

Elevers forestillinger og argumentasjon knyttet til radioaktivitet, stråling og helse

Ingvild Garmo Nilsson



Masteroppgave i fysikkdidaktikk
Lektorprogrammet i realfag
30 studiepoeng

Fysisk institutt
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

UNIVERSITETET I OSLO

Mai 2022

Elevers forestillinger og argumentasjon knyttet til radioaktivitet, stråling og helse.

En masteroppgave i fysikkdidaktikk som en del av lektorprogrammet i realfag.

Med veiledning fra Maria Vetle seter Bøe.

Medveiledere Wenche Erlie n og Øyste in Sørborg fra Naturfagsenteret.

Mai 2022

Ingvild Garmo Nilsson

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

Fysisk institutt

Seksjon for Fysikkdidaktikk

Forord

Jeg vil takke min veileder Maria Vetleseter Bøe for verdifull veiledning i arbeidet med denne oppgaven. Takk til Naturfagsenteret ved Wenche Erlien og Øystein Sørborg for gode innspill underveis i oppgaven, og Tor Bjørnstad for hjelp.

Takk til dere i andreetasjen på fysikk som har hjulpet meg med å opprettholde motivasjonen i løpet av dette semesteret. Dere er uvurderlige.

Oslo, Mai 2022

Ingvild Garmo Nilsson

Sammendrag

Denne masteroppgaven er utarbeidet i tett kontakt med Naturfagsenteret og deres digitale undervisningsmodul, vitenprogrammet Radioaktivitet. Dette vitenprogrammet er rettet mot kompetansemålet fra LK20 i naturfag Vg1 om radioaktivitet, stråling og helse.

Formålet med oppgaven er å produsere kunnskap til forskningsfeltet fysikkdidaktikk om elevers forestillinger innen radioaktivitet, stråling og helse. Elevers forestillinger og forkunnskaper innen disse temaene er preget av den kontroversielle rollen kjernefysikk og stråling har i samfunnet.. Forkunnskapene elevene demonstrerte var de visste at radioaktivitet og stråling har noe med atomkjernen å gjøre og forestillinger om at det er farlig. Farene knytter de spesielt til helsefarene ved å for eksempel utvikle kreft. Disse farene knyttes opp mot temaet Kontekster og anvendelser, som atomvåpen og ulykker ved kjernekraftverk. Noen elever uttrykker et mer nyansert syn på helsefarene mot slutten av programmet da de reflekterer rundt dose, doserate og plassering av strålekilde. Oppgaven undersøker også hvordan elever arbeider med vitenprogrammet, ved å se på deres bruk av argumentasjon underveis. Argumentasjon inngår i det tverrfaglige temaet Kritisk tenkning introdusert i LK20 og er dermed en sentral del av opplæringen. Elevene evner i stor grad å velge ut relevante faktaopplysninger i sin argumentasjon men mange mangler kunnskap om hvordan å argumentere for hvorfor disse faktaopplysningene er relevante. Vitenprogrammet kan her utnytte posisjonen sin for å gi opplæring i hvordan argumentere, og diskutere rundt vanlige forestillinger knyttet til radioaktivitet og helse.

Datagrunnlaget for oppgaven er elevbesvarelser fra vitenprogrammet.

Abstract

This thesis is developed in collaboration with Norwegian Centre for Science Education and their digital Viten unit, Radioactivity. This is aimed toward the curriculum objectives from LK20 for the Science subject of upper secondary school about radioactivity, radiation and health.

The purpose of this thesis is to produce knowledge in the research field of physics didactics about students' conceptions of radioactivity, radiation and health. Students' conceptions of these subjects is characterized by the plethora of conceptions and ideas which have been affected by the controversial role nuclear physics and radiation have in society. Three main themes about students' conceptions and prior knowledge will be presented. The theme Concepts within physics and processes covers students' pre-existing knowledge about the nucleus and radiation. Dangers were something which a lot of students had conceptions of and this was often linked to the risk of developing cancer. It was also linked to the Concepts and applications about the negative applications of nuclear physics, like atomic bombs and accidents at nuclear power plants. Some students express a more nuanced view of the health risks regarding radiation by reflecting on the concepts of dose, dose rate and placement of the source of radiation. The thesis also investigates how students work with the Viten unit, by looking at their usage of argumentation throughout the unit. Argumentation is included in the interdisciplinary theme of Critical thinking introduced in LK20 and is, therefore, a central part of the education. Students show abilities to use central facts from the Viten unit in argumentation but many lack knowledge on how to reason on how these facts are relevant. The Viten unit is here in a position where they can give students knowledge on how to argue, and discuss common conceptions of radioactivity and radiation.

The data used in the thesis is student responses from the Viten unit.

Innholdsfortegnelse

Kapittel 1 Innledning	10
1.1 Formålet med oppgaven og forskningsspørsmål	11
1.2 Oppbygning av oppgaven	12
Kapittel 2 Teori og tidligere forskning	13
2.1 Kjernefysikk	13
2.1.1 Atomet og atomkjernen	13
2.1.2 Elektromagnetisk stråling	15
2.1.3 Radioaktivitet	15
2.1.4 Å detektere nukleær stråling	18
2.1.5 Nukleær stråling sin vekselvirkning med materie	19
2.1.6 Biologiske effekter av ioniserende stråling	21
2.1.7 Bruk av nukleær og annen ioniserende stråling i medisin	24
2.1.8 Måling og enheter	25
2.1.9 Doserate	25
2.2 Kjernefysikk og radioaktivitet i samfunnet	25
2.2.1 Hendelser og bevegelser	25
2.3 Hverdagsforestillinger og forkunnskaper	28
2.3.1 Alternative forestillinger	28
2.3.2 Tidligere forskning på forestillinger knyttet til radioaktivitet og stråling	29
2.3.3 Forestillinger knyttet til radioaktivitet og stråling	29
2.3.4 Forskningen gjort i Norge knyttet til forestillinger	30
2.4 Argumentasjon og kritisk tenkning i vitenskap	31
2.5 Argumentasjon sin rolle i naturfag	33
2.5.1 Innføring av argumentasjon som tverrfaglig tema	33
2.5.2 Forutsetninger for argumentasjon i skolen	34
Kapittel 3 Viten.no Radioaktivitet	35
3.1.1 Del 1 Tidligere russisk spion forgiftet – 90 minutter	35
3.1.2 Del 2 Nye undersøkelser - 60 minutter	38
3.1.3 Stråling og helse - 60 minutter	39
Kapittel 4 Metode	42
4.1 Datainnsamlingen	42
4.2 Datagrunnlaget	42
4.2.1 Forskningsspørsmål 1	42
4.2.2 Forskningsspørsmål 2	43
4.2.3 Forskningsspørsmål 3 & 4	43
4.3 Analyse av elevsvar i Oppgave 1	44
4.3.1 Analysemetode	44
4.3.2 Kodene og temaene presentert i tabell	46
4.4 Analyse av elevsvar i Oppgave 14	47

4.4.1 Analysemetode	48
4.5 Analyse av elevsvar i Oppgave 6	48
4.5.1 Analysemetode	49
4.5.2 Utvikling av rammeverk for analyse	50
4.5.3 Rammeverk for analyse av faktaopplysninger og begrunnelser	51
4.6. Analyse av elevsvar i Oppgave 9	54
4.6.1 Utvikling av rammeverk for analyse	54
4.6.2 Rammeverk for analyse i Oppgave 9	55
4.7 Forskningsetikk og kvalitet	56
4.7.1 Forskningsetikk	56
4.7.2 Kvalitet	56
4.7.3 Kodingsprosessen	56
Kapittel 5 Resultater	58
5.1 Elevers uttrykte forestillinger om radioaktivitet og helse	58
5.1.1 Resultater fra oppgave 1 – tabeller	60
5.1.2 Alternative forestillinger uttrykt av elevene	61
5.2 Elevers uttrykte kunnskap om radioaktivitet og helse i slutten av vitenprogrammet	63
5.2.1 Elevers uttrykte kunnskap om skadene ved radioaktivitet	63
5.2.2 Elevers beskrivelse av områder hvor vi har nytte av radioaktiv stråling	66
5.2.3 Oppsummering av funnene i forskningsspørsmål 2	64
5.3 Elevers bruk av faktaopplysninger i argumentasjon	65
5.3.1 Elevers vurdering av argumenter i oppgave 6	65
5.3.2 Tabeller med fordeling av vurderinger og begrunnelser i oppgave 6	66
5.3.3 Elevers argumentasjon i oppgave 9 i vitenprogrammet	70
5.3.4 Tabeller med fordelingen av elevers argumentasjon og begrunnelser i oppgave 9	71
5.3.5 Svar på forskningsspørsmål 3 og 4	72
Kapittel 6 Diskusjon	73
6.1 Kunnskap elever uttrykker innen radioaktivitet, stråling og helse	73
6.1.2 Elevers oppfatninger mot slutten av vitenprogrammet	75
6.1.3 Begrensninger	76
6.2 Elevers argumentasjon i vitenprogrammet Radioaktivitet	77
6.2.1 Bruk av argumentasjon i vitenprogrammet	77
6.2.2 Begrensninger	78
Kapittel 7 Implikasjoner	79
7.1 Anbefalinger til vitenprogrammet Radioaktivitet	80
7.1.1 Vitenprogrammets forklaring av betastråling	80
7.1.2 Bruk av partikler som illustrasjon	80
7.1.3 Et skille mellom radioaktivitet og ioniserende stråling	81
7.1.4 En introduksjon til hva argumentasjon innebærer	81
7.2 Forslag til videre forskning og kildeliste	81

Kapittel 1 Innledning

Vi lever i en verden der stråling og radioaktivitet omringer oss. Det forekommer ikke bare i naturen men teknologi har gjort det til en del av hverdagen og mediebildet. Utenfor skolen forholder elever seg til stråling knyttet til trådløs kommunikasjon som Bluetooth, medisinske undersøkelser og når de beskytter seg mot solforbrenning. Radioaktivitet møter de kanskje i media eller en tv-serie før de lærer om det på skolen, spesielt nå som kjernekraft diskuteres hyppig som en del av løsningen på klimakrisen. Radioaktivitet i forbindelse med kjernevåpen har også fått fornyet aktualitet i forbindelse med krigen i Ukraina, som brøt ut i februar 2022 og pågår i skrivende stund. Ofte knyttes stråling og radioaktivitet til helse og risiko. Likevel er det flere ulike oppfatninger om hvilken risiko som ligger til grunn bak radioaktivitet og stråling. Elevene trenger altså å lære om stråling og radioaktivitet for å kunne forholde seg kritisk til informasjon de møter i hverdagen, og til å kunne ta både personlige valg og kunne delta i samfunnsdebatten og demokratiske prosesser.

Dette er en del av den nye læreplanen for naturfag Vg1 i Kunnskapsløftet LK20.

Kompetansemålet lyder:

- *Utforske og beskrive elektromagnetisk og ioniserende stråling, og vurdere informasjon om stråling og helseeffekter av ulike strålingstyper (Utdanningsdirektoratet, 2020).*

Både i LK20 og i den forrige læreplanen LK06 blir ikke radioaktivitet og stråling behandlet på ungdomstrinnet. Dette kan bety at elevene kan ha minimalt med forkunnskaper om temaene fra skolen, men de kan ha forkunnskaper og forestillinger fra andre kilder, som media og foreldre. Det er også innført et sett av tverrfaglige tema som skal aktualisere kompetansemålene for samtiden. Disse tverrfaglige temaene er:

1. Folkehelse og livsmestring
2. Demokrati og medborgerskap
3. Bærekraftig utvikling

Disse temaene kan anses som relevante innen de faglige emnene radioaktivitet, stråling og helse. Innen temaet folkehelse og livsmestring handler det helseeffektene av stråling, som informasjon om hvilke former for stråling kan være skadelig. Innen bærekraftig utvikling kan det handle om kjernekraft som er en omdiskutert og potensiell deltager i løsningen på tilgangen til karbonfri energi. I demokrati og medborgerskap knyttes dette sammen, for om man skal for eksempel skal

forske på kjernekraft er politisk styrt. Elever vil dermed senere stå over valg for man skal forske på dette når de får muligheten til å delta i politikken.

Læreplanen sier at elevene skal lære å vurdere informasjon om stråling og helse. Å vurdere inngår i kritisk tenkning, og i følge Haug mfl. inngår argumentasjon i kritisk tenkning. Argumentasjon blir ansett som sentralt i naturvitenskapelige praksiser og tenkemåter. Ofte har elever forestillinger om at veien fra oppdagelse til naturvitenskapelig beskrivelse av et fenomen som enkel og rett. Derimot er den faktiske vitenskapelige prosess kompleks, og forskere argumenterer, motbeviser og kommer sammen frem til konklusjoner for å beskrive noe (Osborne, 2010). En del av opplæringen i naturfag innebærer dermed å gi elever innsikt i hvordan argumentasjon foregår for å komme frem til svar, og for å kunne vurdere andres argumenter og påstander, og ta valg. Det finnes noe forskning om elevers forestillinger knyttet til radioaktivitet og stråling fra før (Plotz, 2017). Den siste forskningen gjort i Norge er omtrent 20 år gammel, og det er aktuelt å fornyes med tanke på ny læreplan (Henriksen & Jorde, 2001).

Det har vært lite forskning gjort på elevers oppfatning av konsepter innen radioaktivitet og stråling med fokus på helse og medisin (Siersma et al, 2019), selv om elevers forestillinger forskes mye på innen fagdidaktikken (Angell et al, 2019). Ved hjelp av denne masteroppgaven ønsker å bidra med kunnskap hva elever uttrykker at de kan innad i temaene radioaktivitet og stråling i et helsefaglig perspektiv. En gjennomgang av forskningen finnes i [kapittel 2.3](#).

Naturfagsenteret har utviklet en ny læringsressurs på viten.no om radioaktivitet og stråling. Vitenprogrammet bruker forgiftningen av den tidligere KGB-spionen Litvinenko som rammehistorie, og programmet er tilpasset for å dekke kompetansemålet i naturfag Vg1 og de tverrfaglige temaene. Den nye ressursen ga en god mulighet til å samle inn data om elevers forestillinger, oppfatninger og argumentasjon i en læringskontekst, og samtidig kunne gi verdifull tilbakemelding om mulige forbedringer og videreutvikling av læringsressursen. Prosjektet innebar å samle data fra elevers bruk av Viten-programmet Radioaktivitet og det er disse dataene som er utgangspunktet for oppgaven.

1.1 Formålet med oppgaven og forskningsspørsmål

Formålet med oppgaven er:

1. Å produsere kunnskap til forskningsfeltet fysikkdidaktikk om elevers forestillinger, oppfatninger og argumentasjon knyttet til stråling, radioaktivitet og helse.

2. Bidra med forskningsbaserte innspill til videreutvikling av vitenprogrammet Radioaktivitet.

Mål 1 nås med svar på forskningsspørsmålene, mens mål 2 kommer som implikasjoner av svarene på mål 1. Forskningsspørsmålene er som følger:

1. Hvilke forestillinger og forkunnskaper om radioaktivitet og stråling uttrykker Vg1-elever i starten av arbeidet med vitenprogrammet Radioaktivitet?
2. Hva uttrykker elever i slutten av vitenprogrammet at de har lært om radioaktivitet og helse?
3. Hvilke faktaopplysninger presentert i vitenprogrammet bruker elevene i argumentasjon?
4. I hvilken grad bruker elever faktaopplysningene presentert i vitenprogrammet hensiktsmessig i argumentasjon?

1.2 Oppbygning av oppgaven

Oppgaven beskriver først relevant teori og tidligere forskning for oppgaven i kapittel 2. I kapittel 3 introduseres vitenprogrammet som datamaterialet er hentet fra. I kapittel 4 beskrives forskningsmetoden og i kapittelet 5 presenteres resultatene. Disse diskuteres i kapittel 6 før det i kapittel 7 presenteres forslag til videreutvikling av vitenprogrammet. Oppgaven avsluttes med forslag til videre forskning.

Kapittel 2 Teori og tidligere forskning

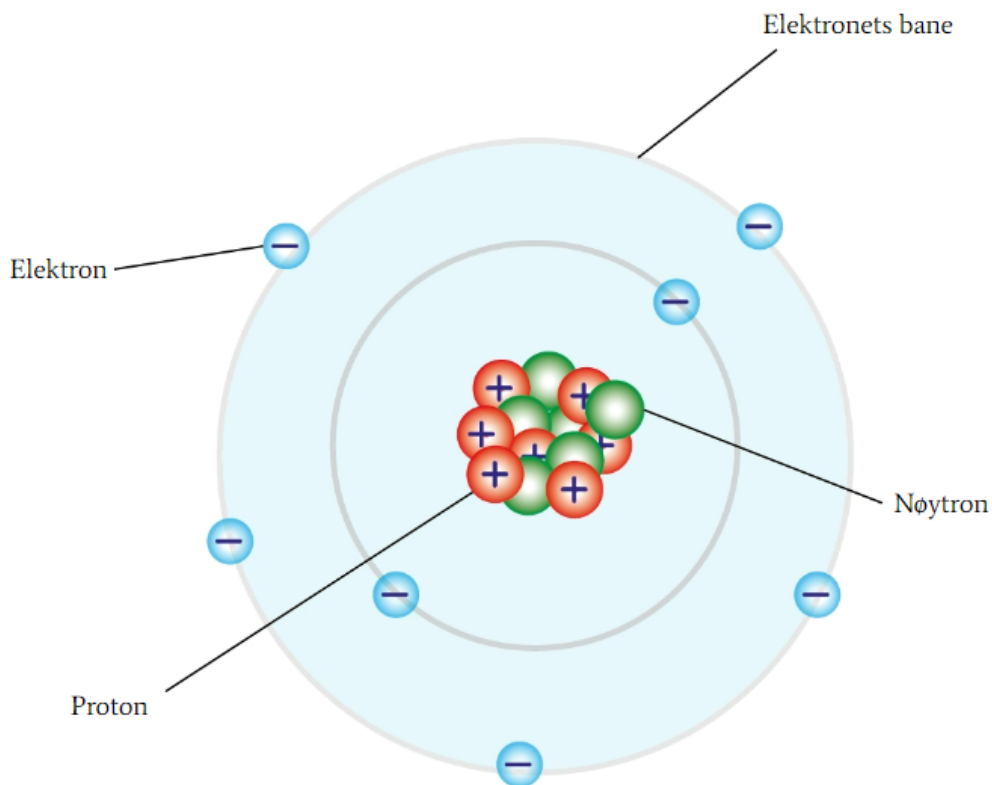
I disse kapitlene vil jeg presentere relevant forskning og teori for oppgaven. Dette vil bli brukt under diskusjonen av resultatene og som rammeverk for å analysere besvarelsene.

2.1 Kjernefysikk

I dette delkapitlet vil jeg presentere relevant fysikk-teori om kjernefysikk, radioaktivitet og helse. Innholdet er til dels redusert for å passe det faglige nivået som ligger til grunn i vitenprogrammet. Jeg ønsker å presisere at forklaringene funnet i dette kapitlet ikke er hele beskrivelsen av de faktiske fysiske prosessene, og spesielt er deler knyttet til kvantemekanikk og sannsynlighet utelukket. Disse kapitlene er basert på lærebøkene *Radiobiology for the radiologist* (Hall), *Nuclear and particle physics: An introduction* (Martin & Shaw) og temaheftet *Radioaktivitet, røntgenstråling og helse* (Henriksen & Henriksen).

2.1.1 Atomet og atomkjernen

Atomet består av kjernen og elektronene i bane. Kjernen, eller nukliden, er bygd opp av protoner og nøytroner som holdes sammen av en av de fire fundamentale kreftene, den sterke kjernekraften. De andre basiskreftene er gravitasjon, den elektromagnetiske kraften og den svake kjernekraften. Nøytroner har ingen ladning i motsetning til protoner som har en positiv enhetsladning. Elektroner, som har en negativ enhetsladning, er holdt i baner rundt nukliden som følge av den tiltrekkende elektromagnetiske kraften mellom ulike ladninger. Det positive elektriske feltet fra protonene skaper et elektrisk potensial som trekker til seg de negativt elektrisk ladde feltene til elektronet. De elektriske feltene til begge partiklene tiltrekker hverandre i like stor grad. Massen til protonet er omkring 1836 ganger større enn massen til elektronet.



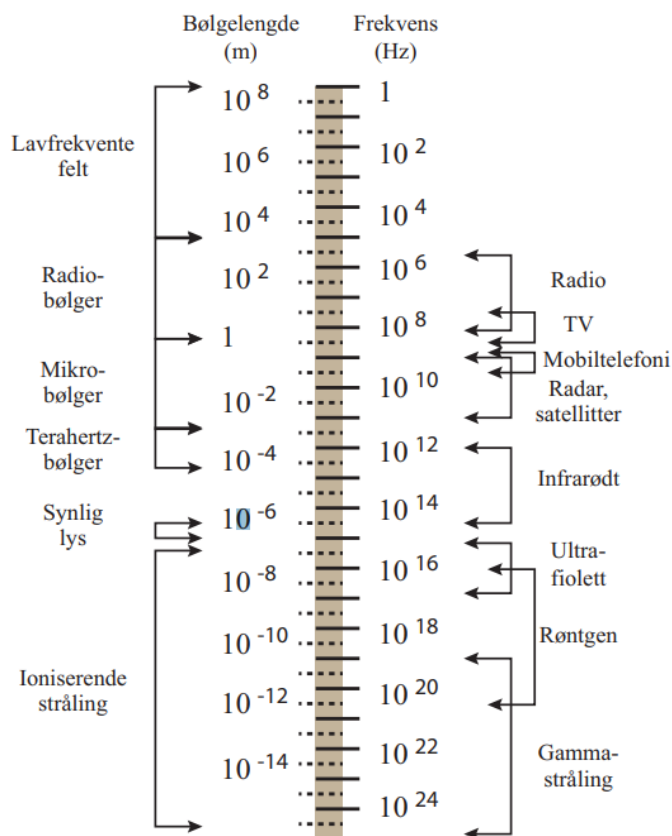
Figur 1: Bohrs atommodell. Atomet består av en kjerne med negativt ladde elektroner som svirrer rundt i baner. Kjernen består av positivt ladde protoner og nøytrale nøytroner. Egen illustrasjon.

Bortsett fra hydrogen, som har bare ett proton i atomkjernen, har nuklider av alle andre grunnstoffer flere protoner i kjernen. Antall protoner definerer grunnstoffet. Siden hvert proton har en positiv enhetsladning, vil disse utøve en elektromagnetisk frastøtning på hverandre. Men den sterke kjernekraften hjelper til med å holde dem samlet. Selv om den sterke kjernekraften er den sterkeste av de fire fundamentale kreftene, har den også kortest rekkevidde, omtrent på diameteren til et proton eller nøytron. Om man kommer forbi denne lengden vil den elektrostatiske kraften, som er langtrekkende, dytte de fra hverandre. For å redusere denne frastøtningen mellom protoner, kreves det at nøytroner er til stede. Nøytroner blir også tiltrukket av den sterke kjernekraften, men bidrar ikke til elektrostatisk frastøting, som gjør det mulig for at mer massive atomer kan eksistere. Atomer med likt antall protoner (samme grunnstoff), men ulikt antall nøytroner kalles isotoper av dette grunnstoffet.

Fellesbetegnelsen på nøytroner og protoner i en atomkjerne er nukleoner. Man beskriver gjerne en atomkjerne ut i fra antall protoner Z , antall nøytroner N , og totalt antall nukleoner $Z + N = A$ som også kalles massetallet. Symbolet på en nuklide X er A_ZX_N . Ikke alle nuklider kan anses stabile og stabiliteten til en nuklide bestemmes av forholdet mellom protoner og nøytroner, samt antall nukleoner og energien deres. Som regel vil de tyngre grunnstoffene kreve flere nøytroner for å være stabile.

2.1.2 Elektromagnetisk stråling

Elektromagnetisk stråling er overføring av energi i form elektromagnetiske bølger. Det elektromagnetiske spekteret deles inn i ioniserende og ikke-ioniserende stråling. Ioniserende stråling har så høy frekvens at det innehar evnen til å ionisere atomer, som innebærer at elektroner blir separert fra atomet, og atomet får en ladning. Dette kan bidra til å ødelegge molekyler. Ioniserende elektromagnetisk stråling kommer i ultrafiolett-, røntgen- og gammastråling, der gammastråling har høyest energi. Ikke-ioniserende stråling har lavere frekvens, og på dette spekteret finner vi de formene for stråling som brukes i telefoni og elektronikk.



Figur 2: Det elektromagnetiske spekteret. Vi ser at frekvensen er invers proporsjonal med bølgelengden som gir at for eksempel gammastråling har høy frekvens, men kort bølgelengde. Hentet fra *Svingninger og bølgers fysikk*, Vistnes(2016).

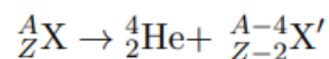
2.1.3 Radioaktivitet

Radioaktivitet er et fenomen hvor energi frigjøres fra atomkjernen. Det forekommer naturlig i mange grunnstoffer, men er også mulig å indusere. Det kalles også nukleær stråling og kommer i flere varianter. Overordnet finnes det tre former for radioaktiv stråling: Alfa-, beta- og gammastråling, men det finnes også andre former som elektroninnfangning. Man beskriver kjernen som radioaktiv dersom den *henfaller*, altså frigjør energi. En radioaktiv atomkjerne kalles også en radionuklide. Radioaktivt henfall forekommer når en isotop av et grunnstoff spontant avgir energi. Ved beta- og alfastråling (se senere) kan nuklidene transformeres til nuklider av andre

grunnstoffer. Ved gammastråling vil radionuklider slippe ut en indre energi, fordi den er eksitert. Radioaktive prosesser er statistiske fenomen. Man kan ikke nøyaktig anslå når en enkelt radionuklide vil henfalle, men ved en stor nok populasjon kan man anslå en forventet halveringstid til gruppen av radionuklider. Hvis man for eksempel har 1000 radionuklider med en halveringstid på 30 år vil det etter 30 år i prinsippet være 500 radionuklider igjen. Henfallsloven for radioaktive nuklider sier at mengden dN nuklider som vil henfalle i tiden dt er proporsjonal med en konstant λ . Denne parameteren kalles desintegrasjonskonstanten og uttrykkes ved $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ der $T_{1/2}$ er nuklidens halveringstid.

Alfastråling

Alfastråling er heliumkjerne med høy hastighet sendt ut av en atomkjerne. Heliumkjernen kalles i denne situasjonen en alfapartikkel, og består av to protoner og to nøytroner. Dette blir ikke ansett som at kjernen deles, men at den sender ut en partikkel. Siden alfapartikkelen har en stor masse og positiv ladning, kan den lett ionisere materie, selv om den har kort rekkevidde. Ofte vil en kjerne som henfaller ved å slippe ut en alfapartikkel også slippe ut gammastråling. Generelt kan det beskrives slik:

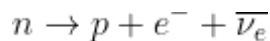


Betastråling

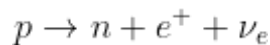
Betastråling er stråling av elektroner eller positroner. Dette forekommer når et nøytron omdannes til et proton, eller et proton til et nøytron, via den svake kjernekraften. Det finnes to former for betastråling. Nuklider som inneholder for mange nøytroner vil henfalle med β^- (minus) henfall og slippe ut et elektron, og nuklider som inneholder for mange protoner vil henfalle med β^+ (pluss) henfall. Elektronet vil interagere med andre elektroner som følge av farten den får på vei ut, og positronene vil annihilere med elektroner og skape to høyenergetiske fotoner. Nukleonet som omdannes vil nå også endre elektrisk ladning. Dette er en av verdiene som må være bevart i fysiske fenomener knyttet til den sterke kjernekraften. Da et nøytron (som ikke har elektrisk ladning) omdannes til et proton (med positiv elektrisk ladning) må også noe med negativ elektrisk ladning frigjøres for å opprettholde balansen. Vi har da et elektron som frigjøres ut av atomkjernen. Utover dette er elektroner i klassen leptoner innen elementærpartikkelfysikken, og i reaksjonen innad i den svake kjernekraften så må antall leptoner være bevart. Heretter introduserer man elektronnøytrinoet: En partikkel som ofte beskrives som mystisk da den er vanskelig å detektere. Til tross for at man i liten grad kan observere elektronnøytrinoet er man sikre på at det eksisterer, da den kinetiske energien til det utkommende elektronet kan variere. Dette forekommer ikke ved alfastråling hvor energien er lik ved hver reaksjon for samme

radionuklide, og energien til nøytrinoet vil korrespondere til den manglende energien.

Reaksjonsligningen vil bli seende slik ut:



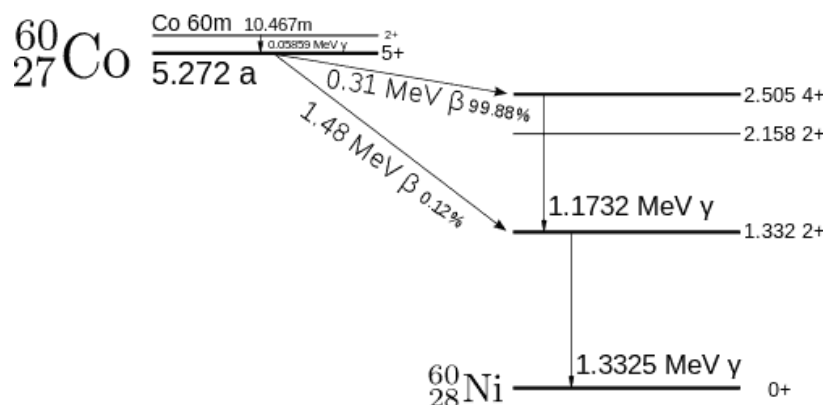
eller



Den første reaksjonsligningen beskriver beta⁻ henfall og den andre beta⁺ henfall. Bokstaven n står for nøytron og p for proton. Bokstavene e⁺ og e⁻ står for positroner og elektroner. Nøytrinoet er her inkludert ved hjelp av den greske bokstaven nu. Streken over det første nøytrinoet indikerer at det er et anti-nøytrino.

Gammastråling

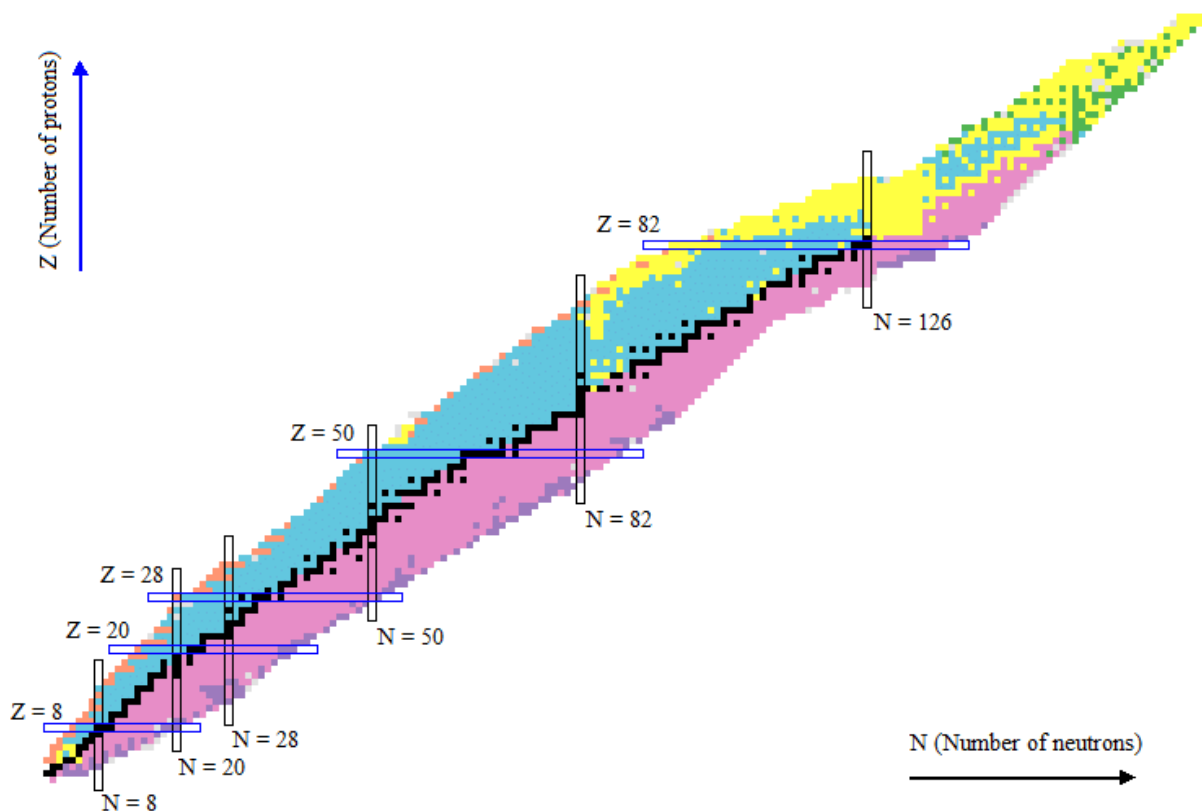
Gammastråling er elektromagnetisk stråling i form av høyenergifotoner, og kommer fra atomkjernen. Gammastråling beskrives som et nukleon som er eksitert, som betyr at det har mer energi enn det som kreves for å være stabil. Det gitte nukleonet vil da falle på en mer stabil plass og samtidig frigjøres gammastråling, energioverskuddet til nukleonet, i form av gammafotoner. Gammastråling forekommer oftest sammen med alfa- eller betastråling. Se figur 3.



Figur 3: Beta-og gammahenfall fra Co-60 til Ni-60. Pilene mot høyre illustrerer betahenfallet og utskytningen av et elektron. De forskjellige pilene korresponderer til ulike henfallsmoduser: Sannsynligheten for utskytningen av elektronet med energi 0.31 MeV og elektronet med energi 1.48 MeV er beskrevet med tallene i prosent. Deretter er atomkjernen i en eksitert tilstand og må gjennom gammahenfall for å komme til stabil grunntilstand. Det finnes her to gammahenfall, vist i de loddrette pilene, en med energi på 1.1732 MeV og en 1.3325 MeV. Bilde hentet fra Radioisotopes and Radiation Methodology I, II. Soo Hyun Byun, Lecture Notes. McMaster University, Canada.

Nuklidekartet

Nuklidekartet, analogt til periodetabellen for kjemikere, er en grafisk oversikt over nuklider for kjernefysikere. Denne forteller blant annet hvilke henfallsmoduser som den gitte nukliden har, hvilken masse nukliden har og andre kjernefysiske parametre.

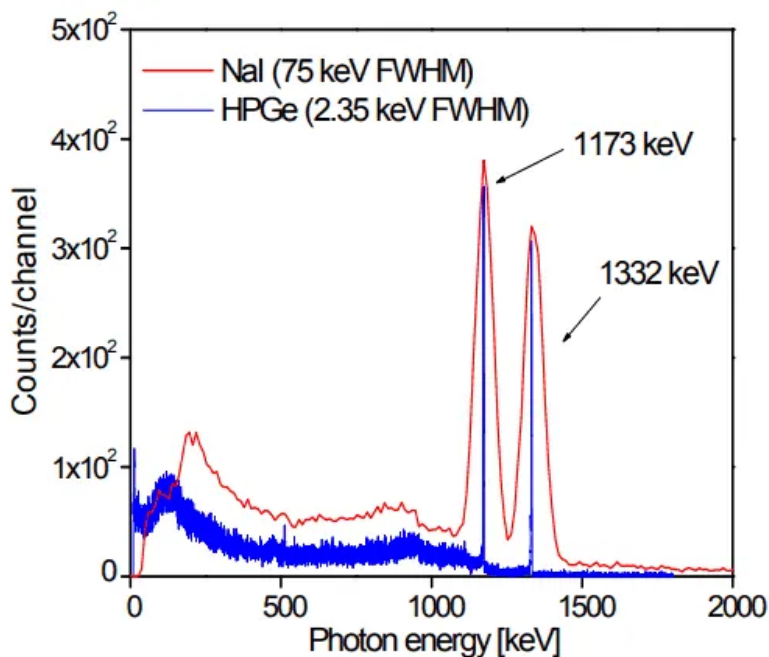


Figur 4: Nuklidekartet som viser de ulike isotopene. På x-aksen korresponderer til antall nøytroner og y-aksen protoner. De ulike fargene på nuklidene viser til hvilke henfallsmoduser nukliden foretrekker. De sorte nuklidene er stabile, de rosa henfaller med beta + henfall, de blå med beta - henfall, og de gule henfaller ved alfahenfall. Gammahenfall er ikke nevnt her siden gammahenfall ikke endrer antall eller type nukleon i atomkjernen. De øvrige fargene oransje, grønn og lilla henfaller med henholdsvis protonhenfall, spontan fisjon og nøytronhenfall. Hentet fra National Nuclear Database Center online, nndc.bnl.gov.

2.1.4 Å detektere nukleær stråling

Nukleær og ioniserende stråling er ikke synlig for mennesker men det finnes instrumenter som gjør det mulig å detektere det. Et av disse er en Geiger-Müller-teller, ofte bare kalt geigerteller, som er en type gassfylt detektor. Inne i detektoren finnes det et skall som fungerer som en katode og en ledning i midten som fungerer som en anode, og disse har en spenning over gassen. Når gassen inne i detektoren blir ionisert fra den ioniserende strålingen vil ionene som dannes trekkes mot katoden og de frie elektronene mot anoden, og dette vil gi en strømpuls. Denne pulsen forsterkes og knyttes ofte opp til en liten lyd. Disse kan brukes for å detektere beta-, gamma- og røntgenstråling, og alfastråling dersom den tilpasses alfastrålingen sin rekkevidde. Den kan også modifieres til å detektere nøytronstråling. Geiger-Müller-telleren har noen begrensninger: Mellom hver ionisering og strømpuls er det dødtid hvor noen av signalene vil bli fanget i dødtiden, og vil dermed ikke gi et nøyaktig mål på hvor mye stråling som inntreffer. Telleren sier heller ingenting om energien eller type stråling til den innkommende strålingen, kun antall ioniseringer. Videre vil denne kun refereres til som geigerteller.

En annen form deteksjon er gammaspektrometri. Her kan det for eksempel en scintillasjonsdetektor hvor gammastrålingen blir absorbert av scintillatoren som konverterer energien til flere fotoner med lavere energi. Antall fotoner som dannes er proporsjonal med energien til det absorberte gammakvantet. Fotonene slår løs elektroner fra en fotokatode. Disse elektronene akselereres og multipliseres i en fotomultiplikator. Resultatet blir et elektrisk signal der styrken (d.v.s. høyden på strømpulsen) er proporsjonal med den opprinnelige gammaenergien. Dette signalet forsterkes og analyseres videre og sorteres ut i fra høyden på strømpulsene i det som kalles en mangekanalsanalysator. Denne brukes for å identifisere energinivåene til radionuklider ved å måle energien til utsendte gammafotoner, samt antall. Enhver radionuklide har sitt unike gammaspektrum som gjør det mulig å identifisere hvilken radionuklide man har ut ifra gammaspekteret, og hvor mye man har av den gitte radionukliden. Toppene i diagrammet korresponderer med den fotoelektriske effekten og representerer energiovergangen mellom eksiterte nivåer i nukliden. De lave toppene, sett lengst til venstre i diagrammet, kommer fra Compton-spredning med materialet i detektoren. Se informasjon om Compton-effekten i kapittel [2.1.5](#).



Figur 5: Gammaspekteret til Ni-60 etter betahenfall fra Co-60. Toppene lengst til venstre kommer av Compton-spredningen i detektoren og de karakteristiske toppene til høyre er stråling som gjør det mulig å identifisere dette som den gitte radionukliden. Y-aksen viser antall tellinger av strømpulser i hver kanal og x-aksen viser energien til hver kanal. Bilde hentet fra *Radioisotopes and Radiation Methodology I, II*. Soo Hyun Byun, Lecture Notes. McMaster University, Canada.

2.1.5 Nukleær stråling sin vekselvirkning med materie

Ulike former for nukleær stråling har ulike effekter på materie. Rekkevidden til de ulike formene for stråling varierer basert på egenskapene deres, som energi, masse og ladning. Vitenprogrammet tar i bruk papir, biologisk materiale (kjøtt), aluminium og bly som eksempler for å demonstrere

dette. Disse innvirkningene er basert på sannsynligheten for interaksjon mellom strålingen og det bestrålte materialet.

Gammastråling på materie

Gammastrålingen varierer i energi som vil ha ulik effekt på det bestrålte materien. Gammastråling er karakterisert ut i fra den lange rekkevidden sammenlignet med alfa- og betastråling.

Under vil jeg beskrive de tre formene for effekter gammastråling har på materie:

1. Fotoelektrisk effekt forekommer når et gamma-foton overfører hele sin energi til et elektron, og elektronet frigjøres fra atomet.
2. Compton-effekten forekommer når et gamma-foton overfører deler av sin energi til et elektron som så frigjøres, og gamma-fotonet fortsetter i en annen vinkel med lavere energi.
3. Pardannelse er dannelsen av et elektron-positron par. Dette skjer når gammaenergien er større enn det som kreves for å danne to elektronmasser (d.v.s. $2 \cdot 511 \text{ keV} = 1022 \text{ keV}$). I materie skjer denne pardannelsen under påvirkning av en atomkjernes elektromagnetiske felt.

Alfa- og betastrålingens effekter på materie

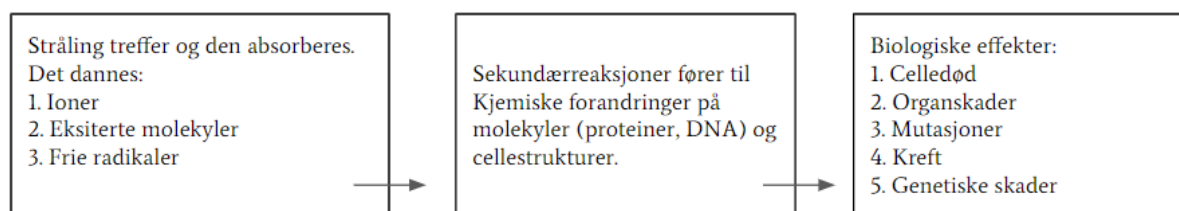
Som nevnt ovenfor har alfa- og betastråling kortere rekkevidde enn gammastråling. Alfastråling har den korteste rekkevidden med bare noen cm i luft mens betastråling kommer noe lengre. Alfapartiklene er positivt ladd og vil ionisere de atomene de interagerer med. Ioniseringen foregår ved at den positive ladningen drar med seg elektroner fra atomet det støter på. Alfapartiklene har stor mulighet til å ionisere da de vekselvirker ofte med partiklene rundt grunnet den fysiske størrelsen og den store ladningen fra to protoner. Denne interaksjonen vil bremse partikkelen som er årsaken til den korte rekkevidden. For beta^- vil elektronet treffe på andre elektroner og på den måten bryte opp strukturer i atomet. Positronene fra beta^+ stråling vil annihilere med elektroner og danne et par av høyenergetiske fotoner. Betastråling vil bremses noe tregere enn alfastråling.

Tabell 1: En liten oversikt over gjennomtrengningsevne til ulike former for nukleær stråling i ulike materialer. Alfastråling har kortest rekkevidde mens betastråling har den mellomste rekkevidden, og gammastråling gjennomtrenger lengst. Hentet fra viten.no/radioaktivitet

Strålingsform	Papir	Biologisk materie	Aluminium	Bly
Alfa	stoppes			
Beta	gjennomtrenger	gjennomtrenger (2-3 mm)	stoppes (3-4 mm)	
Gamma	gjennomtrenger	gjennomtrenger	gjennomtrenger	stoppes (ca 40cm)

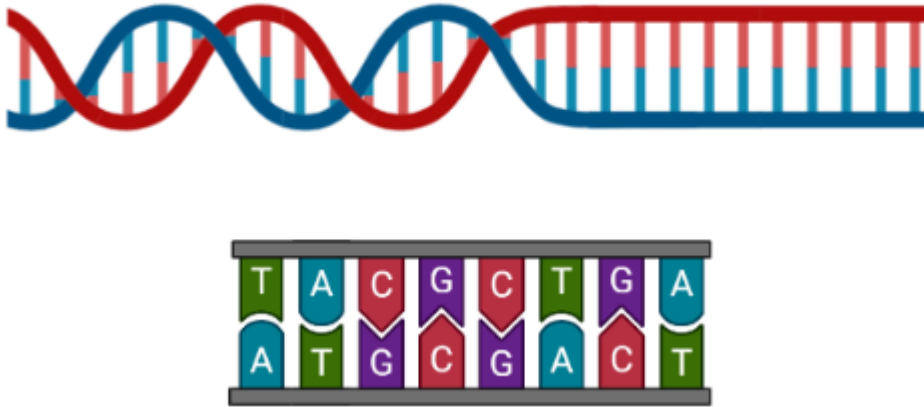
2.1.6 Biologiske effekter av ioniserende stråling

Strålingstyper som trenger langt inn, men avsetter sin energi over et relativt spredt område, kalles for lav-LET stråling, der LET står for «Linear Energy Transfer». Et eksempel på lav-LET stråling er røntgenstråling, mens høy-LET stråling fra alfapartikler har kort rekkevidde og gir en høy ioniseringstetthet. Høy-LET stråling er mer effektiv til å produsere skader i biologisk materiale. Helsefarene ved de ulike formene for stråling kommer av de strukturelle endringene som skjer i atomet når stråling inntreffer. Skaden kan enten skje direkte eller indirekte. Ved direkte skade menes at strålingsenergien blir direkte avsatt i molekylet som er ansvarlig for den biologiske funksjonen, eller målet. Indirekte skade forekommer når skaden treffer et nærliggende molekyl og blir deretter overført kjemisk til molekylet ansvarlig for en funksjon.



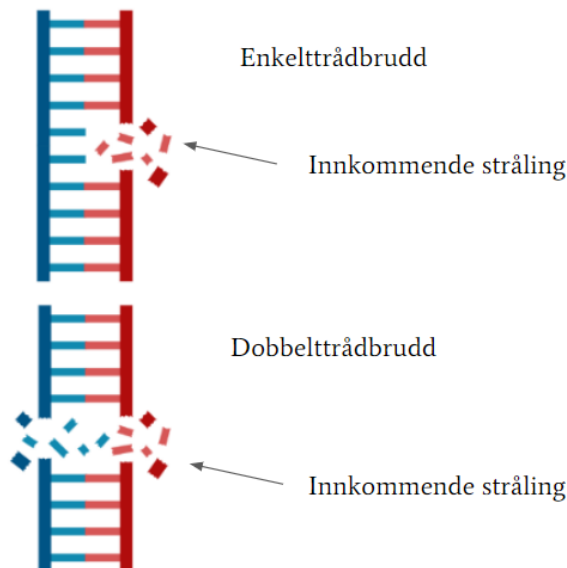
Figur 6: En skjematisk fremstilling av hendelsesforløpet ved bestråling av et biologisk system. Hentet fra *Vår strålende verden*» Henriksen & Henriksen side 30(2005).

Direkte effekter forekommer ved ionisering eller eksitasjon av biomolekylet ansvarlig for en funksjon i cellen. Dette kan føre til fysiske brudd i bindingene i molekylene. Et eksempel på dette er trådbrudd i deoksyribonukleinsyre-molekylet (DNA). DNA er et stort molekyl og består av nitrogenbasepar knyttet sammen av hydrogenbindinger. Disse er festet på to tråder «ryggraden» og kveilet sammen til en dobbel-heliks struktur. Baseparene bestående av adenin, tymin, cytosin og guanin, er kodet i en spesiell rekkefølge og inneholder den genetiske koden for livet til en organisme. Adenin kobles til tymin, og cytosin kobles til guanin. Disse forkortes til A,T,C og G. Uten DNA har ikke cellene evnen til å videreføre liv i en organisme.



Figur 7: DNA-molekylet er sveivet sammen i den øverste delen av figuren og består av baseparene A-T og C-G. Det er rekkefølgen på disse baseparene som utgjør den genetiske koden. Hentet fra Biorender.com

Cellen har mange beskyttelsesfaktorer som hindrer videre skade i DNA-et. Ut fra omfanget på skaden vil ulike prosesser settes i gang med mål om å opprettholde liv i organismen som helhet. Dette kan være effekter som programmert celledød (apoptose) og reparasjon av skader hvor DNA-molekylet flettes sammen igjen ved hjelp av en rekke enzymer. De fleste *enkeltrådbrudd*, hvor en av trådene i DNA er brutt, anses å være lette å reparere da cellen kan ta i bruk den motstående basen som mal. I *dobbeltrådbrudd*, hvor DNA-tråden er kuttet tvers over, er ikke reparasjon like sikkert da DNA-tråden ikke har like klart utgangspunkt for reparasjon. Det er her potensielle mutasjoner kan oppstå, ved at rekkefølgen på baseparene endres. . Denne formen for skade er den mest avgjørende for utvikling av kreft i en organisme. Kreft er en fellesbetegnelse på sykdommer hvor det finnes unormal cellevekst, enten at cellen ikke går inn i apoptose eller vokser unormalt raskt. Det anslås at før fylte 75 år har én av tre nordmenn fått minst én kreftdiagnose (kreftregisteret.no).



Figur 8: Enkeltrådbrudd og dobbeltrådbrudd i DNA-molekylet. Enkeltrådbrudd blir ansett som lettere å reparere siden den motstående basen er tilgjengelig, siden adenin kun kobles til tymin og cytosin kun kobles til guanin. Dobbeltrådbrudd anses som vanskeligere å reparere fordi den motstående basen ikke er tilgjengelig som mal. Hentet fra Biorender.com

Ulike organer i kroppen har ulik strålefølsomhet. Med strålefølsomhet menes alvorlighetsgraden av konsekvenser som kan inntreffe ved at området er blitt bestrålt. Som en tommelfingeregel tenkes det at celler som ofte fornyes er mest strålefølsomme. Huden er kjent som et beskyttende organ som blant annet hindrer at alfastråling kommer inn i kroppen og treffer de mer strålefølsomme delene av kroppen som beinmargen og lymfesystemet, og reproduksjonssystemene. Ved strålesyndrom er et eller flere sentrale organer blitt bestrålt i høye doser som vil alvorlig svekke funksjonen til organismen, for eksempel mennesket. Det finnes ulike former for strålingssyndromer, men denne oppgaven vil fokusere på det hematopoetiske strålingssyndromet, hvor beinmargen er bestrålt, fordi det var dette som best beskriver sykdomsforløpet til Litvinenko presentert i vitenprogrammet. Her blir produksjonen av røde og hvite blodceller, samt blodplater redusert. Tynntarmen ble også bestrålt. De første symptomene på strålingssyndrom er kvalme og eventuell rødhet på det bestrålte området. I beinmargen finner man stamceller. De er ansvarlig for å produsere blant annet hvite blodceller. Stamceller er noen av de cellene som er mest sensitive for stråling, og vil sjelden repareres. Man kan tenke seg at organismen ikke vil risikere å reparere disse cellene da de er ansvarlige for tilførselen av nye celler i hele organismen og feil i DNA-et vil føre til feil andre steder i organismen. Derfor går de bestrålte stamcellene raskt inn i programmert celledød og kan ikke lenger produsere andre celler. Dette fører til at immunforsvaret svekkes og en infeksjon kan bli dødelig.

2.1.7 Bruk av nukleær og annen ioniserende stråling i medisin

De biologiske effektene av radioaktiv og ioniserende stråling kan utnyttes i diagnostikk og behandling av ulike medisinske tilstander. Under vil jeg presentere noen utbredte former for diagnostikk og behandling.

Røntgenundersøkelse

Ved en røntgenundersøkelse vil røntgenstråling, som er ioniserende elektromagnetisk stråling (se figur 2), bli sendt mot området som skal undersøkes. Den elektromagnetiske strålingen absorberes ulikt i ulike deler av kroppen. Bensusubstans, som i stor grad består av kalsium og fosfor, absorberer mer av strålingen enn bløtvev som inneholder mer hydrogen. Ved å sette opp en røntgenstråledetektor, vil man kunne se hvor i kroppen de ulike formene for vev er, og om det finnes strukturelle abnormaliteter som beinbrudd der. Røntgenundersøkelser er i dag mye brukt hos leger og tannleger.

Positronemisjonstomografi (PET)

PET er en bildeundersøkelse som brukes for å diagnostisere aktivitet i celler og kroppsvev. En radioaktiv nuklide som avgir positronstråling (β^+) vil injiseres i kroppen, gjerne ved hjelp av et bærermolekyl. Bærermolekylet er ofte et suktermolekyl hvor en radioaktiv nuklide, for eksempel ^{18}F , er blitt festet på. Kreftsvulster har den egenskapen at de vokser hurtig som innebærer at de trenger mye energi. Når sukker blir tatt opp i kroppen vil mye av dette bli prosessert i kreftsvulsten, og de radioaktive nuklidene som er koblet til sukkeret vil hoppe seg opp der. Nuklidene, som emitterer positroner, vil annihilere med elektroner og skape to 511 keV fotoner som beveger seg i 180° i forhold til hverandre. På utsiden av pasienten er det plassert detektorer som vil registrere denne fotonstrålingen i såkalt koinsidens. Ved å beregne tiden som fotonene bruker for å nå detektorene kan man avgjøre den romlige fordelingen av disse annihilasjonene. Slik kan helsepersonell avgjøre hvor en kreftsvulst ligger. Det finnes flere sykehus, både private og offentlige, som tilbyr diagnostikk via PET i Norge i dag.

Computertomografi (CT)

En CT-undersøkelse vil fungere godt sammen med en PET-undersøkelse for å avgjøre hvilke vev og organ som ligger rundt en kreftsvulst. En CT-undersøkelse består av mange røntgenbilder som blir tatt lagvis i et område i kroppen. Røntgenstrålene kommer fra mange vinkler og vil dermed kunne ta bilder av et større område av kroppen. Samlet vil CT-røntgenbildene skape et digitalt 3-dimensjonalt bilde av et område i kroppen. CT-teknologi er i mye bruk ved norske sykehus.

Radioaktive nuklider kan også brukes til kreftbehandling. Et radioaktivt stoff kan plasseres like ved kreftsvulsten og bestråle selve svulsten som kan føre til celledød og hindre videre vekst.

2.1.8 Måling og enheter

De biologiske effektene er nært knyttet til hvilken stråledose molekylet er utsatt for. For å beregne dosen må man vite hva *aktiviteten* til en gitt radionuklide er. Aktiviteten måles ut i fra antall desintegrasjoner per tidsenhet og tar i bruk enheten becquerel (Bq), hvor 1 Bq er én hendelse per sekund. Absorbert stråledose måles i enheten Gray, hvor $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J / kg}$. Dosen er da energien absorbert i molekylet fra den ioniserende strålingen. Det finnes derimot flere måter å beskrive dose på, og begrepet ekvivalent dose tar i tillegg for seg innvirkningen strålingstypen har på det gitte organet. Ekvivalent dose måles i enheten Sievert (Sv) hvor 1 Sievert er 1 J / kg . Videre har vi *doserate* som er dose over tid og har enhet Gy(Sv)/h.

2.1.9 Doserate

Vi er alle omgitt av ioniserende stråling hver dag. Det består i hovedsak av bakgrunnsstråling fra berggrunnen, men man blir også utsatt for stråling på flyturer, legebesøk, radioaktive stoffer i kroppen, fra mat og andre organismer. Livet på jorda er tilpasset den bakgrunnstrålingen, siden doseraten er såpass lav at biologien evner å reparere seg selv ettersom skadene ikke foregår for raskt. I snitt får en gjennomsnittsnordmann en stråledose på 4 mSv per år. En årsdose på dette innebærer mellom 600-800 millioner ionisasjoner i kroppen til en person på 60 kg per sekund. Dersom man får for mange ionisasjoner, for raskt, vil ikke kroppen klare å reparere skadene og det er her de biologiske effektene oppstår.

2.2 Kjernefysikk og radioaktivitet i samfunnet

I dette delkapittelet vil jeg fortelle om hvilken rolle kjernefysikk og radioaktivitet har hatt i samfunnet og hvilke trender som har vært med på å prege allmennhetens oppfattelse.

Kjernefysikk har mange bruksområder. Det blir blant annet brukt innen produksjon av elektrisk energi, datering i arkeologi, våpenutvikling og medisinsk behandling. Samfunnets oppfatning av kjernefysikk og radioaktivitet har vært i stor endring etter som ulike bruksområder har vært relevant for tidsepoken (Kaijser et al. 2021). I dette kapitlet vil jeg ta for meg sentrale hendelser som kan ha vært med på å prege allmennhetens oppfattelse av kjernefysikk og reaksjonene deretter.

2.2.1 Hendelser og bevegelser

Menneskers oppfatning av kjernefysikk er nært knyttet til hvordan det er blitt presentert i media (Boyes & Stanisstreet, 1994). Dette har vært spesielt synlig i kjølvannet av ulykkene ved Three Mile Island, Tsjernobyl og Fukushima, og det har resultert i skepsis og frykt rundt radioaktivitet

og kjernefysikk (Kim, 2016). Dette er ikke uventet, da store internasjonale kriser knyttet til kjernekraft og radioaktivitet har hatt stor historisk betydning og negative effekter i samfunnet.

Atomvåpen

Det var ikke før bruken av atomvåpen under andre verdenskrig at den generelle befolkningen fikk øynene åpnet for hvilke krefter som finnes i atomkjernen, selv om forskningsområdet hadde eksistert i mange tiår (Kaijser et al. 2021). Resultatet av Manhattan-prosjektet var at to atombomber sluppet over de Japanske byene Hiroshima og Nagasaki, som resulterte i tap av 102 000 menneskeliv og 109 000 mennesker ble alvorlig skadet i angrepene (*snl.no/atomvåpen*). Videre, under starten på den kalde krigen, foregikk det en kraftig opprustning av atomvåpen både i USA og Sovjetunionen, som også inkluderte prøvesprengninger. Men, under Cubakrisen i 1962, ble trusselen så reell at det ble satt i gang flere forhandlingsprosesser for å begrense bruken. I 1963 kom en multilateral avtale som forbød prøvesprengning av atomvåpen, skrevet under av USA, Storbritannia og Sovjetunionen. Prøvesprengningene førte ikke bare til lokal forurensing, men radioaktive stoffer ble også spredt via værsystemer over større områder (*snl.no/atomvåpen*).

Kjernekraftverk

Fra 1950-årene og utover ble kjernekraftverk bygget for å produsere elektrisk energi, og globalt økte antall kjernekraftverk frem til 2000-tallet. På 2000-tallet og utover flatet kurven ut etterhvert som flere kraftverk ble lagt ned og få nye ble bygd. Derimot ser man at i løpet av de siste 2-3 årene har antall kjernekraftverk i verden økt. I takt med den økende bevisstheten knyttet til klimaendringer og behovet for energi som ikke fører til utslipp av CO₂ har kjernekraft blitt løftet frem som en ressurs for utvinning av elektrisk energi (Kaijser et al. 2021). Bruken av kjernekraft som kilde til elektrisk energi er, og har vært, kontroversiell. Motstanden har blant annet gått ut på at teknologi som kreves for å bygge kjernekraftverk også kan bli brukt til å utvikle atomvåpen, risikoen for at radioaktive stoffer skal bli spredt i miljøet, samt utfordringen med lagring av oppbrukt brensel (Persson, 2018). Under oljekrisen i 1973-1974 opplevde verden en nedgang i tilgangen til olje og gass som brensel for å skape elektrisk energi. Dette førte til økt interesse for å bygge kjernekraftverk, og flere nasjoner som Frankrike og Tyskland kom på banen (Kaijser et al. 2021). Parallelt, på 70-tallet, startet motstandsbevegelsen mot utbygging av kjernekraftverk i vesten blant unge mennesker. De fikk tidlig politisk støtte i Sverige og Danmark, men det var ikke før grønne miljøpartier som Die Grünen og Les Verts ble etablert i Tyskland og Frankrike på 80-tallet at motstanden ble stor internasjonal (Kaijser et al. 2021).

Ulykken ved kjernekraftverket Three Mile Island i 1979 hadde en stor innvirkning på holdningen til kjernekraft og førte til en markant nedgang i utbyggingen av nye kjernekraftverk globalt. Det var likevel ingen helsemessige skader etter ulykken (snl.no/Three_Mile_Island). Syv år senere, i datidens Sovjetunionen, fant det sted en eksplosjon i kjernekraftverket i Tsjernobyl. Kraftverket hadde heller ikke filtre, som førte til at radionuklider kom opp i atmosfæren og spredte seg over hele Europa. Det var mye hemmelighold rundt ulykken, og det var ikke før forskere fra andre land stilte spørsmål til de abnormale målingene i deres eksperimenter at Sovjetunionen gikk offentlig ut med informasjon om ulykken (Kaijser et al. 2021). I dag anses en radius på 30 km rundt området som ubeboelig. Ulike kilder rapporterer om ulikt antall av døde knyttet til ulykken, men en rapport fra 2006 forteller om færre enn 50 dødsfall direkte knyttet til arbeidet om å stanse ulykken og 4000 tilfeller av skjoldbruskkjertelkreft innen 20 år (Kinly 2006). Norge var et av landene i Europa som fikk et stort nedfall av radionuklider fra Tsjernobyl-ulykken, som førte til innstramminger spesielt knyttet til kjøtt fra dyr på utmarksbeite. Store mengder med kjøtt ble ansett som uspiselig, og norske myndigheter kom med tiltaksgrenser for innhold av radioaktive isotoper i matvarer i Norge for å hindre kreftutvikling og strålesyke (snl.no/Tsjernobyl-ulykken).

I 2011 ble vestkysten av Japan rammet av et jordskjelv med en påfølgende tsunami. Kjernekraftverket Fukushima Daichi var bygget for å tåle jordskjelv, og gikk inn i en automatisk nedkjølingsprosess like etter at jordskjelvet foregikk. Nedkjølingsprosessen var avhengig av dieseldrevne nødaggater, men disse tålte ikke oversvømmelsene som tsunamien brakte med seg. Overskuddsvarmen førte til flere eksplosjoner, og radioaktive stoffer ble spredt i nærområdet. Ingen ble drept av strålingen, men flere måtte flytte, og oppryddingen foregår fortsatt (snl.no/Fukushima_-_kjernekraftulykke).

I dag, mai 2022, er debatten enda oppe og har fått en ny vinkling etter Russlands invasjon av Ukraina i februar 2022. Dette har blant annet ført til dyrere strøm for europeere da mange land, som for eksempel Tyskland, er avhengig av fossile brenslere fra Russland (Tollefson 2022). Tyskland har de siste årene faset ut kjernekraft som en del av deres *Energiwende* med mål om å kun ta i bruk fornybare energikilder (Appunn 2014). Derimot går Frankrike inn for å bygge flere kjernekraftverk for å dekke strømforbruket (Adresse aux Français, 2021). En av reaksjonene på krigen har vært at i Norge vil regjeringen satse mer på forskning på kjernefysikk og -kjemi (NTB 2022). Kjernefysikk er slikt presentert en politisk aktuell sak i Europa og i Norge, som elever senere kan bli møtt med.

2.3 Hverdagsforestillinger og forkunnskaper

I dette delkapittelet vil jeg presentere fagdidaktisk teori om argumentasjon som brukes for å analysere data og forstå resultater i oppgaven.

2.3.1 Alternative forestillinger

Det er ikke gitt at elevers forestillinger som naturvitenskapelige fakta eller teorier samsvarer med det det finnes vitenskapelig konsensus om. For å beskrive dette fenomenet har vi begrepene *hverdagsforestillinger*, *alternative forestillinger* og *feiloppfatninger*. Begrepet alternative forestillinger innebærer at elevers forestillinger er reelle alternativer til den aksepterte vitenskapen, mens begrepet feiloppfatninger beskriver tydelig at elevers forestillinger er i sterk motsetning av den aksepterte vitenskapen (Angell et al, 2019). Begrepet hverdagsforestillinger handler om at forestillingene er praktiske i en ikke-naturvitenskapelig situasjon, eller hverdagen, og at de bygger på erfaring. Jeg velger å bruke begrepet alternative forestillinger videre.

Elevers forestillinger formes i sosiale samspill. Lev Vygotsky bygde grunnmuren for det vi beskriver som sosialkonstruktivisme. Det er «*Ideen om at læring innebærer en vei fra en sosial kontekst til individuell forståelse*» (Vygotsky (1987) i Angell et al. 2019 side 143). De ideene som vi møter på via kommunikasjon i sosiale sammenhenger konstrueres sammen til forståelse av et fenomen. Det er dermed ikke utelukkende sosiale situasjoner i klasserommet som former elevers syn, men alle sosiale interaksjoner de deltar i (Taber & Akpan, 2017). Dette er med på å skape alternative forestillinger. Ved innlæringen av nye faglige emner har læreren den utfordringen at elever har ulike forkunnskaper om et emne fra før av, konstruert av den individuelle elevers erfaring. Dette kan være utfordrende for en lærer å kartlegge og tilpasse undervisningen deretter. Forestillinger er ofte standhaftige, også etter gjennomført undervisning, som kan tyde på at undervisningen ikke er like effektiv eller oppnår det som er ønskelig (Angell et al, 2019).

Forestillingene er standhaftige da de fungerer godt for å beskrive hverdagen. Dette kan være til tross for at forestillingen ikke nødvendigvis er i tråd med det som faktisk anses som å være vitenskapelig korrekt (Taber & Akpan, 2017). For eksempel er utsagn som «Jeg har ikke noe energi i dag» en tilstrekkelig forklaring på at noen er utmattet, men mangelfull dersom man skal beskrive det naturvitenskapelige begrepet energi. Utviklingen av hverdagsforestillinger kjennetegnes ved at elever ikke er kritiske til informasjonen de tar inn som bygger hverdagsforestillingen.

2.3.2 Tidligere forskning på forestillinger knyttet til radioaktivitet og stråling

Forestillinger knyttet til fysiske fenomen blant elever er noe som forskes mye på i fagdidaktikken (Duit et al. 2014). Radioaktivitet og stråling er ofte presentert og snakket om i media som noe farlig (Kim, 2016). Medias dekning av en mulig atomkrig i Ukraina er kanskje det ferskeste eksempelet på dette, men også i populærkultur er ulykkene knyttet til kjernekraftverk ofte brukt, for eksempel: Tv-serien *Chernobyl* (HBO, 2019), og filmer som *The Fast and The Furious* (2001), *Die Hard* (1986) og *Chernobyl* (1986). Dette er kun et fåtall av mange medier hvor Tsjernobyl-ulykken har vært en sentral del av handlingen. Det er blitt funnet en sammenheng mellom elevers oppfatning av Tsjernobyl-ulykken og hvordan ulykken ble presentert i media (Boyes & Stanisstreet 1994). Når media fokuserer på de skadelige aspektene og bruker frykt som virkemiddel, reflekteres det hos elevene. Dette kan føre til at elevene tar med seg hverdagsforestillinger inn i klasserommet. Dette videreføres med at mange har assosiasjoner med ioniserende stråling som noe farlig og opplever en frykt rundt temaet (Lijnse et al. 1990). Det finnes flere andre årsaker til dette, som at elevene ikke har nok forkunnskaper til å forstå hva som blir presentert i media, eller at de som presenterer saken heller ikke har nok forkunnskaper (Boyes & Stanistreet, 1994). Forkunnskaper elevene sitter på vil påvirke hvordan de tar til seg det nye lærestoffet, og det er vesentlig at læreren kjenner til forestillingene elevene sitter på for å kunne gi god undervisning (Angell et al., 2019). Dette viser at elever har et behov på å kunne kritisk vurdere informasjon om radioaktivitet, stråling og helse, samt behovet for oppdatert fagdidaktisk forskning på området.

2.3.3 Forestillinger knyttet til radioaktivitet og stråling

I en oversiktsartikkel fra 2017 (Plotz) med tittelen «*Students' conceptions of radiation and what to do about them*» fant forfatteren seks kjerneoppfatninger knyttet til stråling:

1. Stråling er ikke naturlig.
2. Lys er noe annet enn stråling.
3. Alt elektrisk utstyr slipper ut skadelig stråling.
4. Stråling står bak mange miljøutfordringer.
5. Stråling er det samme som radioaktive partikler*.
6. Stråling slippes ut av levende vesener og hjelper oss med å oppdage følelser.

(Tabell 1 i Plotz, 2017, egen oversettelse)

*Det skal merkes at språket kan være mer ledende i andre språk enn norsk, da «stråling» oversettes til «radiation», som har felles etymologisk bakgrunn og rot som «radioactive».

Oppfatningene representert er i hovedsak oppfatninger som skiller seg fra det som er vitenskapelig konsensus. Generelt for fysiske prosesser på et atomært nivå, som forståelsen av hvordan et atom ser ut, er det utbredt med alternative forestillinger. Dette er forestillinger som at et atom har de samme egenskapene som en ordinær kule eller ball, som farge og form (Duit

et al. 2014). Det finnes også en god del forskning på elevers forståelse av kvantefysiske objekter, som både atomkjerner og alfa-, beta- og gammastråling kan kalles. Blant annet sliter mange elever med bølge-partikkel-dualismen, og kan ofte overtolke den klassiske analogien der kvantefysiske partikler fremstilles som små baller (Krijtenburg-Lewerissa et al. 2017). I 2021 ble det publisert en artikkel som presenterte feiloppfatningene, kunnskapen og holdningene knyttet til radioaktivitet. De fant blant annet at radioaktivitet blir oppfattet som et svært komplekst tema blant elever, og de refererer til de samme misoppfatningene som Plotz har beskrevet over (Morales López & Tuzón Marco 2022). Studien fant også at radioaktivitet kjennetegnes som svært farlig og skadelig. Elever bruker ordene «radioaktivitet», «stråling», og «radioaktivt stoff» om hverandre og finner det utfordrende å beskrive hva det er som faktisk er skadelig med det. Mange elever har også et forhold til det som et mikroskopisk fenomen og er knyttet opp til at de har høy, eller mye energi.

2.3.4 Forskingen gjort i Norge knyttet til forestillinger

I Norge er den siste forskningen gjort på elevers forståelse av radioaktivitet og ioniserende stråling knyttet til helse gjennomført av Henriksen & Jorde i 2001, i artikkelen «High School Students' Understanding of Radiation and the Environment: Can Museums Play a Role?». Ved hjelp av et undervisningsopplegg over tre deler, gjennomført av 195 elever på Vg1, hadde forskerne som mål å identifisere fellestrekk til studentenes oppfatninger av og forestillinger knyttet til strålingsrelaterte miljøutfordringer.

I den første delen, som ble gjennomført i klasserommet, skulle elevene vurdere informasjon knyttet til bestråling av krydder. De fikk 15 minutter til å skrive ned tankene sine og ble stilt spørsmål som: «*Hva slags former for stråling kjenner du til?*», «*Hvilken type tror du har blitt brukt for å bestråle krydderet?*» og «*Vet du hva som skjer dersom mennesker blir bestrålt?*» (Egen oversettelse). Denne oppgaven fungerte som en forberedelse til del to (Henriksen & Jorde, 2001). I den andre undervisningsenheten foregikk på et museum med utstillingen «Vår strålende verden». Utstillingen var oppdelt i tre bolker:

- Ozon og UV-stråling.
- Drivhuseffekten og global oppvarming.
- Ioniserende stråling og helse.

Elevene fikk tilgang til museumsutstillingene med et arbeidsark noen dager etter gjennomføringen av del 1. De ble oppfordret til å lete etter informasjon som kunne være med på svare på spørsmålene fra den første delen, og arbeidsarket inneholdt i tillegg spørsmål knyttet til innholdet i utstillingen. Den tredje delen ble gjennomført i klasserommet noen dager etter undervisningsopplegget på museet. Her ble elevene bedt om å lese gjennom og revidere sitt eget svar fra den første delen, spesielt å reflektere rundt deres egen forståelse og undersøke om synet

deres hadde blitt endret. Forskerne undersøkte deretter elevbesvarelsene og kartla fem sentrale oppfatninger, eller alternative forestillinger, innen delen «stråling og helse» hvor hver av oppfatningene hadde fått minst fem besvarelser.

1. Et syn på ioniserende stråling som noe unaturlig og farlig.
2. Et skille mellom «god stråling» (stråling funnet i naturen og brukt i medisin) og «dårlig/farlig» (brukt i matbestråling, i kjernevåpen, osv).
3. Ingen differensiering mellom ioniserende stråling og andre miljøutfordringer, slik som elektriske og magnetiske felter fra elektriske apparater, kjemiske plantevernmidler, tilsetningsstoffer og så videre.
4. Ingen differensiering mellom konseptet radioaktivitet og det radioaktive materialet.
5. En tanke om at bestrålte substanser kan selv bli radioaktive etter bestråling.

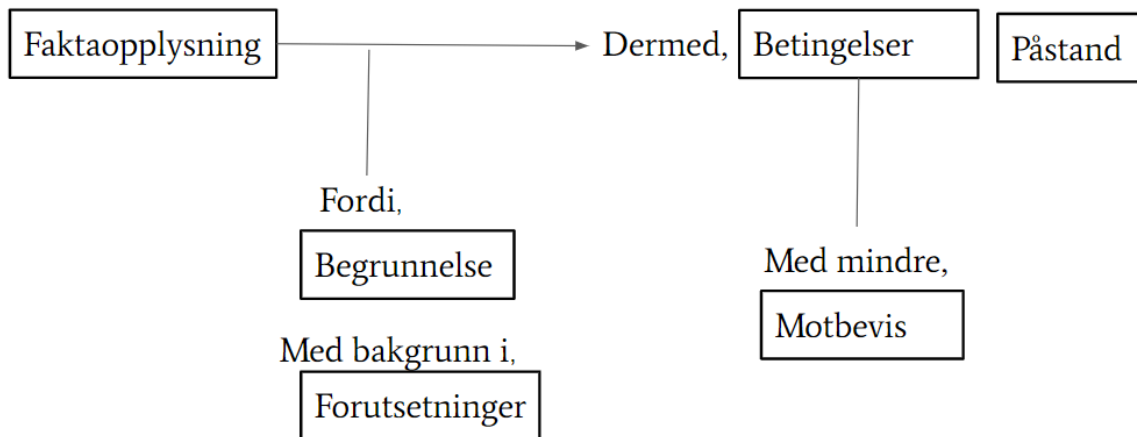
Henriksen og Jorde avslutter artikkelen sin med blant annet oppfordringer om å ta i bruk historier fra virkeligheten når elever lærer om vitenskapelige problemstillinger. I tillegg beskrev de at mange elever ikke viste en evne til å resonnerer rundt sine meninger om strålingsrelaterte utfordringer. Dette kan bety at elever mangler øving i å argumentere for sine synspunkter. Begge av disse forholdene har vitenprogrammet tatt hensyn til i sin utvikling av vitenprogrammet Radioaktivitet.

2.4 Argumentasjon og kritisk tenkning i vitenskap

Debatter som involverer naturvitenskapelig problemstillinger er ikke sjelden i samfunnet. Det kan for eksempel handle om plassering av vindmøller, utbygging av veinett eller forskning på genteknologi. Et annet eksempel er bruk av kjernefysisk teknologi i samfunnet. I de siste årene har kjernekraft blitt løftet som en ressurs for å dekke behovet for energi som ikke slipper ut klimagasser (Persson, 2018). Et av målene med forskning er å produsere ny kunnskap om verden og det krever at forskerne tar i bruk evner innen argumentasjon og kritikk. Ved å argumentere for nye metoder, funn og forklaringer, samt gi og motta kritikk kan dette føre til bekreftelse, avkreftelse og utviklingen av nye vitenskapelige ideer (Osborne, 2010). Dette er en del av den naturvitenskapelige egenart og er en prosess som tar tid. En kjent modell for argumentasjon ble presentert av Toulmin i boken «The Uses of Argument» (2003), og sitert i Språk, tekst og kommunikasjon (Mork & Erlie, 2017). Her beskrives seks elementer som kan inngå i en argumentasjonsprosess:

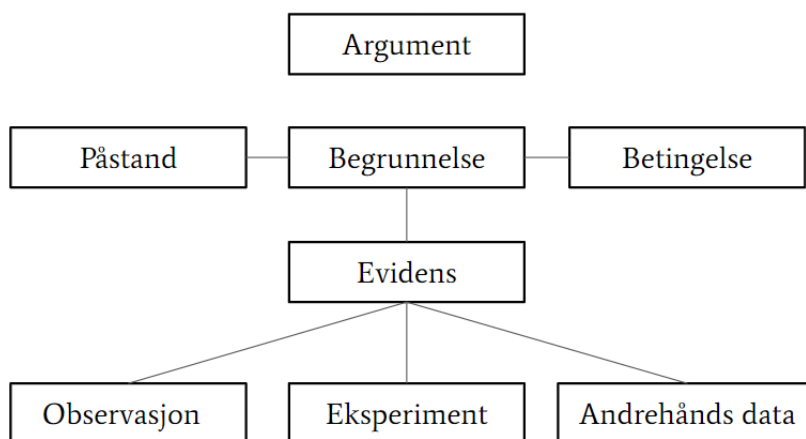
- Påstand (*claim*) – dette er en konklusjon eller erklæring om et spørsmål eller en problemstilling som fremsettes av en aktør.
- Faktaopplysninger (*data*) – dette er faktaopplysningene knyttet til argumentet for å støtte påstanden.
- Begrunnelse (*warrant*) – dette er begrunnelsene som knytter sammen faktaopplysningene og påstanden.
- Betingelser (*qualifiers*) – dette spesifiserer rammene hvor påstanden kan anses å være sann, representerer begrensningene til påstanden.

- Motbevis/unntak (*rebuttals*) – dette er spesifiseringer hvor påstanden ikke vil være sann.
- Forutsetninger (*backings*) – dette er rammene som påstandene er satt i og som det gjerne er enighet rundt, som antas å være allment godtatt for å rettferdiggjøre begrunnelsen.



Figur 9: Toulmins seks komponenter som kan inngå i en argumentasjon. Hentet og oversatt fra *The uses of argument* (Toulmin, 2003).

Toulmins modell er mye brukt for å analysere elevers argumenter. Fra Haug og Mork (2021) introduseres en forenklet versjon av Toulmins modell som viser at elevers argumentasjon i naturfaget i skolen kan bestå av en påstand og en begrunnelse, gitt under betingelser. Begrunnelsen lener seg på Evidens i form av observasjon, eksperiment eller andrehånds data.



Figur 10: Innholdet i et argument hentet fra Haug & Mork, *Nøkkelpbegreper i utforskende arbeid*, 2021 side 143.

2.5 Argumentasjon sin rolle i naturfag

2.5.1 Innføring av argumentasjon som tverrfaglig tema

Det er stor enighet blant utdanningsforskere om at kritisk tenkning bør inngå i skolen (Bailin 2002). Utdanningsdirektoratet (2020) benytter følgende definisjon av kritisk og vitenskapelig tenking i overordnet del av læreplan:

«Kritisk og vitenskapelig tenkning innebærer å bruke fornuften på en undersøkende og systematisk måte i møte med konkrete praktiske utfordringer, fenomener, ytringer og kunnskapsformer.» (Utdanningsdirektoratet, 2020).

Kritisk tenkning er en sentral del av de naturvitenskapelige metodene og relevant for å delta i og forstå argumentasjonsprosesser. Det å kunne argumentere og vurdere andres argument er en viktig del av kritisk tenkning (Haug et al. 2021) og kritisk tenkning inngår også i overordnet del av læreplan (Utdanningsdirektoratet, 2020). I en tidsepoke hvor vi som samfunnsborgere blir møtt med store mengder informasjon, er det viktig å kunne vurdere denne informasjonen og gjennomføre valg basert på dem (Driver et al, 2000). Mange bruker internett som kilde til kunnskap, men det kan være utfordrende å avgjøre hva som er en troverdig avsender der og ikke (Sjøberg, 2009). Utdanningsdirektoratet tar dette på alvor ved å innføre det tverrfaglige temaet om argumentasjon og kritisk tenking i skolen.

I artikkelen «Naturvitenskapelige praksiser og tenkemåter – på vei mot et tolkningsfellesskap» presenterer Haug et al. (2021) åtte praksiser i naturfag, og beskriver kjennetegn på dybdelæring for hver av dem. De trekker frem fire praksiser som er sentrale for å utøve kritisk tenkning: Utføre informasjonssøk og kildevurdering, argumentere, gjøre etiske vurderinger og formidle. Kunnskap om argumentasjon er dermed viktig dersom elever skal kunne utøve kritisk tenkning. Ved utvikling av hverdagsforestillinger er ikke elevene nødvendigvis kritiske til den informasjonen de tar inn, men i foraene hvor hverdagsforestillinger eksisterer er det en gjensidig forståelse av dem (Angell et al, 2019). Å lære om fenomenet radioaktivitet er ansett som sentralt for å utvikle en sans for kritisk tenkning (Morales López and Tuzón Marco 2022).

Haug et al. (2021) beskriver at elever med dybdekunnskap i argumentasjon kan identifisere og velge ut relevant faktakunnskap som for eksempel innsamlet data og bruke dette som evidens i en gitt kontekst (Haug et al. 2021). Flere kjennetegn på dybdelæring i argumentasjon er at elever kan bidra i diskusjon ved å selv gi kritikk og være åpen for kritikk fra andre, å endre mening i lys av ny evidens, og vurdere kvaliteten og styrken til evidens. Evidens blir heretter referert til som faktaopplysninger. I Fagfornyelsen er det lagt vekt på dybdelæringsprosesser som en del av

opplæringen og en grundig innføring i argumentasjon vil kunne bidra til dette (Utdanningsdirektoratet, 2020).

Under beskrivelsen av det tverrfaglige temaet Demokrati og medborgerskap i læreplanen for naturfag (Utdanningsdirektoratet, 2020) står det om argumentasjon: «Kompetanse i naturfag gir grunnlag for å forstå og være kritisk til argumentasjonen i samfunnsdebatten, og er viktig for at elevene skal kunne være aktive medborgere og bidra til en teknologisk og bærekraftig utvikling». Dette kan støttes av Sjøbergs demokratiargument for hvorfor man bør lære naturfag. Naturvitenskapelig kunnskap er viktig for å holde seg informert og for å kunne delta aktivt i et demokratisk samfunn (Sjøberg, 2009). Om det er ønskelig at elever skal nettopp ta del i dette bør de kjenner til argumentasjon (Driver et al., 2000). Elever blir sjelden introdusert for bruk av argumentasjon i naturfag. Læreverk og lærere vil ofte gi forklaringer på hvorfor noe er som det er, men beskriver ikke argumentene for hvorfor noe er som det er (Osborne, 2010). Men, derimot er den faktiske vitenskapelige prosessen mer kompleks. Å utvikle kunnskap tar tid, og etablerte prosedyrer som fagfellevurderinger, diskusjoner mellom forskere bidrar til å øke kvalitet på forskning (Osborne, 2010). Som følge av dette kan det å ikke inkludere argumentasjon føre til en forenklet og naiv forståelse av hva vitenskap er. Å gi elever kunnskap om hva argumentasjon i vitenskapen innebærer vil gi et mer helhetlig bilde av hva vitenskap er, gjør, og består av (Driver et al, 2000). Mange tror at vitenskapelig kunnskap er noe som oppstår ut i fra det som observeres eller konstrueres i eksperimenter, og at denne kunnskapen er helt sikker.

2.5.2 Forutsetninger for argumentasjon i skolen

Argumentasjon i naturfagsundervisning vil kreve at elever kan konstruere og vurdere vitenskapelige argumenter og at de kan resonnerer vitenskapelig (Osborne, 2010). Mortimer og Scott (2003) beskriver det vitenskapelige språket som den viktigste formen for kommunikasjon. Elever må dermed ta i bruk språket, slik forskere også gjør, for å kunne lære om argumentasjon, og det er lærerens ansvar å legge til rette for dette (Osborne, 2010). Muntlig og skriftlig språk er den måten som oftest benyttes av naturvitere for å konstruere, beskrive og presentere naturvitenskapelige påstander og argumenter (Mork og Erlien, 2017). Naturvitenskapelig språk er dermed noe av det viktigste elever kan tilegne seg for å kunne tenke kritisk rundt og vurdere informasjon, og for å bli kjent med naturvitenskapen. Når elevene tar i bruk egne ord, utfordres de til å ta stilling til og vurdere egne og andres argumenter, og kan få en grundig forståelse av et fenomen. Argumentasjon blir slik presentert som en dialogisk og ikke-lineær prosess. Å få innsikt i og forske på elevers begrepsforståelse og bruk av vitenskapelig språk, vil dermed være med på å gi lærerne mer kunnskap om hvordan argumentasjon kan implementeres i undervisningen.

Kapittel 3 Viten.no Radioaktivitet

Naturfagssenteret er et nasjonalt kompetansesenter for naturfag, og skal bidra til å øke kvaliteten på naturfagsundervisning i opplæringen. De utvikler blant annet ressurser som tas i bruk i skolen, og en av nettsidene man finner disse på er viten.no. På viten.no finnes digitale læringsressurser for ungdomstrinnet og videregående skole. Naturfagssenteret lanserte i desember 2021 vitenprogrammet Radioaktivitet som tar for seg kompetansemålet om stråling, helse og kritisk tenking. Programmet handler om drapet på Alexander Litvinenko, den tidligere KGB-agenten som ble forgiftet med Polonium-210 i 2006 og døde av strålingssyndrom. Programmet er delt opp i tre deler. Den første delen introduserer saken og forklaringer på hva ioniserende stråling, kjernefysikk og radioaktivitet er. Den andre delen beskriver flere måter å avdekke ioniserende stråling på, blant annet gammaspesktrometri. Den tredje delen forteller om dose-begrepet og om medisinsk bruk av radioaktivitet og ioniserende stråling. Gjennom hele programmet blir elevene aktivisert i interaktive og skriftlige oppgaver.

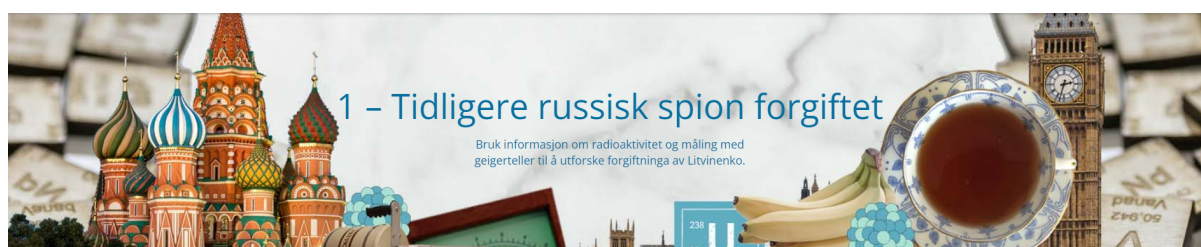
3.1.1 Del 1 Tidligere russisk spion forgiftet – 90 minutter

Læringsmål for denne delen:

Etter denne delen skal du kunne

- utforske ioniserende stråling fra radioaktive kilder
- beskrive og sammenligne de ulike strålingstypene alfa-, beta- og gammastråling
- vurdere informasjon om helseeffekter av ioniserende stråling

Den første delen introduserer saken ved å presentere nyhetsreportasjen fra NRK. I tillegg møtes elevene med illustrasjoner i form av bilder inne på vitenprogrammet.



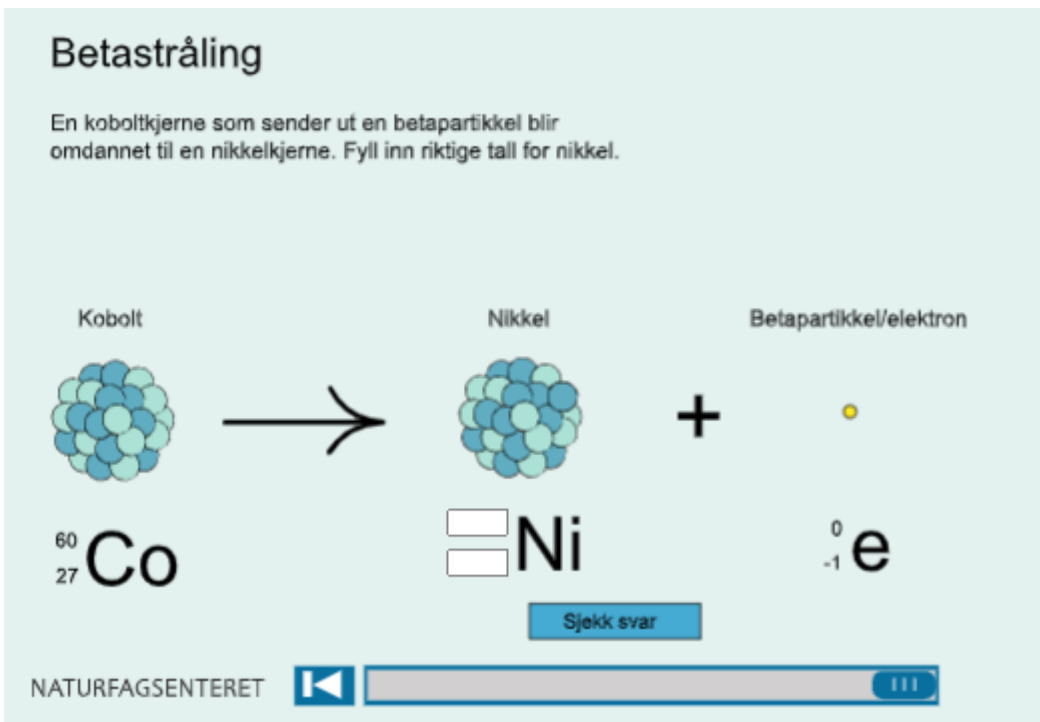
Figur 11: asiljkatedralen ved den røde plass i Moskva, Tegning av atomkjerner, Måleinstrument, Notasjon av Uran, Banan, Tekopp, Klokken Big Ben i London. Skjerm bilde fra viten.no/radioaktivitet

Det er også et bilde av Aleksandr Litvinenko i sykeseng.

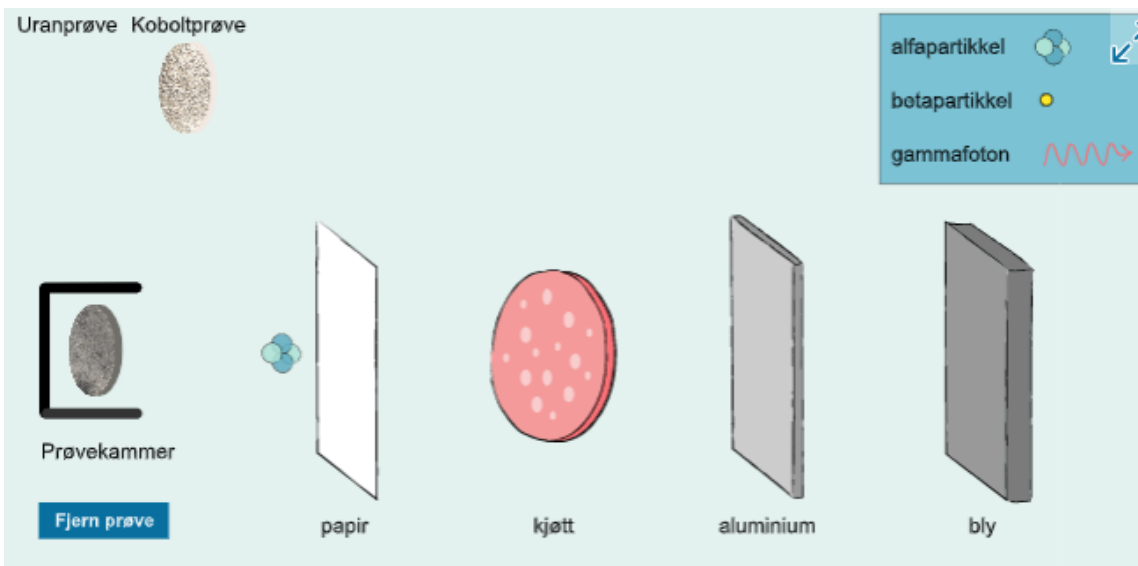
Den første oppgaven elevene skal svare på er:

1. Hva kan du fra før av om radioaktivitet og ioniserende stråling?

Elevene får så presentert teoretisk informasjon om atomkjernen og hvordan beskrive den, lærer seg å navngi isotoper og de lærer om fenomenet radioaktivitet. Det presenteres informasjon om alfastråling, betastråling og gammastråling.

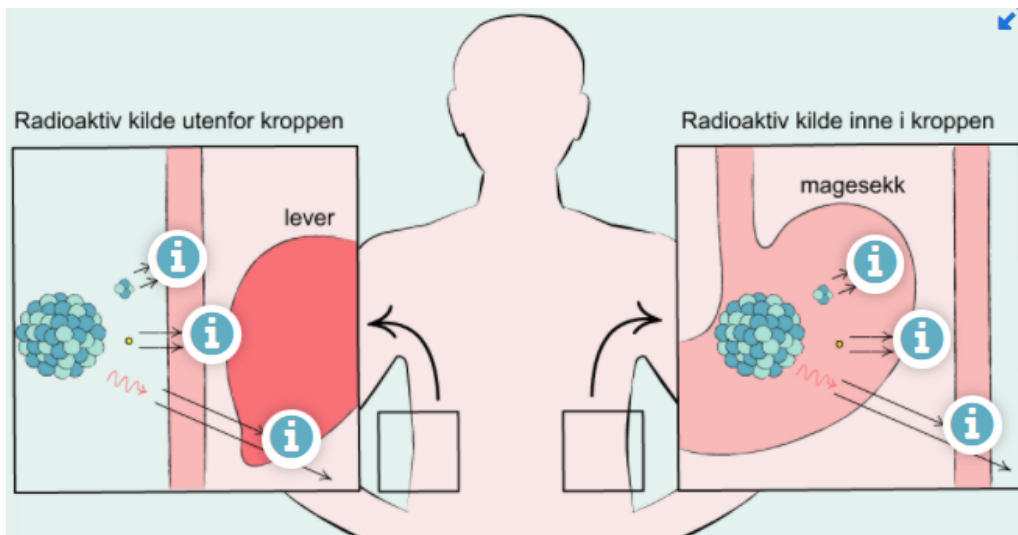


Figur 12: Betastråling illustrert ved hjelp av glideranimasjon. Skjerm bilde fra viten.no/radioaktivitet Gjennomtrengningsevnen til to radioaktive stoffer, uran og kobolt, demonstreres også i en interaktiv oppgave.



Figur 13: Interaktiv oppgave som viser gjennomtrengningsevnen til ulike former for ioniserende stråling. Skjerm bilde fra viten.no/radioaktivitet

Deretter skal elevene avgjøre hva slags type stråling som kommer fra de ulike formene for radioaktive kilder og fylle inn en tabell. Videre i del 1 introduseres det teoretisk informasjon knyttet til helsefarene ved stråling, og elevene skal svare på oppgaver som ber dem forklare hvorfor radioaktive stoffer er mer farlig på innsiden av kroppen enn utenfor.



Figur 14: Interaktivt bilde som viser gjennomtrengningsevnen til ulike former for ioniserende stråling i kroppen, og hvor skade kan oppstå. Skjerm bilde fra viten.no/radioaktivitet

Geigertelleren introduseres og elevene skal gjennomføre fiktive målinger med den. Deretter kommer det en oppgave hvor elevene skal vurdere tre argumenter som leger kommer med, knyttet til diagnostiseringen av Litvinenko.



Figur 15: Legene presenterer sine argumenter for mulige årsaker til Litvinenko sine symptomer. Skjerm bilde fra viten.no/radioaktivitet

I denne delen repeterer programmet også litt av den faglige informasjonen knyttet til de ulike formene for stråling og til tungmetaller. Det oppfordres så til en klassediskusjon med spørsmålet: «Hva vet vi om stoffet Litvinenko ble forgiftet av?».

3.1.2 Del 2 Nye undersøkelser - 60 minutter

Læringsmål for denne delen:

Etter denne delen skal du kunne

- identifisere radioaktive stoffer ved hjelp av energien til gammastråling fra stoffet
- hente ut og tolke informasjon om radioaktivitet i tabeller og grafer

I denne delen av oppgaven får elevene først vite at behandlingen mot tungmetallforgiftning til Litvinenko ikke fungerer, og at legene trenger en ny vurdering.



ORDFORKLARINGER

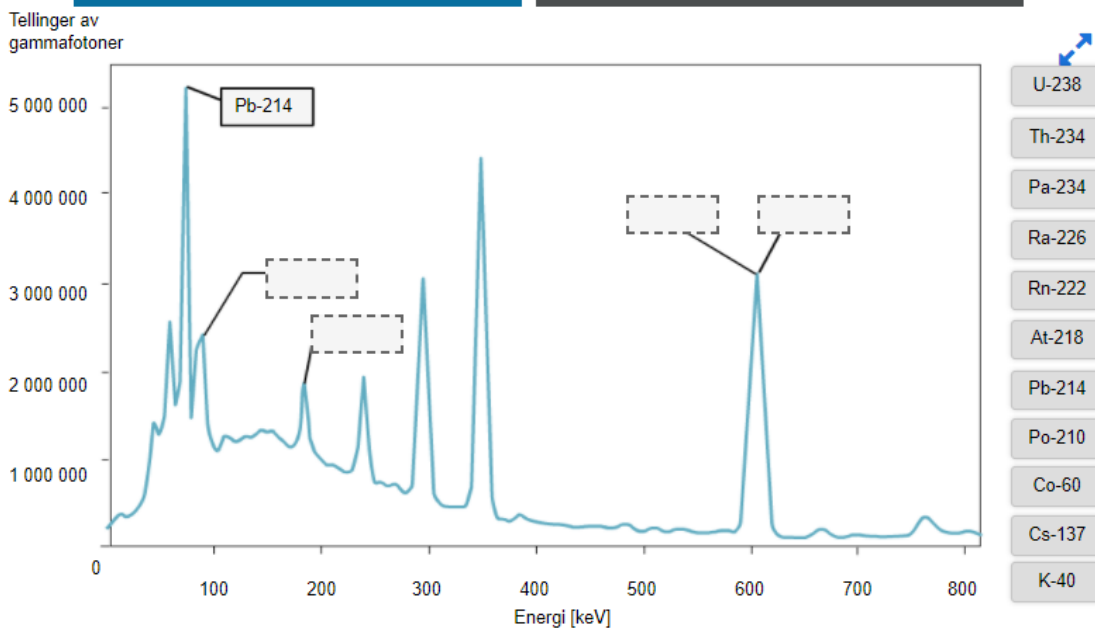
gammastråling: elektromagnetisk stråling (energirike fotoner) som sendes ut fra radioaktive atomkjerner

gamm spektrometer: et instrument som måler antall gammafotoner og hvilken energi de har

elektronvolt: måleenhet for energi. Symbolet for elektronvolt er eV. $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Figur 16: Gammastrålingsspektrometer og informasjon om gammastråling. Skjerm bilde fra viten.no/radioaktivitet

Avbildningsteknikken spektrometri presenteres kort og det nevnes at en urinprøve fra Litvinenko sendes til en mer nøyaktig undersøkelse. Gammastråling beskrives som et slags fingeravtrykk for hver isotop og elevene skal lese av en tabell om gammastråling for ulike isotoper for å identifisere isotoper.



Figur 17: Interaktiv oppgave med gammaspekter. Skjerm bilde fra viten.no/radioaktivitet

Gammaspekter fra urinprøven til Litvinenko vises og elevene skal lese av grafen for å identifisere hvilken isotop som gir utslag på gammaspekteret. Den neste delen tar for informasjon historien og egenskapene til Polonium. Et NRK-klipp som viser at Litvinenko døde blir deretter presentert. Ved hjelp av informasjonen om gammaspektrometri, og ved hjelp av faktaopplysningene presentert i programmet, skal elevene besvare to oppgaver: En oppgave om hvorfor legene ikke kunne detektere stråling på utsiden av kroppen, og en oppgave hvor elevene skal konstruere argumenter som legene tok i bruk for å konkludere at Litvinenko ble forgiftet av polonium-210.

3.1.3 Stråling og helse - 60 minutter

Læringsmålene for denne delen:

Etter denne delen skal du kunne

- sammenligne stråledoser fra ulike kilder
- bruke det elektromagnetiske spekteret til å beskrive ulike strålingstyper
- vurdere informasjon om helseeffekter av ulike strålingstyper

Del 3 starter med et nyhetsreportasje fra NRK som forteller at først i 2015 ble Litvinenko-saken ferdig etterforsket. Elevene skal deretter gjennomføre en oppgave hvor de skal begrunne hvorfor ingen andre i London ble syke som følge av spredning av polonium-210. Så kommer det en del om stråledoser og fakta om ioniserende stråling, stråledose og enheten sievert. Elevene skal komme med en vurdering over hva som vil gi minst stråledose, ved å rangere ulike situasjoner

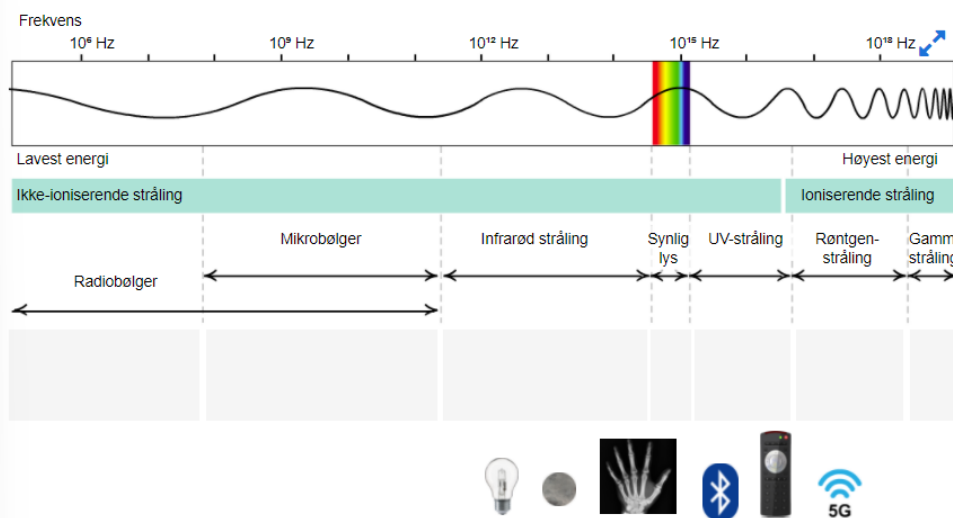
etter hvilken stråledose det kan gi. De skal så svare på en oppgave om hvorfor man ikke bør få for mange CT-undersøkelser.



Figur 18: En liste over stråledoser hvor elever skal rangere hvor skadelige de er. Skjermbilde fra viten.no/radioaktivitet

Deretter kommer det en del om elektromagnetisk stråling og en interaktiv illustrasjon av det elektromagnetiske spekteret.

Flytt LED-pære, uranprøve, røntgenbilde, blåtann (bluetooth), fjernkontroll og 5G slik at strålingstypen havner på riktig plass i det elektromagnetiske spekteret. Flere figurer kan settes inn på samme felt.



Figur 19: Interaktiv animasjon hvor elevene skal plassere ulike former for stråling i det elektromagnetiske spekteret. Skjermbilde fra viten.no/radioaktivitet

Deretter følger en oppgave om hvorfor stråling fra mobiltelefoner ikke er like skadelig som gammastråling. Den siste informasjonsdelen handler om ioniserende stråling som kan redde liv i form av både diagnostisering og behandling av ulike sykdommer og tilstander inne i kroppen.

Undersøkelser som CT og røntgen blir presentert, og ytre og indre former for strålebehandlinger.

DiagnostiseringBehandling


Ytre strålebehandling

Dette er en metode hvor ioniserende stråling blir brukt til å drepe kreftceller. Gammastråling og røntgenstråling blir sendt mot kreftcellene fra utsiden av kroppen. For å unngå å skade friskt vev, blir strålinga sendt mot kreftcellene fra ulike retninger. Da mottar kreftcellene mye stråling, mens friske celler i området rundt motar lite. Normale celler er mer robuste og har større evne til å reparere seg selv enn kreftcellene. Ved å fordele strålebehandling over flere ganger, får de normale cellene tid til å reparere seg selv mellom hver behandling.

Vanlige bivirkninger av strålebehandling er kvalme, oppkast, diaré, magesmerter og tørre slimhinner. Dette er symptomer som er like de Litvinenko fikk.

Indre strålebehandling

Dette er en metode hvor radioaktive isotoper, som for eksempel kobolt-60, plasseres inne i kroppen nær kreftceller. Denne behandlingen gir høy stråledose til kreftcellene, men gir lite belastning på kroppen ellers.



NATURFAGSENTERET

▶ III

Figur 20: Bruk av ioniserende stråling i medisiner. Her er det en glideranimasjon som viser gammastråling som treffer en kreftsvulst i hjernen. Skjerm bilde fra viten.no/radioaktivitet.

I den siste delen av programmet skal elevene revidere svaret sitt fra den første oppgaven i programmet. Besvarelsen fra den første oppgaven: «Hva vet du fra før av om radioaktivitet og stråling?» vil vises og elevene skal først vurdere om de finner noe feil i besvarelsen sin. Deretter skal de fylle ut besvarelsen sin i den siste oppgaven:

Har du lært mer nå? Skriv et nytt svar ved å fortsette på setningene nedenfor

1. Radioaktive stoffer kan sende ut tre typer stråling:
2. Radioaktivitet kan måles med følgende metoder:
3. Radioaktivitet kan være helseskadelig når:
4. Eksempler der vi har medisinsk nytte av ioniserende stråling:

Helt i slutten av programmet finnes det en oppsummering av Litvinenko-saken.

Se det fullstendige vitenprogrammet på www.viten.no/filarkiv/radioaktivitet.

Kapittel 4 Metode

I dette kapittelet vil jeg beskrive fremgangsmåten i studien og begrunne valgene gjort underveis. Det er blitt brukt eksempler fra elevbesvarelsene, og jeg har konsekvent rettet opp i skrivefeil i disse.

4.1 Datainnsamlingen

Data brukt i prosjektet er samlet inn fra fem klasser bestående av 143 elever i deres utprøving av vitenprogrammet Radioaktivitet i faget naturfag Vg1. Data fra klasse 1 og 2 ble samlet inn direkte hos klassen det var prøvd ut hos i høsten 2021. Data fra klasse 3 var samlet ved et skolebesøk til Universitetet i Oslo oktober 2021. Ved innsamling hos klasse 4 og 5 var programmet offisielt lansert, og disse dataene ble samlet inn digitalt grunnet covid19-pandemien.

Det ble planlagt egne timer for utprøving av programmet hvor programutviklerne fikk mulighet til å presentere hensikten med prosjektet og svare på spørsmål fra elevene underveis. Disse klassene gjennomførte deretter vitenprogrammet i løpet av påfølgende øktene. For klasse 4 og 5 ble totalt ble fire skoletimer satt av for gjennomføringen av vitenprogrammet. Alle klassene består av elever på Vg1 på ulike studieforberevende utdanningsprogram fra skoler på Østlandet og resulterte i totalt 143 besvarelser.

Fra alle fem klassene ble besvarelsen fra Oppgave 1 tatt med i analysen. Fra klasse 4 og 5 ble i tillegg besvarelsene fra Oppgave 6, 9 og 14 hentet ut og tatt med i analysen. Besvarelsene fra disse oppgavene ble ikke tatt ut fra klasse 1, 2 og 3 da ikke alle delene av programmet var klart til på det tidspunktet da programmet var enda under utvikling. Klasse 4 og 5 utgjorde totalt 66 individuelle besvarelser. Dette ble derimot redusert til rundt 45-49 besvarelser da enkelte elever ikke svarte på oppgaven eller at svarene deres ikke ble lagret. Enkelte elever har også kun delvis svart på oppgavene, det vil si å kun svare på deler av oppgave 6, 9 og 14. Flere av besvarelsene er identiske som et resultat av at de har samarbeidet i par.

I kodingsprosessen har jeg gjennomgående tatt i bruk kodingsverktøyet NVivo.

4.2 Datagrunnlaget

4.2.1 Forskningsspørsmål 1

1. Hvilke forestillinger om radioaktivitet og stråling finnes blant Vg1-elever i starten av arbeidet med et vitenprogram om temaet radioaktivitet og stråling?

Fra vitenprogrammet ble oppgave 1 inkludert i analysen for å svare på forskningsspørsmål nr. 1.

Oppgave 1: *Hva vet du fra før om radioaktivitet og stråling?*

4.2.2 Forskningsspørsmål 2

2. Hva uttrykker elever i slutten av vitenprogrammet at de har lært om radioaktivitet og helse?

For å svare på forskningsspørsmål 2 ble oppgave 14 fra vitenprogrammet inkludert i analysen.

Oppgave 14: Har du lært mer nå? Skriv et nytt svar ved å fortsette på setningene nedenfor.

- *Radioaktive stoffer kan sende ut tre typer stråling:*
- *Radioaktivitet kan måles med følgende metoder:*
- *Radioaktivitet kan være helseskadelig når:*
- *Eksempler der vi har medisinsk nytte av radioaktiv stråling:*

Oppgave 14 ble inkludert i analysen for undersøke om elevene endret på forestillingene sine, og spesielt delspørsmålet om når radioaktivitet kan være helseskadelig er interessant fordi forskningen beskriver at elever ofte assosierer stråling og radioaktivitet med helsefare.

4.2.3 Forskningsspørsmål 3 & 4

3. Hvilke faktaopplysninger presentert i vitenprogrammet bruker elevene i argumentasjon?
4. I hvilken grad bruker elever faktaopplysningene presentert i vitenprogrammet hensiktsmessig i argumentasjon?

Fra vitenprogrammet ble oppgave 6 og 9 inkludert for å svare på forskningsspørsmålene 3 og 4.

Oppgave 6: Hva mener du? Ta utgangspunkt i grubletegninga og vurder hvert argument.

- *Argument 1: Jeg tror han er forgiftet med uran, siden alfastråling gir så stor skade inne i kroppen.
Min vurdering:*
- *Argument 2: Geigertelleren målte ikke unormal radioaktivitet, så jeg tror han er forgiftet av et tungmetall.
Min vurdering:*
- *Argument 3: Han kan være forgiftet av et stoff som bare sender ut alfa- eller betastråling, siden disse typene stråling ikke kommer ut av kroppen.
Min vurdering:*

I oppgave 6 skal elevene vurdere argumentene til legene i vitenprogrammet med bakgrunn i faktaopplysningene som er presentert i del 1 av vitenprogrammet. Oppgave 9 er også inkludert for å svare på forskningsspørsmål 3 og 4.

Oppgave 9: *Litvinenko døde 23. november 2006, tre uker etter at han først ble syk. Legene konkluderte med at han døde av akutt strålesyke etter å ha blitt forgiftet av polonium-210. Jobb i par, og skriv ned noen argumenter dere tror legene brukte for å underbygge denne konklusjonen. Til slutt skal dere diskutere argumentene i klassen.*

I Oppgave 9 skal elevene selv utvikle argumenter basert på faktaopplysninger presentert hittil i programmet. De skal jobbe som forskere, eller leger i dette tilfellet, ved å ta i bruk tilgjengelig informasjon.

4.3 Analyse av elevsvar i Oppgave 1

Oppgave 1 ble inkludert på å besvare forskningsspørsmålet:

- *Hvilke forestillinger om radioaktivitet og stråling finnes blant Vg1-elever i starten av arbeidet med et vitenprogram om temaet radioaktivitet og stråling?*

4.3.1 Analysemetode

For å analysere elevsvarene til Oppgave 1 benyttet jeg meg av en tematisk analyse. Jeg har analysert besvarelsene basert på innholdet for å finne trendene som har resultert i et sett koder. Deretter bearbeidet jeg disse kodene for å strukturere en tolkning som kan besvare forskningsspørsmålene presentert i kapittel 1. Jeg har fulgt teknikker innen rammeverket for tematisk analyse beskrevet av Braun og Clarke (2006). De beskriver seks faser relevant for å gjennomføre en slik analyse:

Fase		Beskrivelse av prosess
1	Bli kjent med datasettet:	Transkribere data (om nødvendig), lese data flere ganger og notere ned initielle tanker.
2	Skape de første kodene	Kode interessante egenskaper til datasettet systematisk over hele datasettet, sortere relevant til hver kode
3	Lete etter tema	Sortere koder inn i potensielle tema, samle all relevant data til hver potensielle tema.
4	Revidere tema	Undersøke om temaene fungerer i relasjon med kodene og datasettet, skape et tematisk «kart» over analysen
5	Definere og navngi tema	Pågående analyse for å redefinere det spesifikke for hver tema og den helhetlige historien som analysen forteller, skape klare definisjoner og navn for hvert tema.
6	Produsere rapporten	Den siste muligheten for analyse. Et utvalg av levende og overbevisende eksempler, avsluttende analyse av utvalgte deler, relateres til forskningsspørsmålet og litteratur, produsere en vitenskapelig rapport av analysen.

Tabell 2 hentet fra (Braun & Clarke, 2006, side 87, egen oversettelse)

Tematisk analyse er en metode for identifisere, analysere og beskrive sentrale mønster og tema i data. Et tema skal fange noe om datasettet som er viktig for å besvare forskningsspørsmålet og representerer et slags mønster i besvarelsene (Braun & Clarke, 2006). Siden det er stor forskjell i lengden på hver enkelt besvarelse i oppgave 1, fra 2-3 stikkord til flere avsnitt, så vil ikke hver besvarelse vektas likt, tema kan oppstå i flere besvarelser på samme tid. Braun og Clarke beskriver også at det er opp til forskeren å avgjøre hva som gjør et tema egnet for analysen, og at det ikke nødvendigvis basert på hvor ofte det blir nevnt, men hvordan det kan fange noe viktig i relasjon til forskningsspørsmålet.

Fase 1 - Bli kjent med datasettet

Jeg startet med å lese igjennom datamaterialet og skrev ned de første tankene jeg fikk basert på besvarelsene. Dette var viktig for å forberede meg på det mer omfattende kodingsarbeidet som kom i fase 2 og videre.

Fase 2 - Skape de første kodene

Ved tematisk analyse kan kodene ha røtter både fra teori og tidligere forskning, samt datagrunnlaget som er presentert (Gleiss & Sæther, 2021). Det i hovedsak datagrunnlaget som har gitt rammer for kodene, men jeg har også hatt forskningsspørsmålene i bakhodet mens jeg har sett etter kodet. Jeg har dermed ikke tenkt på den tidligere forskningen knyttet til forestillinger innen radioaktivitet og stråling. Jeg kodet datasettet i to omganger. Den første gangen jeg kodet tok jeg i stor grad utgangspunkt i de trendene jeg så da jeg leste gjennom datasettet for første gang. Ettersom jeg kom mer i dybden på datamaterialet ble kodene mer definerte. Noen av de første kodene var veldig vage eller for spissformulerte, som jeg oppdaget etter hvert som jeg kodet datamaterialet. Det førte til at jeg hadde et litt annet syn på det første datamaterialet jeg kodet sammenlignet med det siste. Jeg reviderte plasseringen underveis, men med tanke på omfanget av datamaterialet er det ikke sikkert at jeg oppdaget alt med en gang. Derfor ventet jeg en stund før jeg kodet alt i en omgang til og sammenlignet deretter resultatene. Dette for å øke validiteten i funnene.

Fase 3-4 Lete etter og revidere tema

Etter at jeg hadde kommet frem med et sett av koder som beskrev datamaterialet begynte jeg å undersøke hvordan kodene hang sammen. Jeg lagde et tankekart hvor jeg samlet de kodene som hadde en relasjon med hverandre og forsøkte å finne hva som var felles for disse – identifisere de første tema. Ved å skape tema fra kodene kan funnene bli mer tydelige. Temaene har forsøkt å fange det «ytre vitenskapelige» i kodene. For eksempel har tema og senere koden Helsefare blitt basert på elevsvar som:

- *Radioaktiv stråling er farlig og kan utvikle kreft.*

- *Strålingene kan gjøre deg syk.*

Dette har tidligere blitt kodet som «kreft» eller «syk», men å samle det vil en kode «Helsefare» vil det kunne gi en tydeligere fellesnevner. Jeg reviderte så disse ved å se på hvor nøyaktig innholdet i hver kodet passet med temaet. Dette er et viktig steg for å validere koden i relasjon til datasettet (Braun & Clarke, 2006). Jeg leste gjennom datagrunnlaget for å se om det var noe som manglet og for å vurdere om temaene jeg hadde funnet passet til kodene.

Fase 5 - Definere og navngi tema

I fase 5 definerte jeg de overordnede tema presist for å finne essensen i hver kode. Hvert av tema har fått en grundig beskrivelse med eksempler som viser hva de inneholder og spesifiserer hva tema ikke inneholder. Dette inkluderer også undertema som har oppstått. Jeg var opptatt av at disse skulle til en viss grad være overførbare slik at en person som ikke kjente til datamaterialet skulle forstå hva det handlet om.

4.3.2 Kodene og temaene presentert i tabell

Fra den samlede kodingsprosessen har jeg kommet fram til koder som er systematisert i tre hovedtema: Fysiske begreper og prosesser, Farer og kontekst og Anvendelser. Kodene er presentert i tabell 1-3. Mange av besvarelsene har fått flere koder da elevene får mulighet til å inkludere alt det de kan om radioaktivitet og ioniserende stråling fra før av. Det betyr at antallet registrerte «kodinger» overgår antall besvarelser, men dette ble gjennomført for å få med de besvarelsene som hadde flere ting de kunne om radioaktivitet og stråling.

Tabell 2 - Temaet Fysiske begreper og prosesser

Navn på kode	Sentralt innhold	Eksempel på elevbesvarelser
Atomkjerne	Viser til atom(kjerne) og at enkelte elementer/stoffer er radioaktive og frigjøringen av energi.	<i>Radioaktivitet kommer fra atomkjernen som sender ut stråling.</i>
Frigjøring av energi	Referer til frigjøring/ overføring av energi i form av bølger	<i>men vet at stråling er energi som blir sendt ut i form av bølger.</i>
Alfa/beta/gamma	Nevner ulike typer (alfa/beta/gamma/em) og/eller deres egenskaper	<i>Jeg vet at radioaktivitet er en betegnelse som ofte blir brukt for å beskrive alfa, beta og gammastråling.</i>
Doser	Viser til dose, at det er skadelig i høye doser og mindre skadelig i lave doser, at det finnes overalt	<i>Radioaktivitet og stråling finnes i det meste bare i små doser. Når man flyr blir man utsatt for mye høyere doser</i>
Andre bølgefenomener	Nevner andre former for stråling	<i>solstråling, radiobølger, uv-stråling, lydbølger, mekaniske bølger</i>

Tabell 3 - Temaet Farer

Navn på kode	Sentralt innhold	Eksempel på elevbesvarelser
Fare - generelt	Viser til at det er farlig/har en frykt/men spesifiserer ikke	<i>Jeg vet ikke så mye om det faktisk, men er klar over at det er to veldig farlige ting.</i>
Fare - Helsefare - makronivå	Viser til at det kan være farlig for kroppen/ helsa og eller nevner kreft	<i>Radioaktivitet og stråling kan være svært farlig og føre til diverse farlige sykdommer som for eksempel kreft.</i>
Fare - Helsefare - mikronivå	Viser til farer knyttet til de fysiske prosessene som kan skje med cellen. Sammenlignet med koden «helsefare» kommer elevene også med en utdypning..	<i>Radioaktivitet og stråling kan ofte lede til genfeil og kreft. Det kan endre på celler/gener.</i>
Fare - miljø	Viser til at det kan ha en negativ innvirkning på miljø og natur.	<i>Radioaktivitet er ikke bra, det forurenses natur og landskap.</i>

Tabell 4 - Temaet Kontekster og anvendelser

Navn på kode	Sentralt innhold	Eksempel på elevbesvarelser
Atomvåpen	Alle henvisninger til atomvåpen, Hiroshima og Nagasaki	<i>Atomvåpen kan føre til områder med høy radioaktivitet og stråling</i>
Historiske personer	Viser til personer som har vært sentrale i historien knyttet til radioaktivitet	<i>Jeg vet at Marie Curie oppdaget et radioaktivt stoff</i>
Atomkraftverk	Nevner at det kan brukes for energiutvinning i atomkraftverk	<i>Radioaktivitet er et stoff som brukes til kjernekraft</i>
Atomkraftverk - ulykke	Nevner at ulykker har forekommet i atomkraftverk ved f.eks Fukushima og Tsjernobyl	<i>Radioaktivitet kan komme fra atomkraftverk. Et eksempel er Chernobyl der et atomkraftverk sprengte. Strålingen drepte mange.</i>
Medisin	Nevner at det brukes i behandling og ved undersøkelser. Jeg har valgt her å tolke «røntgenstråling» som medisinsk bruk	<i>Jeg vet at stråling kan brukes som behandling hvis man har kreft.</i>

4.4 Analyse av elevsvar i Oppgave 14

Elevsvar i Oppgave 14 ble inkludert for å svare på forskningsspørsmål 2:

2. Hva uttrykker elever i slutten av vitenprogrammet at de har lært om radioaktivitet og helse?

Oppgave 14:

Har du lært mer nå? Skriv et nytt svar ved å fortsette på setningene nedenfor.

1. *Radioaktive stoffer kan sende ut tre typer stråling:*
2. *Radioaktivitet kan måles med følgende metoder:*
3. *Radioaktivitet kan være helseskadelig når:*
4. *Eksempler der vi har medisinsk nytte av radioaktiv* stråling:*

**dette er senere endret til ioniserende stråling i oppgaveteksten i programmet.*

4.4.1 Analysemetode

Jeg velger å kun se på deloppgave 3 og 4 fordi disse er mest relevant for å svare på forskningsspørsmålet om hva elever har fått kunnskap om knyttet til helse når det gjelder radioaktivitet og stråling. Elevene skal her ta i bruk fagkunnskapen de har lært i vitenprogrammet. Ut fra informasjonen i vitenprogrammet har jeg kommet med et forslag på hva som ville være gode besvarelser på oppgavene:

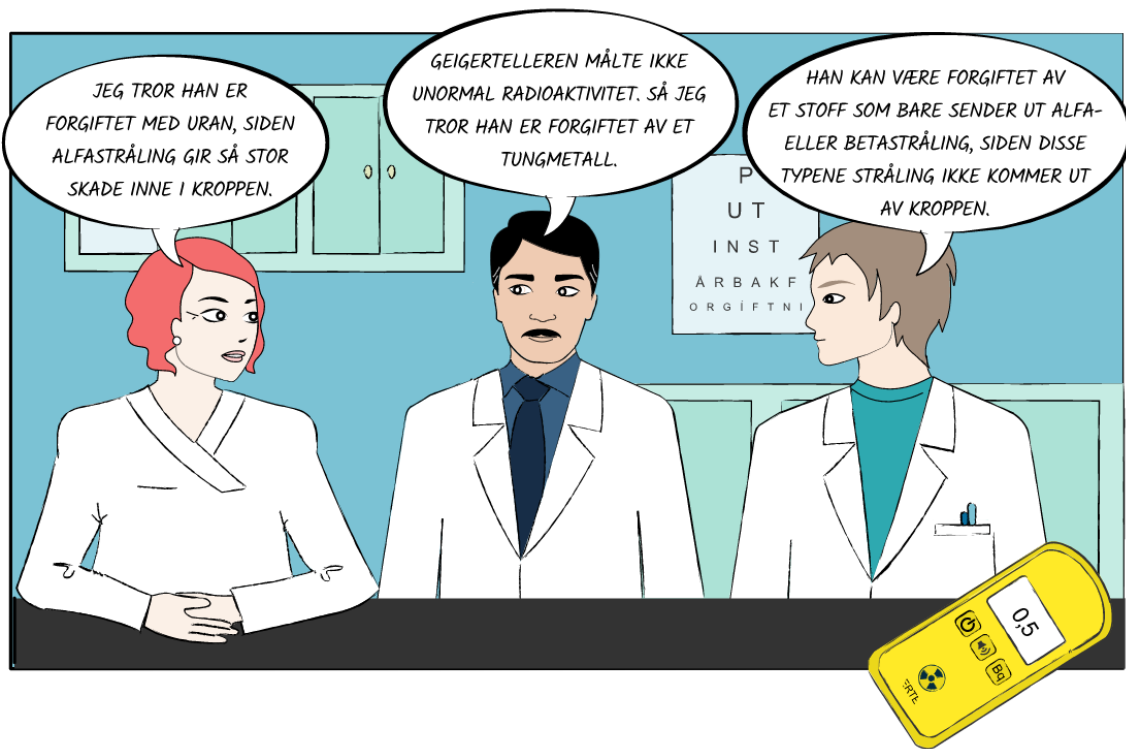
3. Radioaktivitet kan være helseskadelig når:
 - Når man blir utsatt for en høy stråledose på kort tid. Dette kan ionisere molekyler som har en viktig funksjon i kroppen. Radioaktive stoffer sender ut ulike former for stråling: Alfa-, beta- og gammastråling. Disse har ulik rekkevidde og evne til å ionisere molekyler. For eksempel kan alfastråling man beskytte seg mot med et ark, og stoppes av et tynt lag hud, men uten beskyttelse vil det skade mye.
4. Eksempler der vi har medisinsk nytte av radioaktiv stråling:
 - Diagnostikk av sykdommer og skader som ikke ellers er synlig på utsiden av kroppen: PET, SPECT
 - Behandling av kreftsykdommer: Ioniserende stråling skader kroppsvev, men det kan siktes inn slik at det i hovedsak skader kreftsvulster.

Elevenes besvarelser har jeg kodet for om de har besvart oppgavene med lignende innhold som presentert over, og har spesielt sett etter beskrivelser av fysiske fenomen som skiller seg fra det som det foreligger vitenskapelig konsensus om.

4.5 Analyse av elevsvar i Oppgave 6

Denne oppgaven ble inkludert for å svare på forskningsspørsmålene om:

1. Hvilke faktaopplysninger presentert i vitenprogrammet bruker elevene i argumentasjon?
2. I hvilken grad bruker elever faktaopplysningene presentert i vitenprogrammet hensiktsmessig i argumentasjon?



Figur 21: Legene presenterer sine argumenter for mulige årsaker til Litvinenko sine symptomer. Skjermbilde fra viten.no/radioaktivitet

4.5.1 Analysemetode

Oppgave 6 er en tekstopp-gave hvor elevene skal vurdere tre av legenes påstander med tilhørende begrunnelse fra en grubletegning. Denne oppgaven kan si noe om både elevenes forståelse av det de skal ha lært om radioaktivitet tidligere i programmet, og ikke minst om hvordan de vurderer andres argumenter og argumenter selv. Argumentasjon er som presentert i kapittel 2, en naturvitenskapelig praksis og der er et argument definert til å bestå av påstander og begrunnelser. Begrunnelser støttes av evidens, for eksempel i form av faktaopplysninger. I denne sammenhengen vil faktaopplysningene være det elevene har lært hittil i programmet.

Under arbeidet med denne analysen vurderte vi å ta i bruk Toulmins rammeverk for argumentasjon for å analysere elevsvarene som presentert i kapittel 2.4. Toulmins rammeverk ble oppfattet som særdeles omfattende i forhold til datagrunnlaget vi hadde med korte tekstsvaer, og ble dermed regnet som uhensiktsmessig for å analysere dataene i det perspektivet. I samråd med mine veiledere bestemte jeg derfor å ta i bruk en forenklet versjon av Toulmins modell fra boken «Nøkkeltbegreper i utforskende arbeid» (Haug & Mork, 2021). I denne modellen består et argument av en påstand/konklusjon og begrunnelser basert på evidens, for eksempel faktaopplysninger, se figur 10 (Toulmin, 1958; i Haug & Mork, 2021). Jeg valgte å kode for hvilke faktaopplysninger elevene tar i bruk og om de knytter det opp mot argumentet.

4.5.2 Utvikling av rammeverk for analyse

For å identifisere elevenes bruk av faktaopplysninger lagde jeg et rammeverk for analyse av oppgave 6. Vi begynte med å skrive ned faktaopplysningene elevene møter i vitenprogrammet som kan brukes i vurderingen av argumentene i oppgave 6 og 9. Dette vil være rammeverket vi koder etter. Se tabell 5, 6 og 7.

Noen av kodene inneholder flere faktaopplysninger, da spesielt IB2, da det ikke var noen besvarelser som kun inneholdt den ene. Det ble dermed ansett som hensiktsmessig og knytte disse sammen. Det er i tillegg mange av besvarelsene som kun er en vurdering om de er enige eller uenig (for eksempel: *jeg er enig*), eller som repeterer innholdet i grubletegningen i sin besvarelse (for eksempel: *enig fordi alfastråling gir stor skade inne i kroppen*). Mange bruker altså ingen faktaopplysninger selvstendig.

For å lete etter begrunnelser så jeg etter svar der elevene både brukte en faktaopplysning i sin vurdering av argumentet i snakkeboblen, og om de forklarte hvordan faktaopplysningene støttet eller svekket påstanden i snakkeboblen. Jeg kodet dermed for om de både inkluderte faktaopplysninger og om besvarelsene inneholdt en begrunnelse. For å støtte denne prosessen har jeg sett på bruken av ord som «derfor», «fordi», «som følge av» som er logiske koblinger eller bindeord som benyttes til å binde sammen evidens i form av faktaopplysninger med påstander (Mork & Erlie, 2017). Jeg valgte å kode for om elevene hadde begrunnet, ikke begrunnet, og steder hvor jeg var usikker. Se tabell 8.

4.5.3 Rammeverk for analyse av faktaopplysninger og begrunnelser

Tabell 5 - Rammeverk for analyse av argument 1

Argument 1 <i>Jeg tror han er forgiftet med uran, siden alfastråling gir så stor skade inne i kroppen.</i>			Eksempel på svar kodet med denne faktaopplysningen
Faktaopplysninger som støtter påstanden	1B1	Gjentagelse av innhold i grubletegningen	<i>Jeg synes dette argumentet er det mest sannsynlig. Siden han fikk såpass stor skade inne i kroppen.</i>
	1B2	Geigertelleren målte ikke noe på utsiden av kroppen da alfastråling vil bli absorbert innvendig og gi stor skade..	<i>Jeg tror det er denne som er riktig, siden geigertelleren ikke ga utslag, som vil si at skadene er innvendig og de er store så da må det være alfastråling.</i>
Faktaopplysning som svekker påstanden	1M1	Uran gir også gammastråling som ville gitt utslag på geigertelleren på utsiden av kroppen.	<i>Uran gir også fra seg mye gammastråling.</i>
	1M2	Ved at legene ikke målte på innsiden av kroppen vet man ikke hva slags radioaktive partikler som eventuelt hadde vært der.	<i>Jeg mener at dette er feil fordi vi ikke har målt stråling inni kroppen hans og alfastråler kommer ikke igjennom huden og kjøttet.</i>
	1M3	Annet	<i>Det er ikke en spesifikk diagnose. Det kan ikke være mulig fordi alfastråling går ikke gjennom hud?</i>
1 - enig	Besvarelse som kun forteller at de er enige i legenes argument.		<i>Vi er enige</i>
1 - uenig	Besvarelse som kun forteller at de er uenige i legenes argument.		<i>Jeg tror ikke dette er riktig argument</i>

Tabell 6 - Rammeverk for analyse av argument 2

Argument 2 <i>Geigertelleren målte ikke unormal radioaktivitet, så jeg tror han er forgiftet av et tungmetall.</i>			Eksempel på svar kodet med denne faktaopplysningen
Faktaopplysninger som støtter påstanden	2B1	Tungmetaller vil ikke gi utslag på geigerteller, og det ble ikke målt noe unormalt radioaktivt.	<i>Dette er mest sannsynlig. Det er fordi dette ville ikke gitt utslag på telleren og stemmer derfor med testen.</i>
	2B2	Forgiftning av tungmetall kan gi symptomer som diare, oppkast, hodepine og tretthet, som Litvinenko fikk.	<i>Jeg mener dette stemmer fordi symptomene Litvinenko fikk stemmer med hvilke effekter tungmetaller kan gi kroppen.</i>
Faktaopplysning som svekker påstanden	2M1	Litvinenko hadde ikke alle symptomene ved tungmetallforgiftning	<i>Symptomene han fikk stemmer ikke overens med de han skulle fått dersom tungmetall var forgiftning.</i>
	2M2	Det ikke gjort undersøkelser knyttet til om Litvinenko er blitt forgiftet på innsiden av kroppen.	<i>Vi har ikke målt på innsiden av kroppen hans derfor kan vi ikke være sikker på om at det er radioaktivt stoff inni han.</i>
	2M3	Annet	<i>Geigertelleren viste kanskje ikke unormal radioaktivitet, men den viser jo heller ikke om det er alfa-,beta eller gammastråling, og hvis det er alfastråling, så er den mye verre enn beta.</i>
2 - enig	Besvarelse som kun forteller at de er enige i legenes argument.		<i>Jeg tror dette er riktig argument</i>
2 - uenig	Besvarelse som kun forteller at de er uenige i legenes argument.		<i>Nei, tror ikke det</i>

Tabell 7 - Rammeverk for analyse av argument 2

Argument 3 <i>Han kan være forgiftet av et stoff som bare sender ut alfa- eller betastråling, siden disse typene stråling ikke kommer ut av kroppen.</i>			Eksempel på svar kodet med denne faktaopplysningen
Faktaopplysninger som støtter påstanden	3B1	Gjentagelse av innhold i grubletegningen	<i>Det som Litvinenko har fått i seg slipper bare ut alfastråling og/eller betastråling siden de trenger ikke ut av kroppen.</i>
	3B2	Det er ikke blitt målt radioaktivitet på utsiden av kroppen og alfastråling trenger ikke ut av kroppen	<i>Dette blir det sammen som med argument 1. Det er størst sannsynlighet for at det er dette som har hendt her. Siden strålingen ikke synes på utsiden.</i>
	3B3	En utdypning av 3B2, med flere fakta som at celler har blitt skadet eller nevner de ulike formene for nukleær stråling.	<i>Jeg mener at dette argumentet virker riktig, han har fått store skader og tegn på at han har fått stråleskader. Det finnes stoff som bare gir ut alfa og betastråler, dette er ekstra farlig hvis det kommer inn i kroppen. Hvis alfa og betastråling kommer ut fra kroppen ville vi sett det på geigertelleren. Er det slik at strålingen ikke kommer ut igjen ser vi jo det samme på geigertelleren.</i>
Faktaopplysning som svekker påstanden	3M1	Alfa- eller betahenfall forekommer sjelden uten gammahenfall og disse isotopene er vanskelig å få tak i (ikke brukt)	
3 - Annet	Andre besvarelser som ikke faller innenfor de andre kategoriene		<i>Dette hørt ut som et godt argument så vi burde prøve å finne en mulighet for å måle det.</i>
3 - enig	Besvarelse som kun forteller at de er enige i legenes argument.		<i>Veldig enig</i>
3 - uenig	Besvarelse som kun forteller at de er uenige i legenes argument.		<i>Nei, det stemmer ikke.</i>

Tabell 8 - Rammeverk for analyse av begrunnelser

Kodenavn	Eksempel
Begrunnelse	<i>Vi kan bekrefte det med geigerskalaen at radioaktiviteten er på innsiden. Og det kan også forklare skadene fra innsiden og hvorfor vi ikke får lest opp radioaktiviteten utafør. Pga at de strålingene når som er i magen blir i magen. Det vi synes at det er den mest enige teorien.</i>
Ingen begrunnelse	<i>Uran gir også fra seg mye gammastråling.</i>
Usikker begrunnelse	<i>Jeg er også åpen for denne muligheten ettersom det geigerteller ikke får utslag på dette. Dette stemmer også med hvordan disse strålingene beveger seg.</i>

4.6. Analyse av elevsvar i Oppgave 9

Denne oppgaven ble inkludert for å svare på forskningsspørsmålene om:

3. Hvilke faktaopplysninger presentert i vitenprogrammet bruker elevene i argumentasjon?
4. I hvilken grad bruker elever faktaopplysningene presentert i vitenprogrammet hensiktsmessig i argumentasjon?

4.6.1 Utvikling av rammeverk for analyse

I denne oppgaven har jeg arbeidet likt som i Oppgave 6. Jeg kartla hvilke faktaopplysninger fra programmet som elevene hadde mulighet til å ta i bruk og baserte også en del av kodene på kodene fra Oppgave 6 da det er noe overlapp, og i tillegg hentet jeg faktaopplysninger fra del 2 i oppgaven. Se tabell 9. Samtidig for koding av faktaopplysninger har jeg også kodet for om faktaopplysning som benyttes for å støtte en begrunnelse. Med bakgrunn i den reduserte modellen av Toulmin, hvor et argument består av påstand og begrunnelse, har jeg kodet for om elevene har presentert faktaopplysningene sammen med en påstand og forklart hvorfor faktaopplysningen enten svekker eller støtter påstanden. For å støtte denne prosessen har jeg sett på bruken av ord som «derfor», «fordi», «som følge av» som er logiske koblinger eller bindeord som benyttes til å binde sammen evidens i form av faktaopplysninger med påstander (Mork & Erlien, 2017). Jeg valgte å kode for om elevene hadde begrunnet, ikke begrunnet, og besvarelser hvor jeg var usikker. Se tabell 10.

4.6.2 Rammeverk for analyse i Oppgave 9

Tabell 9 - Rammeverk for analyse av faktaopplysninger i Oppgave 9

Faktaopplysninger fra Vitenprogrammet		Eksempel på besvarelse
Del 1 av programmet		
1	Litvinenko hadde symptomer som magesmerter og oppkast. Etterhvert mister han håret og får svikt i immunforsvaret.	<i>Ut i fra alle symptomene Litvinenko fikk, som f.eks hårtap, svakhet, kvalme med spy og diare. Så viser dette alle symptomene til akutt stråling</i>
2	Alfastråling har kort rekkevidde i kroppen, men har stor evne til å skade mange celler på et lite område.	<i>Alfastråling fra en kilde inne i kroppen har stor evne til å overføre energi til kroppsvev og kan ødelegge mange celler på et lite område. Dette er grunnen til at han døde av stråling inne i kroppen</i>
3	Geigertelleren målte ikke et unormalt nivå av radioaktivitet på utsiden av kroppen.	<i>De gjorde mange undersøkelser, og fant ut av det ikke viste at Litvinenko var radioaktiv utenfor kroppen. Altså, geigerteller fanget ikke opp noe uvanlig mengde av ioniserende stråling fra Litvinenkos kropp</i>
Del 2 av programmet		
4	Behandling av thalliumforgiftning førte ikke til en forbedring av tilstanden til Litvinenko.	<i>Strålingen inne i kroppen hans gjorde at det bare ble verre og verre, de fant ikke ut hvilket stoff det var i starten som gjorde at de ikke behandlet selve problemet</i>
5	Gammaspektrometri av urinprøven til Litvinenko ga utslag på polonium.	<i>Polonium var den eneste stoffet som passet med urinprøven til Litvinenko.</i>
6	Polonium slipper ut alfastråling som er vanskelig å detektere med geigerteller.	<i>Polonium sender ut svært mye energi i form av stråling. Det aller meste av polonium sendes ut som alfastråling, som er det verste strålingen man kan få på innsiden av kroppen.</i>
Gjennom hele programmet		
7	Undersøkelser og tester ga forklaringer på symptomene til Litvinenko	<i>De baserte argumentene sine på resultater av prøvene de to</i>
8	Annet	<i>De fant også polonium der han spiste</i>

Tabell 10 - Rammeverk for analyse av begrunnelser i Oppgave 9

Kodenavn	Eksempel på besvarelse
Begrunnelse	<i>Alfastråling fra en kilde inne i kroppen har stor evne til å overføre energi til kroppsvev og kan ødelegge mange celler på et lite område. Dette er grunnen til at han døde av stråling inne i kroppen. det var også bare polonium som matchet med urin prøven hans.</i>
Ingen begrunnelse	<i>et argument kan være at et sender ut alfastråling. det slipper også ut litt gammastråler.</i>
Usikker begrunnelse	<i>polonium sender ut svært mye energi i form av stråling. det aller meste av polonium sendes ut som alfastråling, som er det verste strålingen man kan få på innsiden av kroppen.</i>

4.7 Forskningsetikk og kvalitet

4.7.1 Forskningsetikk

I dette kapittelet vil jeg beskrive de forskningsetiske hensynene gjort i studien. Datamaterialet er anonymisert og samlet inn av Naturfagsenteret, for å holde graden av involvering så lav som mulig. De har fått godkjent bruken av elevsvarene i viten.no som forskningsdata fra NSD. Jeg var til stede under en av de digitale utprøvingene av vitenprogrammet på Microsoft Teams, som betyr at jeg fikk innsikt i navnelisten til de klassene hvor jeg har analysert svarene fra Oppgave 1, 6, 9 og 14. Jeg har likevel ikke grunnlag for å knytte navn opp mot besvarelsene, da navnelisten ble gjort i oppropsformat og før noen besvarelser var gitt.

4.7.2 Kvalitet

I Oppgave 1 er validiteten styrket ved å både ta i bruk tidligere forskning på området som inspirasjon til koder og elevenes besvarelser. Dette er også sentralt i diskusjonen av funnene for å vise (Gleiss & Sæther, 2021). Avgrensningen og diskusjonen av kodene og temaene er gjort i samarbeid med veileder. Vi har tatt i bruk anerkjente prosedyrer presentert i Braun og Clarke (2006) som også bidrar til å styrke forskningen.

4.7.3 Kodingsprosessen

For å opprettholde kvalitet i denne oppgaven har også veilederen min kodet deler av datamaterialet. Dette gjelder Oppgave 6 og 9 hvor kodene er basert på vitenprogrammet selv og mine fortolkninger av det. Vi oppdaget at vi hadde tolket de ulike kodene litt forskjellig, som førte til en variasjon i resultatene. Fra Oppgave 6, hvor vi hadde 49 besvarelser på 3 spørsmål, og en vurdering på om de hadde begrunnet eller ikke på hvert av disse, som resulterte i 294 vurderinger vi som forskere måtte gjennomføre. Vi sammenliknet her om vi hadde kodet likt og undersøkte hvor mange ganger vi hadde kodet noe ulikt. Totalt har vi kodet ulikt i 41 av disse 294 tilfellene. Disse tilfellene har i stor grad dreiet som ulik tolkning av innholdet i kodene. For eksempel har denne besvarelsen blitt kodet ulikt:

- *Argument 1: Jeg tror han er forgiftet med uran, siden alfastråling gir så stor skade inne i kroppen.*
- *Min vurdering: Han er nok forgiftet med alfastråling, men trolig ikke uran siden det er så radioaktivt at det ville drept han med en gang. Som vi så på Geigertelleren fikk Uran utslag på 1000, men Litvinenko hadde utslag på 0,5.*

Jeg kodet denne som 1M3 - Annet mens veilederen kodet dette som 1M1 - Uran gir også gammastråling som ville gitt utslag på geigertelleren på utsiden av kroppen. Forskjellene lå her i

om vi skulle legge vekt på om gammastråling eller at uran vil slå ut på geigerteller. Det vi også så underveis i kodingen var at det spesielt mange av begrunnelsene som var vanskelig å kode for. Konsekvensen av dette er at det er blitt lagt lite vekt på i begrunnelser diskusjonsdelen av oppgaven.

Et eksempel på hvor vi har vært uenig i tolkning av begrunnelse er:

- *Argument 3: Han kan være forgiftet av et stoff som bare sender ut alfa- eller betastråling, siden disse typene stråling ikke kommer ut av kroppen.*
- *Min vurdering: Dette blir det sammen som med argument 1. Det er størst sannsynlighet for at det er dette som har hendt her. Siden strålingen ikke synes på utsiden.*

Her er det uklart om eleven har klart nok kommunisert en begrunnelse. Ordene *Siden strålingen ikke synes på utsiden* demonstrerer bruk av sentrale ord i argumentasjon, men eleven refererer til minimalt med faktaopplysninger.

I Oppgave 9 gjorde vi det samme. Her var det flere besvarelser som kunne inneholde flere koder ettersom elevene står fritt til å velge faktaopplysninger for å besvare oppgaven. Det er også kodet for om de begrunner her. Gjennomgående finner vi at vi er mest uenige er i bruk av kode 2 og 6.

Et eksempel på dette her:

- *De gjorde mange undersøkelser, og fant ut av det ikke viste at Litvinenko var radioaktiv utenfor kroppen. Altså, Geigertelleren fanget ikke opp noe uvanlig mengde av ioniserende stråling fra Litvinkos kropp. Derfor må det være et stoff som stråler ut mye alfastrålinger.*

Uenigheten har dermed lagt i om kode 2 - *Alfastråling har kort rekkevidde i kroppen, men har stor evne til å skade mange celler på et lite område* eller kode 6 - *Polonium slipper ut alfastråling som er vanskelig å detektere med geigerteller* skal være avgjørende. Der kode 2 refererer til at alfastråling har kort rekkevidde, refererer kode 6 til at det er vanskelig å detektere. De er dermed ikke gjensidig utelukkende og vi har kodet ulikt på flere av disse som inneholder faktaopplysninger om alfastråling.

Ved kodingen på begrunnelser hadde vi kodet ulikt i 5 av besvarelsene, da noen av besvarelsene falt utenfor rammeverket. For eksempel var det vanskelig å avgjøre ved denne besvarelsen:

- *Fordi urinprøven viste at han var forgiftet av polonium. Hadde symptomer som tilsa at det var polonium i kroppen hans/symptomer på stråling/strålesyke. polonium sender ut alfa og beta strålinger som vil si at det passer med den ene teorien på del 1.*

De differansene som vi kom frem til diskuterte vi og kom ofte frem til enighet. På de kodede elementene hvor vi var uenig etter diskusjon tok jeg en avsluttende avgjørelse på for å revurdere min egen koding. Slik ble resultatene mer presise.

Kapittel 5 Resultater

5.1 Elevers uttrykte forestillinger om radioaktivitet og helse

I dette kapittelet vil jeg skrive om resultatene funnet fra analyse av Oppgave 1 i vitenprogrammet for å besvare forskningsspørsmål 1:

1. Hvilke forestillinger og forkunnskaper om radioaktivitet og stråling uttrykker Vg1-elever i starten av arbeidet med vitenprogrammet Radioaktivitet?

Oppgave 1 lyder:

Hva vet du fra før om radioaktivitet og stråling?

Det er totalt 143 besvarelser på dette spørsmålet. Flere av elevene har kommet med flere poenger per besvarelse som gjør at kolonnen «Antall» står for antall ganger et konsept er blitt nevnt og dermed kodet for, hvorav det er maks en gang per besvarelse. Besvarelsene har derimot ikke blitt kodet dobbelt: Dersom en elev har nevnt «Atomkraftverket Tsjernobyl» så har denne blitt kodet som «atomkraftverk - ulykke» og ikke bare atomkraftverk..

Den tematiske analysen av oppgave 1 resulterte i tre store temaer som beskriver elevenes uttrykte forestillinger om radioaktivitet og stråling, med et sett koder tilhørende hvert tema. Temaene er Fysiske begreper og prosesser, Farer, og Kontekster og anvendelser. Tabellene 11, 12 og 13 viser tilhørende koder, sentralt innhold, eksempler på elevbesvarelser og antall ganger koden er brukt for hvert tema. Temaet Fysiske begreper og prosesser dekker andelene av besvarelsene som bruker fysikk for å forklare om sine forkunnskaper. Fra tabell 11 viser resultatene at en stor andel av elevene forbinder radioaktivitet og ioniserende stråling med fenomener knyttet til atomkjernen. En liten andel elever nevner også doser som fikk sin egen kode, og et fåtall av elevene uttrykker også andre fysiske fenomener som alfa-, beta- og gammastråling, samt at stråling er energi i form av bølger.

Temaet Farer dekker delen av besvarelsene som handler om elevene som bruker farer for å beskrive sin forforståelse. I tabell 12 viser resultatene at det er 97 kodede elementer som beskriver radioaktivitet og stråling som noe farlig. 25 av disse henviser kun overordnet at det er farlig, 49 av disse beskriver også at farene er knyttet til sykdommer som kreft, mens kun 16 av besvarelsene antyder noe om hvorfor dette er farlig ved å inkludere informasjon om hvordan stråling kan påvirke cellen på et mikronivå.

Temaet Kontekster og anvendelser sier noe om hva elever forbinder med radioaktivitet og stråling i et samfunnsperspektiv. Tabell 13 viser en oversikt over andre områder som vi fant som relevante

ut fra elevenes besvarelser. Her ser vi at det til sammen er kodet 50 ganger for negative konsekvenser som har forekommet ved atomteknologi: Atomvåpen og ulykker ved atomkraftverk. Det er kun 6 besvarelser som nevner at det kan brukes som en energikilde, og 6 besvarelser nevner også historiske personer. 17 besvarelser nevner også at stråling og radioaktivitet kan bli brukt innen medisinsk behandling. De dominerende kodene kan relateres til kodene fra tabell 2 om farer, som at 50 av de har kodet for de negative konsekvensene av anvendelsene.

Fra disse tre tabellene ser vi at det er en overvekt av elever som uttrykker at de de kan om radioaktivitet og ioniserende stråling er at det er noe som har med atomkjernen å gjøre, og som er farlig. Kun 8 besvarelser nyanserer det med å inkludere dose, og 16 besvarelser inkluderer også hvilke deler av en organisme som risikerer å bli skadet. Besvarelsen i eksempelet under illustrerer en elev som demonstrerer kunnskap om dose:

Eksempel 1:

«Radioaktivitet og stråling kan blant annet føre til mutasjoner eller genfeil over en lengere periode, vanligvis er det ikke farlig i en kort periode dersom inntak er lite»

Denne besvarelsen viser at eleven har kunnskap om at dose er sentralt for å forstå farene knyttet til radioaktivitet og stråling, og at der faren ligger er i gener til en organisme.

Svaret på forskningsspørsmål 1 er altså at de to dominerende temaene i elevers forestillinger om radioaktivitet og stråling er Farer og Fysiske begreper og prosesser. I temaet Farer er det kodene Helsefare og Fare - generelt som er mest brukt, mens i Fysiske begreper og prosesser er koden Atomkjerner som uttrykker egenskaper ved atomet mest brukt. I tillegg under temaet Kontekster og anvendelser er det i hovedsak de negative kodene som er mest fremtredende som kan knyttes sammen med at mange elever tenker på radioaktivitet og stråling som noe farlig. Det er også interessant at mange av elevene også knytter det opp mot ulykker ved atomkraftverk.

Det er også samlet resultater om elevers alternative forestillinger knyttet til radioaktivitet og stråling under koden Annet. Flere av disse handler om ideen om at radioaktivitet er en fysisk substans eller et stoff. Noen få besvarelser viser også at et fåtall forbinder ikke-ioniserende stråling fra mobiltelefoner som farlig, og refererer til spesifikke områder på kroppen hvor det vil være farlig.

5.1.1 Resultater fra oppgave 1 – tabeller

Tabell 11 - Temaet Fysiske begreper og prosesser

Navn på kode	Sentralt innhold	Eksempel på besvarelse	Antall
Atomkjerne	Viser til atom(kjerne) og at enkelte elementer/stoffer er radioaktive og frigjøringen av energi.	<i>Radioaktivitet kommer fra atomkjernen som sender ut stråling.</i>	47
Frigjøring av energi	Referer til frigjøring/overføring av energi i form av bølger	<i>men vet at stråling er energi som blir sendt ut i form av bølger.</i>	14
Doser	Viser til dose, at det er skadelig i høye doser og mindre skadelig i lave doser, at det finnes overalt	<i>Radioaktivitet og stråling finnes i det meste bare i små doser. Når man flyr blir man utsatt for mye høyere doser</i>	11
Alfa/beta/gamma	Nevner ulike typer (alfa/beta/gamma/em) og /eller deres egenskaper	<i>Jeg vet at radioaktivitet er en betegnelse som ofte blir brukt for å beskrive alfa, beta og gammastråling.</i>	9
Andre bølgefenomener	Nevner andre former for stråling eller bølgefenomener	<i>solstråling, radiobølger, uvstråling, lydbølger, mekaniske bølger</i>	2

Tabell 12 - Temaet Farer

Navn på kode	Beskrivelse	Eksempel på besvarelse	Antall
Fare - Helsefare	Viser til at det kan være farlig for kroppen/ helsa og eller nevner kreft	<i>Radioaktivitet og stråling kan være svært farlig og føre til diverse farlige sykdommer som for eksempel kreft.</i>	49
Fare - generelt	Viser til at det er farlig/har en frykt/men spesifiserer ikke	<i>Jeg vet ikke så mye om det faktisk, men er klar over at det er to veldig farlige ting.</i>	25
Fare- Helsefare - mikronivå	Viser til farer knyttet til de fysiske prosessene som kan skje med cellen. Sammenlignet med koden «helsefare» kommer elevene også med en begrunnelse.	<i>Radioaktivitet og stråling kan ofte lede til genfeil og kreft. Det kan endre på celler/gener</i>	16
Fare - miljø	Viser til at det kan ha en negativ innvirkning på miljø og natur.	<i>Radioaktivitet er ikke bra, det forurenses natur og landskap.</i>	7

Tabell 13 - Temaet Kontekster og anvendelser

Navn på kode	Sentralt innhold	Eksempel på besvarelse	Antall
Atomvåpen	Alle henvisninger til atomvåpen, Hiroshima og Nagasaki	<i>Atomvåpen kan føre til områder med høy radioaktivitet og stråling</i>	25
Atomkraftverk - ulykke	Nevner at ulykker har forekommet i atomkraftverk ved f.eks Fukushima og Tsjernobyl	<i>Radioaktivitet kan komme fra atomkraftverk. Et eksempel er Chernobyl der et atomkraftverk sprengte. Strålingen drepte mange.</i>	25
Medisin	Nevner at det brukes i behandling og ved undersøkelser. Jeg har valgt her å tolke «røntgenstråling» som medisinsk bruk	<i>Jeg vet at stråling kan brukes som behandling hvis man har kreft.</i>	17
Historiske personer	Viser til personer som har vært sentrale i historien knyttet til radioaktivitet	<i>Jeg vet at Marie Curie oppdaget et radioaktivt stoff</i>	6
Atomkraftverk	Nevner at det kan brukes for energiutvinning i atomkraftverk	<i>Radioaktivitet er et stoff som brukes til kjernekraft</i>	6

5.1.2 Alternative forestillinger uttrykt av elevene

Noen av besvarelsene i Oppgave 1 inneholder ordlegging som kan tyde på alternative forestillinger. Under har jeg hentet en liste:

1. *chernobyl er en by dekket av radioaktivitet*
2. *Radioaktivitet og stråling er et ekstremt farlig stoff*
3. *Radioaktivitet er et stoff som brukes til kjernekraft*
4. *Radioaktivitet og stråling er svært et ekstremt farlig stoff*
5. *Radioaktivitet er ett stoff som kan sende ut farlige strålinger.*

Elevene beskriver her radioaktivitet som en substans eller stoff med evner til å dekke et område eller sende ut stråling. De skaper også ordet «strålinger». Dette kan stemme overens med tidlige forskning om forestillingen at radioaktivitet er som en substans i stedet for fenomenet hvor ustabile atomkjerner sender ut energi i form av stråling (Plotz, 2017).

6. *Radioaktivitet er strålinger i luften, som kan være farlige.*
7. *Radioaktivitet sender ut stråling*

Elevene over beskriver også her radioaktiviteten som selve strålingen og skiller ikke de ulike fysikkbegrepene. Det er utbredt at elever bruker disse ordene om hverandre (Morales López & Tuzón Marco, 2022).

8. *Radioaktivitet er når et område eller en gjenstand har en viss form for radioaktiv stråling på seg. Radioaktiv stråling er en prosess når en blir påvirket av et radioaktivt stoff som kan føre til en rekke konsekvenser som kreft.*

I denne besvarelsen over beskriver eleven sin oppfatning av radioaktivitet. Eleven beskriver riktignok i andre setning at radioaktiv stråling som en prosess som (...) kan føre til (...) kreft, som kan anses å være riktig, men begynner med å skrive «område eller gjenstand har en viss form for radioaktiv stråling på seg». Dette kan tyde på at eleven både tenker på radioaktivitet som et stoff, som fenomen, i tråd med hva Plotz har priset i sin artikkel (2017). Noen av besvarelsene viser også en uklarhet mellom ioniserende og ikke-ioniserende stråling, se eksempelet under:

9. *Det jeg vet om radioaktivitet og stråling er lite. Den umiddelbare tanken jeg får av ordet stråling gir meg signaler om noe mamma har fortalt om at hun var redd for at jeg skulle sove med mobilen ved meg pga stråling. jeg har også hørt om det i forbindelse med graviditet og at man ikke skal gå med telefonen i jakkelommen og gutter burde ikke ha det ved skrittet fordi det kan være skadelig for prosesser. Radioaktivitet tror jeg er strålinger som pågår hele tiden i elektriske gjenstander. Kanskje strålingene er et resultat av prosessene i elektrisitet og at det er «avfallsstoffet».*

Denne besvarelsen viser at eleven tror at ikke-ioniserende elektromagnetisk stråling er farlig for reproduksjon (tolker prosesser som produksjon av sædceller) som kan knyttes til DNA. Dette er korrekt for ioniserende stråling. Eleven tror at radioaktivitet er «strålinger» som pågår i elektriske gjenstander og at det er et resultat av prosessene i elektrisitet, som resulterer i et avfallsstoff. Radioaktivitet blir her beskrevet som et avfallsstoff og et produkt av elektromagnetisme i elektronikk. Denne forestillingen er ikke nevnt i faglitteratur, men tyder på at eleven ikke har forståelse for fagbegrepene. Eleven her har kjennskap til hva skader fra stråling kan innebære, men skiller ikke mellom ioniserende og ikke-ioniserende stråling.

I disse besvarelsene finner jeg altså at elever bruker fagbegrepene innen radioaktivitet og stråling om hverandre, og spesielt utbredt beskriver de radioaktivitet som et stoff. Det er noen få elever som uttrykker at ikke-ioniserende stråling er farlig, som ikke er i tråd med vitenskapen. Forestillingene funnet kan grovt deles inn i forvirring rundt begrepene stråling, radioaktivitet og helse, og oppfatninger om at de fysiske prosessene har egenskaper som ikke stemmer overens med vitenskapen.

5.2 Elevers uttrykte kunnskap om radioaktivitet og helse i slutten av vitenprogrammet

Det var totalt 49 besvarelser på oppgave 14. Forskningsspørsmålet relevant er:

2. *Hva uttrykker elever i slutten av vitenprogrammet at de har lært om radioaktivitet og helse?*

5.2.1 Elevers uttrykte kunnskap om skadene ved radioaktivitet

Fra oppgave 14, er det deloppgave 3 som er den mest relevante for å svare på endring i forestillinger knyttet til radioaktivitet og stråling, da denne oppgaven ber elevene svare på

Radioaktivitet kan være helseskadelig når:

som kan direkte knyttes mot temaet Farer funnet i den tematiske analysen som svarer til forskningsspørsmål 1. De fleste elevene har referert til at radioaktive stoffer er farlig i enkelte situasjoner, plasseringer og doser. Dette kan tyde på at elevene har fått et mer nyansert blikk på skadevirkningene ved radioaktivitet og ioniserende stråling. Se eksemplene under:

- *Når det er for høy stråling og energi og går gjennom huden. Det er også farlig i store mengder.*
- *Det er inne i kroppen (alfastråling) og når det sendes gjennom kroppen (beta og gammastråling).*
- *Mye stråling skjer på kort tid.*

Likevel bruker flere av elevene beskrivelser om at radioaktive partikler «fester» seg i stedet for å ionisere molekyler slik det blir beskrevet i vitenprogrammet. Dette kan tyde på at disse elevene tenker på en partikkelmodell av ioniserende stråling. En partikkelmodell innebærer ideen om at strålingen er som små kuler som treffer materialet og støter på molekylene. Skadene kommer så fra et støt mellom materiet. Dette vil bli diskutert videre i [kapittel 6.1.2](#).

Tabell 14 under systematiserer de ulike besvarelsene elevene kom med.

Tabell 14 - Elevers forestillinger knyttet til radioaktivitet og helse mot slutten av vitenprogrammet

Tema	Eksempel	Antall besvarelser
Beskriver dose og rate	<i>Når den er ioniserende, det kommer også an på hvilken type stråling det er og hvor raskt og mye kroppen bli utsatt det for.</i>	15
Beskriver at det er farlig når det er inne i kroppen.	<i>Når du får det inn i kroppen og den bryter seg inn i cellene.</i>	14
Beskriver hvor ulike former for nuklær stråling er farlig.	<i>Det er inne i kroppen (alfastråling) og når det sendes gjennom kroppen (beta og gammastråling)</i>	9
Beskriver de fysiske egenskapene til stråling når det kan være farlig som høy frekvens	<i>Når strålingene har høy frekvens</i>	8
Beskriver at det er farlig når man er i nærheten av det	<i>Du kommer i kontakt med stoffet, men også indirekte med kontakt som å være en viss avstand fra stråling.</i>	3

5.2.2 Elevers beskrivelse av områder hvor vi har nytte av radioaktiv stråling

Fra deloppgave 4 skulle elevene svare på dette spørsmålet:

Eksempler der vi har medisinsk nytte av radioaktiv stråling:

I denne deloppgaven har de fleste elevene i hovedsak referert til CT og røntgenstråling. Strålingen som benyttes i disse toer derimot ikke relevant for radioaktivitet, men er de to konkrete teknikkene som nevnes med navn i vitenprogrammet. Noen elever beskrives også at radioaktiv stråling kan brukes til å skade kreftceller og dermed brukes for behandling av kreft. Dette er også presentert i vitenprogrammet. Noen skriver også at det kan brukes for diagnostisering og et par nevner SPECT og PET. MR blir også nevnt selv om teknologien bak ikke tar i bruk radioaktivitet eller ioniserende stråling, men radiobølger og magnetiske resonanser til atomene i kroppen. Dette kan tyde på at de ikke har et klart skille mellom radioaktivitet og ioniserende stråling er.

5.2.3 Oppsummering av funnene i forskningsspørsmål 2

Mot slutten av vitenprogrammet viser de fleste av elevene at dose, doserate og plassering er viktig for å avgjøre hvor skadelig radioaktivitet kan være. Noen av elevene bruker språk som strider med vitenskapen som kan tyde på en manglende forståelse av fenomenene som ionisering og hva skjer med materie når det blir bestrålt. Elevene viser til slutt til at de kjenner til CT og røntgenstråling, selv om oppgaven ber om former for når man kan ta nytte av radioaktivitet i medisin. Dette kan tyde på at det har oppstått en uklarhet mellom hva radioaktivitet er og hva ioniserende stråling.

5.3 Elevers bruk av faktaopplysninger i argumentasjon

I dette kapittelet vil jeg skrive om resultatene funnet fra analyse av oppgave 6 og 9 for å besvare forskningsspørsmål 3 og 4:

3. Hvilke faktaopplysninger presentert i vitenprogrammet bruker elevene i argumentasjon?
4. I hvilken grad bruker elever faktaopplysningene presentert i vitenprogrammet hensiktsmessig i argumentasjon?

5.3.1 Elevers vurdering av argumenter i oppgave 6

Analysen av oppgave 6 viser at 16 av elevene mente at den første legen hadde rett, 14 mente at den andre legen hadde rett, og 32 mente at den siste legen hadde rett. Disse tallene summeres opp til 62 som overgår summen av antall elever, men dette kommer av at flere av elevene vurderer flere av legenes argumenter til å være riktig. Oppsummert er det likevel flest elever som vurderer lege nr. 3 sitt argument til å være riktig, som også stemmer med casen. Se tabell 15. Mange av elevene klarte dermed å komme med en god vurdering da de i større grad sa seg uenig i argumentene som hadde svakheter. En del tok i bruk faktaopplysninger, men det var også mange som ikke tok i bruk faktaopplysninger til å begrunne eller støtte opp sin vurdering.

Tabell 15 - Fordelingen av elevenes vurdering av legenes argument

Legenes argument	Antall elever
1. Jeg tror han er forgiftet med uran, siden alfastråling gir så stor skade inne i kroppen.	16
2. Geigertelleren målte ikke unormal radioaktivitet, så jeg tror han er forgiftet av et tungmetall.	14
3. Han kan være forgiftet av et stoff som bare sender ut alfa- eller betastråling, siden disse typene stråling ikke kommer ut av kroppen.	32

For den første legens argument, *Jeg tror han er forgiftet med uran, siden alfastråling gir så stor skade inne i kroppen*, er faktaopplysningen som er mye brukt for å støtte denne er (1B2) at alfastråling gir stor indre skade. Faktaopplysningen som i stor grad er brukt for å svekke er at uran også avgir gammastråling (1M1). For argument 2, *Geigertelleren målte ikke unormal radioaktivitet, så jeg tror han er forgiftet av et tungmetall*, brukes faktaopplysningene for å svekke legenes argument i like stor grad, mens den støttende faktaopplysningen handler om Litvinenko sine symptomer (2B2). For argument 3, *Han kan være forgiftet av et stoff som bare sender ut alfa- eller betastråling, siden disse typene stråling ikke kommer ut av kroppen*, finnes det ingen besvarelser som tar i bruk faktaopplysninger for å svekke argumentet, og de elevene som kommer med faktaopplysninger for å støtte det refererer til at det ikke var målt noe radioaktivt på utsiden av kroppen (3B2). En mulig faktaopplysning for å svekke påstanden kommer i beskrivelsen av

gammastråling, hvor vitenprogrammet skriver: «Alfastråling og betastråling blir ofte etterfulgt av gammastråling».

Da vi kodet for begrunnelser, brukte vi definisjonen om at et argument besto av en påstand og begrunnelse som knyttet faktaopplysning til påstand. Vi fant kun 20 besvarelser på delspørsmål som inneholdt en tydelig sammenkobling mellom påstand og faktaopplysning. Likevel er det ganske mange bruker faktaopplysninger hensiktsmessig for å støtte sin vurdering, uten at de gir en god forklaring på hvorfor faktaopplysningen støtter deres vurdering av argumentet i grubletegningen.

For eksempel er faktaopplysningen:

- *Uran gir også fra seg mye gammastråling.*

relevant for å svekke argumentet til lege 1:

- *Jeg tror han er forgiftet med uran, siden alfastråling gir så stor skade inne i kroppen.*

I denne besvarelsen knytter ikke eleven faktaopplysningen til påstanden med en begrunnelse. Riktignok får heller ikke elevene beskjed om å gjøre dette i oppgave 6, da de kun blir bedt om å vurdere, men ikke å begrunne vurderingen.

Eksempel på en av de få besvarelsene med både påstand, faktaopplysning og begrunnelse:

- *Jeg tror ikke han er forgiftet med uran fordi han har et såpass lavt radioaktivt nivå på utsiden, og uran sender ut gammastråling som går gjennom huden.*

Dette eksempelet viser en elev som har kompetanse i å hente ut riktig informasjon og skape en begrunnelse i vurderingen av argumentet.

5.3.2 Tabeller med fordeling av vurderinger og begrunnelser i oppgave 6

Resultatene er funnet etter analyse presentert i rammeverket presentert i kapittel 4. Søylen «antall» viser antall ganger en faktaopplysning er kodet, som sier noe om hvilke faktaopplysninger elever tar i bruk. Det var totalt 47 besvarelser i denne oppgaven.

Tabell 16 - Fordelingen av besvarelser i elevers vurdering av argument 1

Argument 1 <i>Jeg tror han er forgiftet med uran, siden alfastråling gir så stor skade inne i kroppen.</i>			Eksempel på svar kodet med denne faktaopplysningen	Antall
Faktaopplysninger som støtter påstanden	1B1	Gjentakelse av påstand	<i>Jeg synes dette argumentet er det mest sannsynlig. Siden han fikk såpass stor skade inne i kroppen.</i>	8
	1B2	Geigertelleren målte ikke noe på utsiden av kroppen da alfastråling vil bli absorbert innvendig og gi stor skade..	<i>Jeg tror det er denne som er riktig, siden geigertelleren ikke ga utslag, som vil si at skadene er innvendig og de er store så da må det være alfastråling.</i>	6
Faktaopplysning som svekker påstanden	1M1	Uran gir også gammastråling som ville gitt utslag på geigertelleren på utsiden av kroppen.	<i>Uran gir også fra seg mye gammastråling.</i>	11
	1M2	Ved at legene ikke målte på innsiden av kroppen vet man ikke hva slags radioaktive partikler som eventuelt hadde vært der.	<i>Jeg mener at dette er feil fordi vi ikke har målt stråling inni kroppen hans og alfastråler kommer ikke igjennom huden og kjøttet.</i>	3
	1M3	Annet	<i>Det er ikke en spesifikk diagnose. Det kan ikke være mulig fordi alfastråling går ikke gjennom hud?</i>	2
1 - enig	Besvarelse som kun forteller at de er enige i legenes argument.		<i>Vi er enige</i>	7
1 - uenig	Besvarelse som kun forteller at de er uenige i legenes argument.		<i>Jeg tror ikke dette er riktig argument</i>	6

Tabell 17 - Fordelingen av besvarelser i elevers vurdering av argument 2

Argument 2 <i>Geigertelleren målte ikke unormal radioaktivitet, så jeg tror han er forgiftet av et tungmetall.</i>			Eksempel på svar kodet med denne faktaopplysningen	Antall
Faktaopplysninger som støtter påstanden	2B1	Tungmetaller vil ikke gi utslag på geigerteller, og det ble ikke målt noe unormalt radioaktivt.	<i>Dette er mest sannsynlig. Det er fordi dette ville ikke gitt utslag på telleren og stemmer derfor med testen.</i>	5
	2B2	Forgiftning av tungmetall kan gi symptomer som diare, oppkast, hodepine og tretthet, som Litvinenko fikk.	<i>Jeg mener dette stemmer fordi symptomene Litvinenko fikk stemmer med hvilke effekter tungmetaller kan gi kroppen.</i>	6
Fakaopplysninger som svekker påstanden	2M1	Litvinenko hadde ikke alle symptomene ved tungmetallforgiftning	<i>Symptomene han fikk stemmer ikke overens med de han skulle fått dersom tungmetall var forgiftning.</i>	8
	2M2	Det ikke gjort undersøkelser knyttet til om Litvinenko er blitt forgiftet på innsiden av kroppen.	<i>Vi har ikke målt på innsiden av kroppen hans derfor kan vi ikke være sikker på om at det er radioaktivt stoff inni han.</i>	9
	2M3	Annet	<i>Geigertelleren viste kanskje ikke unormal radioaktivitet, men den viser jo heller ikke om det er alfa,-beta eller gammastråling, og hvis det er alfastråling, så er den mye verre enn beta.</i>	8
2 - enig	Besvarelse som kun forteller at de er enige i legenes argument.	<i>Jeg tror dette er riktig argument</i>	14	
2 - uenig	Besvarelse som kun forteller at de er uenige i legenes argument.	<i>Nei, tror ikke det</i>	13	

Tabell 18 - Fordelingen av besvarelser i elevs vurdering av argument 3

Argument 3 <i>Han kan være forgiftet av et stoff som bare sender ut alfa- eller betastråling, siden disse typene stråling ikke kommer ut av kroppen.</i>			Eksempel på svar kodet med denne faktaopplysningen	Antall
Faktaopplysninger som støtter påstanden	3B1	Bekreftelse av påstand	<i>Det som Litvinenko har fått i seg slipper bare ut alfastråling og/eller betastråling siden de trenger ikke ut av kroppen.</i>	9
	3B2	Det er ikke blitt målt radioaktivitet på utsiden av kroppen og alfastråling trenger ikke ut av kroppen	<i>Dette blir det sammen som med argument 1. Det er størst sannsynlighet for at det er dette som har hendt her. Siden strålingen ikke synes på utsiden.</i>	5
	3B3	En utdypning av 3B2, med flere fakta som at celler har blitt skadet eller nevner de ulike formene for nukleær stråling.	<i>Jeg mener at dette argumentet virker riktig, han har fått store skader og tegn på at han har fått stråleskader. Det finnes stoff som bare gir ut alfa og betastråler, dette er ekstra farlig hvis det kommer inn i kroppen. Hvis alfa og betastråling kommer ut fra kroppen ville vi sett det på geigertelleren. Er det slik at strålingen ikke kommer ut igjen ser vi jo det samme på geigertelleren.</i>	3
Faktaopplysning som svekker påstanden	3M1	Alfa- eller betahenfall forekommer sjelden uten gammahenfall og kan være vanskelig å få tak i.		0
3 - Annet	Andre besvarelser som ikke faller innenfor de andre kategoriene		<i>Dette hørt ut som et godt argument så vi burde prøve å finne en mulighet for å måle det.</i>	10
3 - enig	Besvarelse som kun forteller at de er enige i legenes argument.		<i>Veldig enig</i>	16
3 - uenig	Besvarelse som kun forteller at de er uenige i legenes argument.		<i>Nei, det stemmer ikke.</i>	3

Tabell 19 - Fordelingen av besvarelser som inneholder begrunnelser i Oppgave 6

Kodenavn	Eksempel på besvarelse	Antall
Begrunnelse	<i>Dette blir det sammen som med argument 1. Det er størst sannsynlighet for at det er dette som har hendt her. Siden strålingen ikke synes på utsiden.</i>	20
Ingen begrunnelse	<i>Uran gir også fra seg mye gammastråling.</i>	103
Usikker begrunnelse	<i>Jeg er også åpen for denne muligheten ettersom det geigerteller ikke får utslag på dette. Dette stemmer også med hvordan disse strålingene beveger seg.</i>	14

5.3.3 Elevers argumentasjon i oppgave 9 i vitenprogrammet

Den var 44 besvarelser på denne oppgaven. Elevene skapt sine egne argumenter ut i fra faktaopplysningene i vitenprogrammet, for å begrunne hvorfor Litvinenko ble syk. Fra tabellen ser vi at 18 av elevene viser til gammaspektrometrien av urinprøven til Litvinenko, som ga utslag på polonium. Denne faktaopplysningen er noe av det som ble først presentert i del 2 som elevene nettopp har gjennomgått. 14 av elevene viser til den første faktaopplysningen elevene lærer i vitenprogrammet, at Litvinenko er syk og at sykdommen ligner akutt stråleskade. Det var også 14 elever som viser til egenskapene ved polonium, som slipper ut alfastråling, som knyttes opp mot at 8 av elevene viser til hvilke egenskaper alfastråling har, både fysiske egenskaper og hvordan kroppen påvirkes. Det var 11 av elevene som viser til at geigertelleren ikke målte et unormalt nivå av radioaktivitet på utsiden av kroppen til Litvinenko, og dette var en faktaopplysning som var sentralt i diskusjonen av oppgave 6. Kun 4 av elevene viser til at behandlingen av thalliumforgiftning ikke forbedret tilstanden til Litvinenko og 7 av elevene viser generelt til de undersøkelsene legene gjennomførte og kun disse. Det var også fire faktaopplysninger fra besvarelsene som ble kodet under annet:

- 1. Legene burde jobbet tettere med å få han frisk.*
- 2. Prøven fra AWE viser at polonium er innenfor rekkevidde til å være kilden til strålingen.*
- 3. De fant også polonium der han spiste.*
- 4. Stoffet kan også sende ut mengder gamma som kan være med på å skade kroppens indre på vei ut av kroppen.*

Disse besvarelsene ble kodet i annet da jeg ikke fant en annen kode som passet for disse. I listen er nr. 2 og 3 faktaopplysninger presentert i vitenprogrammet, nr. 1 er en mening en elev har kommet med og nr. 4 er en opplysning om polonium sine egenskaper men som muligens ikke er relevant da det er alfastråling som har stått for mesteparten av skadene til Litvinenko. Tre av elevene svarte blankt med variasjoner av «vet ikke». Vi kodet også her for om elevene knyttet faktaopplysningene mot begrunnelser for å skape argumenter. Det er 19 av besvarelsene som begrunner ved å ta i bruk bindeord/koblingsord og 18 som ikke begrunner. Dette viser at flere elever tar i bruk begrunnelser i Oppgave 9 enn i Oppgave 6. Det er også 4 av besvarelsene hvor det var usikkert hvorvidt det er en begrunnelse til stede eller ikke. Dette er ikke medregnet

besvarelsene under koden «vet ikke». En stor andel av elevene har strukturert begrunnelsene slik at de faller innenfor det rammeverket av den reduserte Toulmin-modellen presentert i kapittel 4, mens den andre halvparten faller klart utenfor og inneholder dermed ikke en begrunnelse. Bruk av bindeord har i hovedsak vært en støttefunksjon, da vi har gjennomført en helhetlig vurdering av hvert argument. Faktaopplysningene blir dermed anvendt både for å begrunne og kun presentert uten å begrunne.

5.3.4 Tabeller med fordelingen av elevers argumentasjon og begrunnelser i oppgave 9

Tabell 20: Fordelingen av faktaopplysninger brukt i argumentasjon i oppgave 9

Faktaopplysninger fra Vitenprogrammet		
Del 1 av programmet		Antall
1	Litvinenko hadde symptomer som magesmerter og oppkast. Etterhvert mister han håret og får svikt i immunforsvaret.	14
2	Alfastråling har kort rekkevidde i kroppen, men har stor evne til å skade mange celler på et lite område.	8
3	Geigertelleren målte ikke et unormalt nivå av radioaktivitet på utsiden av kroppen.	11
Del 2 av programmet		
4	Behandling av thalliumforgiftning førte ikke til en forbedring av tilstanden til Litvinenko.	4
5	Gammaspektrometri av urinprøven til Litvinenko ga utslag på polonium.	18
6	Polonium slipper ut alfastråling som er vanskelig å detektere med geigerteller.	14
Gjennom hele programmet		
7	Undersøkelser og tester ga forklaringer på symptomene til Litvinenko	7
8	Annet	4

Tabell 21: Fordelingen av besvarelser som inneholder begrunnelser i Oppgave 9

Kodenavn	Eksempel på besvarelse	Antall
Begrunnelse	<i>Alfastråling fra en kilde inne i kroppen har stor evne til å overføre energi til kroppsvev og kan ødelegge mange celler på et lite område. Dette er grunnen til at han døde av stråling inne i kroppen. det var også bare polonium som matchet med urin prøven hans.</i>	19
Ingen begrunnelse	<i>Et argument kan være at et sender ut alfastråling. det slipper også ut litt gammastråler.</i>	18
Usikker begrunnelse	<i>Polonium sender ut svært mye energi i form av stråling. det aller meste av polonium sendes ut som alfastråling, som er det verste strålingen man kan få på innsiden av kroppen.</i>	4

5.3.5 Svar på forskningsspørsmål 3 og 4

Fra delkapitlene over ser vi fra Oppgave 6 at de alle fleste elevene tar i bruk faktaopplysninger hensiktsmessig i sin vurdering av argumentene til legene i grubletegningen. Faktaopplysningene de bruker er jevnt fordelt mellom skriftlig informasjon de har fått underveis i programmet, som for eksempel at alfastråling kan gi stor skade innvendig, og de interaktive oppgavene de har brukt, som for eksempel den fiktive målingen med geigerteller. Mange elever gjentar kun argumentet til legene som står det som kan vise til en lav grad av selvstendighet. Det er likevel få elever som skaper argumenter ved hjelp av begrunnelser til faktaopplysninger. Dette kan være fordi elevene ikke blir eksplisitt fortalt å gjøre det i Oppgave 6. Men i Oppgave 9 er det en større andel av besvarelsene som evner å knytte faktaopplysninger med begrunnelser for å skape argumenter. Det er likevel ikke alle elevene som inkluderer det. Her tar elevene mest i bruk de faktaopplysningene som er nevnt tidlig i del 1 og 2 av programmet når de skaper argumenter, om at Litvinenko er alvorlig syk. I del 2 bruker de fleste elevene faktaopplysningen om at gammaspektrometri av urinprøven ga utslag på polonium.

Kapittel 6 Diskusjon

I dette kapittelet vil jeg diskutere resultatene fra kapittel 5 opp mot teorien presentert i kapittel 2.

6.1 Kunnskap elever uttrykker innen radioaktivitet, stråling og helse

Resultatene fra forskningsspørsmål 1 tyder på at det elever uttrykker at de kan om radioaktivitet og ioniserende stråling kan deles inn i tre tema. Det første temaet handler om de fysiske egenskapene og fenomenene knyttet til radioaktivitet og stråling. Elever viser at de har faglig kompetanse på disse områdene, som å knytte radioaktivitet og ioniserende stråling til fenomener på atomnivå. Det andre temaet som kom særlig tydelig frem var at elever har en opplevelse av at radioaktivitet og ioniserende stråling er farlig. Mange refererer i tillegg til hendelser som Tsjernobyl- og Fukushima-ulykken, og atomvåpen, spesielt bruken under andre verdenskrig, som også inngår i det tredje temaet om kontekster og anvendelser. Dette er hendelser som tidligere har vist å ha preget samfunnets oppfatning av radioaktivitet og stråling, og det er dermed ikke uforventet at dette også ble presentert her (Kaijser et al. 2021). Tsjernobyl-ulykken er spesielt mye nevnt og dette kan også forklares med at denne kommer opp i mange ulike medier. Selv om mange unge i dag ikke direkte kjenner til de utfordringene som oppsto i Norge etter Tsjernobyl-ulykken på 80- og 90-tallet, da vi kan anta at elevene som gjennomført dette programmet var født i 2006, kan det være at deres foreldres opplevelse av ulykken har vært med på å forme deres forestillinger knyttet til temaet. Alle erfaringer med et tema er med på å prege elevens forestillinger og oppfatninger knyttet til temaet (Angell et al, 2019), og dette vises i kunnskapen elevene sitter på. Tsjernobyl-ulykken er enda med på å prege elevens oppfatninger selv om den foregikk 20 år før de ble født. TV-serien *Chernobyl* fra HBO (2019) kan også være en medvirkende faktor til at mange elever forbinder radioaktivitet og stråling med ulykken. I forbindelse med datainnsamling fikk programutviklerne muntlig tilbakemeldinger om at flere elever hadde sett nettopp dette programmet. I mindre grad nevner elever Fukushima-ulykken, da vi kan anta at elevene var rundt 4-5 år gamle da dette skjedde.

Det også flere som referer til at radioaktivitet og ioniserende stråling som farlig uten å fortelle mer om hva det er farlig for. Flere bruker uttrykk som «ekstremt farlig». Dette indikerer en frykt for radioaktivitet og stråling blant elevene, som er i tråd med tidligere forskning om at mange assosierer ioniserende stråling som noe farlig og opplever en frykt knyttet til det (Lijnse et al. 1990) Resultatet av dette kan være problematisk av flere grunner. Det kan være belastende å oppleve en frykt som ikke nødvendigvis er reell. Teknologi som tar i bruk radioaktive stoffer, eller teknologier hvor stråling er sentralt, kan dermed møte uforholdsmessig stor motstand, på grunn av manglende forståelse. Dette vises for eksempel i debatter om hvorvidt man skal ta i bruk

kjernekraft som energikilde eller ikke, og elever trenger kjennskap til fakta for å kunne ta informerte valg. Relevansen av det tverrfaglige temaet om demokrati og medborgerskap synliggjøres her i undervisning i radioaktivitet, stråling og helse.

To elever nevner at de kjenner til at stråling fra mobiler og annen elektronikk kan være farlig, og noen forteller at det er foreldrene som har beskrevet det slik. Overdreven frykt har vist seg å være problematisk ved innføringen av for eksempel det nye mobilnettverket 5G. Det finnes for eksempel mange konspirasjonsteorier knyttet til 5G-master (Drabløs, 2020), inkludert at det svekker immunforsvaret og at det kan skape muterte virus og forårsaket koronapandemien (Flydal, 2020). Dette er til tross for det er en utbredt enighet blant forskere om at dette ikke er farlig (WHO, 2020). 5G-nettet opererer med frekvenser langt unna den ioniserende delen av det elektromagnetiske spekteret, og vil ikke kunne forårsake mutasjoner på den måten. I England har en rekke 5G-master blitt satt fyr på som følge av konspirasjonsteorier om at 5G-master har vært med på å øke utbredelsen av covid-19 (BBC News, 2020). Helsefarene ved dette er noe elevene burde kjenne til for å kunne gjøre vurderinger. Det er dermed viktig at elevene er kritisk til egne og andres påstander når de møter på slike forestillinger. Elevene trenger både fagkunnskap og kunnskap i argumentasjon for å kunne forholde seg kritisk til egne og andres påstander om stråling og helse. Om de har det er dette er et kjennetegn på dybdelæring i argumentasjon (Haug et al. 2021)..

Helsefarene som konkretiseres er risikoen for å utvikle kreft og mutasjoner. Noen få elever er også inne på hvilke mekanismer som står bak for at man skal utvikle kreft som følge av radioaktivitet og ioniserende stråling. Jeg mener at dette ikke er uforventet at ikke alle elevene har kjennskap til dette, da skader på DNA ikke er en del av pensum på ungdomsskolen. Det faglige nivået på dette kan ansees å være for avansert for å beskrive dette på ungdomsskole og Vg1. Elevene har dermed ikke kjennskap til hva det som rent fysisk gjør radioaktivitet og ioniserende stråling farlig, men de vet at det er viktig å beskytte seg mot det. De skadelige prosessene krever at elevene har en dypere kjennskap til fysikk, biologi og kjemi forbi det som er forventet for en elev på Vg1. Samtidig viser eksemplene over om konspirasjonsteorier at elevene kan trenge en forståelse for det der ioniserende stråling kan skade. Det er her mulig at elevene kan trenge mer kunnskap om hva ioniserende stråling kan forårsake, som ikke-ioniserende mangler evne til. Det virker ikke som at elevene har et klart forhold til hva som gjør ioniseringsprosesser farlig for mennesker. Som nevnt i kapittel [5.1.2](#) i elevbesvarelse 8 er det en elev som kjenner til at stråling kan skade reproduksjonssystemet som er en veldig konkret helsefare, men skiller ikke mellom ioniserende og ikke-ioniserende stråling. Dette er interessant da eleven henviser mer konkret til hva som er farlig med stråling enn hva mange andre elever gjør, men eleven har en oppfatning i strid med vitenskap når det kommer til hvilken type stråling som er skadelig.

Mange elever uttrykker også forestillinger som er i strid med vitenskap og bruker fagbegreper om hverandre. Dette er i tråd med tidligere forskning (Plotz, 2017). Radioaktivitet og stråling er ansett som noe komplekst blant elever og da er det ikke uforventet at elevene ikke har et klart skille mellom hva de ulike fagbegrepene betyr (Morales López & Tuzón Marco, 2022).

6.1.2 Elevers oppfatninger mot slutten av vitenprogrammet

Det tydes på at noen av elevene får et mer nyansert syn på hvilke situasjoner radioaktivitet og stråling kan være farlig sammenlignet med hva de hadde ved starten av programmet. De fleste besvarelsene viser til en forståelse om at dose, plassering og tid er viktige faktorer for å forstå når radioaktivitet er skadelig. Flere besvarelser presentert i kapittel [5.2.1](#) viser at elever ikke har en vitenskapelig forståelse for hva begrepene de tar i bruk innebærer mot slutten av vitenprogrammet. Noen beskriver radioaktivitet som et stoff med egenskaper og ikke som et fysisk fenomen. Dette er ikke uventet da slike beskrivelser er utbredt blant elever og godt dokumentert i tidligere forskning (Plotz, 2017). Ikke alle forestillingene ser ut til å endre seg hos alle elevene. I oppgave 14, deloppgave 3, viser resultatene at flere av elevene har beskrivelser av typen:

- *Radioaktivitet kan være helseskadelig når man får det inn i seg, fordi da setter den seg i cellevevet.*

Da eleven beskriver at radioaktivitet kan *sette seg* i cellevevet kan det tyde på en mangelfull forståelse av hva ionisering betyr, samt hva fenomenet radioaktivitet innebærer. Det kan tolkes som at elevene ser for seg strålingen som partikler som festes på materie, som deretter vil påvirke funksjonen. Illustrasjonene brukt i vitenprogrammet viser den radioaktive strålingen i form av partikler, men beskrivelsen av den faktiske vekselvirkningen mellom partiklene og det bestrålte materialet er begrenset. Det beskrives i vitenprogrammet at DNA skades i ioniseringer fordi ved denne prosessen blir elektroner slått løs fra atomer og molekyler. Hvordan det fører til annen oppførsel hos cellene blir ikke beskrevet. Elever kan da tolke interaksjonen som en slags kollisjon og ikke endringen i materie. En forestilling om at partikler på et atomært nivå oppfører seg analogt kuler eller baller i klassisk fysikk er ikke uvanlig (Krijtenburg-Lewerissa et al. 2017). Mine resultater kan tyde på at vitenprogrammet er med på å styrke denne forestillinger ved at de interaktive animasjonene viser som alfa- og betapartikler som beveger seg som små baller, men ikke den faktiske skaden som oppstår ved energiavsetningen og ioniseringen.

Samtidig har eleven i eksempelet ovenfor fått med seg at hvilket område som bestråles er avgjørende for å kunne vurdere den potensielle skaden fra ioniserende stråling. Man kan anta at eleven har fått et mer nyansert syn på hvor skadelig stråling kan være, og har kjennskap til hvordan man kan beskytte seg mot skaden ved å ikke bli bestrålt på innsiden av kroppen. Dette er

en sentral del av vitenprogrammet, da alfastråling fører til store indre skader dersom kilden er på innsiden av kroppen, men vil stoppes av huden eller luften dersom kilden er på utsiden.

6.1.3 Begrensninger

Forskningen i denne oppgaven har undersøkt elevers uttrykte kunnskap og forestillinger knyttet til radioaktivitet og stråling i starten av arbeidet med vitenprogrammet Radioaktivitet. Dette innebærer at resultatene vil ha en begrenset overføringsverdi til andre kontekster. Jeg har ikke gjennomført en valid test av elevenes konseptuelle forståelse. Sammenlignet med andre studier som har undersøkt elevers forestillinger knyttet til radioaktivitet og ioniserende stråling har denne studien kun med et spørsmål for å kartlegge dette i starten, og to etter gjennomføringen av vitenprogrammet. Andre studier har ofte med flere spørsmål, og flere måter å samle inn data på som observasjon, som gjør at flere aspekter av temaet kan dekkes (Morales López & Tuzón Marco, 2022). Å inkludere ulike former for data for å besvare forskningsspørsmålet vil være med på å styrke validiteten på forskningen, og ved å kun inkludere et spørsmål som elevene skal svare på så vil ikke dette oppnå samme grad av validitet (Gleiss & Sæther, 2021). Dersom forskningen var designet slik at det hadde vært mulig å stille oppfølgingsspørsmål til en elev som har beskrevet radioaktivitet og ioniserende stråling som noe farlig, kan det hende at flere detaljer hadde kommet frem som kunne ha gitt en grundigere beskrivelse av elevenes oppfatninger. Dataene er likevel egnet til å gi et inntrykk av elevenes forestillinger, og andre prosjekter har brukt samme type data til å kartlegge elevers forestillinger om naturfaglige temaer (Bøe & Viefers 2021).

Oppgave 1 om tidligere kunnskap skal besvares like etter at elevene er blitt introdusert til faktaopplysningene om at Aleksandr Litvinenko er alvorlig syk fra NRK-klippet. I tillegg beskrives det at de mistenker at symptomene er forårsaket av høye stråledoser. Jeg mener at sykdom kan bære med seg negative assosiasjoner og prege besvarelsene deres i Oppgave 1. Selv om det ikke nevnes at han er blitt forgiftet med noe radioaktivt i NRK-klippet, tror jeg at det det kan igangsette en negativ forforståelse. Assosiasjonene elevene skaper ved introduksjonen av casen i programmet, kan være med på å forklare hvorfor en betydelig andel av elevene uttrykker at radioaktivitet og stråling er noe som er forbundet med skade, fare og frykt.

Elevene har også full tilgang på hjelpemidler som internett og andre kilder mens de svarer på denne oppgaven. Dette kan anses som problematisk da det fremkommer tydelig at flere av besvarelsene er direkte kopier fra nettsider som snl.no og Wikipedia. Spesielt gjelder det besvarelsene innen temaet Fysiske begreper og prosesser. Dette gjør det vanskelig å skille mellom hva elevene faktisk kan og hva de kun har kopiert fra andre kilder. Det er ikke blitt gjennomført

en kunnskapstest og det blir dermed ikke et mål på hvor mye elevene kan om radioaktivitet, stråling og helse men et mål på hvilke forestillinger og ideer de uttrykker ved starten av vitenprogrammet Radioaktivitet.

6.2 Elevers argumentasjon i vitenprogrammet Radioaktivitet

Resultatene presentert i kapittel 5.3 fra elevbesvarelsene på Oppgave 6 og 9 forteller oss noe om hvordan elevene tar i bruk faktaopplysningene fra Vitenprogrammet og om de bruker dem i argumentasjon.

6.2.1 Bruk av argumentasjon i vitenprogrammet

En overvekt av elevene kommer med en korrekt vurdering av legenes argument i Oppgave 6, som tilsier at de klarer å vurdere argumentene i snakkeboblene kritisk. Det var et av læringsmålene i del 1 av vitenprogrammet. Når elever tar i bruk faktaopplysninger i denne vurderingen så er dette et kjennetegn på dybdelæring innen argumentasjon (Haug et al. 2021). Elever som tar i bruk relevante faktaopplysninger som evidens i en diskusjon viser tegn på dybdelæring, og dette kan innebære at elevene får med seg det faglige innholdet i programmet og at de klarer å bruke det hensiktsmessig for å vurdere andres argumenter om stråling og helse. Det kan dermed anses at vitenprogrammet lykkes med det det setter ut for å gjøre.

Grubletegningen er med på å presentere hvordan legene samarbeider for å komme frem til konklusjoner. Dette gir elever større innsikt i hvordan argumentasjonsprosesser foregår blant fagfolk i naturvitenskapelige fag, som det er demonstrert at elever ofte har dårlig forståelse for (Osborne, 2010). Et argument består i denne oppgaven av en påstand, med en begrunnelse hvor begrunnelsen er støttet av evidens, eller faktaopplysning. Jevnt over fant jeg at de fleste av elevene som inkluderer en faktaopplysning i sin vurdering, benytter den hensiktsmessig. Elevene bruker relevante faktaopplysninger, men få inkluderer en begrunnelse der de forklarer hvordan faktaopplysningen svekker eller styrker påstandene i snakkeboblene. Spesielt er faktaopplysninger mye brukt når de skal gjøre rede for hvorfor de er uenig i et argument, men i mindre grad når de er enige. Det er forøvrig ingen nevneverdig forskjell i bruk mellom faktaopplysningene som kommer fra de mer interaktive delene av vitenprogrammet eller fra delene basert fra ren tekst. Elevene utvikler en sans for kritisk tenkning når de skal vurdere andres argumenter. Å kunne vurdere er viktig når elevene møter på blant annet påstandene om helseeffekter av stråling, 5G-master og kjernekraft beskrevet tidligere. Dette inngår som beskrevet ovenfor i det tverrfaglige temaet om demokrati og medborgerskap, og folkehelse og livsmestring. Siden det er ønskelig at elever skal lære mer om kritisk tenkning, som vurdering og argumentasjon er en del av, kan vitenprogrammet i større grad beskrive hva dette går ut på for å bevisstgjøre elevene når de konstruerer sine svar (Udir, 2020).

I Oppgave 9, hvor elevene blir bedt om å lage argumenter, er det en høyere andel av elevene som knytter faktaopplysninger til påstander ved hjelp av begrunnelser. Det er uvisst hvorfor ikke alle besvarelsene inneholder en begrunnelse, men en mulig grunn kan være at elevene ikke kjenner til hva et argument er. Dette kan det være en god indikator på at det er noe elevene må lære mer om, siden det er ønskelig at vitenprogrammet skal kunne dekke læringsmålene fra læreplanen. Vitenprogrammet har her mulighet til å inkludere informasjon om hva et argument er, slik at elevene vet hvordan de kan konstruere besvarelsen sin sånn at de får koblet sammen faktaopplysningen med argumentet, og ikke minst få øving i å kjenne igjen argumenter.

Vitenskapelig språk er noe av det viktigste som elevene tilegner seg når de skal lære som naturvitenskapelige praksiser (Mortimer & Scott, 2003). Elevene blir i noen grad utfordret til å ta i bruk språket i oppgaven hvor de skal vurdere legenes argumenter, men de blir ikke direkte oppfordret til å gjøre det. I Oppgave 9 oppfordres det til en klassediskusjon etter at elevene har skapt argumenter og her blir språket en mer sentral del av gjennomføringen av oppgaven. Dette styrker elevenes læring om naturvitenskapelige prosesser i vitenprogrammet.

6.2.2 Begrensninger

Argumentasjon er en dialogisk prosess (Osborne, 2010). Siden datamaterialet kun er hentet fra elevenes initielle dialog er det begrenset hvor mye argumentasjon som kan komme til syne. Dersom forskeren hadde hatt mulighet til stille oppfølgingsspørsmål til elevenes besvarelser, som «*Hvorfor er denne faktaopplysningen relevant?*» i Oppgave 6, kan det tenkes at elevene hadde hatt mulighet til å utvikle besvarelsene sine. Dette er imidlertid en rolle læreren kan ha i undervisning og slik få tilgang til elevenes forståelse ([Bungum et al. 2018](#)). Besvarelsene er i stor grad korte svar på en setning og det er begrenset hvor mye det kan si om elevenes kompetanse i argumentasjon

I oppgave 9 oppfordres det til en klasseromsdiskusjon etter at alle har elevene har skapt sine argumenter, og her videreføres den dialogiske prosessen i klasserommet (Osborne, 2010). Dette er en styrke vitenprogrammet har, men jeg kan ikke si noe om hvorvidt det fungerer i denne oppgaven, annet enn at litt under halvparten av elevene kommer med argumenter i sin besvarelsene som gjør de mer forberedt til å ta del i denne diskusjonen.

Kapittel 7 Implikasjoner

Med denne oppgaven har jeg ønsket å produsere kunnskap til forskningsfeltet fysikkdidaktikk om elevers forestillinger, oppfatninger og argumentasjon knyttet til stråling, radioaktivitet og helse. Gjennomgående er det tydelig at mange elever har kjennskap til at radioaktivitet og stråling er farlig, men noen får etterhvert et mer nyansert syn på hva det er som er farlig med det.

Lærere burde kjenne til elevers forestillinger i et emne for å kunne gi de best mulig opplæring (Osborne, 2010). Mange av elevene uttrykker en frykt eller fare i forbindelse med radioaktivitet og stråling, og det kan prege elevers holdninger til temaet. For å adressere disse direkte kan læreren for eksempel inkludere populærkultur og konspirasjonsteorier i undervisningen. Dersom eleven får for eksempel kjennskap til hva de faktiske forholdene var ved kjernekraftverket Tsjernobyl beskrevet gjennom tv-serien Chernobyl, og diskuterer rundt hva som var reelt og hva som var fiksjon, kan elever få et mer nyansert blikk i møte med media senere.

Lærebøker kan også adressere populærkultur og forforståelsen basert på denne som er utbredt blant elever. Siden forestillingene om at for eksempel *Radioaktivitet er et stoff* som ikke har sett ut til å endre seg over tid, kan det være en mulighet å beskrive forestillingene og eksplisitt problematisere de. Kjernefysikk og stråling er ikke noe elever kan se og utforske på samme måte som for eksempel Newtons krefter, men hviler på modeller og analogier for å forklare fenomenene. Fagdidaktikken råder da til å beskrive og diskutere rundt begrensningene til disse modellene med elevene (Aalbergsjø & Sollid 2021). Dette gjelder også modelleringen av partikler som kuler, med egenskaper som farge og en rund form.

En betydelig andel av elevene refererer til temaet Kontekster og anvendelser i sine forkunnskaper om radioaktivitet og stråling. Disse kontekstene, som for eksempel Tsjernobylulykken, kan inkorporeres i undervisning. Når undervisningen tar i utgangspunkt med elevenes forkunnskaper kan det være lettere for elevene å tilegne seg nytt da oppbygging av kunnskap er ofte iterativ og tar utgangspunkt i det man allerede kjenner til fra før av (Taber & Akpan, 2017).

Siden mange elevene ikke demonstrerer en fullstendig evne til argumentasjon kan dette være noe som videre kan styrkes i opplæringen som en helhet. Elever vil som medborgere i samfunnet møte på mange situasjoner hvor argumentasjon og vurdering er relevant, og skolen skal forberede elever på det gjennom det tverrfaglige temaet Demokrati og medborgerskap. Dette er spesielt viktig i temaene stråling og helse, fordi det er dagsaktuelt med diskusjon rundt innføring av kjernekraft som energikilde, og at det finnes mange alternative forestillinger knyttet til helsefarene ved stråling. Dette spesifiserer også kompetansemålet i læreplanen.

7.1 Anbefalinger til vitenprogrammet Radioaktivitet

I dette kapittelet vil jeg komme med forslag til endringer i vitenprogrammet ut i fra diskusjonen og tidligere teori.

7.1.1 Vitenprogrammets forklaring av betastråling

I vitenprogrammet beskrives betastråling slik:

«Noen partikler sender ut elektroner (betapartikler). Denne type stråling blir kalt betastråling. (...) Forklaringa er at nøytroner kan bli omdannet til et elektron og et proton. Elektronet blir sendt ut av kjernen i stor fart, mens protonet blir igjen i kjernen. Elektronet oppstår i samme øyeblikk som det blir sendt ut fra atomkjernen, og må ikke forveksles med elektronene som svirrer rundt atomkjernen.»

I vitenprogrammets forklaring av betastråling er informasjonen i stor grad redusert. Det nevnes kun elektroner, og ikke positroner, som er den andre formen for betastråling. For å være konsekvent under medisinsk bruk av radioaktivitet, bruker ikke vitenprogrammet PET som eksempel, da PET tar i bruk positroner fra β^+ stråling. PET er en teknologi som er ofte anvendt i dag, som betyr at elevene etterhvert kan utvikle et forhold til det. Å holde tilbake om informasjon om denne formen for bruk mener jeg at er lite hensiktsmessig fordi det kan føre til at elever ikke tenker på PET som en form for medisinsk nytte av radioaktivitet og ioniserende stråling, men det kan forsvares med at det er for mye faglig informasjon i vitenprogrammet.

Vitenprogrammet beskriver ikke nøytrinoet som er essensielt for å forklare elektromagnetisk interaksjon og betahenfall på en grundig måte. Dette kan forsvares med at nøytrinoet ikke vil være merkbar og ha nær ingenting å si når det kommer til helseeffektene av radioaktivitet og ioniserende stråling. Jeg mener likevel at det kan være med på å svekke til vitenprogrammet. Leksikonartikler på f.eks snl.no inkluderer nøytrinoet og interesserte elever kan bli forvirret. En måte å inkludere positroner, PET og nøytrinoer på, kan være å presentere noe informasjon om disse i separate faktabokser eller «Vil du vite mer?». Elevene trenger ikke å ha kjennskap til disse temaene for å kunne løse casen i vitenprogrammet, så det er ikke nødvendig å inkorporere det i oppgavene underveis, men heller som lesestoff for interesserte elever.

7.1.2 Bruk av partikler som illustrasjon

Flere av elevene beskriver partikkelstråling som en kollisjon mellom partiklene og det bestrålte materialet, og at for eksempel alfapartiklene kan feste seg og gjøre en skade. Dette er misoppfatninger av fysikk og et eksempel på overtolking av klassiske metaforer for kvantefysiske

partikler, som er utbredt blant elever (Krijtenburg-Lewerissa et al., 2017). Vitenprogrammet tar i stor grad bruk en partikkelmodell når de skal beskrive hvordan stråling foregår, ved glideranimasjoner av alfa- og betapartikler som beveger seg vekk fra en atomkjerne. Det er derimot ingen animasjoner av hva som skjer i interaksjonen mellom strålingen og det bestrålte materialet, ved at energien blir avsatt i molekylet. Det kan være med på å bidra til at elevene tror at skadene oppstår som støt og at partiklene blir hengende igjen i den bestrålte materien. Det kan være mulig å inkludere en animasjon av ionisering og hvordan det kan føre til for eksempel trådbrudd på DNA-molekylet. Å illustrere en form for vekselvirkning mellom stråling og materie vil styrke den faglige delen av vitenprogrammet. Slik kan elevene få kjennskap i hvilke kjemiske og biologiske skader som kan skje dersom noe blir bestrålt.

7.1.3 Et skille mellom radioaktivitet og ioniserende stråling

Mot slutten av vitenprogrammet kan resultatene i Oppgave 14, deloppgave 4 tyde på at elevene ikke skiller mellom radioaktivitet og ioniserende stråling. Det er allerede kjent at mange elever sliter med å skille mellom fagbegrepene innen temaene radioaktivitet, stråling og helse.

Vitenprogrammet kan adressere dette ved å stille begrepene opp mot hverandre og beskrive hva hver av de inneholder og utelukker.

7.1.4 En introduksjon til hva argumentasjon innebærer

Deler av vitenprogrammet ber elever om å argumentere, men det er ikke gitt en forusettning for at elever vet hva et argument er. Dette er en viktig del av vitenprogrammet fordi det legges opp til helklassediskusjoner, vurdering av argument, og at elevene skal skape argumenter selv. Å sette av tid til en innføring av argumentasjon i vitenprogrammet kan være verdifullt siden det vil kunne ha en stor overføringsgrad til flere situasjoner elever kan møte senere, både i og utenfor skolen.

7.2 Forslag til videre forskning

Forskningen gjort i denne oppgaven har sett på elevers forestillinger knyttet til radioaktivitet og helse, samt hvordan elever tar i bruk faktaopplysninger fra vitenprogrammet for å argumentere. Da mange elever knytter radioaktivitet og stråling til noe farlig, men få gjør rede for den frykten i besvarelsen sin. Dette kan for eksempel være å gjennomføre intervjuer med elevene. Å forske på hvordan elever argumenterer for sine forestillinger kunne gitt en større innsikt disse forestillingene. Kunnskap om dette, kommunisert til lærere, vil kunne gjøre lærere bedre rustet til å møte med forestillinger og om hvordan de kan tilpasse undervisningen deretter.

For å bygge videre på forskningen om argumentasjon i vitenprogrammet kan det være interessant å undersøke hvordan klasseromsdiskusjonen foregår i Oppgave 9. Her har elevene skapt sine egne argumenter som er grunnlag for diskusjon i plenum og å få innblikk i hvordan

argumentasjonsprosessen fra vitenprogrammet utvikler seg kan være interessant. Fra det sosiokulturelle synet foregår læring i stor grad i diskusjoner i klasserommet, og ved å studere argumentasjon kan man i større grad forstå den læringen som foregår (Mortimer og Scott, 2003). Argumentasjon er som nevnt en dialogisk prosess og et større innblikk i hvordan dette fungerer kan gi programutviklerne og andre mer forståelse for hvordan elever argumenterer med bakgrunn i et vitenprogram med en case.

Frykten som elever viser til er i liten grad relevant til egenskapene ved atomkjernen, som mange elever også viser kunnskap om ved starten av vitenprogrammet. Skadene, knyttet til frykten som elevene opplever, kommer av fysiske, kjemiske og biologiske prosesser i kroppen. Dette kommer til slutt i uttrykk som for eksempel strålesykdom eller kreft. Det kan være interessant å undersøke hvilke av disse prosessene elevene har kjennskap til, for å få innblikk i hvor skillet går mellom elevens forståelse av fysikk og forståelse av sykdomsutvikling. Om elever har kunnskap om dette kan det gi en forståelse om sammenhengen til de ulike delene av Naturfaget og potensielt se helheten i faget.

Kildeliste:

Jeg henviser til vitenprogrammet Radioaktivitet for en komplett beskrivelse av vitenprogrammet. www.viten.no/filarkiv/radioaktivitet

Aalbergsjø, S. G., & Sollid, P. Ø. (2021). Learning through modelling in science: Reflections by pre-service teachers. *Nordic Studies in Science Education*, 17(2), 206–224.

Adresse aux Français. (2021.). elysee.fr. Hentet 29. mai 2022, fra <https://www.elysee.fr/emmanuel-macron/2021/11/09/adresse-aux-francais-9-novembre-2021>

Angell, C., Bungum, B., Henriksen, E. K., Kolstø, S. D., Persson, J., & Renstrøm, R. (2019). Fysikkdidaktikk (2. utg.). *Cappelen Damm*.

Appunn, K. (2014, september 25). *The history behind Germany's nuclear phase-out*. Clean Energy Wire. <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/history-behind-germanys-nuclear-phase-out>

Bailin, S. (2002). Critical Thinking and Science Education. *Science & Education*, 11(4), 361–375.

BBC News. (2020, april 4). Mast fire probe amid 5G coronavirus claims. *BBC*. <https://www.bbc.com/news/uk-england-52164358>

Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1994). Children's Ideas about Radioactivity and Radiation: sources, mode of travel, uses and dangers. *Research in Science & Technological Education*, 12(2), 145–160.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, 3(2), 77–101.

Drabløs, Ø. T. (2020, april 23). *Dette er konspirasjonsteoriene om 5G*. Faktisk. <https://www.faktisk.no/artikler/jeoow/dette-er-konspirasjonsteoriene-om-5g>

Bungum, B., Bøe, M. V., & Henriksen, E. K. (2018). Quantum talk: How small-group discussions may enhance students' understanding in quantum physics. *Science Education*, 102(4), 856–877.

Bøe, M. V., & Viefers, S. (2021). Secondary and University Students' Descriptions of Quantum Uncertainty and the Wave Nature of Quantum Particles. *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00297-w>

Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. *Science education*, 84(3), 287–312.

Duit, R., Schecker, H., Höttecke, D., & Niedderer, H. (2014). Teaching physics. I *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (s. 448–470). Routledge.

Flydal, E. (2020, april 8). *Korona + 5G = Sant: Kan det stemme?* steigan.no. <https://steigan.no/2020/04/korona-5g-sant-kan-det-stemme/>

- Gleiss, M. S., & Sæther, E. (2021). *Forskningsmetode for lærerstudenter. Å utvikle ny kunnskap i forskning og praksis*. Cappelen Damm.
- Hall, E. J. (2018). *Radiobiology for the Radiologist*. Wolters Kluwer Law & Business.
- Haug, B.S & Mork, S.M.(2021) Nøkkelbegreper i utforskende arbeid. *Unversitetsforlaget*
- Haug, B. S., Sørborg, Ø., Mork, S. M., & Frøyland, M. (2021). Naturvitenskapelige praksiser og tenkemåter – på vei mot et tolkningsfellesskap. I *Nordic Studies in Science Education* (Bd. 17, Issue 3, s. 293–310). <https://doi.org/10.5617/nordina.8360>
- Henriksen E. & Henriksen T. (2002), *Radioaktivitet, røntgenstråling og helse* 2. utgave
- Henriksen, E. K., & Jorde, D. (2001). High school students' understanding of radiation and the environment: Can museums play a role? *Science Education*, 85(2), 189–206.
- Holtebekk, Trygve; Hofstad, Knut; Brøgger, Anton: *atomvåpen* i *Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 30. mai 2022 fra <https://snl.no/atomv%C3%A5pen>
- Hofstad, Knut: *Three Mile Island* i *Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 30. mai 2022 fra https://snl.no/Three_Mile_Island
- Hofstad, Knut; Rosvold, Knut A.: *Fukushima - kjernekraftulykke* i *Store norske leksikon* på snl.no. Hentet 31. mai 2022 fra https://snl.no/Fukushima_-_kjernekraftulykke
- Kaijser, A., Lehtonen, M., Meyer, J.-H., & Rubio-Varas, M. (2021). *Engaging the Atom: The History of Nuclear Energy and Society in Europe from the 1950s to the Present* (Bd. 236).
- Kim, Y. (2016). The Radiation Problem and Its Solution from a Health Communication Perspective. *Journal of Korean Medical Science*, 31(Suppl 1), S88–S98.
- Kinly, D., III. (2006). *Chernobyl's legacy: Health, environmental and socio-economic impacts and recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine. The Chernobyl Forum 2003-2005. Second revised version*. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:37086935
- Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H. J., Brinkman, A., & van Joolingen, W. R. (2017). Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1), 010109.
- Lijnse, P. L., Eijkelhof, H. M. C., Klaassen, C. W. J., & Scholte, R. L. J. (1990). Pupils' and mass-media ideas about radioactivity. I *International Journal of Science Education* (Bd. 12, Issue 1, s. 67–78). <https://doi.org/10.1080/0950069900120106>
- Martin, B. R., & Shaw, G. (2019). *Nuclear and Particle Physics: An Introduction*. John Wiley & Sons.

- Morales López, A. I., & Tuzón Marco, P. (2022). Misconceptions, Knowledge, and Attitudes Towards the Phenomenon of Radioactivity. *Science & Education*, 31(2), 405–426.
- Mork, S. M., & Erlien, W. (2017). *Språk, tekst og kommunikasjon i naturfag*. Universitetsforl.
- Mortimer, E., & Scott, P. (2003). *Meaning Making In Secondary Science Classroomsaa*. McGraw-Hill Education (UK).
- NTB. (2022, mai 11). *Styrker atomforskning med 25 millioner kroner*. Khrono.no. <https://khrono.no/styrker-atomforskning-med-25-millioner-kroner/687228>
- Osborne, J. (2010). Arguing to learn in science: the role of collaborative, critical discourse. *Science*, 328(5977), 463–466.
- Persson C. *Kan kjernekraft redde verden?* (2018, april 9). Forskning.no. <https://forskning.no/alternativ-energi-atombombe-kjernefysikk/kan-kjernekraft-redde-verden/276700>
- Plotz, T. (2017). Students' conceptions of radiation and what to do about them. *Physics Education*, 52(1), 014004.
- Salbu, Brit; Reitan, Jon B.: *Tsjernobyl-ulykken i Store norske leksikon* på *snl.no*. Hentet 31. mai 2022 fra <http://snl.no/Tsjernobyl-ulykken>
- Siersma, P. T., Pol, H. J., van Joolingen, W. R., & Visscher, A. J. (2021). Pre-university students' conceptions regarding radiation and radioactivity in a medical context. *International journal of science education*, 43(2), 179–196.
- Sjøberg, S. (2009). *Naturfag som allmenndannelse: en kritisk fagdidaktikk*. Gyldendal akademisk.
- Taber, K. S., & Akpan, B. (Red.). (2017). *Science Education*. SensePublishers.
- Tollefson, J. (2022). What the war in Ukraine means for energy, climate and food. *Nature*, 604(7905), 232–233.
- Toulmin, S. E. (2003). *The Uses of Argument*. Cambridge University Press.
- Utdanningsdirektoratet. (2020). *Overordnet del - verdier og prinsipper for grunnopplæringen*. <https://www.udir.no/lk20/overordnet-del/?kode=fys01-02&lang=nob>
- Utdanningsdirektoratet. (2020). *Kompetansemål og vurdering Naturfag (NAT01-04)* <https://www.udir.no/lk20/nat01-04/kompetansemaal-og-vurdering/kv77>
- Vistnes, Arnt Inge (2016). *Svingninger og bølgers fysikk*. Printed by CreateSpace, An Amazone.com Company
- World Health Organization *Radiation: 5G mobile networks and health*. (2020). Hentet 27. mai 2022, fra

<https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-5g-mobile-networks-and-health>