver å illustrere i forhold til røntgen?

Ser du sammenhengen mellom oppgåva og korleis ein tar eit røntgenbilete ved bruk av CT?

Kva ville du ha endra på sida?

Korleis kan sida bli endå betre?

Er det hensiktsmessig å vise kva dei som "ikkje er riktige" ville ha vist?

Kva lærte du på sida?

Til slutt

Kva synes dokke er kjenneteiknar ein god animasjon?

Kva konkrete råd og tips vil du gje for å forbetre modulane?

Dersom du skulle ha vald ut ein animasjon eller eit bilete på sidene vi har gått igjennom, der du skulle ha beskrive prosessen, kva ville du ha vald?