

Johan Fredrik Berthling Herberg

Programmering og modeller for strålingsbalanse

Masteroppgave i Lektorutdanning i realfag for trinn 8–13

Veileder: Berit Bungum

Desember 2021

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for naturvitenskap
Institutt for fysikk



Johan Fredrik Berthling Herberg

Programmering og modeller for strålingsbalanse

Masteroppgave i Lektorutdanning i realfag for trinn 8-13

Veileder: Berit Bungum

Desember 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Fakultet for naturvitenskap

Institutt for fysikk



NTNU

Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Gjennom fagfornyelsen har programmering blitt innført som en ny ferdighet i fysikkundervisningen. Kompetansemålene for fysikk 1 har også blitt endret og omformulert med et fokus på å redusere mengden fagstoff i kombinasjon med bredere formuleringer. De nye læreplanene skal som følge av fagfornyelsen motivere til større grad av dybdeløring. I denne masteroppgaven vil implementeringen av programmering i fysikkundervisning i kontekst av to av ny-formulerte kompetansemål bli undersøkt. Problemstillingen for denne oppgaven er:

«Hvordan kan programmering bli implementert i en fysikkfaglig kontekst hvor elevene lærer om modeller av strålingsbalanse?»

Masteroppgaven er en kvalitativ studie, hvor et intervensjonsbasert forskningsdesign har blitt tatt utgangspunkt i for designet av oppgaven. Et undervisningsopplegg utformet for å svare på problemstillingen har blitt konstruert, utprøvd og analysert. Kognitiv belastningsteori og fysikkelevers forståelse av representasjonsformer og modeller har blitt vektlagt i både konstruksjon og analyse av undervisningsopplegget. Datagrunnlaget har blitt skapt ved utprøving i en fysikk 1 klasse, hvor observasjon og lydopptak av både elevdiskusjoner og et gruppeintervju har blitt brukt som datainnsamlingsmetode. Undervisningsopplegget var todelt og baserte seg på et oppgavehefte elevene skulle løse i kombinasjon med utfylling av halvferdige pythonkoder, i tillegg til gruppediskusjon relatert til programmeringsoppgaven.

Resultatene viste at elevene opplevde undervisningsopplegget som utfordrende grunnet deres manglende kompetanse innenfor det relaterte fysikkfaglige temaet. Elevene mente at selv om de opplevde programmering som utfordrende, var denne oppgavens programmering overkommelig, men at de slet med å vite «hvilken» fysikk som skulle programmeres «hvor». Det tyder på at et økt fokus på å redusere den ytre kognitive belastningen relatert til utforming av elevoppgaver hvor programmering implementeres i en fysikkfaglig kontekst kan være viktig. Basert på elevenes innspill fra gruppediskusjonen i kombinasjon med min egen tolkning av oppgavens aktuelle kompetansemål, stiller jeg meg derimot usikker til om den nye læreplanen i fysikk legger til rette for mer tid og rom til dybdeløring.

Abstract

Through «fagfornyelsen», the newest school reform in Norway, programming have been included as part of the physics education. Learning goals for the course “physics 1” in Norwegian upper secondary school, have been changed and redefined with a focus on reducing the amount of subject matter and formulating more open and general learning goals. The new curriculum is said to be better suited for teachers and students to participate in in-depth learning. In this master thesis, implementation of programming into physics education in combination with two reformulated learning goals, will be researched. This thesis problem statement is formulated as:

“How can programming be implemented into a physic educational context, where the students are engaged in learning about models of radiative equilibrium?”

This master thesis is a qualitative study, where intervention-based research design have been used as a basis. An educational teaching assignment have been developed, tested and analyzed in hope to answer the problem statement at hand. Cognitive load theory as well as students understanding of models and representations in a physical context have been used as a basis in both the development and analysis of the teaching assignment. A basis of data has been constructed by testing the teaching assignment in a “physics 1”-class in the Norwegian upper secondary school. Observation of the class in action, as well as recording both student discussion and a group interview have been used as methods of data collecting. The teaching assignment itself consisted of two parts, where the students first were tasked to complete an unfinished python code by following multiple related tasks, and then were tasked to discuss their work in groups.

The results showed that the students experienced the teaching assignment as overly challenging due to their lack of prior knowledge about the related physics theme. The students expressed how the experienced programming as challenging in general, but that this programming assignment (isolated) was manageable, but they experienced difficulties in knowing “where” to program “what” physics. This seems to indicate that an increased focus to reducing the cognitive load in the designing of an assignment that implements programming in a physics educational context would be of importance. Based on the students comments in the group interview, as well as my own interpretation of the learning goals, I’m questioning whether the curriculum really are facilitating in-depth learning.

Forord

Denne masteroppgaven konkluderer min tid som student på NTNU. Etter at jeg bestemte meg for å bli lærer og ikke sivil ingeniør etter nesten 3 år med studering, har det til slutt blitt 7 og et halvt år med studenttilværelse på meg. Selv om jeg ser tilbake på studietiden min med mange gode minner, ser jeg i enda større grad frem til min fremtid som realfagslærer.

Jeg vil rette en stor takk til min veileder, Berit Bungum, for et flott samarbeid i halvannet år. Jeg setter virkelig pris på all god veiledning, samtale og råd du har kunnet tilby, samtidig som du tilsynelatende har vært tilgjengelig ved alle døgnets tider. Ser frem til eventuelt videre samarbeid!

Samtidig vil jeg rette en like stor takk til både lærer og elever som bidratt til at denne masteroppgaven ble til. Takk til elevenes faglærer som lot meg gripe inn i undervisningsplanen og var villig til å «låne» bort elevene for en liten stund. Åpenheten og fleksibiliteten du kunne tilby var virkelig uvurderlig! Takk også til elevene som tok meg godt imot som både forsker og lærer, håper jeg klarte å lære bort like mye fysikk som dere lærte meg.

Sist, men ikke minst vil jeg også takke min familie som har støttet meg ikke bare gjennom hele min tid som student, men også hjulpet meg i prosessen med å skrive denne masteroppgaven. Takk til min mor, som har hjulpet til med korrekturlesing og skriveteknikk. Takk til min far og søster for å alltid ha vært der for meg, og ikke minst takk til min samboer, som har måttet holde ut med meg i disse intensive periodene.

Trondheim, desember 2021

Johan Fredrik Berthling Herberg

Innhold

Sammendrag	i
Abstract	ii
Forord	iii
1 Innledning.....	1
1.1 Motivasjon for oppgaven.....	1
1.2 Problemstilling	3
1.3 Oppgavens struktur.....	3
2 Didaktiske perspektiver	5
2.1 Modeller i fysikk	5
2.1.1 Representasjonsformer i fysikk	5
2.1.2 Vitenskapelige modeller	6
2.1.3 Modeller i lys av læreplanen	8
2.1.4 Elevens utfordringer med modeller	8
2.1.5 Dybdeløring	9
2.2 Digitale ferdigheter i fysikkfaget.....	10
2.2.1 Digitale ferdigheter i lys av læreplanen.....	10
2.2.2 Programmering og algoritmisk tenkning	12
2.3 Kognitiv belastningsteori	12
2.3.1 Arbeidsminnet	13
2.3.2 Skjematisk teori.....	14
2.3.3 Ytre kognitiv belastning	14
2.3.4 Mål-fri effekten	16
2.3.5 Utfylling- og løsningsforslagseffekten	16
3 Fysikkfaglig teori	18
3.1 Strålingsbalanse.....	18
3.2 Sorte legemer og Stefan-Boltzmanns lov	18
3.3 Strålingsbalanse mellom en strålingskilde og et sort legeme	19
3.4 Jordas strålingsbalanse	21

3.4.1 Albedo	21
3.4.2 Drivhuseffekten	22
4 Metode.....	24
4.1 Forskningsdesign.....	24
4.1.1 Fleksibelt kvalitativt design.....	24
4.1.2 Intervensjonsbasert forskning.....	25
4.2 Datamateriale.....	26
4.2.1 Utvalget og etiske betraktninger.....	27
4.2.2 Utprøving.....	28
4.2.3 Datamateriale basert på observasjon	28
4.2.4 Datamateriale basert på lydopptak av elevdiskusjoner.....	29
4.2.5 Datamateriale basert på gruppeintervju.....	30
4.2.6 En sosial-konstruktiv tilnærming	31
4.2.7 Analytisk metode.....	31
5 Utforming av undervisningsopplegget	33
5.1 Undervisningsoppleggets kontekst.....	33
5.2 Undervisningsopplegg som følge av kompetansemålet	33
5.2.1 Modelleringsprosessen	34
5.2.2 Oppgavens fysikkfaglige dybde	35
5.3 Programmering som en del av oppgaven	38
5.3.1 Programmering bør være overkommelig.....	38
5.3.2 Programmering som en nødvendighet.....	38
5.4 Undervisningsopplegget og kognitiv belastning	39
5.4.1 Generalisering av modelleringsprosessen: Mål-fri-metoden.....	40
5.4.2 Oversetting mellom oppgaveteksten og programmeringskoden	41
5.5 En metaforståelse av modeller.....	41
6 Resultater.....	43
6.1 Observasjoner fra undervisningsøkten	43
6.1.1 Undervisningsøkten: Manglende fysikkfaglige forkunnskaper.....	43

6.1.2 Undervisningsøkten: Manglende programmeringserfaring.....	44
6.1.3 Undervisningsøkten: Utfordrende å veksle mellom forskjellige representasjonsformer.....	45
6.2 Resultater fra Elevdiskusjonene	46
6.2.1 Elevdiskusjoner – Elevenes forståelse.....	46
6.2.2 Elevdiskusjoner – Elevenes metaforståelse av modeller i fysikk.....	48
6.3 Elevenes opplevelse av programmering i en fysikkfaglig kontekst	51
6.3.1 Elevene opplevde de manglet nødvendige forkunnskaper	51
6.3.2 Den fysikkfaglige konteksten førte til at programmering ga mening.....	53
6.3.3 Faglige utfordringer.....	53
7 Diskusjon.....	56
7.1 Samspillet mellom fysikk og programmering	56
7.1.1 Manglende forkunnskaper i lys av kognitiv belastningsteori.....	56
7.1.2 «Vi la jo bare inn variabler».....	57
7.2 Hva skal forventes av elevene?	58
7.2.1 Naive realister.....	58
7.2.2 «Setter oss opp for å feile»	59
7.2.3 «Så kanskje det hadde vært lettere hvis vi hadde hatt astrofysikk allerede»	60
7.3 Utbedring av undervisningsopplegg.....	61
7.3.1 Fysikkfaglig nivå.....	62
7.3.2 Konstruksjon av skjemaer for elevenes metaforståelse av modeller	63
7.3.3 Oversetting mellom representasjonsformene	64
7.4 Metoderefleksjon.....	65
8 Konklusjon	67
Referanser.....	69
Vedlegg	72
Vedlegg 1: Oppgavesett som ble utprøvd	72
Vedlegg 2: Utbedret oppgavesett	76
Vedlegg 3: Pythonkode til oppgave 1	80
Vedlegg 4: Pythonkode til oppgave 1 [Løsningsforslag]	81

Vedlegg 5: Pythonkode til oppgave 2	82
Vedlegg 6: Pythonkode til oppgave 2 [Løsningsforslag]	83
Vedlegg 7: Pythonkode til oppgave 3	84
Vedlegg 8: Pythonkode til oppgave 3 [Løsningsforslag]	86
Vedlegg 9: Diskusjonsspørsmål	88
Vedlegg 10: Utbedret versjon av diskusjonsspørsmål.....	89
Vedlegg 11: Samtykkeerklæring	90
Vedlegg 12: Intervjuguide.....	94

1 Innledning

1.1 Motivasjon for oppgaven

Som en del av fagfornyelsen ble nye læreplaner innført i den norske skolen. Innføringen av læreplanene startet i 2020, hvor læreplanen for fysikk 1 ble innført i skrivende semester (høst 2021), mens læreplanen for fysikk 2 først blir innført høsten 2022 (Utdanningsdirektoratet, 2021b). Fagfornyelsen er beskrevet som den største endringen i skolen siden kunnskapsløftet fra 2006. Et av formålene med endringene gjort fra de gamle læreplanene (LK06) og de nye læreplanene (LK20) er at den nye utformingen skal ha gitt mer tid til både lærere og elever som kan utnyttes til dybdelæring (Kunnskapsdepartementet, 2018). Videre skal fagfornyelsen føre til at fagene blir mer praktiske og mindre teoritunge enn de har vært før, elevene skal kunne se sammenhenger og utvikle en evne til å tenke kritisk og reflektere. Fagfornyelsen skal gi den kompetansen elevene behøver for å delta i både samfunnet og arbeidslivet. En evaluering av fagfornyelsen setter derimot spørsmål til hvorvidt læreplanene virkelig har frigitt mer tid til dybdelæring; læreplanen inneholder færre kompetansemål, men kompetansemålene virker derimot til å være formulert mer generelle og åpne, samtidig som de kan virke mer omfattende enn før (Karseth et al., 2020). Programmering blir nevnt som en ny kompetanse i flere fag (Kunnskapsdepartementet, 2018). I fysikk har programmering blitt inkludert i fagets kjerneelement «praksiser og tenkemåter i fysikk» (Utdanningsdirektoratet, 2021b), ved at elevene skal kunne bruke programmering, eksperimenter, teorier og modeller til å forstå fysiske sammenhenger og fenomener.

Med bakgrunn i dette ønsker jeg i denne masteroppgaven å undersøke hvordan man kan implementere programmering i deler av fysikkundervisningen. Jeg vil ta utgangspunkt i fysikk 1, da den nye læreplanen for fysikk 2 enda ikke er innført, og det vil av denne grunn være vanskelig å utprøve et eventuelt undervisningsopplegg i henhold til fagfornyelsen. I fysikk 1 blir programmering nevnt eksplisitt i et av kompetansemålene: « bruke numeriske metoder og programmering til å modellere og utforske bevegelse i situasjoner der akselerasjonen ikke er konstant » (Utdanningsdirektoratet, 2021b), men da programmering blir beskrevet som en del av kjerneelementene i fysikk ønsker jeg å undersøke andre fysikkfaglige temaer programmering kan implementeres.

Min motivasjon for å relatere programmering til andre kompetansemål enn ved hvor det blir eksplisitt nevnt, stammer fra en intensjon om å gjøre fysikkundervisningen mer autentisk.

Fysikdidaktisk litteratur om dette vil bli presentert nøyere i denne masteroppgavens didaktiske perspektiver (se kapittel 2.2.1), men å gi elevene mer realistiske problemstillinger og arbeidsmetoder som er mer tro til en fysikers arbeidshverdag, kan bidra til å øke både elevens læring og motivasjon for fysikk (Angell et al., 2019). Dette vil også være på linje med hvordan fagfornyelsen ønsket å forberede eleven ytterligere for arbeidslivet (Kunnskapsdepartementet, 2018).

Med dette ønsker jeg å konstruere et undervisningsopplegg som implementerer programmering i undervisning av det fysikkfaglige temaet stråling. Kompetansemålet i LK20 som omhandler stråling har blitt kraftig endret i forhold til det jeg anser til å dekke tilsvarende fysikkfaglige fenomener fra forrige læreplan, LK06. De to kompetansemålene kan sammenlignes i Tabell 1.

Tabell 1

sammenligning av kompetansemål relatert til det fysiske fenomenet «stråling» fra LK06 og LK20.

LK06	LK20
«gjøre beregninger med Stefan-Boltzmanns lov og Wiens forskyvningslov» (Utdanningsdirektoratet, 2006)	«Bruke modeller av strålingsbalansen til jorda til å gjøre beregninger, og vurdere hvordan endringer på jordoverflaten og i atmosfæren påvirker denne balansen.» (Utdanningsdirektoratet, 2021b)

Stefan-Boltzmanns lov og Wiens forskyvningslov blir ikke nevnt i kompetansemålet for LK20, men grunnet kompetansemålets generelle formulering kan det vurderes til at kunnskap om disse fenomenene allikevel inngår i kompetansemålet. Min tolkning av hvilken fysikkfaglig teori kompetansemålet fra LK20 inneholder blir diskutert i kapittel 5. I motsetning til LK06, skal elevene derimot kunne bruke disse lovene i en kontekst av jordens strålingsbalanse. De skal også kunne vurdere hva endringer i disse modellene kan medføre. Det stilles altså større krav til hva elevene skal kunne gjøre og lære. Dette i takt med fagfornyelsens fokus på dybdelæring. Kompetansemålet i LK20 er også vinklet mot fagfornyelsens fokus på kritisk tenking, refleksjon og bærekraftig utvikling (Kunnskapsdepartementet, 2018), noe LK06 ikke nødvendigvis impliserer.

Videre kan det nye kompetansemålet om stråling kombineres med enda et nytt kompetansemål fra LK20: «vurdere, bruke og lage modeller til å beskrive og forutsi fysiske fenomener» (Utdanningsdirektoratet, 2021b). Begge kompetansemålene omhandler modeller i fysikk, men sistnevnte spesifiserer også at elevene skal kunne konstruere modeller, ikke bare bruke og vurdere dem. Dette medfører etter min mening en gylden mulighet til å implementere programmering i en fysikkfaglig kontekst.

1.2 Problemstilling

Med dette som motivasjon har jeg formulert masteroppgavens problemstilling:

«Hvordan kan programmering bli implementert i en fysikkfaglig kontekst hvor elevene lærer om modeller av strålingsbalanse?»

Jeg ønsker å besvare dette forskningsspørsmålet ved å utforme og utprøve et undervisningsopplegg som kan støtte kompetansemålene: «Bruke modeller av strålingsbalansen til jorda til å gjøre beregninger, og vurdere hvordan endringer på jordoverflaten og i atmosfæren påvirker denne balansen»(Utdanningsdirektoratet, 2021b) i kombinasjon med «vurdere, bruke og lage modeller til å beskrive og forutsi fysiske fenomener».(Utdanningsdirektoratet, 2021b)

Spesielt ønsker jeg å undersøke hva en implementasjon av programmering i en fysikkfaglig kontekst kan kreve, samt hvilken implikasjoner en slik implementasjon kan medføre.

1.3 Oppgavens struktur

Denne masteroppgaven består av 8 kapitler inkludert innledning og konklusjon. Jeg vil i neste kapittel (kapittel 2) presentere relevant teori fra fysikkdidaktikken og kognitiv psykologi i samspill med relevant litteratur og informasjon fra utdanningsdirektoratet. Dette vil i grove trekk omhandle modeller i fysikk, kognitiv belastnings teori og de aspektene ved den nye læreplanen for fysikk som omhandler programmering, modeller og representasjonsformer. Videre vil jeg i kapittel 3 presentere noe av den fysikkfaglige teorien om stråling som har blitt brukt for å utvikle et undervisningsopplegg utformet for å svare på forskningsspørsmålet. I kapittel 4 vil jeg så beskrive og diskutere de valgene jeg har gjort relatert til dette masterprosjektets forskningsdesign. Selve utprøvingen av undervisningsopplegget vil også bli beskrevet her. Utformingsprosessen av undervisningsopplegget bli så diskutert i kapittel 5. Dette vil skje i lys av både de fagdidaktiske perspektivene og den fysikkfaglige teorien. Resultatene fra utprøvingen av undervisningsopplegget vil så bli presentert i kapittel 6. Disse blir presentert i form av mine observasjoner av undervisningstimen i tillegg til analyse av

lydopptak gjort både av elevdiskusjoner og gruppeintervju. I kapittel 7 vil så resultatene bli diskutert i lys av de foregående kapitlene, før masteroppgavens konklusjon blir presentert i kapittel 8.

2 Didaktiske perspektiver

I dette kapittelet vil jeg presentere teori med bakgrunn i både fysikkdiraktikk og psykologi. Med bakgrunn av oppgavens motivasjon om å implementere programmering i undervisningen for å oppfylle fagfornyelsens formål, vil utdrag fra fagfornyelsen også bli presentert i kontekst av teorien. Kapittelet består av tre delkapitler hvor perspektiver på elevers forståelse av modeller i fysikk først blir presentert. Videre vil perspektiver om digitale ferdigheter og kognitiv belastningsteori bli presentert i de to påfølgende delkapitlene.

2.1 Modeller i fysikk

I kompetansemålene denne masteroppgaven tar utgangspunkt i, blir både bruk, konstruksjon og refleksjon av modeller nevnt eksplisitt. For å kunne utvikle og diskutere et undervisningsopplegg som belager seg på at eleven arbeider med modeller, vil det da være viktig å undersøke hva læreplanen og fysikkdiraktikk kan fortelle oss om tematikken. Jeg vil også knytte hvordan undervisning av modeller i fysikk kan være en del av dybdelringen som fagfornyelsen vektlegger.

2.1.1 Representasjonsformer i fysikk

Angell et al. (2019) viser til hvordan fysikk kan representere kunnskap på ulike måter og presenterer en inndeling på fem representasjoner som ofte blir brukt i fysikk: Fenomenologisk representasjon, eksperimentell representasjon, grafisk representasjon, matematisk-symbolsk representasjon og begrepsmessig representasjon.

En *fenomenologisk representasjon* blir beskrevet av Angell et al. (2019) som en direkte opplevelse eller beskrivelse av et fenomen slik det umiddelbart opptrer. Sammenlignbart blir en *eksperimentell representasjon* beskrevet som hvordan fenomenet opptrer innenfor rammene av et eksperiment, hvor datamateriell, muligheter og begrensninger ved eksperimentet og fenomenet blir tatt i betraktning. Videre beskrives en *grafisk representasjon* som en fremstilling av fenomenet hvor visuelle virkemidler som tabeller, grafer, figurer eller bilder benyttes for å beskrive fenomenet. En *matematisk-symbolsk representasjon* vil bestå av matematiske symboler og likninger. Altså fysikk beskrevet av matematikk. Den *begrepsmessige representasjonen* vil uttrykke fenomenet ved å relatere og beskrive det med kjente begreper innenfor fysikk.

I fysikkfaget vil man ofte være nødt til å oversette mellom slike representasjonsformer. Det krever at man ikke bare har en forståelse av begge representasjonsformene til et fenomen, men at man også forstår sammenhengen mellom dem. En slik oversettelsesprosess hevder

Angell et al. (2019) at elever i fysikk ofte finner utfordrende. De mener dette medfører at elever ikke bare behøver å lære om de forskjellige representasjonsformene, men også må få mulighet til å oversette mellom disse. Dette vil være viktig da bruken av representasjonsformene er ifølge dem en integrert del av vitenskapelig tenkning.

I kjerneelementet «Praksiser og tenkemåter i fysikk»(Utdanningsdirektoratet, 2021b) fra LK20 blir modeller og programmering nevnt som midler til elevenes utviklende forståelse av fysiske sammenhenger og fenomener. Samtidig blir det beskrevet hvordan eleven skal kunne utvikle, bruke, samt veksle mellom disse representasjonsformene (så vel som andre representasjonsformer). I læreplanverket for fysikk stilles det også krav til fem grunnleggende ferdigheter fysikkelevne skal kunne mestre: Muntlige ferdigheter, å kunne skrive, å kunne lese, å kunne regne og digitale ferdigheter. I de fem grunnleggende ferdighetene forventes det at elevene skal kunne bruke flere forskjellige representasjonsformer om hverandre. For eksempel skal elevene kunne «... å trekke ut, tolke og reflektere over informasjon i tekster som inneholder fysikkfaglige begreper, symboler, matematiske uttrykk, figurer, grafer og programmeringskoder.» (Utdanningsdirektoratet, 2021b) fra den grunnleggende ferdigheten «Å kunne lese». I den grunnleggende ferdigheten «Å kunne regne» blir det beskrevet hvordan dette blant annet innebærer at en skal kunne både lage og tolke matematiske modeller, samt kunne vurdere rimeligheten av et resultat. De digitale ferdighetene i fysikk innebærer ifølge LK20 at eleven blant annet skal kunne bruke digitale ressurser til å modellere og presentere data. Samt bruke programmering til å utforske fysiske problemstillinger. For den grunnleggende ferdigheten «Å kunne skrive» gir dessuten læreplanverket eksempler på ulike representasjonsformer som elevene skal kunne veksle mellom «... for eksempel figurer, tekst, grafer, tabeller og matematiske formler.» (Utdanningsdirektoratet, 2021b). LK20 stiller altså store krav til fysikkelevnes evne til å mestre og å kunne veksle mellom flere forskjellige representasjonsformer hvor programmering og modellering hyppig blir dratt frem som eksempler.

2.1.2 Vitenskapelige modeller

Angell et al. (2019) skiller mellom modeller i fysikkundervisningen som etterligner vitenskapelig modellutvikling – typisk kan dette være matematiske representasjoner av fysiske fenomener, og pedagogiske analogiske modeller som kan brukes for å forklare eller visualisere abstrakte begreper. Eksempel på de to typene kan være Newtons andre lov representert ved den matematiske modellen $F = m \cdot a$, eller den analogiske modellen for

elektrisitet representert ved vann i et rørsystem. I denne oppgaven kommer fokuset til å rette seg mot de vitenskapelige modellene i fysikk.

De vitenskapelige modellene kan igjen grupperes i separate kategorier. Helgesen et al. (2019) presenterer klasseinndelingen: konseptuelle, ikoniske, analoge, symbolske, fenomenologiske og statistiske modeller. En oppsummering av de forskjellige klassene finnes i Tabell 2. I denne oppgaven vil en symbolsk (matematisk) modell bli tatt i bruk i konstruksjonen av en modell for strålingsbalanse. I fysikk vil modeller være sterkt knyttet til den konseptuelle forståelsen, men med et fokus på matematiske modeller der fysiske egenskaper og prosesser blir representert i matematiske likninger ifølge Angell et al. (2019).

Tabell 2

Oppsummering av de fem klassene for vitenskapelige modeller presentert av Helgesen et al. (2019).

Konseptuelle modeller	Grunnleggende modeller for mer konkrete matematiske modeller. Idéer eller begreper.
Ikoniske modeller	Skalamodeller, bildemodeller og blåkopier. Direkte representasjoner av et skalert system.
Analoge modeller	Kjennetegnes ved at systemet som beskrives, sammenliknes med et annet system med kjent dynamikk der kjennskapen overføres til det nye systemet med målet å oppnå ny innsikt.
Symbolske modeller	Bruker symboler for å beskrive et fenomen. Typisk for matematiske modeller.
Fenomenologiske modeller	Fokuserer på resultatene av modellen ikke dens oppbygning.
Statistiske modeller	En statistisk modell av et system kjennetegnes ved flere parametere som beskriver relasjoner mellom variabler med verdier fra gitte fordelinger.

2.1.3 Modeller i lys av læreplanen

Under «Fagenes relevans og sentrale verdier» i den nye læreplanen for fysikk (LK20) poengteres det at fysikk skal gi elevene «... innsikt i hvordan verden er bygget opp, muligheter til å se sammenhenger i naturlige fenomener og verktøy til å forutsi utfall av fysiske prosesser» (Utdanningsdirektoratet, 2021b) samt at faget skal bidra til «... at elevene utvikler en vitenskapelig og kritisk tenkemåte, og til at de får mulighet til å reflektere over hvordan naturvitenskapelig kunnskap utvikles» (Utdanningsdirektoratet, 2021b). Dette er beskrivelser av fysikkfaget som kan relateres til hvordan vi betrakter modeller og modellering i fysikk. John K. Gilbert (2004) presenterer modeller i naturvitenskapen som produksjonen, formidlingen og aksepten av vitenskapelig fakta og beskriver modellene som en bro mellom teori og realitet. Han forteller også om hvordan elever burde læres opp til å produsere, teste og analysere modeller for å kunne delta i vitenskapens kreativitet og dens kulturelle verdi. Angell et al. (2019) påpeker at det lenge har vært et behov for at elevene burde få et større innblikk i forståelsen av naturvitenskapens egenart; elevene skal ikke bare få kunnskap i fysikk, men også om fysikk. Modellering vil ifølge Angell et al. være et middel for å oppnå dette. Altså, vil kunnskap om modeller i fysikk støtte opp mot hvordan utdanningsdirektoratet ønsker at elevene skal kunne reflektere over hvordan naturvitenskapelig kunnskap utvikles.

2.1.4 Elevens utfordringer med modeller

Når elevene arbeider med modeller er det viktig å være oppmerksom på at det ikke skal forventes at de skal kunne konstruere modellene egenhendig for mer eller mindre ukjente fenomener. Angell et al. (2019) presiserer derimot at det allikevel er viktig for elevene å arbeide med autentiske vitenskapelige metoder. Dette kan oppnås ved at eleven bruker allerede kjent teori for å etablere en modell knyttet til et spesifikt fenomen: "I modelleringsprosessen må elevene identifisere relevante variabler basert på teori, og dernest bruke eksperimenter og matematisk verktøy til å bestemme sammenhengen mellom dem (den matematiske modellen)." (Angell et al., 2019, p. 187). Det blir altså lærerens oppgave å konstruere en oppgave som leder eleven inn i en modelleringsprosess hvor eleven har forutsetninger for å lykkes. Dette ved å bruke tidligere kjent teori. En annen utfordring Angell et al. (2019) presenterer er at elevene ofte kan betraktes som naive realister; elevene tror at modeller er en direkte representasjon av virkeligheten og at kunnskap om naturen kan «avleses» direkte fra naturen. Det konkluderes med viktigheten av at elevene får et metaperspektiv på modeller slik at de kan drøfte modellenes styrker og begrensinger; evne å kunne avgjøre når en modell er gyldig og når den ikke er gyldig.

Samtidig kan konverteringen fra fysikk til matematikk i modelleringsprosessen være utfordrende for elevene. Dette kan relateres til vanskene elevene kan oppleve under oversetting mellom de forskjellige representasjonsformene i fysikk, som vi undersøkte i kapittel 2.1.1. Angell et al. (2019) viser til at elever ofte sliter med å se sammenhengen mellom matematikken i matematikktimen og matematikken i fysikktimen: «Elever har ofte ikke tenkt på at en formel i fysikk som $s=vt$ formelt er akkurat den samme likningen som $y=ax$, som de er vant med fra matematikken» (Angell et al., 2019, p. 191). De viser også til hvordan elever ofte har vage beskrivelser av komponentene i en matematisk modell, samt at de har lite forståelse for benevningers funksjon i en modell. Elevene har problemer med å forstå hva de matematiske likningene og formlene egentlig betyr, elevene er enten i fysikkmodus eller matematikkmodus: "For mange elever består vanskelighetene i hva slags matematikk de er forventet å bruke, og hvordan de skal oversette fra en fysisk situasjon i oppgave til et formalisert matematisk språk" (Angell et al., 2019, p. 191).

2.1.5 Dybdelæring

Jeg har inkludert dette delkapittelet om dybdelæring i hovedkapittelet om modeller i fysikk, da jeg mener at måten Utdanningsdirektoratet presenterer dybdelæring henger tett sammen med det som tidligere i kapittelet har blitt undersøkt om modeller i fysikk.

Utdanningsdirektoratet definerer dybdelæring som:

«... det å gradvis utvikle kunnskap og varig forståelse av begreper, metoder og sammenhenger i fag og mellom fagområder. Det innebærer at vi reflekterer over egen læring og bruker det vi har lært på ulike måter i kjente og ukjente situasjoner, alene eller sammen med andre.» (Utdanningsdirektoratet, 2019b)

I definisjonen blir varig forståelse vektlagt, ikke bare av faginnhold, men også av metoder og sammenhenger. Samt at en skal være i stand til å reflektere og bruke kunnskapen.

Gjennomgående blir det brukt begrep som kan knyttes til taksonomi av høyere nivå.

Taksonomi blir brukt som en inndeling av kunnskap i forskjellige nivåer, hvor inndelingen kan presenteres som en skala ut fra hvor elementære eller avansert kunnskapen er (Imsen, 2017). Imsen (2017) presenterer en revidert versjon av Blooms taksonomi relatert til undervisning. Her beveger nivåene seg fra elementære til mer komplekse; nivåene består av at eleven skal kunne huske/memorere, forstå, anvende, analysere, vurdere og skape. Fra definisjonen av dybdelæring blir begrepet «forståelse» brukt i relasjon med sammenhenger. Selv om begrepet «forståelse» ikke blir representert som et høyt nivå innenfor taksonomien,

impliserer en forståelse av sammenhenger at en også må evne til å «vurdere», som har en høyere grad av kompleksitet.

Ludvigsensutvalget (NOU 2015: 8, 2015) hevder at kompetanseoppnåelse forutsetter dybdelæring. De poengterer også hvordan fag bør tilrettelegges slik at elevene har mulighet til å gå i dybden, og at forskning viser at forståelse er en tidkrevende prosess for elevene. Som det ble presentert i innledningen, er intensjonen med fagfornyelsen at mer tid skal bli frigjort til dybdelæring. Dette ved å rette fokuset mot et helhetlig bilde, hvor elevene skal få mer tid til på å lære ting godt og bedre kan forstå relasjoner og sammenhenger mellom nye og gamle situasjoner (Utdanningsdirektoratet, 2021a). I læreplanen for fysikk 1 har eksempelvis kompetansemålene blitt redusert fra 25 til 14 (i overgangen fra LK06 til LK20). Men som nevnt i innledningen kan det tyde på at forholdet mellom innhold og mengde av kompetansemålene fortsatt er likeså omfattende (Karseth et al., 2020).

2.2 Digitale ferdigheter i fysikkfaget

Som introdusert innledningsvis har programmering fått en plass i den nye læreplanen for fysikk; både som kompetansemål og del av et kjerneelement. For å kunne implementere programmering i fysikken vil det være viktig å undersøke grundigere hvilke aspekter av programmering læreplanen vektlegger. I dette delkapittelet vil dette bli undersøkt nærmere i lys av fysikkdidaktiske perspektiver.

2.2.1 Digitale ferdigheter i lys av læreplanen

Fra LK06 til LK20 ble formuleringen av de digitale ferdighetene fysikkelevne er forventet å mestre blitt endret. I Tabell 3 ser vi et utdrag fra begge skolereformenes tilsvarende ferdighetsbeskrivelse.

Tabell 3

Formulering av den grunnleggende ferdigheten som omhandler digitale ferdigheter for fysikk i skolereformene LK06 og LK20.

LK06	LK20
«Å kunne bruke digitale verktøy i fysikk innebærer å utforske, måle, registrere, analysere, dokumentere og publisere digitalt. Det betyr å anvende animasjoner og bruke Internett til å hente inn fysikkfaglig informasjon. Å kunne bruke digitale verktøy i fysikk betyr å simulere fenomener og forsøk som det ellers er vanskelig å studere.» (Utdanningsdirektoratet, 2006)	«Digitale ferdigheter i fysikk innebærer å bruke digitale ressurser til å registrere, bearbeide, analysere, modellere og presentere data. Det innebærer også å innhente relevant informasjon for å studere fysikkfaglige fenomener og problemstillinger. Videre innebærer det å bruke programmering og dynamiske verktøy til å utforske fysiske problemstillinger.» (Utdanningsdirektoratet, 2021b)

Først og fremst er det verdt å merke at LK06 presiserer hva *bruk av digitale verktøy i fysikk* innebærer, mens LK20 formulerer seg ved å presisere hva *digitale ferdighetene* innebærer. Reformene skilles også ved at LK06 fokuserer på at eleven skal kunne simulere fysikkfaglige fenomener, mens LK20 presiserer programmering (og dynamiske verktøy) som en ferdighet til å utforske fysiske problemstillinger. Altså skal elevene nå til en viss grad være i stand til å lage programvare som eksempelvis kan bli brukt til simulering, ikke bare bruke den. Samt, nevner Utdanningsdirektoratet programmering og algoritmisk tenkning som en sentral kompetanse for fremtiden i «Hvorfor har vi fått nye læreplaner» (Utdanningsdirektoratet, 2021a).

Innføring av programmering i fysikk støttes også opp av fysikkdidaktisk litteratur. Angell et al. (2019) argumenterer for at autentisiteten og nytten programmering i fysikk medfører kan støtte opp mot både læring og motivasjon for fysikkfaget. De hevder at programmering og digitale beregninger vil være mer virkelighetsnært til en fysikers arbeidshverdag. Elevene vil ved hjelp av programmering være i stand til å utforske realistiske og autentiske problemstillinger som tidligere ville vært for komplekse å angripe med penn og papir, og at dette kan støtte både elevenes læring og motivasjon for fysikk. Malthe-Sørenssen et al. (2015) peker på at en tilnærming hvor fysiske beregninger blir gjort med autentiske eksempler og

datasett, vil elevene lære en realistisk arbeidsflyt de vil ha nytte av senere, samt finne arbeidet både motiverende og inspirerende. Jeg vil videre se på hva programmering i fysikkfaget faktisk innebærer.

2.2.2 Programmering og algoritmisk tenkning

Begrepet programmering kan sees i sammenheng med det mer omfattende begrepet algoritmisk tenkning (oversatt fra «computational thinking») (Sevik, 2016; Utdanningsdirektoratet, 2019a). Utdanningsdirektoratet beskriver algoritmisk tenkning som:

«Å tenke algoritmisk er å vurdere hvilke steg som skal til for å løse et problem, og å kunne bruke sin teknologiske kompetanse for å få en datamaskin til å løse (deler av) problemet. I dette ligger også en forståelse av hva slags problemer/oppgaver som kan løses med teknologi og hva som bør overlates til mennesker.» (Utdanningsdirektoratet, 2019a)

I dette ligger det at algoritmisk tenkning baserer seg på problemløsningsstrategier i kombinasjon med teknologi som da ofte vil innebære programmering. Det presiseres også at det ikke er forventet at problemet i sin helhet skal løses digitalt (til enhver tid), men at det inngår i algoritmisk tenkning å forstå hvilke elementer som bør løses digitalt.

I rapporten «Programmering i skolen» (Sevik, 2016) inndeles kompetansen innenfor programmering og algoritmisk tankegang (deres oversettelse av «computational thinking») ved fem fokusområder: abstrahering, å kunne gjennomgå informasjon systematisk, lære å tilegne seg og forstå forskjellige representasjonsformer, modulisere (dekomponere) problemer og problemstillinger, samt resonere i iterative og parallelle strukturer. Spesielt relevant for programmering i fysikk kan det tenkes at tilegnelse og forståelse av de forskjellige representasjonsformene vil være essensielt for kompetansen.

2.3 Kognitiv belastningsteori

I dette kapitlet vil teori om menneskets kapasitet til å prosessere informasjon og kunnskap bli presentert. Denne teorien stammer i all hovedsak fra psykologifeltet, men kan anvendes i undervisningsbaserte kontekster. Som følge av de foregående delkapitlene vet vi at eleven kan oppleve oversetting mellom representasjonsformer kan være utfordrende. Da en implementering av programmering i fysikk kan medføre nok en representasjonsform kan det tenkes at en behøver verktøy for å håndtere denne utfordringen. Den kognitive teorien blir presentert og brukt som et slikt verktøy i denne masteroppgaven for å bidra til å svare på hva en implementering av programmering i en fysikkfaglig kontekst kan kreve.

2.3.1 Arbeidsminnet

Kognitiv belastningsteori baserer seg på menneskets begrensede arbeidsminne og dens relasjon med det ubegrensede langtidsminet (Kirschner, 2002). Det begrensede arbeidsminnet evner kun å lagre få «deler» informasjon om gangen og vil evne å prosessere eller arbeide med enda færre av dem om hverandre. George Miller (1956) presenterte allerede i 1956 hvordan arbeidsminnet kun var i stand til å behandle 7 ± 2 «chunks» (deler) med informasjon. Derimot, selv om arbeidsminnet er begrenset til et bestemt antall deler, vil lagringskapasiteten til arbeidsminnet være uavhengig av størrelsen til delene, kun antallet. Miller presenterer dette som antallet «bits» (biter) i hver «chunk» (del).

Belastningen av arbeidsminnet kan bli kategorisert i tre deler: indre kognitiv belastning, ytre kognitiv belastning og german kognitiv belastning. Relatert til læring blir indre kognitiv belastning beskrevet av Sweller et al. (1998) som belastning basert på fagstoffets indre natur, mens den ytre kognitive belastningen baserer seg på måten fagstoffet blir presentert på. Fordi den indre kognitive belastningen er bestemt av det aktuelle fagstoffet, vil den ikke være mulig å redusere ifølge Sweller et al. (1998). Derimot vil det være mulig å begrense den ytre kognitive belastningen, fordi metoden for presentasjon av fagstoffet kan både varieres og endres. Da det er ønskelig å begrense den ytre kognitive belastningen, vil det derimot være ønskelig å øke den germane kognitive belastningen. Dette fordi den germane kognitive belastningen baserer seg på systematisering av såkalte skjemaer i langtidsminet. Skjemaer og deres funksjon for både langtidsmine og arbeidsminnet vil bli forklart ytterligere neste delkapittel, men essensen er at godt utviklede skjemaer kan bidra til å redusere den kognitive belastningen i arbeidsminnet.

Den kognitive belastningen vil bare være relevant for læring når elementene i arbeidsminnet, ofte skjemaer, blir prosessert samtidig. Dette avhenger av hvilken grad elementene er avhengig av hverandre; Element interaktiviteten (Sweller et al., 1998). Med ikke-interaktive elementer kan læringsprosesser foregå serielt (ikke samtidig). Den indre kognitive belastningen er lav grunnet fagstoffets ikke-interaktive natur. Eksempelvis hevder Sweller et al. (1998) at matematikk er et fag med typisk høy element-interaktivitet. Samtidig knytter de begrepet «forståelse» til elementer med høy interaktivitet. Elementer med lav interaktivitet kan huskes eller kunnes, mens elementer med høy interaktivitet krever forståelse; En må kunne se sammenhenger og knytte de interaktive elementene i forskjellige kontekster. Forståelse skjer når de høye interaktivitetselementene kan prosesseres samtidig i arbeidsminnet.

2.3.2 Skjematisk teori

Skjemaer blir som nevnt lagret og systematisert i langtidsminnet, men i tillegg til dette kan skjemaer hjelpe med å redusere den kognitive belastningen i arbeidsminnet (Sweller et al., 1998). Skjemaene kan nemlig bestå av enorme mengder informasjon, avhengig av hvor godt vi har lært oss det aktuelle skjemaet. Siden skjemaene kan inneholde ubegrensede mengder kunnskap, men fortsatt bli behandlet som en enhet i arbeidsminnet, kan utvikling, forbedring og systematisering av skjemaer føre til en redusert belastning på arbeidsminnet.

For eksempel viser Sweller et al. (1998) til hvordan vi bruker skjemaer når vi leser; Vi evner å gjenkjenne, kategorisere og systematisere symboler og ord til fullstendige setninger. Vi har lært oss dette ved å ha lest utallige mengder ord og bokstaver; Mindre komplekse skjemaer blir kombinert til mer komplekse skjemaer. Hvis vi sammenligner en videregående skoleelev med en barneskoleelev, vil videregående skoleeleven sannsynligvis ha opparbeidet seg færre og mer komplekse skjemaer for lesing, mens barneskoleeleven sannsynligvis har flere mindre komplekse skjemaer for lesing. Begge kan lese, men barneskoleeleven vil lese langsommere og muligens med mindre forståelse. Flere skjemaer må brukes samtidig i arbeidsminnet under prosessen. Til motsetning, vil videregående skoleeleven behøve færre skjemaer under prosessen, og vil ha større kognitiv kapasitet til å bruke på forståelse og lesehastighet.

Skjemaautomatikk blir også tatt frem som en viktig prosess for å kunne redusere den kognitive belastningen (Sweller et al., 1998). Med skjemaautomatikk menes det at en har opparbeidet et såpass komplekst skjema at når vi tar i bruk det aktuelle skjemaet vil prosessen skje automatisk, vi bruker ikke bevisst skjemaet fordi det er så kraftig innarbeidet i langtidshukommelsen. Automatikken fører til at skjemaet ikke engang behøver noe kognitiv kapasitet i arbeidsminnet. Når et skjema er mindre komplekst, vil vi derimot være nødt til å bevisst ta det i bruk i arbeidsminnet, som fører til en økt kognitiv belastning i det begrensede arbeidsminnet.

2.3.3 Ytre kognitiv belastning

Da den indre kognitive belastningen i aller høyeste grad er fastsatt av fagstoffet, vil det være nyttig å kunne begrense den ytre kognitive belastningen i lærings situasjoner. Spesielt når den indre kognitive belastningen er høy, der hvor graden av interaktivitet mellom elementene er høy. Van Merriënboer og Sweller (2005) oppsummerer fem effekter som kan bidra til å begrense den ytre kognitive belastningen i undervisningsopplegg, hvorav tre av dem vil bli diskutert i denne oppgaven. Et utklipp av disse finnes i Tabell 4. I denne masteroppgaven vil

jeg fokusere spesielt på de tre første metodene: «Goal-free effect», «Worked example effect» og «Completion problem effect». Disse har jeg oversatt til norsk og vil heretter refereres til som henholdsvis mål-fri-effekten, løsningsforslageffekten og utfyllingseffekten.

Tabell 4

Oversettelse av deler av van Merriënboer et al. (2005) sin tabell som beskriver (blant annet) mål-fri-effekten, løsningsforslageffekten og utfyllingseffekten.

Effekt	Beskrivelse	Ytre kognitiv belastning
Mål-fri effekten	Erstatter konvensjonelle problemer med mål-frie problemer som gir eleven et a-spesifikt mål	Reduserer ytre kognitiv belastning som ville vært forårsaket av å relatere initialtilstand av et problem til en løsningstilstand ved å redusere forskjellene mellom dem; fokusere elevens oppmerksomhet på problemtilstanden og de tilgjengelige operatorene
Løsningsforslageffekten	Erstatter konvensjonelle problemer med løsningsforslag som må bli nøye studert	Reduserer ytre kognitiv belastning som er forårsaket av svake problemløsningsstrategier; fokuserer elevens oppmerksomhet på problemtilstander og mulige løsningssteg
Utfyllingseffekten	Erstatter konvensjonelle problemer med utfyllingseksempler som kun gir en del av løsningen og må bli fullført av eleven	Reduserer ytre kognitiv belastning fordi det å gi deler av løsningen reduserer kapasiteten problemet krever; fokuserer oppmerksomheten mot problemtilstander og nyttige løsningssteg

2.3.4 Mål-fri effekten

Mål-fri-effekten kan sees på som en justering av mål-middel-metoden ved problemløsningsoppgaver (Sweller et al., 1998). En mål-middel-metode baserer seg på problemløsning hvor det er gitt en start-tilstand, en ønsket slutt-tilstand, samt tilleggsopplysninger som vil være nødvendige for å nå målet. Med mål-middel-metoden vil målet i seg selv være hovedfokuset. Problemløseren vet hvor målet er, og vil bruke de nødvendige tilleggsopplysningene for å nå frem (Sweller & Levine, 1982). Sweller og Levine (1982) tar i bruk en labyrint som analogi for å beskrive når mål-middel metoden ikke kan brukes. I en labyrint vet en hva målet er (utgangen), men man vet ikke hvor målet (utgangen) befinner seg. Problemløseren kan ikke arbeide seg «tilbake» fra utgang til start, som en ville gjort ved en mål-middel-metode.

Mål-middel metoden fungerer godt til å løse spesifikke problemer hvis en mangler de nødvendige skjemaene. Derimot er en slik metode svært kostbar for den kognitive belastningen, og vil ikke hjelpe eleven med å forbedre de aktuelle skjemaene (Sweller et al., 1998). I følge Sweller et al. (1998) vil mål-fri-problemer derimot være utviklet for å begrense den kognitive belastningen ved å motivere konstruksjonen og forbedringer av skjema ved å generalisere målet.

2.3.5 Utfylling- og løsningsforslagseffekten

Med løsningsforslagseffekten menes det at eleven har løsningsforslag de kan studere og bruke for å løse nærliggende problemer. Ved å bli presentert for en mulig løsning av et problem, kan eleven utarbeide generelle løsninger og videreutvikle relevante skjemaer (Sweller et al., 1998). Det er derimot ikke satt noe krav til at eleven skal studere løsningsforslagene på en tilstrekkelig måte. Dette kan spesielt være en hindring for elever med lavere læringsmotivasjon. Samtidig kan bruken av løsningsforslag i kombinasjon med et lignende problem øke den kognitive belastningen ved at arbeidsminnet må prosessere to elementer samtidig.

I motsetning til løsningsforslagseffekten vil problemer basert på utfyllingseffekten tvinge problemløseren til å aktivt arbeide med dem. Deler av problemet er allerede utfylt, eller betraktet på en annen måte, deler av løsningsforslaget er fjernet og problemløserens oppgave blir å fylle inn de manglende stegene. Sweller, van Merriënboer og Paas (1998) hevder at en slik strategi for læringsinstruksjon er spesielt anvendbart for læring av (blant annet)

programmering. De foreslår også at problemene bør starte som nesten fullstendig utfylte og gradvis redusere graden av utfylling helt til eleven må løse problemet selvstendig.

3 Fysikkfaglig teori

I denne masteroppgaven tas det utgangspunkt i kompetansemålene fra fysikk 1: «bruke modeller av strålingsbalansen til jorda til å gjøre beregninger, og vurdere hvordan endringer på jordoverflaten og i atmosfæren påvirker denne balansen» (Utdanningsdirektoratet, 2021b) og «vurdere, bruke og lage modeller til å beskrive og forutsi fysiske fenomener» (Utdanningsdirektoratet, 2021b). For å utforme et undervisningsopplegg som støtter opp under kompetansemålene vil det være essensielt å undersøke hvilke fysikkfaglige fenomener de inneholder. I dette tilfellet tolkes det til at modellene av jordas strålingsbalanse er det fysikkfaglige fenomenet som skal utforskes. Det presiseres også at elevene skal kunne undersøke endringer ved både jordoverflaten og jordatmosfæren. Jeg vil starte med å undersøke det mer grunnleggende fysiske fenomenet stråling (mer spesifikt elektromagnetisk stråling), før jeg fortsetter ved å utdype fenomenet strålingsbalanse og hva endringer i disse modellene kan innebære for jorda.

3.1 Strålingsbalanse

Alle objekter kan absorbere og utstråle elektromagnetisk stråling (Tipler & Mosca, 2007). Elektromagnetisk stråling kan betraktes som energi som forflytter seg gjennom rom eller stoff med lysets hastighet. Slik stråling har en bølge-partikkel dualitet, noe som medfører at det kan bli betraktet som både en bølge og en partikkel (foton). Den elektromagnetiske strålingen kan deles inn i flere under-fenomener, deriblant *termisk stråling* (Percuoco, 2014). Når et objekts absorbering og emittering (utstråling) av termisk stråling er lik, sies det at objektet er i termisk likevekt (TIPLER MOSCA683; LILLESTØL177). Altså all strålingsenergi som et sort legeme mottar er lik all strålingsenergi som legemet emitterer, dette er legemets *strålingsbalanse*:

$$E_{inn} = E_{ut} \quad [1]$$

3.2 Sorte legemer og Stefan-Boltzmanns lov

Vi bruker begrepet «sort legeme» for å beskrive et objekt som absorberer all innkommende stråling samtidig som det emitterer samme mengde stråling tilbake. Et perfekt sort legeme vil altså være i termisk likevekt. Ytterligere, kan begrepene emissivitet (ϵ), transmisjon, refleksjon og absorpsjon brukes til å beskrive et sort legeme. Refleksjonen beskriver hvor mye av strålingen som blir reflektert (sendt tilbake), absorpsjonen beskriver hvor mye av strålingen som blir absorbert (tatt imot), mens transmisjonen beskriver hvor mye av strålingen som blir transmittert (går igjennom). Et sort legeme vil ha en refleksjon- og

transmisjonskoeffisient på 0, mens absorpsjonskoeffisienten vil være på 1. Samtidig vil det sorte legemet ha en emissivitetskoeffisient på 1, all stråling den absorberer vil bli emittert. Denne emitterte strålingen kalles for sort stråling. Sola kan betraktes som et sort legeme (Andrews, 2010; Lillestøl et al., 2001; Tipler & Mosca, 2007).

Et sort legeme i strålingsbalanse vil emittere stråling som er proporsjonal med dens temperatur i fjerde grad med en proporsjonalitetsfaktor definert som Boltzmanns konstant: $\sigma = 5.6703 \cdot 10^{-8} \left(\frac{W}{m^2 \cdot K^4}\right)$. Dette fenomenet har fått navnet Stefan-Boltzmanns lov (Andrews, 2010; Lillestøl et al., 2001; Tipler & Mosca, 2007). og kan uttrykkes både ved å se på legemets utstrålingstetthet eller dets utstrålte effekt:

$$M = \sigma T^4 \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad [2]$$

$$P = \sigma T^4 \cdot A \left[W \right] \quad [3]$$

Hvor M er legemets utstrålingstetthet og P er legemets utstrålingseffekt. utstrålingstettheten er gitt som watt per areal, utstrålt effekt er gitt ved Watt. Loven gjelder altså bare for sorte legemer, men kan modifieres til å også gjelde for legemer som ikke er fullstendig sorte ved å multiplisere med emissiviteten til legemet. Altså, den prosentvise andelen legemet emitterer i forhold til hva et tilsvarende perfekt sort legeme ville emittert. Dette kan presenteres slik:

$$M = \epsilon \sigma T^4 \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad [4]$$

$$P = \epsilon \sigma T^4 \cdot A \left[W \right] \quad [5]$$

3.3 Strålingsbalanse mellom en strålingskilde og et sort legeme

Når strålingsbalansen til et objekt betraktes må all stråling som treffer objektet bli tatt høyde for. I denne oppgaven vil vi betrakte en modell hvor all stråling til et legeme blir mottatt fra kun én sfærisk kilde.

Strålingen et objekt mottar fra et annet objekt (en strålingskilde), vil være direkte avhengig av kildens temperatur og avstanden mellom de to legemene. Kilden vil emittere stråling i alle retninger, men intensiteten til strålingen vil synke omvendt proporsjonalt med avstanden den beveger seg. Dette kan visualiseres ved at den utstrålte effekten som kan beregnes for en strålingskilde ved å bruke likning [3], den totale utstrålte effekten, er uavhengig av hvor langt i fra strålingskilden vi befinner oss, men at intensiteten vil altså være lavere lengre unna kilden da den utstrålte effekten må fordele seg på en større overflate. Utstrålingstettheten til en strålingskilde med radius, r_{kilde} , på en avstand, d, vekk fra kilden kan uttrykkes som:

$$M_d = \sigma T^4 \cdot \left(\frac{r_{kilde}}{d}\right)^2 [W/m^2] \quad [6]$$

Et legeme som befinner seg en avstand, d , unna en strålingskilde vil da ha en innstrålingstetthet som kan beregnes med likning [6] om dette er legemets eneste strålingskilde.

Hvis legemet vi betrakter er kuleformet, vil den innkommende strålingen treffe en overflate som tilsvarer storsirkelen av kulen (sirkel med like stor omkrets som kulen). Hvis legemet har en radius, r_{legeme} , vil altså all innkommende stråling bli beskrevet slik:

$$E_{inn} = \sigma T^4 \cdot \left(\frac{r_{kilde}}{d}\right)^2 \cdot \pi r_{legeme}^2 [W] \quad [7]$$

Hvis legemet kan betraktes som et perfekt sort legeme, kan vi finne legemets strålingsbalanse ved å bruke likning [1], [3] og [7]:

$$E_{inn} = E_{ut} \quad [8]$$

$$\sigma T^4 \cdot \left(\frac{r_{kilde}}{d}\right)^2 \cdot \pi r_{legeme}^2 = \sigma T_{legeme}^4 \cdot 4\pi r_{legeme}^2 \quad [9]$$

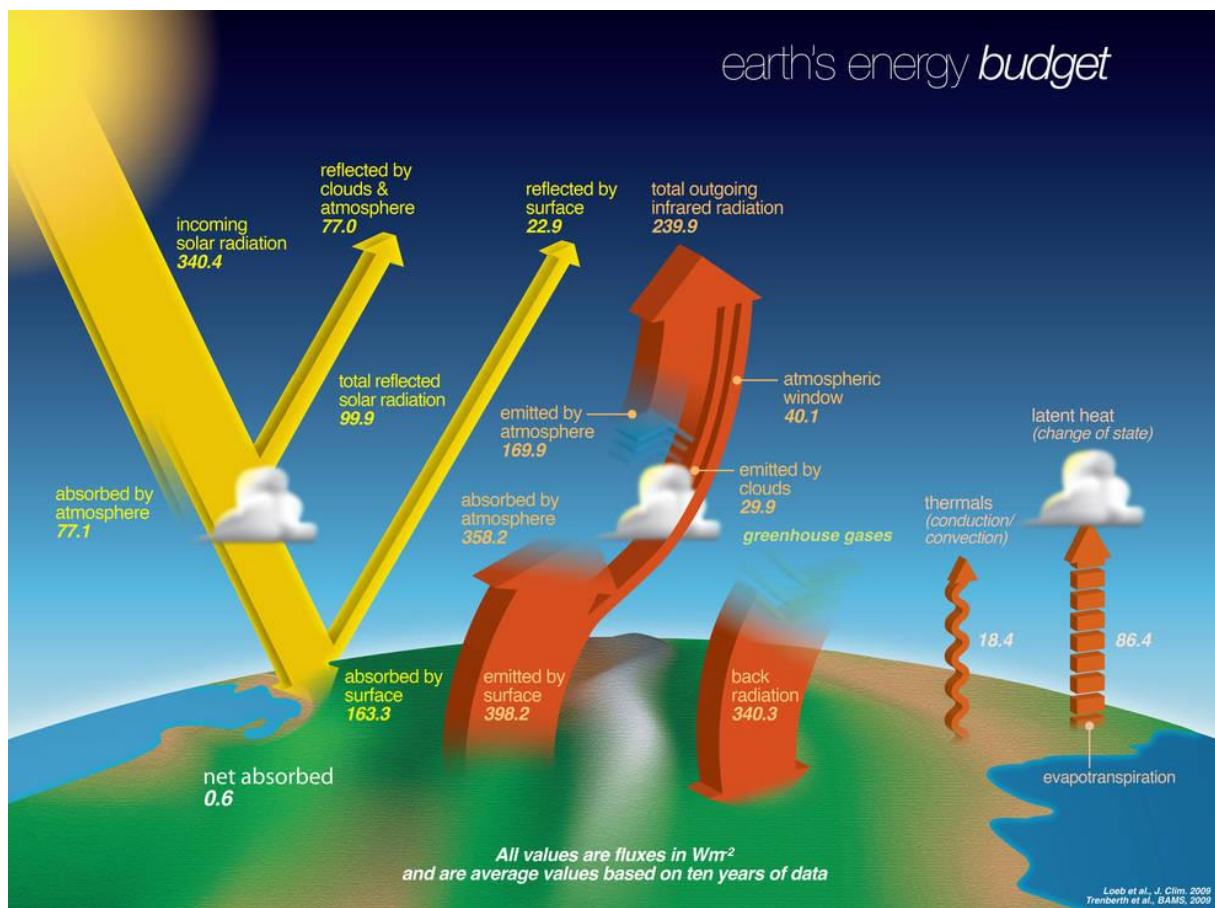
Om vi kjenner de fysiske dimensjonene til de sorte legemenene, avstanden mellom dem i tillegg til kildens overflatetemperatur, kan likning [9] brukes for å beregne et uttrykk for et legemes overflatetemperatur, T_{legeme} , ved å løse likningen for en ukjent. Dette resulterer i:

$$T_{legeme} = \left(\frac{M_d}{4\sigma}\right)^{0.25} [K] \quad [10]$$

Et slikt resultat vil altså være med forutsetning om at begge legemenene er perfekte sorte legemer, samt at objektet er i strålingsbalanse. Denne modellen vil anslå jordas overflatetemperatur til ca $5.77^\circ C$.

3.4 Jordas strålingsbalanse

Jorda kan ikke betraktes som et perfekt sort legeme. Deler av jordas innkommende stråling vil bli reflektert av både jordens atmosfære og overflate (Trenberth et al., 2009). I tillegg til dette, vil fenomenet drivhuseffekten føre til at jordens strålingsbalanse ikke kan betraktes slik vi gjorde i forrige delkapittel. En modell for jordas strålingsbalanse kan sees i Figur 1. Denne beskriver hvordan strålingen fra sola fordeler seg i møte med jorda. Modellen baserer seg på begrepsmessige representasjoner hvor sammenhengen mellom dem kan forklares fenomenologisk. Pakket inn i de fenomenologiske beskrivelsene ligger det derimot matematiske representasjoner av fysikken. Dette skal undersøke dette videre i en forenklet modell av jordas strålingsbalanse ved å først undersøke inntrykket jordens albedo har på strålingsbalansen.



Figur 1: En visualisering av jordas strålingsbalanse når stråling fra sola treffer jorda og dens atmosfære. (NASA, 2017)

3.4.1 Albedo

Den prosentvise andelen av stråling som blir reflektert av jordas overflate og atmosfære kalles for jordens planetariske albedo (Hummel & Reck, 1979). Målinger av jordens albedo anslår den til å ha en verdi på 0.3 (30% av innkommende stråling blir reflektert) (Stephens et al.,

2015). Da jorda ikke kan betraktes som et fullstendig sort legeme, kan en heller ikke bruke likning [10] for å beregne jordas overflatetemperatur. Det kan i midlertidig ta utgangspunkt i likning [4] og [5] og bruke samme resonnement som da likning [10] ble utviklet til å få et uttrykk for overflatetemperaturen til et legeme med albedo over 0. Det er kun den strålingen som blir transmittert av atmosfæren og absorbert av legemets overflate som vil ha en innvirkning på legemets strålingsbalanse, altså $(1 - \alpha)$ (%) av den innkommende strålingen. Dette medfører at et uttrykk for overflatetemperaturen til et legeme med albedo, α , kan beskrives som:

$$T_{legeme} = \left(\frac{M_d \cdot (1 - \alpha)}{4\sigma}\right)^{0.25} [K] \quad [11]$$

En slik modell vil anslå jordas overflatetemperatur til å være ca -18.03°C .

3.4.2 Drivhuseffekten

Så langt har en strålingsbalansmodell til et legeme hvor all stråling som når atmosfæren blir enten transmittert eller reflektert blitt konstruert. Denne modellen har ikke tatt høyde for hva som skjer med stråling som blir absorbert i atmosfæren. Denne inklusjonen vil danne en enkel modell for drivhuseffektens inntrykk på strålingsbalansen til et legeme. På jordkloden vil drivhuseffekten være forårsaket av at kortbølge stråling (som mottas fra sola) transmitteres i atmosfæren (antar at dette skjer fullstendig i vår modell). Derimot vil strålingen jorda emitterer (som et resultat av Stefan Boltzmanns lov) være langbølget stråling. Dette kan vises ved å bruke Wiens forskyvningslov, $\lambda = a/T$. Da, a er en konstant og temperaturen på sola er mye høyere enn temperaturen på jorda, vil også bølgelengden sola emitterer være mye kortere enn bølgelengden jorda emitterer.

I jordas atmosfære medfører dette at deler av den langbølgede strålingen blir absorbert (i motsetning til store deler av den kortbølgede). Fra Stefan-Boltzmanns lov vet vi at partiklene i atmosfæren også vil emittere en stråling relativ til dens temperatur, noe den absorberte langbølgede strålingen fra jorda vil bidra til å øke. Deler av den emitterte strålingen vil «forsvinne» ut i verdensrommet, mens resten vil emitteres tilbake mot jorda og resten av atmosfæren. Med dette kan det samlede strålingsbidraget uttrykkes:

$$E_{inn} = (1 - \alpha) \cdot M_d \cdot \pi r_{legeme} + \varepsilon \cdot \sigma T_{atm}^4 \cdot 4\pi r_{atm}^2 \quad [12]$$

$$E_{ut} = \sigma T_{legeme}^4 \cdot 4\pi r_{legeme}^2 \quad [13]$$

Her beskriver « ε » emissiviteten til atmosfæren, altså hvor mye av innkommende langbølget stråling som blir absorbert. I denne modellen for strålingsbalanse vil det også antas at atmosfæren oppleves som et tynt skall rundt legemet, altså at $r_{legeme} \approx r_{atm}$. I jordas tilfelle kan dette være en rimelig antagelse for en enkel modell, men vil ikke gi et fullstendig bilde av realiteten (Andrews, 2010). Ved å se på atmosfærens egne strålingsbalanse kan vi også uttrykke en relasjon mellom T_{legeme} og T_{atm} :

$$2\varepsilon \cdot \sigma T_{atm}^4 = \varepsilon \sigma T_{legeme}^4 \quad [14]$$

$$T_{atm}^4 = \frac{1}{2} T_{legeme}^4 \quad [15]$$

Bidraget 2ε i likning [14] stammer fra at atmosfæren emitterer stråler radielt, altså både «mot» og «vekk» fra legemet. Ved å kombinere [15] med antagelsen om at $r_{legeme} \approx r_{atm}$, kan vi nå beregne et uttrykk for temperaturen til legemet:

$$T_{legeme}^4 = \frac{M_a(1-\alpha)}{4\sigma(1-\varepsilon/2)} \quad [15]$$

Med en emissivitet på 0.77 vil modellen anslå en overflatetemperatur til jorda på ca 14.94°C.

4 Metode

I dette kapitlet vil denne masteroppgavens metode bli presentert og begrunnet. I dette ligger det hvilket forskningsdesign masterprosjektet baserer seg på, hvilket datagrunnlag og hvordan datagrunnlaget har blitt valgt i tillegg til hvordan det har blitt analysert, hvem utvalget er og hvordan de har blitt valgt, i tillegg til etiske betraktninger som har blitt gjort i løpet av prosjektet.

4.1 Forskningsdesign

«Hvis du ikke gir designet av et forskningsprosjekt nok oppmerksomhet vil du mest sannsynlig ende opp med rot» (Robson & McCartan, 2016, p. 5) (oversatt fra engelsk). For å beholde en struktur i forskningsprosessen har jeg rettet dette studiet mot etablerte design for kvalitative studier. Videre beretter Robson og McCartan (2016) om hvordan forskningsdesignet vil være avgjørende for hvordan forskningsspørsmålene blir bearbeidet til prosjekter, og på samme måte vil hvilket forskningsdesign en velger være avhengig av på forskningsspørsmålet formulering, kontekst og innhold. I dette masterprosjektet har jeg valgt å bruke et fleksibelt kvalitativt forskningsdesign hvor jeg retter meg inn mot en intervensjonsbasert studie. Resonnement for valget av disse, samt aspekter og kjennetegn ved dem, vil bli presentert i dette delkapitlet.

4.1.1 Fleksibelt kvalitativt design

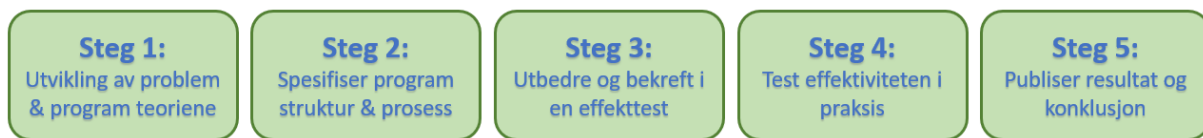
I dette masterprosjektet ønsket jeg å undersøke programmering i relasjon med den nye læreplanen for fysikk. Da jeg ønsket å oppdage aspekter ved elevenes arbeid og oppfatninger av programmering i en fysikkfaglig kontekst valgte jeg å rette masterprosjektet inn mot et fleksibelt kvalitativt design. Ifølge Robson og McCartan (2016) vil et slikt forskningsdesign ikke behøve en klar plan i startfasen, men vil med tid være åpen for å utvikle seg i forskjellige retninger. De poengterer at selv om det finnes klare designstrukturer innenfor dette paradigmet, vil et slikt forskningsdesign i større grad rette seg mot å skape et særegent design som på best mulig måte svarer på designets faktiske forskningsspørsmål. Dette i motsetning til den mer låste og nøye planlagte prosessen en kvantitativ studie ville krevet.

Forskningsspørsmålene behøver heller ikke være komplette i startfasen av et prosjekt, Masterprosjektet vil dessuten omhandle utdanning og læring, hvor Robson og McCartan (2016) hevder at fleksible kvalitative design i all hovedsak blir brukt som foretrukket forskningsmetode.

4.1.2 Intervensjonsbasert forskning

Masterprosjektet tar i bruk aspekter ved intervensjonsbasert forskning i sitt forskningsdesign. Fraser og Galinsky (2010) hevder at intervensjonsforskning representerer en systematisk studie av bevisste strategiendringer, en intervensjon. Dette innebærer både designprosessen og utviklingen av intervensjonen. Designprosessen består av å avgrense teori relevant til studiets problemstilling og avdekke eventuelle risikofaktorer, for deretter å avveie disse faktorene opp mot forslag til forbedring etter en utprøving. Utviklingen av intervensjonen består av å bygge videre på intervensjonen i en rekke sekvensielle studier. I dette prosjektets tilfelle vil intervensjonen være å implementere programmering i undervisning av strålingsbalanse. Jeg vil ta i bruk designprosessen av intervensjonsdesignets metode, men ikke utviklingsprosessen. Dette grunnet omfanget og tidsperioden relatert til denne masteroppgaven vil være utilstrekkelig for å foreta flere utprøvinger av en intervensjon.

Fraser og Galinsky (2010) beskriver fem faser i intervensjonsbasert forskning. En oversatt og redesignet figur av disse stegene kan sees i Figur 2. Det er i steg 1 at utviklingen av problemstilling og relevant teori som kan belyse denne. En del av dette steget består også av å identifisere mulige risikofaktorer knyttet til intervensjonen og ut fra dette også identifisere medierende faktorer. Det vil si faktorer som kan ha en indirekte innvirkning på risikoen. I dette steget inngår også planleggingen av utprøving og utvalg. Hvem skal delta i forskningsprosjektet? Hvor skal intervensjonen ta plass? Steg 2 handler om designprosessen av intervensjonen. Intervensjonen blir formulert og bør vurderes av personer med ekspertise. Spesielt, anbefaler Fraser og Galinsky (2010) at et utkast blir vurdert av en ekspert på området. Etter at dette er blitt tatt i betraktning kan piloter av intervensjonen utprøves. I pilotene vil strukturen og utførelsen av intervensjonen være hovedfokuset, ikke resultatet. Ved steg 3 bør intervensjonen bli utprøvd ved effekttester; en rekke tester hvor deler av intervensjonen blir testet individuelt. Utbedring kan bli foretatt med basis av resultater fra effekttestene. Under steg 4 testes intervensjonen i sin helhet under såkalte effektivitetstester. Hvor effektiv er intervensjonen i sin helhet under riktig kontekst? Selve utprøvingen blir som regel ikke utført av forskeren selv, men forskeren vil være ansvarlig for opplæring av intervensjonen, samt datainnsamling og analyse. Ved større forskningsprosjekter bør intervensjonen bli testet ved ulike utvalg for å kunne utforske forskjeller intervensjonen kan medføre ulike grupper. Det siste steget i en intervensjonsstudie blir å publisere resultatene og eventuelle konklusjoner eller aspekter forskningen har ledet til.



Figur 2: Viser stegene som ofte blir brukt ved intervensjonsforskning. Figuren er en oversatt og redesignet versjon av figuren Fraser og Galinsky (2010) bruker i sin artikkel.

I dette masterprosjektet har jeg valgt å gjenspeile enkelte av stegene som Fraser og Galinsky (2010) foreslår for en intervensjonsbasert studie. I stil med et fleksibelt kvalitativt forskningsdesign vil dette masterprosjektet bruke disse aspektene for å skape et særegent design til den aktuelle konteksten og problemstillingen. Steg 1 har blitt gjenspeilet ved å formulere en problemstilling (se kapittel 1.3), i tillegg til å utvikle relevant teori for å belyse problemstillingen (kapittel 2 og 3). Kognitiv belastningsteori har blitt identifisert som en medierende faktor for at elevene kan oppleve utfordringer tilknyttet modellering, oversettelse mellom representasjonsformer og som resultat kan ha en innvirkning på programmering i en fysikkfaglig kontekst (diskutert i kapittel 5). Undervisningsopplegget (basis for intervensjonen) ble vurdert av veileder for masteroppgaven, men ikke av en ekspert på fagfeltet, slik som anbefalt av Fraser og Galinsky (2010). Steg 2 ble utført tidlig i prosessen hvor en fysikk 1 klasse ble valgt som utvalg og rammefaktorer deres kontekst impliserte ble indentifisert (se kapittel 5.1). Derimot, ble ikke steg 3 utført. Dette grunnet at masteroppgavens tidsramme og omfang ble betraktet som for liten. Steg 4 ble utført i den bestemte fysikk 1 klassen, og resultatene og refleksjon relatert til disse blir presentert som en del av det 5. steget i kapittel 6, 7 og 8. Jeg gjennomførte steg 4 som både lærer og forsker, i motsetning til hva Fraser og Galinsky (2010) foreslår. Dette ble gjort for å forsikre om at undervisningsopplegget ble utført med den visjonen og de detaljene jeg selv vektla. Dette også med hensyn til faglærerens mulige travle hverdag, hvor en opplæring av undervisningsopplegget muligens ville vært for tidskrevende.

4.2 Datamateriale

Et fleksibelt kvalitativt forskningsdesign er ofte kjennetegnet av at det inneholder flere kvalitative datainnsamlingsmetoder (Robson & McCartan, 2016). Dette gjelder også for dette masterprosjektet hvor data har blitt innhentet ved observasjon og lydopptak av både elevdiskusjon og gruppeintervju av elever. Datamaterialet baserer seg altså på triangulering; en metodikk hvor mer enn én innsamlingsmetode for data blir brukt. Ifølge Robson og McCartan (2016) kan denne metoden styrke validiteten av forskningen om resultatene fra datakildene ikke overlapper med hverandre.

Jeg vil starte med å beskrive undervisningstimens forløp, da dette er grunnlaget for det meste av datamaterialet. Videre vil utvalget og de etiske betraktninger som er gjort bli beskrevet, i tillegg til de forskjellige datainnsamlingsmetodene brukt i dette prosjektet og hvordan datamaterialet er blitt analysert.

4.2.1 Utvalget og etiske betraktninger

Utprøvingen av undervisningsopplegget ble gjennomført i en fysikk 1 klasse på en videregående skole i Norge. Klassen ble valgt ved hjelp av etablerte kontakter på basis av bekvemmelighet. Ifølge klassens faglærer er det en gjennomsnittlig fysikkklasse, som hverken er sterkere eller mer utfordrende enn faglæreren har erfart ved tidligere årskull; elevene presterer på alle nivå hvor hovedvekten ligger på middels grad av måloppnåelse. I klassen var cirka 1/3 av elevene jenter mens de resterende 2/3 av elevene er gutter.

Forskningsprosjektet er godkjent av Norsk senter for forskningsdata (NSD). For å ivareta elevens sikkerhet og rettigheter, ble elevene informert om forskningsprosjektet i forkant av utprøvingen. Her ble de fortalt om prosjektets formål, deres rolle i prosjektet i tillegg til deres rettigheter. De ble også informert om dette i form av en samtykkeerklæring (se vedlegg 11) hvor de fikk muligheten til å gi sitt samtykke til hvilken grad de ønsket å delta i forskningsprosjektet. Det ble også informert om at de når som helst under, før eller etter utprøvingen kunne trekke sitt samtykke og deltagelse i forskningsprosjektet. Da elevene i fysikk 1 går andre året på videregående, vil elevene med stor sannsynlighet være over alderen hvor det ville vært krevet foreldres samtykke (*Samtykke og andre behandlingsgrunnlag*). Elevenes fødselsdato ble samlet inn på samtykkeerklæringen hvis dette ikke skulle være tilfellet.

Klassen bestod av 21 elever hvorav 18 samtykket til at deres egenproduserte lydopptak kunne samles inn som en del av forskningsprosjektet. De tre resterende elevene som ikke samtykket til dette, ble plassert i samme gruppe et stykke unna resten av elevene slik at stemmene deres ikke skulle bli fanget opp av de andre elevenes lydopptak. Det at elevene selv avleverte sine egenproduserte lydopptak til lærer, gjorde at de fikk enda en mulighet til å trekke seg fra deltagelse i forskningsprosjektet. 12 av elevene samtykket til å delta på gruppeintervju i etterkant av undervisningstimen hvorav 5 av disse ble plukket ut tilfeldig til å være med på gruppeintervjuet.

4.2.2 Utprøving

Undervisningsøkten bestod av tre undervisningstimer, hvor jeg startet med en kort introduksjon av meg selv og masterprosjektet. Jeg spesifiserte at jeg ønsket at elevene skulle behandle prosjektet som en vanlig undervisningstime. Jeg introduserte så oppgaven som elevene skulle arbeide med første del av undervisningsøkten (vedlegg 1 og 9). Dette ble gjort ved å presentere både et oppgaveark og pythonkoder på projektor. Samtidig som elevene lastet ned pythonkodene (se vedlegg 3-8) fra deres læringsplattform ble uttrykk for Stefan-Boltzmanns lov (likning [2] og [3], se kapittel 3) og areal formlene for sirkel og kule skrevet på tavla. Første undervisningstime bestod av at elevene arbeidet med oppgaven i diskusjon og samarbeid med bordpartnere. Både jeg og faglærer bistod elevene om de lurte på noe eller satt fast. Etter matpausen (starten av andre time) brukte jeg de første 10 minuttene av timen til å gjennomgå aspekter ved oppgaven jeg hadde merket meg at virket uklare eller spesielt utfordrende for elevene. Dette inkluderte fysikkforståelsen som behøvdes for å få til oppgave 1b, en beskrivelse av funksjoner i python, samt en kjapp gjennomgang av hvilken av oppgavene elevene behøvde å programmere i koden og hvilke som krevde mellomregninger. Resten av andre time og første halvdel av tredje time blir igjen brukt på at elevene arbeider med oppgaven mens jeg og faglærer bistår elevene med det de måtte behøve. Siste halvdel av tredje time blir elevene delt inn i diskusjonsgrupper basert på hva de har svart på samtykkeskjemaet. Elevene som samtykket om å dele lydopptak av sin diskusjon ble plassert i grupper, mens elevene som samtykket om at de ikke ville dele lydopptak ble plassert i grupper og plassert i klasserommet slik at deres diskusjon ikke skulle bli tatt opp av de andre elevenes lydopptak. Elevene fikk deretter utdelt et ark med diskusjonsspørsmål som de diskuterte mens de selv tok opptak av diskusjonen (med egen lydopptaker, gjerne mobil eller pc). Dette skjedde uavbrutt og uten delaktighet av hverken meg eller faglærer. Dette foregikk til elevene enten hadde diskutert ferdig eller ble avbrutt grunnet undervisningsslutt. Elevene leverte selv inn lydopptakene til faglærer. Rett før timens slutt ble fem av elevene som hadde sagt seg villig til å delta på gruppeintervju trukket tilfeldig.

4.2.3 Datamateriale basert på observasjon

I dette masterprosjektet har et undervisningsopplegg blitt utviklet i et forsøk på å belyse problemstillingen. Undervisningsopplegget ble utprøvd i en fysikkklasse hvor deler av datamaterialet ble innhentet ved hjelp av at jeg har fungert som en deltagende observatør (Robson & McCartan, 2016). Deler av datamaterialet er altså basert på mine observasjoner og erfaringer samtidig som jeg fungerte som elevenes lærer.

For å kunne svare på hvorvidt programmering kan implementeres i undervisning av modeller for strålingsbalanse, vil hvordan elever tilnærmer seg programmering i en fysikkfaglig kontekst være essensiell. Elevenes prosess og tankegang i arbeid, samt hva elevene fikk til og ikke fikk til, ble da observert for å bedre kunne svare på dette. Observasjonen skjedde i dialog med elevene av meg som både lærer og forsker. Robson og McCartan (2016) beskriver denne rollen som utfordrende med hensyn til at forskeren må bli godtatt i gruppen for å få et akseptabelt utbytte av forskningen, denne utfordringen vil variere avhengig av både gruppen som blir observert og hvordan forskeren selv oppleves av gruppen. For å bryte ned denne barrieren som kunne oppstå mellom forsker og elever, presiserte jeg at selv om undervisningstimen er en del av et forskningsprosjekt, ønsket jeg at det først og fremst skulle fungere som en ordinær undervisningstime for elevene. Deres faglærer var også til stede og deltagende i undervisningstimen for å bryte ned barrieren mellom undervisning og forskning. Basert på min opplevelse av interaksjonen jeg hadde med elevene, mener jeg at jeg lyktes med å bli akseptert av elevgruppen. Elevene virket til å være mottakelige for hjelp og samtale både ved å selv initiere til samtale, men også ved å være åpne da jeg som lærer og forskere initierte samtalen. Dette er et grep Robson og McCartan (2016) foreslår for å håndtere et av de overordnede problemene med observasjon som datainnsamlingsmetode.

En fare ved observasjonsbasert datainnsamling kan ifølge Robson og McCartan (2016) være at analysen vil være påvirket av subjektivitet. Forskerens selektive oppmerksomhet under observasjonen, selektiv forståelse av situasjonene, selektiv hukommelse og interpersonale faktorer blir nevnt som utfordringer ved en slik metode. Situasjonene som oppstår under observasjonen blir tolket av forskeren både under og etter prosessen, i tillegg til at forskeren selv underbevist kan påvirke interaksjonene i løpet av observasjonsprosessen. Det vil altså være viktig å forsøke å holde seg objektiv, gå inn i prosessen med et åpent sinn, men selv om forskeren er bevisst på dette, er det ingen garanti for at situasjoner blir opplevet eller tolket subjektivt.

4.2.4 Datamateriale basert på lydopptak av elevdiskusjoner

Som siste del av undervisningsopplegget diskuterte elevene spørsmål i små grupper. Denne diskusjonen tok de av som elevene hadde gitt sitt samtykke opptak av diskusjonen. Robson og McCartan (2016) hevder at en av farene til validiteten av fleksible kvalitative design som baserer seg på observasjon, er at datamaterialet kan bli ufullstendig eller unøyaktig. De anbefaler derfor at det bør bli tatt opptak av utprøvingene der hvor det lar seg gjøre.

Opptakene ble tatt med elevenes eget utstyr (for eksempel mobil eller pc), uten at jeg som forsker og lærer deltok i prosessen. Elevene avleverte selv opptakene til faglærer, noe som ga elevene en mulighet til å trekke opptakene om de skulle angre seg. Læreren videresendte lydopptakene til meg fra de av elevene som hadde samtykket til å dele disse. Ved denne metoden kan jeg ifølge Robson og McCartan (2016) bli klassifisert som en «observatør-som-deltager» (direkte oversettelse); en person som ikke tar del i aktiviteten, men hvor ens rolle som forsker er kjent for deltakerne. De hevder at en ved å bruke denne metoden må være oppmerksom på at selv om en ikke deltar aktivt i prosessen vil det faktum at ens rolle som forsker er kjent kunne påvirke innholdet i datamaterialet. Elevene er bevist på både opptaket og meg som forsker, som kan styre innholdet i samtalen. Grunnet dette vil det bli min oppgave som forsker å tolke resultatene fra lydopptakene i denne konteksten.

4.2.5 Datamateriale basert på gruppeintervju

I dette masterprosjektet valgte jeg å kombinere observasjon av undervisningstimen og lydopptak av elevdiskusjoner, med et gruppeintervju av tilfeldig utplukkede elever i etterkant av undervisningsøkten. Mens jeg i observasjonene av undervisningsøkten observerte hvordan elevene arbeidet og samhandlet med hverandre i kontekst av undervisningsopplegget, var intensjonen med gruppeintervjuet at jeg fikk muligheten til å undersøke elevenes opplevelse av både undervisningsopplegget og programmering i fysikk i en mer generell kontekst. I tillegg åpnet metoden for muligheter til å undersøke og utdype uventede faktorer eller situasjoner som kunne oppstå underveis i undervisningsøkten. Det ble tatt lydopptak av gruppeintervjuet som i etterkant har blitt transkribert.

Med dette som bakgrunn valgte jeg å utføre et semi-strukturert intervju; et intervju med en intervjuguide bestående av fokusområder som intervjuet bør være innom, men uten at spørsmål behøver å være konstruert på forhånd (Robson & McCartan, 2016). Intervjuet nærmer seg en samtale hvor uforberedte spørsmål og tematikk kan undersøkes basert på samtalens flyt. Dette er ifølge Robson og McCartan (2016) en intervjumetode som ofte blir brukt innenfor fleksible kvalitative design og spesielt når forskeren er tett involvert i forsøket, slik tilfellet var i dette masterprosjektet. Intervjuguiden brukt i dette masterprosjektet finnes i vedlegg 12.

Intervjuet bestod dessuten av flere informanter (fem elever), og fungerte med andre ord som et gruppeintervju. Bjørndal (2017) hevder at gruppeintervjuer kan skape dynamiske samtaler hvor potensialet for å avdekke rikere informasjon ved at informantene kan stimulere

hverandre i diskusjon. Derimot kan det være utfordrende at hver enkelt av informantene kommer til ordet og får presentert sin egen mening uten å overskygges av mer dominante informanter. Dog, kan denne problematikken maskeres ved at gruppeintervjuet foretas i mindre grupper. Av denne grunn ble den aktuelle intervjugruppen bestående av fem elever. Jeg anså denne mengden informanter som tilfredsstillende til at det kunne bli skapt en dynamisk diskusjon, uten at enkelte av informantene ble overskygget.

4.2.6 En sosial-konstruktiv tilnærming

Under det kvalitative paradigmet dette masterprosjektet befinner seg i, vil dette masterprosjektet være rettet mot en sosial-konstruktiv tilnærming. Med dette menes det at sosiale aspekter blir skapt under interaksjonen mellom mennesker; gjennom samtale og samhandling. Forståelsen blir skapt av mennesket som både kan ha påvirkningskraft i interaksjonen og tolkningsprosessen (Robson & McCartan, 2016). Dette vil være relevant for dette masterprosjektet, hvor alt datamateriale har blitt hentet og tolket i lys av sosiale interaksjoner mellom elev-elev, elev-lærer og elev-intervjuer. Robson og McCartan (2016) hevder at ved en slik sosial-konstruktiv tilnærming vil forskeren ha vanskeligheter med å oppnå en objektiv realitet. Det er ingen direkte inngang til realiteten, men det blir forskerens oppgave å tolke de sosiale konstruksjonene av forståelse og kunnskap. Ved å utforske flere perspektiver kan flere metoder for datainnsamling kan bli brukt for å maskere denne utfordringen forskeren står ovenfor. Dette står altså i stil med det aktuelle masterprosjektet hvor flere datainnsamlingsmetoder har blitt brukt. Ved intervjuene og observasjonen av timen vil jeg som forsker ha vært inkludert i de sosiale interaksjonene som har foregått. Ved observasjonsprosessen av elevlydopptakene, vil derimot jeg som forsker ha hatt mindre grad av påvirkning i de sosiale interaksjonene. Selv om jeg var til stede, deltok jeg ikke i diskusjonen lydopptakene inneholdt. Med forskjellene i strukturen og graden av påvirkning av de forskjellige datainnsamlingsmetodene har jeg forsøkt å maskere deler av vanskelighetene som har blitt beskrevet ved en sosial-konstruktivistisk tilnærming.

4.2.7 Analytisk metode

For å analysere datamaterialet fra elevdiskusjonene og gruppeintervjuet ble det tatt transkripsjoner av de tilhørende lydopptakene. Videre ble det brukt en tematisk kodings tilnærming for å systematisere datamaterialet. Dette innebærer at innhold i datamaterialet blir inndelt i «koder». Kodene beskriver hva innholdet i datamaterialet innebærer. Lignende koder blir en slik metode gruppert i større temaer som ofte kan relateres til prosjektets forskningsspørsmål (Robson & McCartan, 2016).

I dette prosjektet har datamaterialet blitt kodet ved å blande en deduktiv og induktiv tilnærming. Dette er blitt gjort ved å bruke programvaren NVivo. Med en induktiv tilnærming vil både kodene og temaene bli skapt i løpet av analyseprosessen, mens ved en deduktiv tilnærming vil temaene og kodene være forhåndsbestemt (Robson & McCartan, 2016). Temaene i denne masteroppgaven var i hovedsak etablert før datamaterialet ble analysert, altså ved en deduktiv tilnærming. Grunnen til dette var at undervisningsopplegget som datamaterialet baserer seg på ble utviklet med teoretiske prinsipper som jeg anså som viktig i analyseprosessen. Disse temaene var: «Dybdelæring», «kognitiv belastning» og «modeller i fysikkfaglig kontekst». Kodene i dette masterprosjektet var ikke bestemt på forhånd; de ble til i løpet av analysearbeidet på basis av innholdet i datamaterialet, slik som i en induktiv tilnærming. Det at temaene var forhåndsbestemte hevder Robson og McCartan (2016) at kan føre til at enkelte koder eller temaer kan bli ignorert. Derimot, hevder de også at en slik tilnærming kan føre til at kunnskapen om de forhåndsbestemte temaene kan føre til at man oppdager aspekter ved datamaterialet som man ellers ikke ville gjort.

En ulempe med en tematisk kodingsmetode vil ifølge Robson og McCartan (2016) være at den ofte blir brukt uten at prosedyren til prosessen blir tilstrekkelig beskrevet og diskutert. Dette vil til dels være tilfellet i dette prosjektet. Utenom hva jeg beskrev i forrige avsnitt, har jeg ikke brukt kodene og temaene aktivt i presentasjonen av resultatet (kapittel 6). Temaene og koden har kun blitt brukt til å systematisere datamaterialet slik at jeg ut fra egne tolkninger og opplevelse av datamaterialet enklere kunne strukturere en presentasjon av datamaterialet.

5 Utforming av undervisningsopplegget

Som en del av intervensjonen dette masterprosjektet har som hensikt å utprøve, har ett undervisningsopplegg relatert til de to utvalgte kompetansemålene blitt utviklet. Dette kapittelet vil beskrive prosessen som tilsvarer steg 2 av Fraser og Galinskys (2010) beskrivelse av intervensjonsbasert forskning (kapittel 4.1.2). Det utviklede undervisningsopplegget består av et oppgavesett hvor en skal konstruere modeller for strålingsbalanse ved å fylle ut halvferdige programmeringskoder i Python. I tillegg til dette tilhører det et oppgaveark med diskusjonsspørsmål som det er ment at elevene skal diskutere i grupper. Ferdig oppgavesett, pythonkoder og diskusjonsspørsmål finnes under vedlegg. I dette kapitlet vil valg og begrunnelser gjort under konstruksjonen av undervisningsopplegget bli presentert og diskutert. Fokuset vil være på utvelgingsprosessen av fysikkfaglig teori, hvordan programmering kan kombineres med fysikk, samt hvilke grep som er blitt tatt for at eleven skal kunne lære, forstå og mestre programmering i en fysikkfaglig kontekst.

5.1 Undervisningsoppleggets kontekst

Undervisningsøkten bestod av tre undervisningstimer på 45 minutter hvor elevene hadde en matpause på 45 minutter mellom første og andre time, samt en liten pause på 5 minutter mellom andre og tredje time. I de to tidligere undervisningstimene den aktuelle uken hadde elevene blitt introdusert til sitt første møte med temaet stråling i fysikk. Elevene hadde fått en faktaorientert presentasjon som introduserte begrepene/fenomenene: lang og kortbølget stråling, Stefan-Boltzmanns lov, sorte legemer, albedo, planck-kurver, Wiens forskyvningslov og drivhuseffekten. I tillegg til dette hadde elevene arbeidet noe med diskusjonsspørsmål rettet mot en interaktiv simulasjon av drivhuseffekten, men læreren presiserte at de fleste av elevene ikke hadde rukket å sette seg ordentlig inn i disse oppgavene. Elevene hadde ikke arbeidet aktivt med Stefan-Boltzmanns lov og sorte legemer utenom en beskrivelse av fenomenene. Ifølge deres faglærer hadde elevene tidligere både brukt og lastet ned kompilasjonsprogramvaren Spyder for programmering i Python. Dette ble tatt i betraktning under utformingen av undervisningsopplegget.

5.2 Undervisningsopplegg som følge av kompetansemålet

Som nevnt er målet med undervisningsopplegget å kunne implementere programmering til undervisning av kompetansemålet fra fysikk 1: «Bruke modeller av strålingsbalansen til jorda til å gjøre beregninger, og vurdere hvordan endringer på jordoverflaten og i atmosfæren påvirker denne balansen» (Utdanningsdirektoratet, 2021b) i kombinasjon med

kompetansemålet fra LK20 som også presisere at eleven skal kunne lage modeller, ikke bare bruke og vurdere dem. Som diskutert i innledningen av denne oppgaven beskriver ikke kompetansemålet eksplisitt hvilke fysiske fenomener kompetansemålet innebærer. Noe som kan stamme fra fagfornyelsens tendens til generelt formulerte kompetansemål (Karseth et al., 2020). I dette delkapittelet vil min tolkning av hva kompetansemålene har «pakket inn» i deres formulering bli presentert og diskutert. Jeg vil betrakte hva som kan relateres til kompetansemålenes bruk av modeller i fysikk, samt hvilke fysikkfaglige fenomener jeg mener vil være nødvendig for å svare på kompetansemålet.

5.2.1 Modelleringsprosessen

For det første står det i kompetansemålet at elevene skal kunne bruke «modeller av strålingsbalansen til jorda»(Utdanningsdirektoratet, 2021b). Verdt å merke seg er at de beskriver modeller i flertall, men forteller ikke noe om hvilke modeller de sikter til. Dette medfører at innholdet i kompetansemålet er avhengig av underviserens egne tolkninger av hvilke «modeller» som eleven skal kunne bruke. Det vil også være opp til underviseren å «pakke ut» hvilke fysikkfaglige fenomener elevene skal kunne for å bruke disse modellene. Kompetansemålet setter dog noen av rammene til modellene ved å beskrive at disse skal gjelde for jorda, samt kunne vurderes og brukes ved å betrakte endringer på jordens overflate og i atmosfæren.

Med bakgrunn av teorien presentert i kapittel 3 og min egen tolkning, vil beskrivelsen av modeller i flertall sikte til at elevene skal kunne bruke modeller for jordas strålingsbalanse ved å betrakte ulike rammefaktorer for modellene. Eksempelvis vet vi fra kapittel 3.3 og 3.4 at vi kan konstruere tre forskjellige modeller for jordas strålingsbalanse ved å ta høyde for forskjellige fysiske fenomener (albedo og drivhuseffekten). Den endelige modellen presentert i kapittel 3.4, som tar høyde for drivhuseffekten og albedo, kan gi et resultat for jordens overflatetemperatur som stemmer bedre med faktiske målinger av jordens gjennomsnittlige overflatetemperatur (enn de to foregående). Derimot, vil heller ikke denne være helt naturtro. Som nevnt ble radiusen til atmosfæren og jorda anslått til å være like, noe de ikke er. Vi har heller ikke tatt høyde for variasjoner i atmosfæren, eller for den sags skyld, variasjoner i solas utstråling. Det er allikevel en modell som kan gi en enkel representasjon av jordens strålingsbalanse, og vil presentere eleven for flere fysiske fenomener og konsepter. Spesielt i kombinasjon med de to foregående, forenklete, modellene for jordas strålingsbalanse (kapittel 3.3 og 3.4.2), kan kombinasjonen være i stand til å ikke bare lære elevene fysikk, men også om fysikk (se kapittel 2.1.4).

Dette var en av grunnene til at jeg ønsket å utvikle en oppgave som ledet eleven gjennom en konstruksjon av tre modeller som utviklet seg i kompleksitet. Målet er at elevene skal bli kjent med hvordan vi kan starte med en enkel modell, uten særlige betingelser, før vi så sekvensielt legger til og tar høyde for ytterligere betingelser helt til vi når den ønskede kompleksiteten for jordas strålingsbalanse. Jeg ønsket å lede elevene gjennom oppgaven ved å presentere dem for klare rammebetingelser for oppgaven, samt steg de må foreta for å nå målet.

Eksempelvis ønsket jeg i oppgave 2 a) å introdusere eleven for at albedo kan ha en innvirkning på den totale innstrålte effekten: «Med albedo tatt i betraktning. Hva blir nå uttrykket for totalinnstrålt effekt, E_{inn} ?». Oppgave b) vil deretter lede elevene mot at denne endringen i total innstrålt effekt som albedoet medfører kan bli tatt høyde for i konstruksjon av en mer kompleks modell: «Bruk forrige modell som basis, men gjør nødvendige justeringer og konstruer en ny modell, AlbedoModell(), som tar høyde for albedo». For øvrig, står det ikke eksplisitt hvilke endringer som må gjøres i modellen, dette vil være opp til eleven å finne ut. Basert på teori fra Angell et. al (2019) i kapittel 2.1.4, kan dette være en nødvendig tilnærming til hvordan elever kan lære om modellering i fysikk. Som nevnt, kan vi ikke forvente at elevene har forutsetninger for å kunne modellere på egenhånd. Det kan tenkes at dette vil være spesielt relevant for elever i fysikk 1, som har sitt første møte med fysikk som fag. Angell et al. nevner også viktigheten av at elevene skal kunne bruke tidligere lært og erfart teori i modelleringsfasen i tillegg til å få muligheten til å se og undersøke sammenhenger. I oppgave 2 a) impliserer oppgaven at albedo vil ha en effekt på den totale innstrålte effekten. Det vil derimot være opp til eleven at de kan bruke sine fysikkfaglige kunnskaper til å avgjøre hvilken effekt dette har, samt hva slags endringer de må gjøre på uttrykket for å ta høyde for albedoet. Retningen er presentert for elevene, men de må bruke sin kompetanse for å komme seg i mål. Samtidig peker oppgave 2 b) tilbake på modellen fra oppgave 1 slik at eleven forhåpentligvis kan knytte sammenhenger med den noe enklere modellen.

5.2.2 Oppgavens fysikkfaglige dybde

I utformingen av undervisningsopplegget har jeg også vært nødt til å betrakte hvilke fysikkfaglige fenomener, og med hvilken kompleksitet, de skal inkluderes ved. I forrige delkapittel nevnte jeg at selv om det aktuelle kompetansemålet viste til modeller for jordas strålingsbalanse, står det ikke eksplisitt hvilken fysikkfaglige fenomener som vil være nødvendig for å arbeide med disse modellene. For den saks skyld, kan det tenkes at kompetansemålet ikke sikter til at det behøves å «pakke ut» andre fysikkfaglige temaer fra

jordens strålingsbalanse enn det som blir beskrevet eksplisitt. Holder det at elevene kun lærer om jordens strålingsbalanse ved å kombinere en fenomenologisk og begrepsmessig representasjon? Eksempelvis ved å kunne beskrive prosessene i Figur 1 (se kapittel 3.4)? Holder det da at elevene lærer den begrepsmessige forklaringen av albedo og drivhuseffekten, eller vil det også være nødvendig at elevene lærer om Stefan-Boltzmanns lov og sorte legemer?

Siden det aktuelle kompetansemålet spesifiserer at elevene skal kunne bruke modellene til å gjøre beregninger, dette gir grunnlag for at kunnskap om Stefan-Boltzmanns lov kan være nødvendig. Det er derimot ikke gitt. For å gjøre beregninger med modellene kan elevene bli presentert likning [15] uten at de behøver noen dypere forståelse om hvordan den er utledet; ei heller hvilke fysiske fenomener som er «pakket inn» i likningen. Til tross for dette valgte jeg å inkludere kunnskap om både Stefan-Boltzmanns lov og sorte legemer i det aktuelle undervisningsopplegget. Jeg har dog ikke lagt opp til at elevene skal ha sitt første møte med Stefan-Boltzmanns lov eller sorte legemer i dette undervisningsopplegget, men at dette er kunnskap de blir nødt til å bruke i en modelleringsprosess av strålingsbalanse. Dette med bakgrunn av at elevene ikke skal være nødt til å oppdage modelleringsprosessen selvstendig (som presentert i kap 2.1.4). Inklusjonen av en matematisk-orientert representasjon (Stefan-Boltzmanns lov) av strålingsbalanse ser jeg på en nødvendighet i det aktuelle undervisningsopplegget, men dette er kun med bakgrunn av at jeg har valgt å løse kompetansemålet i kombinasjon av programmering og kompetansemålet «vurdere, bruke og lage modeller til å beskrive og forutsi fysiske fenomener». Om elevene ikke var nødt til å lage og programmere modellen for strålingsbalanse (kun bruke den), ville ikke inklusjonen av Stefan-Boltzmanns lov og sorte legemer være en like stor nødvendighet.

Jeg har altså valgt å fokusere på fysikken som forklarer at sorte legemer vil emitte en stråling proporsjonalt med deres temperatur. Dette ved å bruke begrepsmessige og fenomenologiske representasjoner i kombinasjon med matematiske representasjoner slik at elevene skal være i stand til å lage modeller for strålingsbalanse ved bruk av programmering. Jeg har med dette valgt å utforme oppgaven slik at elevene skal være i stand til å:

- i. Kunne beregne hvor mye stråling en kilde emitterer
- ii. Kunne beregne hvor mye stråling som absorberes av et objekt ved å:
 - Betrakte objektets geometriske form og avstand fra kilden
 - Betrakte objektets albedo

- iii. Kunne bruke begrepet strålingsbalanse til å utføre beregninger
- iv. Kunne gjøre beregninger med et uttrykk som representerer drivhuseffekten

Med dette formulerte jeg oppgave 1a (se vedlegg 1) med formål om å oppnå det første målet ovenfor (i). Eleven vil i denne oppgaven kun være nødt til å benytte Stefan-Boltzmanns lov, hvor intensjonen er at oppgaven skal ha en lav inngangsterskel. Oppgave 1b, derimot, krever mer kunnskap og refleksjon fra eleven. Jeg har dog gitt elevene et uttrykk for innstrålingstetthet på et objekt fra en kilde som ligger en gitt avstand fra objektet (likning [6]). Basert på tidligere undervisning av liknende problemstilling (finne uttrykk for innstrålingstetthet ved en avstand), ville det vært i overkant omfattende og tidkrevende for elevene å løse i dette oppgavesettet. Forhåpentligvis vil elevene ha undersøkt dette problemet tidligere, og kan derfor forbinde likningen som resultat fra det, eller alternativt, at utledningen blir tatt opp igjen ved en senere anledning. Elevene vil allikevel måtte ta stilling til relasjonen mellom effekt og tetthet. Hvis vi vet tettheten, hvor mye av strålingen treffer objektet? Hva er effekten? Eleven må veksle mellom matematiske, fenomenologiske og begrepsmessige representasjoner for å koble hvor stor overflate som blir truffet av strålingen fra kilden. I oppgave 1c behøver elevene kun, igjen, å bruke Stefan-Boltzmanns lov, men de må inneha en god nok forståelse til å avdekke at objektet også vil emitte stråling. Det eleven har funnet ut av til nå, vil elevene i oppgave 1d relatere til at objektet er i strålingsbalanse for å beregne overflatetemperaturen til objektet.

I oppgave 2 ønsket jeg at elevene skulle kunne beregne den innstrålte effekten til objektet ved å ta høyde for objektets albedo. Altså at de ved å se sammenhenger med det de har gjort i oppgave 1b og deres kunnskap om albedo, kan omformulere uttrykket for innstrålt effekt til også å ta høyde for albedo. Jeg har vinklet oppgave 3 noe ulikt fra hvordan oppgave 1 og 2 er konstruert. I oppgave 3 behøver ikke eleven å gjøre noen matematiske beregninger eller bruke særlig fysikkforståelse for å komme frem til et uttrykk for en strålingsbalanse som tar høyde for drivhuseffekten. Dette uttrykket blir presentert for elevene i sin helhet, slik at de skal være i stand til å utføre beregninger med det. Hvilken fysikkfaglig dybde om drivhuseffekten det aktuelle kompetansemålet mener at eleven skal beherske virker til å være et område åpent for tolkning. Eleven skal kunne vurdere hvordan endringer i atmosfæren påvirker strålingsbalansen, men hvilken fysikk skal elevene forventes å forstå for å gjøre disse vurderingene? Grunnet kompleksiteten til utregningene og den fysikkfaglige forståelsen som behøves for å utlede en modell for strålingsbalanse som tar høyde for drivhuseffekten (se kap 3.4.2), valgte jeg altså at dette var noe elevene ikke behøvde å beherske.

5.3 Programmering som en del av oppgaven

Hovedfokuset i denne masteroppgaven er å utforske hvordan programmering kan implementeres i fysikkundervisning om modellering av strålingsbalanse. I begynnelsen av konstruksjonsprosessen av undervisningsopplegget satt jeg meg to mål relatert til implementasjonen av programmering:

- Programmering skal ikke oppleves som en byrde
- Programmering bør oppleves som en nødvendighet og føles autentisk

Resten av dette delkapittelet vil brukes på å utdype disse målene i kontekst av masterprosjektets problemstilling.

5.3.1 Programmering bør være overkommelig

Jeg ønsker altså å konstruere et undervisningsopplegg hvor programmering ikke skal hindre elevens læring av fysikk, programmeringen skal ikke oppleves som en byrde som kan overskygge de fysikkfaglige fenomenene som eleven også skal lære. Hvordan fysikk i sin natur blir beskrevet med mange forskjellige representasjonsformer, og at dette kan være en av elevers utfordring med fysikk, har allerede blitt diskutert. Når nok en representasjonsform for fysikk blir implementert i form av programmering, kan det tenkes at en bør være varsom med å ikke utfordre elevene over evne. Allikevel, legger læreplanen for fysikk opp til at oversettelsen mellom disse representasjonsformene er noe elevene skal kunne mestre, også med tanke på modellering og programmering (se kapittel 2.1). At vi må være varsomme med implementasjon av flere representasjonsformer i fysikk kan også sees i sammenheng med kognitiv belastningsteori. Fra kapittel 2.3.1 undersøkte vi hvordan Sweller et al. (1998) beskriver begrepet element-interaktivitet i relasjon til kognitiv overbelastning. De hevder at matematikk er et fag med typisk høy elementaktivitet, og jeg våger å påstå at fysikk kan klassifiseres med en enda høyere grad av element-interaktivitet, da matematikken brukes som en av mange representasjonsformer i fysikk. Det vil være nødvendig å oversette mellom, og bruke, ulike representasjonsformer om hverandre i fysikk; interaktiviteten mellom elementene er høy. Da dette medfører at den indre kognitive belastningen som fysikk medfører vil være høy av natur, kan det være nødvendig å forsøke å redusere den kognitive belastningen på andre områder (den ytre kognitive belastningen). Denne tematikken vil utdypes i kapittel 5.4.

5.3.2 Programmering som en nødvendighet

Jeg ønsket også at den programmeringen eleven måtte foreta skulle oppleves som en nødvendighet. Programmeringen skulle ha en hensikt hvor prosessen ikke skal kunne bli

erstattet av penn og papir. Fra kapittel 2.2 ble det presentert at programmering i fysikkfaget kan gi muligheter for at eleven kan utforske komplekse problemstillinger og oppgaver de tidligere ikke hadde mulighet til uten programmering (Angell et al., 2019). Det at elevene får muligheten til å løse mer autentiske problemstillinger, hevdet didaktikerne at kunne føre til både økt læring og motivasjon for fysikkfaget.

En utfordring jeg opplevde i oppgavens utformingsprosess var imidlertid at enten programmeringen eller det fysikkfaglige hadde en tendens til å utvikle seg til en kompleksitet som ikke burde forventes at elevene kan utføre. Denne balansegangen mellom å utforme en oppgave hvor programmeringen føltes nødvendig, men samtidig ikke førte til et for komplekst fysisk eller programmeringsbasert nivå kan tenkes å være utfordrende også for andre fysikkfaglige temaer enn kun det aktuelle temaet om strålingsbalanse.

Jeg endte opp med å konstruere tre halvferdige koder i Python, som elevene, etter instruksjoner i et oppgavesett, ble bedt om å fullføre. Disse halvferdige kodene representerte de tre modellene diskutert tidligere (se kapittel 3). Dette vil diskuteres videre i neste kapittel, men bakgrunnen for å konstruere de halvferdige kodene var mitt grep for å senke vanskelighetsgraden og den kognitive belastningen oppgaven krevde. Jeg ønsket dog å gjøre programmeringsdelen av oppgavene relevant for elevene ved å be elevene om å konstruere en modell for strålingsbalanse som gjaldt ikke bare for jorda, men også andre himmellegemer. Jeg inkluderte en liste med konstanter til diverse himmellegemer i koden, slik at elevene enklere kunne teste modellen for andre strålingsbalanser enn kun jorda. Det at modellene var uavhengige av hverandre (tre separate kodefiler), førte også til at elevene kunne sammenligne modellene. Så lenge elevene vil være nødt til å sammenligne både de ulike modellene og forskjellige himmellegemer, var intensjonen at denne prosessen ville være mer effektivt ved hjelp av programmering enn alternativet penn, papir og kalkulator. For drivhusgassmodellen (Oppgave 3 i vedlegg 1) introduserer jeg også at deler av modellen kan representeres og tolkes grafisk, som vil være et alternativ som penn, papir og kalkulator ikke har. Intensjonen med disse grepene var altså å skape et behov for programmering samtidig, uten at hverken programmeringsprosessen eller fysikken ble for kompleks.

5.4 Undervisningsopplegget og kognitiv belastning

For å kunne modellere strålingsbalanse ved å bruke Stefan-Boltzmanns lov vil det være nærliggende at eleven blir nødt til å bruke begrepene utstrålt effekt, utstrålingstetthet, innstrålingstetthet og innstrålt effekt om hverandre. Dette er begrep jeg anser som begrep med

høy grad av interaktivitet. Det er mye fysikk som må «pakkes ut», ikke bare fra begrepene selv, men også med tanke på den nære relasjonen begrepene har. Det vil være utfordrende å betrakte begrepene sekvensielt i en modelleringsprosess da sammenhengen mellom dem vil være essensiell. Den naturlige høye indre kognitive kapasiteten jeg anslo at det aktuelle temaet ville kreve, kombinert med den kognitive belastningen oversetting mellom representasjonsformer muligens ville kreve, førte til at jeg vektla de mulighetene jeg kunne ta for å begrense den ytre kognitive belastningen i struktureringen av oppgaven. På grunnlag av dette har mulig kognitiv overbelastning blitt identifisert som en medierende risiko for at programmering i en fysikkfaglig kontekst kan være utfordrende (se kapittel 4.1.2). For å ta høyde for dette forsøkte jeg å konstruere programmeringsoppgaven etter prinsipper fra mål-fri-metoden og utfyllingsmetoden (se kapittel 2.3.4 og 2.3.5).

5.4.1 Generalisering av modelleringsprosessen: Mål-fri-metoden

Kapittel 2.4.4 omhandlet hvordan elever ofte tyr til mål-middel metoden i møte med oppgaver hvor de mangler en tilstrekkelig skjemastruktur (nødvendig kunnskap og forståelse). Noe som blir beskrevet som en metode som krever høy kognitiv kapasitet, og som ofte ikke bidrar til konstruksjon av skjemaer (forståelse). Til tross for at det aktuelle kompetansemålet kun krever at eleven skal kunne arbeide med jordas strålingsbalanse, forsøkte jeg med bakgrunn av den kognitive teorien å utforme en oppgave hvor eleven ble bedt om å konstruere en generell modell for strålingsbalanse. Jeg ville altså ta i bruk det som har blitt beskrevet som mål-fri effekten, hvor målet med oppgaven presentert for elevene er generalisert.

Jeg endte altså opp med å formulere en tredelt oppgave. Den startet med at eleven skulle arbeide med en generell modell for strålingsbalanse, hvor eleven gradvis måtte ta høyde for andre begrensinger (albedo og drivhuseffekten). Ved å generalisere problemstillingen var intensjonen at elevene opparbeidet seg skjemaer for å forstå hvordan man kan starte med grunnleggende fysiske konsepter og konstruere en «enkel» modell. Før man så gradvis kan ta høyde for ytterligere begrensinger og faktorer og utvikle en mer kompleks og spesifikk modell. Noe den formulerte oppgaven ville lede mot etter å ha tatt høyde for både albedo og drivhuseffekten.

Alternativet, som ville rettet seg mot en mål-middel-rettet oppgaveformulering, kunne vært å formulere en oppgave som ba elevene å finne spesifikt overflatetemperaturen til jorda som mottar en innstrålt effekt. Det kan tenkes at elevene ville fått til en slik oppgave raskere og muligens enklere, men med bakgrunn av den kognitive teorien kan det også tenkes at elevens

forståelse av oppgaven og nærliggende problemer ville vært svakere. Har eleven forstått at strålingslovene er generelle og gjelder for andre legemer også? Vil eleven være i stand til å betrakte modellen i andre kontekster?

5.4.2 Oversetting mellom oppgaveteksten og programmeringskoden

Jeg ønsket også å benytte meg av utfyllingseffekten som beskrevet i kapittel 2.3.5. Dette var altså en videreutvikling av løsningsforslageffekten som også ble ansett som en effekt som kunne redusere den kognitive belastningen i tillegg til å hjelpe med å utvikle skjemaer. I dette opplegget forsøkte jeg å formulere oppgaveteksten som et løsningsforslag som samarbeidet med den halv-utfylte programmeringskoden. Jeg ønsket å sekvensere stegene elevene behøvde for å kunne fylle inn riktig kode i modellen; lede eleven til å utføre en prosess av gangen for å redusere belastningen på arbeidsminnet. En utfyllingstilnærming for læring av programmering vet vi dessuten fra kapittel 2.3.5 at vil være spesielt nyttig. Oppgaveteksten veksler dermed ved å be eleven om å gjøre mellomregninger/fysiske betraktninger og å fylle de manglende fysiske uttrykkene inn i koden (modellen). Eksempelvis kan en skjermdump av koden tilhørende den generelle modellen for strålingsbalanse fra oppgave 1, betraktes i Figur 3. Her behøver elevene altså kun å fylle ut to felter med kode for å konstruere et komplett funksjonsuttrykk som returnerer både overflatetemperatur og innstrålingstetthet til et legeme. Oppgave 1 på oppgavearket består derimot av fire deloppgaver eleven trengte å fullføre for å fylle inn de to manglende uttrykkene i koden.

```
29 #-----
30
31 #Oppgave 1: Fyll inn manglende kode/formler i funksjonen
32
33 def EnkelModell(r_kilde, T_kilde, avstand):
34     M_kilde      =
35     E             = M_kilde*(r_kilde/avstand)
36     T_sortlegeme =
37     return T_sortlegeme, E
38
```

Figur 3: Skjermdump av funksjonsuttrykket elevene ble bedt om å fylle ut i oppgave 1

5.5 En metaforståelse av modeller

I kapittel 2.1.3 kom det frem fra utdrag av fysikkfagets relevans og sentrale verdier at elevene gjennom fysikken skal kunne se sammenhenger i naturlige fenomener og opparbeide seg et tenkesett som er både kritisk og vitenskapelig. Fra didaktikken ble det til sammenligning presentert at elever bør i arbeid med modeller læres opp til å kunne delta i vitenskapens kreativitet og kulturelle verdi gjennom produksjon, testing og analyse. Å arbeide med

modeller vil altså ikke kun kreve at eleven skal være i stand til å konstruere den, men også drøfte den. Eleven bør altså være klar over elevens svakheter og styrker, så vel som hvordan den er bygget opp for å kunne ha et kritisk, men vitenskapelig tankesett. Dette i takt med hvordan Angell et al. (2019) hevdet at elevene burde få et metaperspektiv på modeller i fysikk (se kapittel 2.1.4).

Ved at modellen for strålingsbalanse i dette masterprosjektet skulle bli utviklet fra mindre komplekst til mer komplekst, har jeg forsøkt å lede eleven inn i et vitenskapelig tankesett. Samtidig har siste deloppgave i hver av oppgavene (1e, 2c og 3c) til hensikt å lede eleven inn i en kritisk prosess hvor de vil få mulighet til å betrakte den aktuelle modellenes styrker og svakheter og hvorfor den muligens ikke samsvarer med virkeligheten. Dette kommer for eksempel frem i oppgave 1e: «Hvilken overflatetemperatur anslår denne modellen at jordkloden har? Sammenlign med den faktiske gjennomsnittlige overflatetemperaturen til jorda på 14.9°C ». Jeg ønsker å gjøre elevene observant på det faktum at denne modellen ikke stemmer med jordas faktiske strålingsbalanse, og at selv om det ikke er formulert eksplisitt i oppgaveteksten, kan motivere eleven til å reflektere over hvorfor dette er tilfellet.

I tillegg, som nevnt i starten av dette kapittelet, bestod undervisningsopplegget også av en økt hvor elevene diskuterte spørsmål relatert til modellen de nettopp hadde konstruert. I utformingen av disse spørsmålene ønsket jeg at de skulle lede elevene til å bruke modellen, samt la eleven utforske modellens rammebetingelser ytterligere. For å oppnå dette inkluderte jeg spørsmål som motiverte elevene til å undersøke en av modellens begrensinger, at den kun tok høyde for én strålingskilde, og hvorvidt dette ville være en tilstrekkelig antagelse for jorda. Dette med intensjon i at det skal kunne lede elevene til å måtte ta i bruk modellens generelle egenskap, hvor de må undersøke innstrålingen fra andre stjerner enn sola. Diskusjonsspørsmålene ble også brukt til å motivere eleven til å gjøre ytterligere betraktninger angående endringer i jordens atmosfære og overflate, som spesifisert i kompetansemålet.

6 Resultater

I dette kapittelet vil deler av datamaterialet som har blitt betraktet som relevant for masteroppgavens problemstilling bli presentert. Resultatene stammer fra trianguleringen av observasjoner fra undervisningsøkten, lydopptak av elevgruppens diskusjon og lydopptak fra gruppeintervjuet. Lydopptakene fra elevdiskusjonene og gruppeintervjuet ble transkribert, og eventuelle elevsitater inkludert i dette kapittelet stammer fra disse. Resultatene vil bli presentert i tre delkapitler som i hovedsak baserer seg på datamaterialet fra de tre innsamlingsmetodene.

6.1 Observasjoner fra undervisningsøkten

I dette delkapittelet vil jeg beskrive relevante resultater i form av min subjektive observasjon som lærer og forsker i undervisningsøkten. Funnene vil bli representert basert på egne observasjoner, inntrykk og tolkninger i samtale og observasjon av/med elevene.

Undervisningssesjonen bestod av en enkelttime påfulgt av en matpause og dobbelttime. Ved oppstart av enkelttimen ble oppgaven og pythonfilene introdusert i plenum, enkelte elever bemerket at programmering er noe de ikke mestrer. Stefan Boltzmanns-lov og relevante formler for areal ble notert på tavla. Elevene arbeidet i grupper på 3. Under diskusjon med elevene opplevde jeg at det var spesielt tre faktorer som virket utfordrende for elevene i arbeidet med oppgaven: Elevene manglet nødvendige forkunnskaper til det aktuelle temaet, de hadde vanskeligheter med å forstå og arbeide med funksjonsuttrykk i Python, samt at de virket å ha vanskeligheter med å bytte mellom forskjellige representasjonsformer. Mitt inntrykk er at disse tre faktorene var gjennomgående i varierende grad for hele undervisopplegget. Videre i dette delkapittelet vil disse tre faktorene utdypes.

6.1.1 Undervisningsøkten: Manglende fysikkfaglige forkunnskaper

Elevenes manglende forkunnskaper sett i sammenheng med oppgavens vanskelighetsgrad kom spesielt til syne i oppgave 1b og 1c (se vedlegg 1). Bortimot alle elevene hadde behov for assistanse ved disse oppgavene, i motsetning til oppgave 1a, som bortimot alle fullførte raskt. Selv om elevene fullførte oppgave 1a relativt raskt, var mitt inntrykk at de ikke fullstendig hadde forstått det fysikkfaglige relatert til oppgaven. I oppgave 1a var det tross alt kun nødvendig å lete frem formelen for Stefan-Boltzmanns lov og skrive den inn i koden. Det var ikke nødvendig å forstå begrepet *utstrålingstetthet*, heller ikke dens relasjon til kilden. Samtidig kan det ha virket som om en del av elevene ikke leste oppgaveinnledningen (den

delen som står før oppgave 1a) som ville presentert elevene med hensikten til modellen, samt et uttrykk for strålingsbalansen.

Konsekvensene av at enkelte av elevene muligens ikke hadde forstått oppgave 1a ble spesielt merkbart i oppgave 1b og 1c. Til motsetning fra 1a, krevde disse oppgavene betydelig større grad av forståelse for å kunne løses. Det virket som elevene hadde vanskeligheter med å, selvstendig, forstå relasjonen mellom utstrålt effekt, innstrålingstetthet og totalt innstrålt effekt. Spesielt virket elevene å blande totalt innstrålt effekt (E_{inn} i oppgaven) og innstrålingstetthet (E i oppgaven). Dette medførte også at det for enkelte virket utfordrende å beregne et uttrykk for den totale utstrålte effekten i den påfølgende deloppgaven.

6.1.2 Undervisningsøkten: Manglende programmeringserfaring

Som tidligere nevnt, hadde også enkelte elever bemerket at de ikke følte de mestret programmering i særlig høy grad. Ved diskusjon med elevene under oppgavearbeidet ble det klart at svært få eller ingen av elevene hadde noen erfaring med funksjoner i Python. Elevene brukte i mange tilfeller de korrekte fysiske formlene oppgaven ba om, men satt ofte inn konstanter i stedet for variabler i funksjonsuttrykket. Dette resulterte i at modellene ble spesifikke i stedet for generelle. Det vil si, elevene lagde en modell som ikke behøvde noen input verdier og som alltid ville gi output for temperatur og innstrålingstetthet fra jordas strålingsbalanse. Dette i motsetning til en generell modell, hvor input-verdiene kunne beregne temperaturen og innstrålingstettheten til hvilke som helst strålingskilde og strålingsobjekt. I Figur 4 og 5 ser vi en eksemplifisering (ikke faktisk elevkode) og sammenligning av hvordan en spesifikk (Figur 4) og generell kode (Figur 5) kan se ut.

```
33 def EnkelModell(r_kilde, T_kilde, avstand):
34     M_kilde = SB*T_s**4
35     E = M_kilde*(r_s/a_js)**2+1.8*10**(-8)*5000
36     T_sortlegeme = (E/(4*SB))**(0.25)
37     return T_sortlegeme, E
```

Figur 4: Utklipp av python-kode hvor variabler blir brukt i funksjonsuttrykket. Spesifikk modell

```
33 def EnkelModell(r_kilde, T_kilde, avstand):
34     M_kilde = SB*T_kilde**4
35     E = M_kilde*(r_kilde/avstand)**2+1.8*10**(-8)*5000
36     T_sortlegeme = (E/(4*SB))**(0.25)
37     return T_sortlegeme, E
```

Figur 5: Utklipp av python-kode hvor variablene ikke blir brukt i funksjonsuttrykket. Generell modell.

I den spesifikke koden vil funksjonen be om input-verdier, men input-verdiene blir aldri aktivt brukt i resten av koden, de vil altså være overflødige. Dette i motsetning til den generelle koden, hvor input-verdien aktivt blir brukt i resten av funksjonen. For å teste koden var elevene også nødt til å legge inn konstanter i de delvis forhåndslagde output-kommandoene. Det at de fleste av elevene hadde konstruert funksjoner uten input-verdier virket å gjøre denne prosessen noe forvirrende.

Gjennom undervisningstimen var det også fra tid til annen elever som stod fast, eller ikke fikk ønsket resultat grunnet syntaks-feil. At eksponentsialer blir skrevet med «**» istedenfor den tilsynelatende mer intuitive operatoren «^», var mest gjennomgående. Dette ble dog rettet opp, og virket ikke til å være den største utfordringen elevene hadde med programmering.

6.1.3 Undervisningsøkten: Utfordrende å veksle mellom forskjellige representasjonsformer

Det viste seg også at flere av elevene hadde vansker med å vite hvilke deler av arbeidet deres som skulle inkluderes i Python koden, og hvilke deler som kun var nødvendige mellomregninger. Mitt inntrykk er at enkelte av elevene kan ha vært for fokusert på Pythonkoden som et resultat; det fysikkfaglige og de nødvendige mellomregninger ble satt til side. Som nevnt tidligere virket det også som at elevene enten skumleste enkelte deler eller «hoppet» over deler av oppgaveteksten.

Eksempelvis jobbet flere av elevene seg gjennom oppgaven ved å primært fokusere på de manglende feltene i Pythonkoden, hvilke formler de skulle fylle ut. Det virket også som om elevene hadde en trang til å måtte fylle inn formler i Pythonkoden for hver deloppgave, selv om det kun var et fåtall av deloppgavene hvor dette var nødvendig (eller ble spesifisert). Ved flere anledninger ble jeg nødt til å spørre elevene om de hadde forsøkt å gjøre deler av oppgavene med penn og papir.

Det virket også som om elevene hadde vanskeligheter med å koble sammenhengene mellom utstrålingstetthet, innstrålingstetthet og innstrålt effekt. Spesielt virket det som om elevene ikke var i stand til å knytte de fenomenologiske, begrepsmessige og matematiske representasjonene sammen til en helhet. Elevene kunne regne med uttrykkene for seg selv, men det virket som om de hadde vanskeligheter med å visualisere og beskrive fenomenene fenomenologisk, som kan ha ført til at hadde vansker med å oversette mellom begrepene. Mange av elevene synes det var spesielt utfordrende å se for seg hvor mye stråling som traff det sfæriske sorte legemet; altså regne fra innstrålingstetthet til innstrålt effekt. Eksempelvis

stusset mange av elevene hvorfor man måtte multiplisere innstrålingstettheten med arealet til en sirkel i stedet for en halvkule.

6.2 Resultater fra Elevdiskusjonene

Som siste del av undervisningsopplegget ble elevene bedt om å diskutere spørsmål tilknyttet oppgaven de nettopp hadde gjort i grupper. Det ble totalt samlet inn tre lydopptak med varighet på henholdsvis ca 11, 4 og 6 minutter. Analysen av disse vil bli presentert i de påfølgende delkapitlene. De forskjellige gruppene med elever vil bli referert til som henholdsvis elevgruppe 1, 2 og 3. Hvor elevene blir referert til ved bokstaver og tall i henholdsvis til hvilken elevgruppe de tilhørte: «A, B og C», «1, 2 og 3» og «I, II og III».

6.2.1 Elevdiskusjoner – Elevenes forståelse

Første spørsmål elevene ble bedt om å diskutere var forskjellen på *innstrålingstetthet* og *innstrålt effekt*. Dette spørsmålet ble inkludert for å undersøke hvilken tilnærming elevene brukte til å forklare fenomenene; hvordan veksler elevene mellom representasjonsformer i dialog? Samt hvorvidt elevene faktisk hadde forstått de to sentrale begrepene med høy interaktivitet. De tre gruppene diskuterte dette spørsmålet i ulikt omfang, hvorav elevgruppe 1 brukte betraktelig mer tid til å diskutere enn gruppe 2 og 3 (henholdsvis 11 mot 4 og 6 minutter). Elevgruppe 2 og 3 hadde forholdsvis enkle og korte forklaringer av fenomenene og det virket uklart om de faktisk hadde forstått forskjellen, mens elevgruppe 1 virket å ha en bedre forståelse av begrepene.

Elevgruppe 2 virker usikre i forklaringen sin, og diskuterer hele veien spørrende:

Elev A: Innstrålingstetthet er vel den totale utstrålingen fra svart legeme, og innstrålt effekt er liksom den ...

Elev B: Effekten den har da, er det ikke det?

Elev A: Ja, er det ikke som treff mottakeren da?

Elev B: Jo, hvor mye av det som treffer mottakeren ja?

Elev A: Ja, vi sier det

Elevene bruker et enkelt språk hvor de veksler mellom fenomenologiske- («er det ikke det som treffer mottakeren da?») og begrepsmessige representasjoner («... er vel den totale utstrålingen fra svart legeme ...»), men ingen matematiske representasjoner. Det viser seg at elevene ikke har et fullstendig bilde av begrepene, noe som muligens kan forklare den knappe diskusjonen. Spesielt merkbart blander Elev A *innstrålingstetthet* for et legeme *med total utstråling* fra et annet legeme og setter likhetstegn mellom de to fenomenene. Først og fremst

vil en viktig distinksjon eleven(e) ikke har fanget opp være forskjellen mellom tetthet og effekt. Om vi ser bort fra dette, vil uansett ikke all utstrålt effekt fra en strålingskilde treffe det sorte legemet (objektet), noe Elev A sin antagelse impliserer. Elevene i elevgruppe 2 virker derimot til å ha et bedre bilde av hva *innstrålt effekt* faktisk er; selv om forklaringen deres er liten og mangelfull, er den ikke feil.

I tillegg til å veksle mellom fenomenologiske og begrepsmessige representasjoner brukte elevgruppe 1 og 3 også en matematisk representasjonsform for å diskutere fenomenene *innstrålingstetthet* og *innstrålt effekt*:

Elev 1: Det skal jeg ikke si meg sikker på, men jeg ser for meg at innstrålingstetthet handler om ehh en mengde innenfor et bestemt område.

Elev 2 Så ja, innstrålingstetthet blir jo den strålingen som treffer det ehh, overflaten fra for eksempel sola og da vil innstrålingstetthet vil da være strålen som treffer jorda da.

Elev 1: Ja.. og det er vel målt i watt per kvadratmeter.

Elev 2: Watt per kvadratmeter.

Elev 3: Ja, det er vel akkurat det vi måtte gjøre hvert fall for å klare oppgave «b» i timen for vi måtte gange inn med areal i det uttrykket for å se at det skulle få sånn strålings.. stråling for jorda da.

Elev 1: Ja. Også innstrålt effekt det kan jeg se for at det handler om den totale effekten av innstrålinga på en greie ... haha ... Men det er jeg ikke sikker på.

Ved å bruke matematiske representasjonsformer som watt per kvadratmeter (W/m^2) og «gange inn med areal i det uttrykket», oppnår elevene en mer fylldig beskrivelse av innstrålingstetthet. Dette altså kombinert med den fenomenologiske forklaringen: «en mengde innenfor et bestemt område». Elevene klarer nesten å koble sammenhengen med *innstrålingstetthet* og *innstrålt effekt* når de refererer til hvordan en kunne multipliserte innstrålingstettheten med arealet i oppgave 1b, men klarer ikke helt koble at dette er den *innstrålte effekten*.

Elevene i elevgruppe 1 kommer frem til enda mer presise beskrivelser av innstrålingstetthet og innstrålt effekt:

Elev I: Tettheten, det er vel ...

Elev II: Det er vel hvor mye som blir dytta inn per.

Alle om hverandre: per kvadratmeter ja.

Elev I: Mens innstrålingseffekten, eller hva det var man skulle kalle det for noe, det er

det som er for objektet

Her veksler elevene mellom både fenomenologiske, begrepsmessige og matematiske representasjonsformer for å beskrive fenomenene. I tillegg til dette klarte elevene å finne relasjonen mellom innstrålingstetthet og innstrålt effekt:

Elev III: Så hvis sola lyser. Sola lyser på sola, nei sola lyser på jorda [ler av seg selv], så treffer ikke all strålinga jorda, fordi det er jo en bakside på jorda. Så man må jo bare gange innstrålingstetthet, som er på en måte en liten stråle, ganget med overflaten den treffer. Ja, så det er innstrålt effekt

Relasjonen mellom de to begrepene blir forklart utfyllende ved å kombinere de tre samme representasjonsformene nevnt tidligere. Elevene i denne diskusjonen går også et skritt videre enn de andre gruppene ved å forsøke å beskrive begrepet «effekt» ytterligere.

Elev II: men si det at, si 20m^2 , pr, i løpet av tre sekunder, med liksom 20 kvadratmeter pr sekund med det dere strålings. Så blir det jo 60 totalt da. Og det er vel effekten

(...)

Elev II: Så totalt med areal og... tid

(...)

Elev II: Jeg synes vi bør ha med det med at den, også tida den blir strålt på.

Elev I: Har det noe å si?

Selv om det er noen uenigheter i diskusjonen mellom elevene, og de aldri kommer helt i mål med beskrivelsen av effekt, kan det vise at de har kommet et steg videre i refleksjonsprosessen. Elev II sitt resonnement leder til en misoppfatning av *innstrålt effekt*. Først og fremst bruker eleven kvadratmeter som mengden (istedenfor energi). Samt at eleven konkluderer med at «mengden per sekund» multiplisert med antall sekunder blir sekunder, når i realiteten effekt er en benevnning for energi per sekund. Det eleven har funnet er et uttrykk for den totale energien ved tre sekunders innstråling. Eleven viser derimot at de har reflektert over at tid definitivt er en faktor i begrepet innstrålt effekt (muligens også innstrålingstetthet?), men surrer altså litt i sin resonneringsprosess. Etter min tolkning kan det virke som om at oversettingen mellom alle de forskjellige representasjonene og elementer med høy interaktivitet kan være årsaken til dette.

6.2.2 Elevdiskusjoner – Elevenes metaforståelse av modeller i fysikk

Diskusjonsspørsmål 2 og 3 ba elevene om å bruke modellen de hadde programmert tidligere i timen til å diskutere hvorvidt en modell med sola som eneste strålingskilde for jorda vil være

en nøyaktig modell. Dette ved å undersøke innstrålingstettheten jorda mottar fra en av våre mest nærliggende stjerner (Rigil Kentaurus) utenfor vårt solsystem, samt diskutere hva slags begrensninger en modell som tar høyde for flere innstrålingskilder vil ha.

Alle elevgruppene konkluderer i diskusjonsspørsmål 2 at innstrålingseffekten Rigil Kentaurus har på jorda er så liten at den vil være ubetydelig. Elevgruppe 1 og 2 konkluderer med dette ved å sette inn verdier for Rigil Kentaurus som strålingskilde i koden, og sammenligne disse med verdiene de allerede hadde fått ved å bruke sola:

Elev A: Det så vi på i sted, Rigil Kentaurus har jo veldig lite innstrålingstetthet i forhold til sola. Det var sånn 1,8 opphøyd i 10 minus åttende?

Elev B: Ja, det er lite tall da

Elev A: Ja, ehmm og sola hadde 1372,64

Elev B og Elev C: Mhm, ja

Elev B: Så den har liten... liten effekt på oss

Elev C: Så det vil ikke ha så mye å si da, om vi ikke regner med den

Selv om alle elevgruppene altså kom frem til en slik konklusjon var det ingen av elevgruppene som koblet dette mot det egentlige diskusjonsspørsmålet: Diskutere antagelsen om at modellen de har konstruert kun tar høyde for en strålingskilde. Elevgruppe 1 kommer dessuten frem til sin konklusjon med noe svake premisser:

Elev III: Mmmm. Så vi skal se på ... Innstrålingstetthet. Så innstrålingstettheten fra den dere andre stjerna, Rigil Kentaurus, er 1.815. Mens innstrålingstettheten med sola er ... 1372, så den er ganske ganske sterkere innstrålingstetthet fra sola til jorda enn det er fra Rigil Kentaurus til jorda.

(...)

Elev III: Nei! Nei det er e i ganger minus ...

Elev II: 08.

Elev I: Men det første tallet gjelds vel uansett gjør det ikke?

Elev II Mhm. Siden det baki der bare fortsetter med antall sånne dere desimaler.

Elev III: Okei, så det er 1.8 ca. Eller 1372.

Elev II: Mot 1372.

Her retter Elev III opp sin egen feil (glemt å inkludere standardformen til tallet), men elevene virker uansett i å bli enig om at det er forholdet mellom 1.8 og 1372 som er gjeldende. Ja, 1372, er større enn 1.8, men det er ikke såpass mye større at et bidrag av innstrålingstetthet på

1.8 vil være ubetydelig. Faktisk vil et slikt bidrag føre til en økning av overflatetemperatur på jorda med ca 0.1°C ved å bruke modellen som ikke tar albedo og drivhuseffekt i betraktning. En slik refleksjon er savnet fra elevene; De viser at de kan bruke koden, men de gjør ikke en god nok refleksjon av resultatene.

Elevgruppe 1 og 3 bruker også kodens innhold (ikke kun output/resultatet), til å konkludere med at innstrålingen fra Rigil Kentaurus er neglisjerbart:

Elev 2: ja. Avstanden er jo en variabel i ... formelen, så det ...

Elev 1: Ja

Elev 3: Den kan sikkert ha litt innstrålingstetthet, men det vil ikke være veldig mye vil vi tippe da ...

Dette viser at de faktisk har forstått (hvert fall deler av) koden, og har gjort en oversettelse mellom fysikk (fenomenet), programmering (koden) og matematikk (formelen for innstrålingstetthet).

I diskusjonsspørsmål 3 blir elevene bedt om å diskutere hvordan de kunne konstruert en modell som tar høyde for stråling jorda mottar fra flere strålingskilder, samt hva slags begrensinger en slik modell ville hatt. To av elevgruppene kommer mer eller mindre frem til at de kan, med samme metode som før, beregne innstrålingstettheten ulike kilder har på jorda og legge dem sammen. De kommer også frem til at en begrensing for en slik modell vil være at det vil være umulig å ta høyde for alle stjernene i universet:

Elev II: Men jeg føler med tanke på hvordan spørsmålet er formulert, så vil jeg anta et det er noe som må stoppe det fra å gå i det uendelige på en måte. Hvilke limitasjoner det har på en måte da.

Elev III: Begrensingene den har er jo at det er umulig å få med alle strålingskildene som jorda får, det er jo sjukt mange stjerner rundt oss. Jeg regner med at vi får en eller annen innstrålingstetthet fra alle stjernene vi kan se herfra.

Elev I Ja hvis vi ser det på himmelen, så må det jo være noe lys som kommer gjennom

Elev II: Ja alle stjernene på stjernehimmelen

Elev III: Og det er jo uendelig mange stjerner, det er jo begrensingen da på en måte. At vi klarer jo ikke å ha med alle strålingskildene

Elev II: Vi kan ha de største definitivt

Elev III: Jeg vil tro at hvis man for eksempel har tenkt på en modell som kunne ha sett på innstrålingen fra sola og innstrålingen fra den her Rigil Kentaurus...

Elev I: Og kanskje dem andre største stjernene ...

Konklusjonen til elevene om at vi ikke kan inkludere alle stjernene, men at vi kan forsøke å inkludere de største stjernene er definitivt et svar på spørsmålet stilt i oppgaven, og også et rimelig resonnement. Derimot, savner jeg videre refleksjon om hvor nødvendig det vil være å inkludere de største stjernene. Spesielt siden elevene nevner Rigil Kentaurus som de i forrige oppgave konkluderte med at kunne neglisjeres. Elevgruppe 1 og 3 trakk heller ikke noen paralleller mellom denne oppgaven og den forrige.

6.3 Elevenes opplevelse av programmering i en fysikkfaglig kontekst

Frem til nå har alt av resultater blitt hentet enten fra observasjoner jeg erfarte som lærer i timen samt analyse av elevarbeid i form av tre diskusjonsopptak. Her har resultatene vært preget av min tolkning av elevenes arbeid i undervisningstimen. Resultatene fra gruppeintervjuet, bærer derimot preg av elevenes selvstendige vurdering og opplevelse av undervisningsopplegget, arbeidsmetoder og fysikk som fag. Disse resultatene vil bli presentert i dette kapitlet i kombinasjon med det siste diskusjonsspørsmålet under elevdiskusjonene. Da dette diskusjonsspørsmålet omhandlet noe av den samme tematikken som gruppeintervjuet. Det var dog bare en av elevgruppene som rakk å svare på dette diskusjonsspørsmålet. Elevene i gruppeintervjuet blir referert til som elev «X, Y, Z eller Æ».

6.3.1 Elevene opplevde de manglet nødvendige forkunnskaper

Et fellestrekk ved resultatene av gruppediskusjonen og den ene diskusjonsgruppa var at samtlige følte at de ikke kunne nok om programmering eller det aktuelle fysikktemaet til å få et fullt utbytte av undervisningsopplegget. Eksempelvis svarte den ene elevgruppa på diskusjonsspørsmålet «Hvordan opplevde dere å kombinere fysikk og programmering?»

Elev B: Jeg likte det ikke!

Elev C: Nei, begge var jo litt sånn nye tema.

Elev A og B: Ja...

Elev C: Så vi har jo ikke holdt på så mye med programmering eller stråling. Så å kombinere begge sammen ble jo enda, på en måte, mer utfordrende.

Elev A: Ja, kanskje vært lettere hvis det hadde vært et tema vi hadde hatt mer om, eller om vi hadde hatt mer om stråling først så vi skjønner sammenhengen litt

Elev C: Ja, så vi hadde hatt litt forståelse for hvordan man gjorde det

Elevene poengterer at undervisningsopplegget var desto utfordrende fordi det kombinerte to temaer de følte at de ikke mestret, men at det muligens kunne hjulpet om de hadde fått mer undervisning i det fysikkfaglige temaet før den aktuelle undervisningsøkten. Elevene konkluderer nemlig med at selve programmeringsdelen av undervisningsopplegget var overkommelig:

Elev A Men her la vi jo bare inn variabler, så det var ikke så krise da.

Elev C: Ja, det er sant

Elev B: Det gikk ganske bra, annet enn at det var litt vanskelig å skjønne hva man skulle legge inn hvor

De peker altså på den største utfordringen med programmeringen i denne oppgaven var at det var utfordrende å vite hvor i koden de skulle fylle inn det fysikkfaglige. Koden elevene fikk utdelt var allerede halvferdig utfylt med tydelige markerte felter som manglet å fylles inn. Min vurdering er at denne eleven ikke sikter til at det var vanskelig å finne disse feltene, men at det var utfordrende å vite hva slags «fysikk» de skulle fylle inn i disse feltene. Hvis denne antagelsen er riktig peker dette tilbake til hvordan elevene opplevde at de ikke hadde de nødvendige forkunnskapene i fysikk. Elevene i gruppeintervjuet viste seg også å dele denne meningen:

Elev Y: Ja eller hvert fall vært i en klasse som har hatt det temaet, som vet hva innstrålt effekt er, også fordi at... kanskje at vi skjønner programmering og skjønner hva som skjer i koden betyr ikke at vi skjønner hva som faktisk skjer i virkeligheten fordi vi klarer ikke koble hva som er hva i koden. Så kanskje det hadde vært lettere hvis vi hadde hatt astrofysikk allerede.

Eleven poengterer viktigheten av at de mestrer det fysikkfaglige for at de faktisk skal ha forutsetninger for å mestre programmeringen. De underbygger dette ved å fortelle at de satt pris på den lave programmeringskompleksiteten som krevdes for å løse oppgaven ved å svare på spørsmålet om de ville foretrukket å ha programmert større deler av koden selvstendig:

Alle: Nei

Elev Z: Da hadde vi ikke forstått noe som helst

Elev X: Jeg kan jo ikke programmering

Elev Æ: Føler vi behøver sånn basic programmeringsegenskaper til å ha klart noe sånt

Elev X: Det var kanskje kombinasjonen av at det var nytt tema, og at det var programmering som var vanskelig.

Elev Y: Vi er ikke gode i programmering

6.3.2 Den fysikkfaglige konteksten førte til at programmering ga mening

Elevene i gruppeintervjuet kunne fortelle om at selv om de synes programmering er vanskelig, kan det være givende i en riktig kontekst:

Elev Y: Men ja, det er artig at man faktisk kan bruke programmeringa til noe mer.

Hadde vi sitti med regning hele veien hadde det jo tatt evigheter. Så det er artig å se at det faktisk hjelper at vi lærer programmering. Sånn sett, selv om det er vanskelig

Med «noe mer» sikter eleven tilbake til at de følte at programmeringen de hadde lært tidligere virket meningsløs og kjedelig. Elevene fortalte at de tidligere kun hadde lært om syntaks og «å programmere en kode som sier hei». Denne eleven har da opplevd at programmeringen i denne oppgaven faktisk ga mening. Det var en grunn til at de brukte programmering for å besvare oppgaven. Dette underbygges videre i samtalen:

Elev Æ: Ja, men det føles litt håpløst å bare sitte der og skrive hei på nytt og på nytt.

Liksom hva skal jeg bruke det her til da?

Elev Y: Så når vi endelig får noe faktisk fornuftig, sånn at vi ser at vi faktisk får et bra resultat av det, da er det gøy.

Det virker som om elevene hadde etterlengtet en grunn til at de faktisk skulle lære om programmering, og å kombinere programmering med fysikk kan ha åpnet noen lys for elevene med tanke på hvorfor det kan være en nyttig ferdighet.

6.3.3 Faglige utfordringer

Selv om elevene stort sett var enige om at oppgavene var utfordrende, opplevde enkelte av dette som en positiv utfordring:

Elev Y: Det var vanskelig å forstå hva man skulle gjøre i starten, men det var veldig gøy når man skjønnte hva man skulle gjøre.

(...)

Elev Z: Føler det er veldig gøy med en ordentlig utfordring.

(...)

Elev Æ Jeg liker når man har sånn, en oppgave man jobber med liksom hele timen istedenfor å bare gå fra oppgave til oppgave liksom hele tida

Elev Y: Ja enig

Utfordringen kan altså ha ført til en økt mestringsfølelse for Elev Y, mens elevene virker enige i at de trives med å arbeide med en helhetlig oppgave, selv om den kan være utfordrende.

I løpet av gruppediskusjonene presenterte jeg to kompetansemål til elevene. Det ene kompetansemålet fra LK20 som det aktuelle undervisningsopplegget var konstruert for å dekke, mens det andre kompetansemålet var fra LK06 og ville dekket det tilsvarende fysikkfaglige temaet (se Tabell 1). Første reaksjonen fra enkelte av elevene var umiddelbart at de reagerte på hvor omfattende og tilsynelatende utfordrende den nye «versjonen» av kompetansemålet virket:

Elev X: Det høres jo litt vanskelig ut da

Elev Æ: Føler de fleste nye kompetansemål er litt sånn utforsk ditt og datt liksom

Elev X: Jeg synes det er litt dårlig gjort jeg

(...)

Elev Y: Ja det føles litt ut som om regjeringa har ordnet en læreplan som overvurderer oss.

Elev X: Setter oss opp for å feile.

Elev Y: Så det er vanskeligere med de nye kompetansemålene, men man må jo bare stå i det.

Spesielt at elevene uttrykker seg ved å si at de blir «satt opp for å feile» tyder på at elevene muligens føler seg overveldet av mengden og vanskelighetsgraden de er forventet å lære. Stemningen i intervjuet skiftet dog tone like etter da en av elevene påstod at han syntes læreplanens fokus på forståelse var positivt og ikke en byrde:

Elev Z: jeg vil, jaa, jeg ser ikke så mørkt på det fordi jeg ser jo på det som litt mer forståelse, potensielt, istedenfor «Bruke den formelen her, ferdig», så...

Elev Y: Det er faktisk så sant!

Elev Z: ... Så kan vi bruke den i virkeligheten istedenfor, istedenfor å bare skjønne litt hva som potensielt får modellen til å feile eller ikke feile

Elev Y: Og det med at det er mange flere kompetansemål som er drøft det og det gjør jo at vi får mer forståelse og at vi faktisk husker og liksom begynner å tenke over det. Istedenfor at liksom «du skal kunne det», fordi da pigger man bare også har man prøven også kan man det ikke resten av livet. Så sånn sett er det bedre.

Selv om elevene muligens følte seg overveldet har hvert fall disse to elevene gjort seg opp noen tanker om hvordan de verdsetter at de nye kompetansemålene fokuserer på læring av en dypere forståelse enn før.

7 Diskusjon

I dette kapittelet vil resultatene fra forrige kapittel bli diskutert i lys av de didaktiske perspektivene og læreplanen, samt de erfaringene som ble gjort i løpet av designprosessen av undervisningsopplegget. Det vil også bli foreslått utbedringer til undervisningsopplegget, I tillegg til en refleksjon av studiets metode.

7.1 Samspillet mellom fysikk og programmering

I mine observasjoner av undervisningstimen i tillegg til elevenes innspill fra gruppeintervjuet kom det tydelig frem fra datatrianguleringen at deler av elevene i forskningsprosjektet manglet nødvendige forkunnskaper i fysikk. Selv om elevene virket å mene at programmering var noe de ikke mestret, virket det til at det var det fysikkfaglige i oppgaven som stod for mesteparten av vanskelighetene. Det var først og fremst den fysikkfaglige barrieren som gjorde inngangen til oppgavens programmering utfordrende. Dette eksemplifisert ved elevene i intervjuet som angående programmering hevdet: «Men her la vi jo bare inn variabler, så det var ikke så krise da». At elevenes forkunnskaper er viktig for elevens læring virker kanskje innlysende. Men selv om det kan virke innlysende, kan det tenkes at tematikken allikevel byr på problemer med tanke på læreplanens mål om dybdelæring. Før jeg diskuterer denne tematikken videre, vil jeg derimot forsøke å forklare viktigheten av de manglende forkunnskapene i lys av kognitiv belastningsteori.

7.1.1 Manglende forkunnskaper i lys av kognitiv belastningsteori

Resultatene tydet til at implementering av programmering i en fysikkfaglig kontekst ved å ta i bruk utfyllingsmetoden (van Merriënboer & Sweller, 2005) kan ha hatt en positiv effekt på elevens læring. Elevene hevdet at de ikke følte de hadde de nødvendige ferdighetene som opplevdes som nødvendig for å programmere, men at de til tross for dette følte at programmeringen i denne oppgaven var overkommelig. Det virket til å være stor enighet om at de vanskelighetene de opplevde stammet fra at de slet med å vite hvilken fysikk som skulle anvendes i koden, samt hvor i koden den skulle anvendes. Dette stemmer også med mine observasjoner fra timen, hvor jeg opplevde at elevene slet med å veksle mellom fysikk og programmering. De var enten i fysikkmodus eller programmeringsmodus, og hadde vanskeligheter med å oversette fysikken til programmering. Fra den fysikkdidaktiske litteraturen i kapittel 2.1.4 vet vi at elevene allerede sliter med å veksle mellom å være i fysikkmodus og en matematikkmodus (Angell et al., 2019). Sammenlignbart viste resultatene i kapittel 6.2.2 at enkelte av elevene enten ikke klarte å oversette mellom fysikk og

matematikk, eller surret i oversettingsforsøket. Da programmering ofte bruker et matematisk språk vil det heller ikke være overraskende at elever også synes det er utfordrende å veksle mellom fysikkmodus og programmeringsmodus. Spesielt kan dette tenkes å være gjeldende da den aktuelle oppgavens programmeringen baserte seg på å bruke matematikk for å beskrive fysikken. Som nevnt i kapittel 2.2.2 innebærer algoritmisk tenkning en forståelse av hvilke problemer som bør løses med teknologi og hvilke som bør løses av mennesker (Utdanningsdirektoratet, 2019a). Selv om begrepet ikke nevnes eksplisitt i læreplanen for fysikk, vil denne tankemåten være nærliggende for programmering i en fysikkfaglig kontekst. I lys av dette masterprosjektet virker det dog til å være noe elevene opplevde som en utfordring. Eksemplifisert med eleven fra resultatene i kapittel 6.3.1 som mente «(...) at det var litt vanskelig å skjønne hva man skulle legge inn hvor». Videre arbeid med algoritmisk tenkning virker av denne grunn til å være nødvendig, ikke bare i fysikk, men muligens også andre fag hvor programmering er en del av fagområdet.

Vi kan se dette i sammenheng med relasjonen mellom den skjematiske teorien og kognitiv belastning av arbeidsminnet. Elevene hadde ikke opparbeidet seg gode nok skjemaer for hverken kunnskapen om de fysiske fenomenene, eller oversettingsprosessen som kreves for å veksle mellom dem. Om elevene hadde startet timen med en bedre forståelse av de fysiske mer grunnleggende fysiske fenomenene i oppgave (Inn/ut-strålings-effekt/tetthet) kunne dette frigitt kognitiv plass i arbeidsminnet slik at eleven ville hatt større kapasitet til å prosessere den nødvendige oversettingen mellom de forskjellige representasjonsformene (Sweller et al., 1998). Oversettingen kan da ha vært alt fra å se relasjonene mellom de forskjellige fenomenene eller oversette fenomenologiske og begrepsmessige representasjoner til matematiske og programmeringsbaserte representasjoner.

7.1.2 «Vi la jo bare inn variabler»

Det er også verdt å diskutere hvorvidt programmeringen i denne oppgaven var for simpel. Hvis vi går tilbake til sitatet fra eleven som beskrev programmeringen som «[...] vi la jo bare inn variabler [...]», så kan det kanskje tenkes at elevene heller ikke lærte så mye om programmering? Men samtidig er min mening at dette heller ikke bør være et fremtredende mål når vi introduserer programmering i en fysikkfaglig kontekst. For meg virker det nemlig som i overkant ambisiøst å heve den kognitive belastningen ved å øke programmeringskompleksiteten. Spesielt med tanke på den høye graden av indre kognitiv belastning som allerede kan ligge naturlig i store deler av resten av det fysikkfaglige pensumet. Dette støttes også av elevene da resultatene fra kapittel 6.3.1 viste at elevene var

klare på at de ville følt seg overveldet om kompleksiteten av programmeringen i en fysikkfaglig kontekst hadde økt. Elevene var også fornøyde med at fysikk viste dem et givende og meningsfylt bruksområde relatert til programmering. Resultatene tydet altså til at denne effekten kan oppnås uten å gjøre programmering i fysikk komplekst.

Det at elevene ikke har et obligatorisk programmeringsfag kan derimot gjøre det utfordrende å bedømme hvilket nivå man skal legge programmeringskompleksiteten på i fysikk. Når blir programmeringen for kompleks for elevene? Med bakgrunn i egne erfaringer og resultater fra dette masterprosjektet mener jeg at å konstruere programmeringsoppgaver ved å bruke utfyllingsmetoden kan bidra til å maskere noen av utfordringene elevene kan oppleve med programmering. Samtidig kan det være viktig å utforme oppgaven slik at programmeringen føles meningsfullt for elevene. Det skal være en grunn til at programmering blir tatt i bruk ovenfor de mer ordinære arbeidsmetodene elevene ellers er vant med.

7.2 Hva skal forventes av elevene?

Som presentert innledningsvis i denne masteroppgaven har fagfornyelsen lagt et større fokus på at undervisningen skal fremme dybdeløring. I tråd med både hva Ludvigsensutvalget (NOU 2015: 8, 2015) og Sweller et al. (Sweller et al., 1998) antyder, vil en slik dypere og varig form for forståelse, være et tidkrevende mål å oppnå. I dette delkapittelet vil denne problemstillingen diskuteres i lys av hvordan elevene opplevde det økte fokuset på dybdeløring. For å innlede dette, vil en diskusjon om hvorvidt det aktuelle undervisningsopplegget lyktes i å gi elevene en form for dybdeløring. Mer spesifikt i relasjon med elevenes metaforståelse av modeller i fysikk. Var elevene i stand til å reflektere og knytte sammenhenger?

7.2.1 Naive realister

Til tross for at programmeringsoppgaven ble forsøkt rettet etter mål-fri-metoden, virket det som om elevene forsøkte å løse oppgaven med en mål-middel-tilnærming. Eksemplifisert ved elevene som ved å bruke konstantene for jordas strålingsbalanse rett inn i funksjonsuttrykket i python, programmerte en spesifikk modell for strålingsbalanse i stedet for en generell modell. Selv om oppgaven spesifiserte at modellen skulle være generell, virket det altså nærliggende for mange å sentrere modellen rundt jordas strålingsbalanse. En mulig årsak til dette kan være elevene ikke hadde de grunnleggende kunnskapene og erfaringen relatert til funksjonsuttrykk i python, så vel som at de kan ha opplevd mål-middel metoden som en tryggere løsningsstrategi. Samtidig, var det tross alt jordas strålingsbalanse som modellen etter hvert

skulle presentere, og det er også dette kompetansemålet spesifiserer. Kan det betraktes som at elevene «kuttet hjørnene» for å snarere komme frem til svaret de forventet?

Elevene viste også tendenser til å lete etter det forventede resultatet under diskusjonsoppgavene (se kapittel 6.2.3 og vedlegg 9). I stedet for å diskutere antagelsen om at sola ville vært den eneste strålingskilden av betydning for jordas strålingsbalanse i modellen, regnet elevene ut innstrålingseffekten fra Rigil Kentaurus og konkluderte med at den var neglisjerbar. De tok derimot ikke diskusjonen videre. Hva med hvis vi har millioner av «Rigil Kentauruser»? Finnes det nok stjerner som har en innstrålingstetthet på jorda nærliggende det Rigil Kentaurus hadde, til at det kan ha en betydning? En av gruppene kom også frem til den samme konklusjonen på feil premisser (kapittel 6.2.2). Enda et tegn på at elevene lette etter resultatet de forventet. Allikevel vil jeg ikke påstå at elevene ikke viste noen form for refleksjon rundt modellenes styrker og svakheter, men det var deler som manglet. Jeg velger å sammenligne dette med hvordan elever ofte kan fungere som naive realister (Angell et al., 2019). De behøver et metaperspektiv på modeller for å kunne betrakte dem objektivt; strategier, metoder og øvelse i å arbeide med modeller. Dette er nok også noe som ikke blir oppnådd på en undervisningstime, slik som ludvigsensutvalget påsto om dybdelæring (se kapittel 2.1.5), men som oppgavestrukturen muligens kunne vært formulert til å motivere for ytterligere.

7.2.2 «Setter oss opp for å feile»

Utdanningsdirektoratet hevder, som nevnt i kapittel 2.1.5, at de i den nye læreplanen har tilrettelagt bedre for at elevene skal få både tid og mulighet til å lære seg fagene grundig: dybdelæring. Det at de har kuttet antallet kompetansemålet med nesten 50%, kan tyde på at utdanningsdirektoratet har rett i at det har blitt frigjort mer tid til dybdelæring. Hvis vi derimot ser på sammenligningen av kompetansemålene som omhandler strålingslover for fysikk 1 i LK20 og LK06 (se Tabell 1 i kapittel 1.1), er det tydelig at kompetansemålet for LK20 er betraktelig mer omfattende. For det første virker innholdet i kompetansemålet fra LK20 å være utvidet. Eleven er ikke lenger «nødt» til å lære om Wiens forskyvningslov (selv om dette fortsatt kan tolkes som relevant, se kapittel 3.4.2), men det kreves derimot at eleven skal lære om jordens strålingsbalanse, som impliserer å inkludere fenomenene albedo og drivhuseffekt. Dette i tillegg til Stefan-Boltzmanns lov, som vil være et sentralt fenomen i begge kompetansemålene. Kompetansemålet i LK20 setter også større krav til nivået elevene skal lære om de forskjellige fenomenene. Mens LK06 kun krever at elevene skal kunne «gjøre beregninger», krever LK20 at eleven skal kunne «bruke modeller» i tillegg til å «vurdere»

hvilken effekt endringer i en slik modell kan medføre. Altså benytter LK20 seg av et høyere taksonomisk nivå enn LK06. Om man «pakker ut» alle de fysikkfaglige aspektene fra kompetansemålene i LK20, kan det tenkes at man ender opp med en læreplan som inneholder en tilsvarende grad av mengde fagstoff som det LK06 inneholdt. Hva skal man velge bort?

Dog er dette er kun en sammenligning av ett av kompetansemålene i LK20 og LK06, jeg har ikke foretatt noen grundig undersøkelse av om dette er tilfellet for resten av kompetansemålene. Det kan hende at det har blitt frigjort mer tid til dybdelæringen ved å gjøre kutt i andre fysikkfaglige temaer. Elevenes kommentarer i gruppeintervjuet (se kapittel 6.3.3), vil derimot antyde at elevene kan føle seg overveldet av den faglige mengden og dybden som er forventet av dem. «Regjeringa» overvurderte og satte dem «opp for å feile», som en av elevene uttaler selv. Dette til tross for at elevene virket positive til at kompetansemålene la større vekt på forståelse enn før. En av elevene hadde til og med oppdaget med seg selv at en slik forståelse kunne føre til varig læring, slik som også utdanningsdirektoratet definerer dybdelæring (se kapittel 2.1.5). Denne eleven avsluttet med å si «så sånn sett er det bedre», som muligens kan sikte til at det forutsetter at de faktisk får tid til å arbeide med en grundigere forståelse.

7.2.3 «Så kanskje det hadde vært lettere hvis vi hadde hatt astrofysikk allerede»

En gjenganger under utprøvingen av undervisningsopplegget virket å være at elevene følte de ikke hadde de nødvendige forkunnskapene om stråling til å mestre den aktuelle oppgaven. Dette ble diskutert i lys av kognitiv belastningsteori i kapittel 7.1.1. Denne utfordringen kan muligens ha vært unngått (eller redusert) ved å bruke enda mer tid i forkant av det aktuelle undervisningsopplegget til å la elevene arbeide med stråling. Det kan også tenkes at dette ville vært enklere å gjennomføre om samme lærer hadde både planlagt og gjennomført all undervisningen som var tenkt å dekke det aktuelle kompetansemålet. Samtidig kan en stille seg spørrende til når elevene skal få tid til dybdelæring. Jeg kan allerede avsløre at jeg ikke kan gi noe klart svar på dette, men vil forsøke å diskutere det i lys av teori, resultater og erfaringer jeg har tilegnet meg i løpet av dette masterprosjektet.

Modellering i fysikk kan være et omfattende tema. Slik vi har sett tidligere forventes det at eleven ikke bare skal bør ha kontroll på selve konstruksjonsprosessen av modellen, det fysikkfaglige modelleringen inneholder, men de skal også skal eleven kunne betrakte modellen både vitenskapelig og kritisk (Utdanningsdirektoratet, 2021b). Dette så vel som forståelsen av matematikk, og i dette tilfellet programmering, som ofte vil være nødvendig. På

toppen av det hele kan oversettingen mellom disse prosessene oppleves som utfordrende for elevene. Som vi diskuterte i kapittel 7.1.1 kan det av disse grunnene være nødvendig å redusere den kognitive belastningen der man kan, ved at elevene har tilstrekkelig forståelse av de fysiske fenomenene før de angriper modelleringsprosessen. Først og fremst vil jeg trekke frem at dybdelæring er en tidskrevende prosess (som presentert i kapittel 2.1.5). Selv om begrepet dybdelæring ikke blir brukt eksplisitt, blir begrepet forståelse brukt i sammenheng med kognitiv belastningsteori. Slik vi så i kapittel 2.3.1 vil forståelse kun skje når de elementene med høy interaktivitet kan prosesseres samtidig i arbeidsminnet. Det kan også bli tatt et steg videre ved at en utvikler så gode og komplekse skjemaer for elementene med høy interaktivitet, at de forbigår hele prosessen i arbeidsminnet; kunnskapen blir automatisert (Sweller et al., 1998). Hvilken grad av forståelse vil være nødvendig for at elevene skal være utstyrt med de nødvendige forkunnskapene som kan være nødvendig for å fokusere fullstendig på en modellering- og programmeringsprosess? Et pressende svar på dette kan tenkes å være «så mye man får tid til». Dette kan innebære alt fra å bruke god tid på å gå undervise i de forskjellige fenomenene sekvensielt. Eller, at elevene mer eller mindre lærer om fenomenene samtidig, slik som det kan virke som elevene i dette masterprosjektet opplevde.

Det kan også tenkes at fysikk er et fag som krever mye av denne «samtidige» læringen; det å lære samtidig vil også være en ferdighet fysikkelevne må lære seg å mestre. Tross alt, beskrev både læreplanen og fysikkdidaktikere at det å kunne veksle og oversette mellom forskjellige representasjonsformer er en essensiell del av fysikkfaget. Sett i lys av kognitiv belastningsteori behøver elevene skjemaer for å lære seg nettopp denne ferdigheten, og denne utviklingen av skjemaer vil være gradvis og tidkrevende (Sweller et al., 1998).

«Voksesmerter» i en slik læringsprosess vil dermed virke naturlig, men det bør allikevel ikke stå i veien for å etter beste evne gjøre denne prosessen så smertefri som mulig. Slike grep og forbedringer av det aktuelle undervisningsopplegget vil jeg diskutere i neste kapittel.

7.3 Utbedring av undervisningsopplegg

Under analyse og refleksjonsprosessen i etterkant av utprøvingen har det blitt gjort endringer på undervisningsopplegget som jeg mener kan både styrke og bygge videre på det aktuelle opplegget. Diskusjoner relatert til undervisningsoppleggets fysikkfaglige nivå, samt ytterligere fokus på skjemakonstruksjon og oversettelsesprosessen mellom representasjonsformer vil bli diskutert i de påfølgende underkapitlene. Et utbedret undervisningsopplegg som følge av dette kan finnes i vedlegg 2 og 10.

7.3.1 Fysikkfaglig nivå

Det kan tenkes at grunnen til at elevene opplevde at de ikke hadde gode nok forkunnskaper om stråling var at undervisningsopplegget var for ambisiøst. Elevene fikk ikke, etter den grad jeg hadde håpet, brukt kjent teori for å etablere en modell knyttet til strålingsbalansen, slik som Angell et al. (2019) hevdet ville være nødvendig.

Store deler av utfordringen jeg opplevde da jeg konstruerte undervisningsopplegget var hvilket fagstoff jeg skulle basere undervisningen på, samt hvilket nivå jeg skulle forvente at elevene forsto fysikken. I kapittel 5 diskuterte jeg de valgene og betraktningene som ble gjort i forkant av utprøvingen. I etterkant vil jeg fortsatt påstå at jeg ikke har et klart bilde av hvilken fysikkfaglig dybde som bør inkluderes for å dekke det aktuelle kompetansemålet, men jeg har gjort meg opp noen tanker.

Stefan-Boltzmanns lov og tilhørende begreper som innstrålt- og utstrålt- effekt og tetthet så vel som sorte legemer anser jeg fortsatt som en viktig del om man ønsker å lage en modell av jordas strålingsbalanse. Dette anser jeg som grunnleggende fysiske fenomener som er med på å beskrive og gi eleven et bilde av hvordan verden er bygget opp. Kunnskap om hvordan verden er bygget opp, blir for øvrig nevnt i læreplanen som et av fysikkfagets sentrale verdier (se kapittel 2.1.3), og med bakgrunn i dette kunne disse begrepene muligens også ha fortjent å bli beskrevet i et kompetansemål? Som nevnt tidligere ville det vært fordelaktig at elevene møtte opp i timen med bedre forkunnskaper på dette området. Ideelt sett burde elevene både ha fått både gjennomgått og arbeidet med disse begrepene før den aktuelle undervisningsøkten.

Videre virket det ikke til at elevene slet med å forstå fenomenet albedo, og jeg anser det heller ikke som en særlig komplisert prosess å ta høyde for i strålingsbalansemodellen.

Drivhuseffekten derimot, var det få elever som rakk å arbeide med, så jeg har ikke noe særlig grunnlag til å analysere hvorvidt måten det var presentert på for elevene var for utfordrende eller ikke. Derimot kan det tenkes at med all den kognitive kapasiteten resten av undervisningsopplegget virket å kreve, at presentasjonen av drivhuseffekten i oppgaven kunne vært forenklet ytterligere. Om man kun ser på det aktuelle kompetansemålet, kan det tenkes at en fenomenologisk beskrivelse av drivhuseffekten vil være tilstrekkelig for at eleven skal kunne vurdere hvordan endringer i atmosfæren påvirker jordens strålingsbalanse. Men samtidig vil en matematisk representasjon være nødvendig for at eleven skal kunne gjøre beregninger i strålingsbalansemodellen. Altså kan det tenkes at det kunne vil være nødvendig

å inkludere uttrykket for overflatetemperatur i oppgaveteksten, og da se bort ifra utledningen til uttrykket.

7.3.2 Konstruksjon av skjemaer for elevenes metaforståelse av modeller

I løpet av utformingen av undervisningsopplegget (se kapittel 5) forsøkte jeg å lede eleven gjennom oppgavene i et forsøk på å bidra til skjemakonstruksjon for både de fysiske fenomenene, men også elevenes metaforståelse av modeller i fysikk. Resultatene fra elevdiskusjonene (kapittel 6.2.3) viser at elevene er i stand til å bruke modellen i tillegg til å gjøre noen refleksjoner rundt den, men at det også kan virke som om de er i noe overkant resultat orientert. Elevene virker mer opptatt av å løse oppgaven, enn å diskutere problemstillingen de har blitt presentert. Slik som diskutert i kapittel 7.3.1. Jeg vil videre foreslå noen endringer til utformingen av diskusjonsspørsmålene som jeg mener kan bidra til skjemakonstruksjon for elevenes metaforståelse av modeller i fysikk.

Ved å betrakte diskusjonsspørsmål 2, gir det mening at elevene ikke diskuterte antagelsen om kun en strålingskilde i den grad jeg hadde ønsket:

«I disse modellen betrakter vi kun en strålingskilde for strålingsbalansen til et objekt. Diskuter antagelsen om å kunne betrakte én strålingskilde blant annet ved å se på en av jordas nærmeste stjerner (som også har nærliggende masse som sola), Rigil Kentaurus, som ligger 4.3 lysår fra jorda. Forsøk spesifikt å se på innstrålingstettheten Rigil Kentaurus har på jorda i forhold til det sola har.»

Problemstillingen elevene var ment å diskutere blir nevnt først i oppgaven, men den blir altså påfulgt av en del informasjon som elevene må ta stilling til: «Hva er Rigil Kentaurus?», «Hva er 4.3 lysår?» og «Innstrålingstetthet på jorda i forhold til sola?» kan være spørsmål eleven sitter igjen med etter å ha lest diskusjonsoppgaven. Selve problemstillingen kan allerede være glemt; «dyttet» ut av arbeidsminnet fordi eleven har blitt presentert med for mye informasjon samtidig (og ikke sekvensielt). Noe som vil føre til ytterligere belastning av arbeidsminnet (Sweller et al., 1998). For å hjelpe eleven med å bygge skjemaer til deres metaforståelse av modeller i fysikk har jeg reformulert spørsmålet:

«Vi skal nå se nærmere på hvorfor modellen vår kun mottar stråling fra én strålingskilde.

Betrakt en av jordens nærmeste stjerner, Rigil Kentaurus. Relevante konstanter for denne stjernen finnes i koden. Hvor stor innstrålingstetthet vil denne stjernen ha på jorda i forhold til sola?

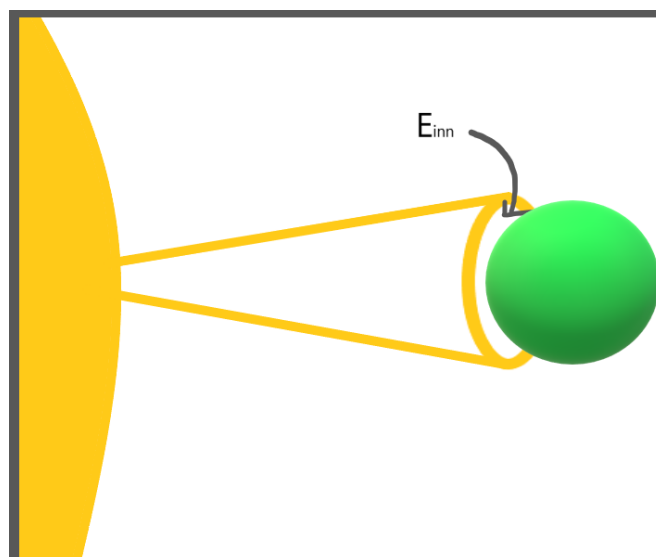
Rigel Kentaurus er en av de nærmeste og samtidig mest sammenlignbare stjerner til sola. For jordas strålingsbalanse, bør vi konstruere en ny modell som tar høyde for flere strålingskilder enn bare sola, eller vil den nåværende modellen være tilstrekkelig?»

Her ønsker jeg for det første å sekvensere informasjonen som blir presentert i oppgaven for å redusere den ytre kognitive belastningen (Sweller et al., 1998). Først ved å aktualisere problemet, så ved å gi elevene datamateriale de kan arbeide med og vurder, for så å presentere det aktuelle diskusjonsspørsmålet. Selve diskusjonsspørsmålet har jeg også forsøkt å formulere slik at konklusjonen ikke vil være like «åpenbar» som den forrige formuleringen muligens antydte. Dette for å motvirke hvordan elevene ofte kunne betraktes som naive realister slik som presentert i kapittel 7.3.1.

7.3.3 Oversetting mellom representasjonsformene

Det å veksle mellom ulike representasjonsformer i fysikken kan være utfordrende for elevene, men at denne oversettingen mellom de forskjellige representasjonsformene også er en nødvendighet i fysikkfaget (Angell et al., 2019). Resultatene fra kapittel 6.2.2 antydte på linje med dette at elevene som mestret å oversette mellom flere forskjellige representasjonsformer også hadde bedre forutsetninger for å forklare de fysiske fenomenene (i dette tilfellet innstrålingstetthet).

I undervisningstimen erfarte jeg derimot at flere av elevene hadde vanskeligheter med å veksle mellom de forskjellige representasjonsformene oppgaven krevde (se kapittel 6.1.2). Dette kom til syne blant annet ved da elevene skulle knytte begrepet innstrålingstetthet med innstrålt effekt for et kuleformet legeme. Hjelpfigurene som var inkludert i oppgaven bidro heller ikke til at elevens fenomenologiske representasjon av dette fenomenet. Nemlig at det er arealet av strålingen som når halvkulen (det sorte legemet) som betraktes, at det sorte legemet er formet som en halvkule betyr vil bare medføre at strålingen blir fordelt over en større overflate (sammenlignet med en sirkel). For å illustrere dette har jeg konstruert enda en hjelpefigur for å hjelpe elevene med denne visualiseringen:



Figur 6: Ikonisk modell av innstrålt effekt på et kuleformet legeme

Denne illustrasjonen av en ikonisk modell for innstrålt effekt (Helgesen et al., 2019) er inkludert i en oppdatert versjon av oppgaveheftet (se vedlegg 2). Hvis eleven skal bli lært opp til å veksle mellom de forskjellige representasjonsformene, er vi også nødt til å hjelpe dem med å bygge skjemaer for dette. Jeg har også forsøkt å knytte de opprinnelige illustrasjonene til oppgaveteksten for å hjelpe elevene med å bygge skjemaer for oversettelsesprosessen.

7.4 Metoderefleksjon

Dette masterprosjektet har brukt et fleksibelt forskningsdesign i det kvalitative paradigmet. Flexibiliteten har medført at enkelte aspekter som kan kjennetegne intervensjonsbasert forskning har blitt droppet. I ettertid, anser jeg at intervensjonen kunne hatt en fordel av at en ekspert på sitt fagområde hadde undersøkt undervisningsopplegget før det ble ferdigstilt og utprøvd. Slik Fraser og Galinsky (2010) foreslår. Min vurdering er at det ville vært interessant og forhørt seg med både en ekspert innenfor astrofysikk i tillegg til en ekspert innenfor utdanning (fysikklærer), for å undersøke deres tolkning av kompetansemålet. Hvilken fysikkfaglige fenomener mener de at vil være viktig å inkludere? Hvordan og på hvilket nivå bør fysikken fremstilles for VG2 elever? Hvordan mener de at programmering kan implementeres i en slik kontekst? Hva mener de om hvordan det aktuelle undervisningsopplegget har blitt konstruert? Dette mener jeg ville vært både gjennomførbart og nyttig.

Effekttestene Fraser og Galinsky (2010) sikter til mener jeg fortsatt at ville vært svært utfordrende å gjennomføre. Dette grunnet konteksten intervensjonen blir utført i. Jeg ser nytten av å teste de forskjellige aspektene ved intervensjonen, for eksempel teste elevenes

arbeid med funksjoner i python, eller hvordan elevene oversetter mellom fenomenologiske og matematiske representasjonsformer i isolert arbeid med Stefan-Boltzmanns lov. Det kan derimot tenkes at å utføre slike sekvensielle tester ikke vil kunne la seg gjennomføres grunnet manglende tidsrom i elevenes læreplan. Spesielt med bakgrunn i diskusjonen fra kapittel 7.2.2, kan dette virke urimelig. En ville også være nødt til å betrakte hvor etisk riktig en slik inngrip i elevenes utdanning ville vært. Formålet med undervisningsopplegget som ble utprøvd, var tross alt rotfestet i å dekke et kompetansemål i fysikk 1 i tillegg til deler av de overordnede kjernelevene fagfornyelsen medfører. Formålet med effekttestene ville derimot vært å utbedre undervisningsopplegget, noe som ikke nødvendigvis ville vært tenkt å styrke elevens læring og forståelse.

En annen svakhet av dette masterprosjektet kan anses å være at datagrunnlaget kun stammer fra et utvalg med kun én utprøving. For å kunne fange opp forskjellene i intervusjonen kan medføre i forskjellige kontekster og med ulike utvalg, anbefalte Fraser og Galinsky (2010) at det burde bli utført flere utprøvinger med flere ulike utvalg. Dette kan medføre at det vil være vanskelig å vite om resultatene fra denne utprøvingen var særegent for akkurat den aktuelle fysikklassen, eller om resultatene også kan anvendes til andre fysikklasser. Med tanke på at faglærer beskrev elevene i den aktuelle fysikklassen som gjennomsnittlige utfra lærerens egne erfaring, kan det tenkes at resultatene fra utprøvingen medfører en grad av generalitet. Det vil derimot være verdt å nevne at ved å kun utføre ett gruppeintervju med fem elever, er det en sjanse for at elevene som ble plukket ut kan ha representert like tankesett og verdier, som nødvendigvis ikke vil være representativt for hele elevgruppen.

Datatriangulering viste seg derimot å være en styrke. Ved de aspektene de tre datainnsamlingsmetodene var sammenlignbare, stemte resultatene godt overens med hverandre. Samtidig som ulikheten i metodene representerte bidro til å utfylle aspekter de andre ikke dekket. Dette kan blant annet ha bidratt til å maskere et eventuelt uheldig utvalg av elever i gruppeintervjuet. Som diskutert i kapittel 4.3.3, vil noen av svakhetene med observasjon være forskerens selektive oppmerksomhet, tolkning og hukommelse i tillegg til forskeren og elevenes personlighet og væremåte. Disse faktorene vil ikke fremtre i like stor grad, om noen, ved transkripsjonene av gruppeintervjuet og elevdiskusjonene. Disse krevde ingen form for hukommelse eller selektiv oppmerksomhet, elevene uttrykte seg med egne ord slik at det ble mindre behov for tolkning. Spesielt kom det tydelig frem fra alle datainnsamlingsmetodene at elevene ikke hadde gode nok forkunnskaper om det fysikkfaglige temaet. Dette ble avdekket både ved mine tolkninger så vel som elevenes egne ord.

8 Konklusjon

Denne studien har forsøkt å svare på hvordan programmering kan bli implementert i en fysikkfaglig kontekst hvor elevene lærer om modeller av strålingsbalanse. De nye kompetansemålene i Fysikk 1, «Bruke modeller av strålingsbalansen til jorda til å gjøre beregninger, og vurdere hvordan endringer på jordoverflaten og i atmosfæren påvirker denne balansen» i kombinasjon med «vurdere, bruke og lage modeller til å beskrive og forutsi fysiske fenomener», har blitt brukt som utgangspunkt for å aktualisere problemstillingen i lys av fagfornyelsen. Et undervisningsopplegg hvor elevene ble bedt om å konstruere og diskutere modeller for strålingsbalanse ved å bruke programmering i Python ble konstruert og utprøvd i et forsøk på å svare på problemstillingen. Kognitiv overbelastning og elevenes potensielle vanskeligheter med å oversette mellom representasjonsformer, ble i utviklingsfasen identifisert som mulige utfordringer elevene kunne oppleve i møte med programmering i en fysikkfaglig kontekst. For å redusere den kognitive belastningen programmering i en fysikkfaglig kontekst kunne medføre, ble virkemidler som mål-fri-effekten i kombinasjon med utfyllingseffekten ble tatt i bruk ved utformingen av undervisningsopplegget. Undervisningsopplegget ble utprøvd i en fysikk 1 klasse, hvor datamaterialet bestod av egne observasjoner av undervisningstimen i tillegg til lydopptak fra elevdiskusjoner og gruppeintervju.

Resultatene viste at elevene opplevde oppgaven som i overkant utfordrende. Mine observasjoner og elevenes egne utsagn sikter til at dette i all hovedsak skyldtes at de manglet de nødvendige fysikkfaglige kunnskapene. De manglende fysikkfaglige forkunnskapene kombinert med programmering, som allerede opplevdes som nytt og vanskelig for de fleste av elevene, kan ha ført til en kognitiv overbelastning i arbeidsminnet. Derimot virket det som at elevene følte implementasjonen av programmering isolert sett fungerte godt. De poengterte at utfyllingsaspektet ved programmeringsoppgaven gjorde oppgaven overkommelig, i tillegg til at de var fornøyde med å endelig oppleve et bruksområde for programmering. Programmering i en fysikkfaglig kontekst kan altså være med å påvirke elevens inntrykk og motivasjon for programmering.

Med dette tatt i betraktning virker det til at å redusere den kognitive belastningen programmeringsprosessen krever vil være av ytterst viktighet når programmering kombineres med fysikk. Elevene opplever allerede fysikk som et utfordrende fag. Kognitiv belastningsteori kan tyde på at dette stammer fra fysikkens naturlige høye interaktive elementer som fører til en «urokkelig» høy indre kognitiv belastning. Det er allikevel en

nødvendighet at elevene må kunne arbeide med elementer med høy grad av interaktivitet. Eksempelvis hevder både fysikkdidaktisk litteratur og læreplanen i fysikk at oversetting mellom forskjellige representasjonsformer for fenomener i fysikk kan betraktes som en av pilarene i fysikk som fagområde. Resultatene fra utprøvingen viste derimot at elevene hadde utfordringer med å oversette mellom de forskjellige representasjonsformene. Elevene måtte bruke sin forståelse av fenomenene ved å bruke fenomenologiske, matematiske, begrepsmessige så vel som programmeringsbaserte representasjoner av fysikken. Spesielt merkbart var det at elevene enten var i fysikkmodus eller programmeringsmodus. Elevene hadde vansker med å veksle mellom modusene. Dette henger sammen med den fysikkdidaktiske teorien som viser til at elevene allerede kan finne det vanskelig å veksle mellom matematikk- og fysikkmodus i arbeid med modeller. Elevene må vite når de skal bruke fysikk og når de skal programmere, som er et av aspektene ved algoritmisk tenkning. Kognitiv belastningsteori kan forklare denne utfordringen med at elevene enda ikke har opparbeidet seg skjema for oversettingsprosessen. Skjemabygging bør derfor arbeides med, men dette er en langsiktig og tidkrevende prosess, og resultatene fra denne studien vil med andre ord ikke kunne konkludere noe med hvordan dette kan gjøres. Jeg vil allikevel spekulere i at mål-fri effekten i kombinasjon med utfyllingseffekten kan bli tatt i bruk for å gi elevene bedre utgangspunkt for en slik skjemabygging. Dette kan dog kreve ytterligere forskning.

Et annet funn i dette studiet var at enkelte av elevene opplevde fysikkundervisningen (ikke kun det aktuelle undervisningsopplegget) som overveldende. Enkelte av elevene var positive til læreplanens mål om dybdeløring, men virket til å antyde at rammebetingelsene for en slik dybdeløring var til stede, læreplanen «setter oss opp for å feile». Jeg stiller meg altså spørrende til om fagfornyelsen faktisk har frigjort mer tid til dybdeløring slik som det blir hevdet. Den generelle formuleringen av kompetansemålene gir også store rom for tolkning av hva som skal læres bort, og ikke minst på hvilket nivå. Dette kan medføre at å forbedre de manglende forkunnskapene elevene manglet under det aktuelle undervisningsopplegget, kan vise seg å være utfordrende om man også skal skape rom til dybdeløring.

Referanser

- Andrews, D. G. (2010). *An Introduction to Atmospheric Physics* (2 ed.). Cambridge University Press.
- Angell, C., Bungum, B., Henriksen, E. K., Kolstø, S. D., Persson, J., & Renstrøm, R. (2019). *Fysikkdidaktikk* (2 ed.). Cappelen Damm.
- Bjørndal, C. R. P. (2017). *Det vurderende øyet* (3 ed.). Gyldendal Norsk Forlag.
- Fraser, M. W., & Galinsky, M. J. (2010). Steps in Intervention Research: Designing and Developing Social Programs. *Research on Social Work Practice*, 20(5), 459-466. <https://doi.org/10.1177/1049731509358424>
- Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115-130. <https://doi.org/10.1007/s10763-004-3186-4>
- Helgesen, Ø., Glavee-Geo, R., Mustafa, G., Nettet, E., & Rice, P. (2019). Modeller. In (pp. 15-37). <https://doi.org/https://doi.org/10.18261/9788215034393-2019-01>
- Hummel, J. R., & Reck, R. A. (1979). A Global Surface Albedo Model. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 18(3), 239-253. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1979\)18\[239:AGSAM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1979)18[239:AGSAM]2.0.CO;2)
- Imsen, G. (2017). *Lærerens verden* (5 ed.). Universitetsforlaget.
- Karseth, B., Kvamme, O. A., & Ottesen, E. (2020). *Fagfornyelsens læreplanverk. Politiske intensjoner, arbeidsprosesser og innhold*. U. i. O. UV. <https://www.udir.no/tall-og-forskning/finn-forskning/rapporter/evaluering-av-fagfornyelsen---politiske-intensjoner-arbeidsprosesser-og-innhold/>
- Kirschner, P. A. (2002). Cognitive load theory: implications of cognitive load theory on the design of learning. *Learning and Instruction*, 12(1), 10. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(01\)00014-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00014-7)
- Kunnskapsdepartementet. (2018, 26.06.2018). *Forny innholdet i skolen*
- Lillestøl, E., Hunderi, O., & Lien, J. R. (2001). *Generell fysikk for universiteter og høyskoler* (Vol. Varmelære og elektromagnetisme).
- Malthe-Sørenssen, A., Hjorth-Jensen, M., Langtangen, H. P., & Mørken, K. (2015). Integrasjon av beregninger i fysikkundervisningen. *Uniped*, 38(4), 303-310. <https://doi.org/doi:10.18261/ISSN1893-8981-2015-04-06>

- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81-97.
<https://doi.org/10.1037/h0043158>
- NASA. (2017). *Earth's energy budget*. <https://www.nasa.gov/feature/langley/what-is-earth-s-energy-budget-five-questions-with-a-guy-who-knows>
- NOU 2015: 8. (2015). *Fremtidens skole*. Departementenes sikkerhets- og serviceorganisasjon Informasjonsforvaltning Retrieved from
<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2015-8/id2417001/>
- Percuoco, R. (2014). Plain Radiographic Imaging. In D. M. Marchiori (Ed.), *Clinical Imaging* (Vol. 3, pp. 1-43). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-08495-6.00001-4>
- Robson, C., & McCartan, K. (2016). *Real world research* (4 ed.). John Wiley & Sons Ltd. *Samtykke og andre behandlingsgrunnlag*. Norsk senter for forskningsdata.
<https://www.nsd.no/personverntjenester/opplagsverk-for-personvern-i-forskning/samtykke-og-andre-behandlingsgrunnlag/>
- Sevik, K. (2016). *Notat om programmering i skolen*.
https://www.udir.no/globalassets/filer/programmering_i_skolen.pdf
- Stephens, G. L., O'Brien, D., Webster, P. J., Pilewski, P., Kato, S., & Li, J.-I. (2015). The albedo of Earth. *Reviews of Geophysics*, 53(1), 141-163.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/2014RG000449>
- Sweller, J., & Levine, M. (1982). Effects of goal specificity on means–ends analysis and learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 8(5), 463-474. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.8.5.463>
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
<https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2007). *Physics for scientists and engineers* (6 ed.). W.H. Freeman & Co Ltd.
- Trenberth, K. E., Fasullo, J. T., & Kiehl, J. (2009). Earth's Global Energy Budget. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90(3), 311-324.
<https://doi.org/10.1175/2008BAMS2634.1>
- Utdanningsdirektoratet. (2006). *Læreplan i fysikk - programfag i utdanningsprogram for studiespesialisering*. (FYS1-01). Fastsett som forskrift. Læreplanverket for

- Kunnskapsløftet 2006. Retrieved from <https://www.udir.no/k106/FYS1-01/Hele/Kompetansemaal/fysikk-1>
- Utdanningsdirektoratet. (2019a). Algoritmisk tenkning. <https://www.udir.no/kvalitet-og-kompetanse/profesjonsfaglig-digital-kompetanse/algoritmisk-tenkning/>
- Utdanningsdirektoratet. (2019b). Dybdeløring. <https://www.udir.no/laring-og-trivsel/dybdelaring/>
- Utdanningsdirektoratet. (2021a). *Hvorfor har vi fått nye læreplaner?* <https://www.udir.no/laring-og-trivsel/lareplanverket/stotte/hvorfor-nye-lareplaner/>
- Utdanningsdirektoratet. (2021b). *Læreplan i fysikk*. (FYS01-02). Fastsatt som forskrift. Læreplanverket for Kunnskapsløftet 2020. Retrieved from <https://www.udir.no/lk20/fys01-02>
- van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005). Cognitive Load Theory and Complex Learning: Recent Developments and Future Directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147-177. <https://doi.org/10.1007/s10648-005-3951-0>

Vedlegg

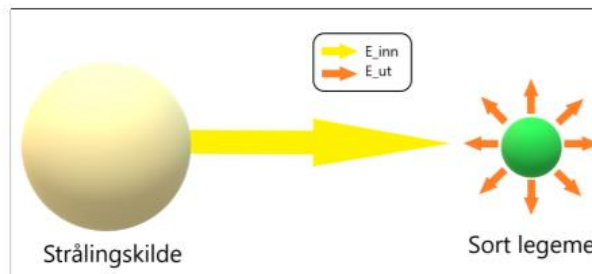
Vedleggene har blitt konvertert fra sin opprinnelige filtype (for eksempel .pdf eller .py) for å bli flettet inn i dette dokumentet. Av den grunn har de ikke beholdt sin opprinnelige formatering. Filene i sin originale form kan lastes ned [her](#).

Vedlegg 1: Oppgavesett som ble utprøvd

Jordens strålingsbalanse

I denne oppgaven skal vi konstruere en generell modell for strålingsbalanse ved å bruke Stefan Boltzmanns lov. Vi vil først starte med en enkel generell modell, og deretter tilpasse den til en modell som kan representere jordens strålingsbalanse

En enkel modell for strålingsbalanse



Figur 1: En enkel modell av strålingsbalansen til et sort legeme med en strålingskilde.

1. I denne oppgaven skal vi lage en modell for overflatetemperaturen til et sfærisk sort legeme i strålingsbalanse. Når et sort legeme er i strålingsbalanse vil **total innstrålt effekt** være like stor som **total utstrålt effekt**. Matematisk kan vi presentere strålingsbalansen slik:

$$E_{inn} = E_{ut} \quad (1)$$

- (a) Vi starter med å se på all innkommende stråling, E_{inn} . For denne modellen vil vi begrense oss til én sfærisk strålingskilde (feks én stjerne). For å finne hvor mye av kildens stråling som når det sorte legemet behøver vi å vite kildens utstrålingstetthet. **Fyll inn formelen for strålingskildens utstrålingstetthet, M_{kilde} , i funksjonen 'EnkelModell()' ved å bruke Stefan-Boltzmanns lov.**
- (b) Ikke all utstrålt effekt vil nå det sorte legemet. Innstrålingstettheten, M_d , fra en strålingskilde til et sort legeme med en avstand, d , kan beskrives ved denne formelen:

$$M_d = M_{kilde} \cdot \left(\frac{r_{kilde}}{d}\right)^2 [W/m^2] \quad (2)$$

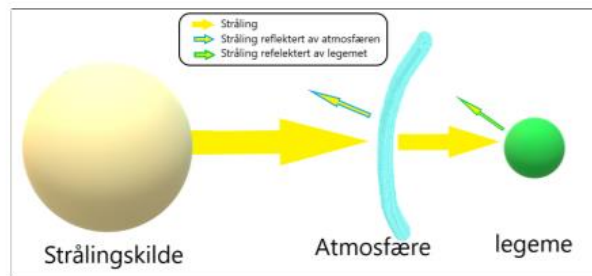
Bruk uttrykket for innstrålingstetthet i kombinasjon med at det sorte legemet er kuleformet til å bestemme totalt innstrålt effekt, E_{inn} .

- (c) Bruk Stefan-Boltzmanns lov til å bestemme den totale utstrålte effekten, E_{ut} , for et kuleformet sort legeme.
- (d) Bruk uttrykket for strålingsbalansen til å kunne beregne overflate-temperaturen til det sorte legemet i modellen. **Fyll inn uttrykket for overflatetemperaturen, $T_{sortlegeme}$, i 'EnkelModell()'**.
- (e) Hvilken overflatetemperatur anslår denne modellen at jordkloden har? Sammenlign med den faktiske gjennomsnittlige overflatetemperaturen til jorda på $14.9^{\circ}C$.

Modell 2, Refleksjon fra atmosfæren tatt i betraktning

2. Forrige modell tok bare høyde for fullstendige sorte legemer, altså legemer som absorberer all innkommende stråling. Dette er ikke realistisk for de aller fleste tilfeller, og vi skal nå lage en modell som bedre kan ta høyde for dette.

Uttrykket albedo beskriver hvor mye stråling som blir reflektert av et legeme. For eksempel vil et legeme med 0.2 albedo reflektere 20% av all innkommende stråling, mens de resterende 80% blir inkludert i strålingsbalansen. For en planet kan det samlede albedoet være en sum av refleksjonsbidragene fra eksempelvis planetoverflaten og atmosfæren (se figur 2).



Figur 2: Viser hvordan deler av innkommende stråling kan bli reflektert av en atmosfære og/eller overflate. Albedo er den samlede prosentandelen stråling som blir reflektert.

- (a) Med albedo tatt i betraktning. Hva blir nå uttrykket for total innstrålt effekt, E_{inn} ?
- (b) Bruk forrige model som basis, men gjør nødvendige justeringer og konstruer en ny modell, **AlbedoModell()**, som tar høyde for albedo.
- (c) Test den nye modellen ved å undersøke jordens strålingsbalanse. Sammenlign den beregnede temperaturen med jordens faktiske temperatur (fra oppgave 1e).

3. Vi skal nå ta høyde for drivhuseffekten i modellen vår. Denne vil kun gjelde for planeter med atmosfære. Det eksisterer eksempelvis ingen drivhuseffekt på månen da den har en neglisjerbar atmosfære. Drivhuseffekten fungerer ved at en del av den langbølgede strålingen et legeme utstråler vil bli absorbert i atmosfæren (nærmer bestemt drivhusgasser). Den prosentandelen av den langbølgede strålingen som blir absorbert i atmosfæren kaller vi for **emissiviteten**, ϵ .

Drivhusgassene i atmosfæren vil etter å ha absorbert stråling, emitte stråling i alle retninger. På sett og vis kan man si at deler av strålingen blir fanget i atmosfæren, mens resten forsvinner ut av atmosfæren.

- (a) Drivhuseffekten fører til at strålingsbalansen i modellen vår nå kan uttrykkes som:

$$E_{inn} = E_{ut} \quad (3)$$

$$(1 - \alpha)E \cdot \pi r_{legeme}^2 + \epsilon \sigma T_A^4 \cdot 4\pi r_A = \sigma T_{legeme}^4 \cdot 4\pi r_{legeme}^2 \quad (4)$$

Hvor T_A og r_A er henholdsvis atmosfærens temperatur og radius. Fra denne modellen for strålingsbalansen kan man finne en formel for overflatetemperaturen til legemet. Dere trenger ikke sette dere inn i hvordan man kommer frem til dette.

$$T_{legeme}^4 = \frac{E(1 - albedo)}{4\sigma(1 - \frac{\epsilon}{2})} \quad (5)$$

Fyll inn manglende felt i 'DrivhusModell()' slik at funksjonen returnerer overflatetemperaturen til legemet når du har tatt drivhuseffekten til betraktning.

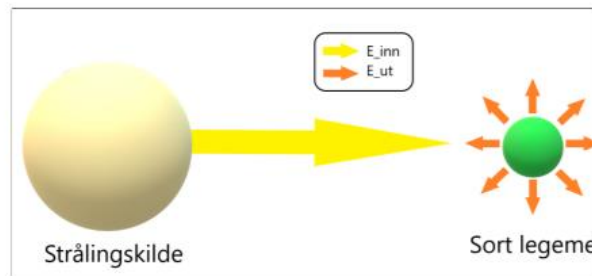
- (b) I koden ligger funksjonen **emissivitetsberegner()**, denne vil returnere en graf som temperaturen som en funksjon av emissiviteten. Bruk denne til å finne en tilnærmet verdi for emissiviteten til jorda.
- (c) Emissiviteten blir påvirket av konsentrasjonen av drivhusgasser i atmosfæren. En dobling av CO2 kan føre til at emissiviteten på jorda øker med 2%. Hvor stor vil temperaturøkningen være i følge vår strålingsbalanse-modell?

Vedlegg 2: Utbedret oppgavesett

Jordens strålingsbalanse

I denne oppgaven skal vi konstruere en generell modell for strålingsbalanse ved å bruke Stefan Boltzmanns lov. Vi vil først starte med en enkel generell modell, og deretter tilpasse den til en modell som kan representere jordens strålingsbalanse

En enkel modell for strålingsbalanse



Figur 1: En enkel model av strålingsbalansen til et sort legeme med en strålingskilde.

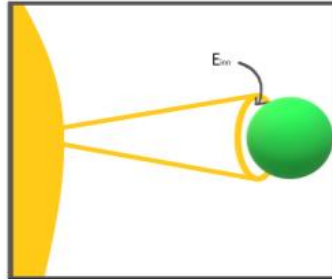
1. I denne oppgaven skal vi lage en modell for overflatetemperaturen til et sfærisk sort legeme i strålingsbalanse. Når et sort legeme er i strålingsbalanse vil **total innstrålt effekt** være like stor som **total utstrålt effekt**. Matematisk kan vi presentere strålingsbalansen slik:

$$E_{inn} = E_{ut} \quad (1)$$

En visualisering av modellen vi skal lage kan dere se i Figur 1.

- (a) Vi starter med å se på all innkommende stråling, E_{inn} . For denne modellen vil vi begrense oss til én sfærisk strålingskilde (feks én stjerne). For å finne hvor mye av kildens stråling som når det sorte legemet behøver vi å vite kildens utstrålingstetthet. **Fyll inn formelen for strålingskildens utstrålingstetthet, M_{kilde} , i funksjonen 'EnkelModell()' ved å bruke Stefan-Boltzmanns lov.**

- (b) Vi skal nå forsøke å finne venstre side av strålingsbalanselikningen, E_{inn} . Dette er et uttrykk for **hvor mye** stråling som treffer det sorte legemets overflate, **totalt innstrålt effekt**. Bruk gjerne Figur 2 for å visualisere hvor mye stråling som treffer det sorte legemet.



Figur 2: En visualisering av hvor mye stråling som treffer det sorte legemet.

Et uttrykk for utstrålingstettheten til strålingskilden, M_d , ved en distanse, d , unna kilden kan uttrykkes matematisk slik:

$$M_d = M_{kilde} \cdot \left(\frac{r_{kilde}}{d}\right)^2 [W/m^2] \quad (2)$$

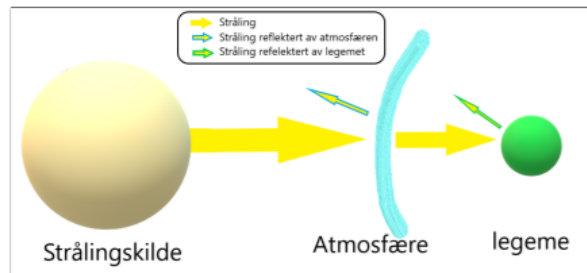
Bruk uttrykket for innstrålingstetthet Figur 2 til å bestemme totalt innstrålt effekt, E_{inn} . Hint: Bruk Figur 1.

- (c) Bruk Stefan-Boltzmanns lov til å bestemme den totale utstrålte effekten, E_{ut} , for et kuleformet sort legeme.
- (d) Bruk uttrykket for strålingsbalansen til å kunne beregne overflatetemperaturen til det sorte legemet i modellen. **Fyll inn uttrykket for overflatetemperaturen, $T_{sortlegeme}$, i 'EnkelModell()'**.
- (e) Hvilken overflatetemperatur anslår denne modellen at jordkloden har? Sammenlign med den faktiske gjennomsnittlige overflatetemperaturen til jorda på ca $14.9^\circ C$.

Modell 2, Refleksjon fra atmosfæren tatt i betraktning

2. Forrige modell tok bare høyde for fullstendige sorte legemer, altså legemer som absorberer all innkommende stråling. Dette er ikke realistisk for de aller fleste tilfeller, og vi skal nå lage en modell som bedre kan ta høyde for dette.

Uttrykket albedo beskriver hvor mye stråling som blir reflektert av et legeme. For eksempel vil et legeme med 0.2 albedo reflektere 20% av all innkommende stråling, mens de resterende 80% blir inkludert i strålingsbalansen. For en planet kan det samlede albedoet være en sum av refleksjonsbidragene fra eksempelvis planetoverflaten og atmosfæren (se figur 2).



Figur 3: Viser hvordan deler av innkommende stråling kan bli reflektert av en atmosfære og/eller overflate. Albedo er den samlede prosentandelen stråling som blir reflektert.

- (a) Med albedo tatt i betraktning. Hva blir nå uttrykket for total innstrålt effekt, E_{inn} ?
- (b) Bruk forrige model som basis, men gjør nødvendige justeringer og konstruer en ny modell, **AlbedoModell()**, som tar høyde for albedo.
- (c) Test den nye modellen ved å undersøke jordens strålingsbalanse. Sammenlign den beregnede temperaturen med jordens faktiske temperatur (fra oppgave 1e).

3. Vi skal nå ta høyde for drivhuseffekten i modellen vår. Denne vil kun gjelde for planeter med atmosfære. Det eksisterer eksempelvis ingen drivhuseffekt på månen da den har en negligjerbar atmosfære. Drivhuseffekten fungerer ved at en del av den langbølgede strålingen et legeme utstråler vil bli absorbert i atmosfæren (nærmer bestemt drivhusgasser). Den prosentandelen av den langbølgede strålingen som blir absorbert i atmosfæren kaller vi for **emissiviteten**, ϵ .

Drivhusgassene i atmosfæren vil etter å ha absorbert stråling, emitte stråling i alle retninger. På sett og vis kan man si at deler av strålingen blir fanget i atmosfæren, mens resten forsvinner ut av atmosfæren.

- (a) Drivhuseffekten fører til at strålingsbalansen i modellen vår nå kan uttrykkes som:

$$E_{inn} = E_{ut} \quad (3)$$

$$(1 - \alpha)E \cdot \pi r_{legeme}^2 + \epsilon \sigma T_A^4 \cdot 4\pi r_A = \sigma T_{legeme}^4 \cdot 4\pi r_{legeme}^2 \quad (4)$$

Hvor T_A og r_A er henholdsvis atmosfærens temperatur og radius. Fra denne modellen for strålingsbalansen kan man finne en formel for overflatetemperaturen til legemet. Dere trenger ikke sette dere inn i hvordan man kommer frem til dette.

$$T_{legeme}^4 = \frac{E(1 - albedo)}{4\sigma(1 - \frac{\epsilon}{2})} \quad (5)$$

Fyll inn manglende felt i 'DrivhusModell()' slik at funksjonen returnerer overflatetemperaturen til legemet når du har tatt drivhuseffekten til betraktning.

- (b) I koden ligger funksjonen **emissivitetsberegner()**, denne vil returnere en graf som temperaturen som en funksjon av emissiviteten. Bruk denne til å finne en tilnærmet verdi for emissiviteten til jorda.
- (c) Emissiviteten blir påvirket av konsentrasjonen av drivhusgasser i atmosfæren. En dobling av CO2 kan føre til at emissiviteten på jorda øker med 2%. Hvor stor vil temperaturøkningen være i følge vår strålingsbalanse-modell?

Vedlegg 3: Pythonkode til oppgave 1

```
1. import numpy
2. import math
3. import matplotlib.pyplot as plt
4.
5. #-----Konstanter-----
6.
7. SB = 5.67*10**(-8) #Stefan-Boltzmanns konstant
8.
9. #Konstanter Sola
10. T_s = 5770 #Temperaturen til sola i Kelvin
11. r_s = 696340000 #Radius Sola
12.
13. #Konstanter jorda
14. a_js = 1.49*10**11 #Avstand mellom jorda og sola
15. r_j = 6371000 #Radius Jorda
16. albedo_j = 0.3 #Jordas anslåtte albedo
17. T_j = 290.05 #Faktisk gjennomsnittstemperatur på jorda
18.
19. #Konstanter Rigil Kentaurus
20. a_jrk = 4.125*10**16 #Avstand mellom jorda og Rigil Kentaurus
21. r_rk = r_s #Radius, ca lik størrelse som sola
22. T_rk = 5790 #Temperatur [K]
23.
24. #Konstanter månen
25. a_ms = a_js #Avstand mellom månen og sola (samme som jorda)
26. r_m = 1737.4*10**3 #Radius månen
27. albedo_m = 0.14 #Albedo månen
28.
29. #-----
30.
31. #Oppgave 1: Fyll inn manglende kode/formler i funksjonen
32.
33. def EnkelModell(r_kilde, T_kilde, avstand):
34.     M_kilde = #FYLL INN HER
35.     M_d = M_kilde*(r_kilde/avstand)
36.     T_sortlegeme = #FYLL INN HER
37.     return T_sortlegeme, M_d
38.
39. T,E = EnkelModell( #??? ) #Fyll inn input verdier her
40. print('Innstrålingstetthet: ', M_d )
41. print('Overflatetemperatur: ', T - 273.15 , 'grader Celsius') #Husk og konverter til celsius
```

Vedlegg 4: Pythonkode til oppgave 1 [Løsningsforslag]

```
1. import numpy
2. import math
3. import matplotlib.pyplot as plt
4.
5. #-----Konstanter-----
6.
7. SB = 5.67*10**(-8) #Stefan-Boltzmanns konstant
8.
9. #Konstanter Sola
10. T_s = 5770 #Temperaturen til sola i Kelvin
11. r_s = 696340000 #Radius Sola
12.
13. #Konstanter jorda
14. a_js = 1.49*10**11 #Avstand mellom jorda og sola
15. r_j = 6371000 #Radius Jorda
16. albedo_j = 0.3 #Jordas anslåtte albedo
17. T_j = 290.05 #Faktisk gjennomsnittstemperatur på jorda
18.
19. #Konstanter Rigil Kentaurus
20. a_jrk = 4.125*10**16 #Avstand mellom jorda og Rigil Kentaurus
21. r_rk = r_s #Radius, ca lik størrelse som sola
22. T_rk = 5790 #Temperatur [K]
23.
24. #Konstanter månen
25. a_ms = a_js #Avstand mellom månen og sola (samme som jorda)
26. r_m = 1737.4*10**3 #Radius månen
27. albedo_m = 0.14 #Albedo månen
28.
29. #-----
30.
31. def EnkelModell(r_kilde, T_kilde, avstand):
32.     M_kilde = SB*T_kilde**4
33.     M_d = M_kilde*(r_s/a_js)**2
34.     T_kilde = (M_d/(4*SB))**(0.25)
35.     return T_kilde, M_d
36.
37. T,M = EnkelModell(r_s,T_s,a_js)
38. print('Innstrålingstetthet: ', M )
39. print('Overflatetemperatur: ', T -273.15, 'grader Celsius')
```


Vedlegg 5: Pythonkode til oppgave 2

```
1. import numpy
2. import math
3. import matplotlib.pyplot as plt
4.
5. #-----Konstanter-----
6.
7. SB = 5.67*10**(-8) #Stefan-Boltzmanns konstant
8.
9. #Konstanter Sola
10. T_s = 5770 #Temperaturen til sola i Kelvin
11. r_s = 696340000 #Radius Sola
12.
13. #Konstanter jorda
14. a_js = 1.49*10**11 #Avstand mellom jorda og sola
15. r_j = 6371000 #Radius Jorda
16. albedo_j = 0.3 #Jordas anslåtte albedo
17. T_j = 290.05 #Faktisk gjennomsnittstemperatur på jorda
18.
19. #Konstanter Rigil Kentaurus
20. a_jrk = 4.125*10**16 #Avstand mellom jorda og Rigil Kentaurus
21. r_rk = r_s #Radius, ca lik størrelse som sola
22. T_rk = 5790 #Temperatur [K]
23.
24. #Konstanter månen
25. a_ms = a_js #Avstand mellom månen og sola (samme som jorda)
26. r_m = 1737.4*10**3 #Radius månen
27. albedo_m = 0.14 #Albedo månen
28.
29. #-----
30.
31.
32. #Oppgave 2:
33.
34. def AlbedoModell(r_kilde, T_kilde, avstand, albedo):
35.     M_kilde = #FYLL INN HER
36.     M_d = #FYLL INN HER
37.     T_legeme = #FYLL INN HER
38.     return T_legeme, M_d
39.
40. a = ??? #Fyll inn verdi for albedo
41.
42. T, M = AlbedoModell( #??? ) #Fyll inn inputverdier
43. print('Albedo: ', a)
44. print('Innstrålingstetthet: ', M)
45. print('Overflatetemperatur: ', T, 'grader Celsius') #Husk konvertering til Celsius
```

Vedlegg 6: Pythonkode til oppgave 2 [Løsningsforslag]

```
1. import numpy
2. import math
3. import matplotlib.pyplot as plt
4.
5. #-----Konstanter-----
6.
7. SB = 5.67*10**(-8) #Stefan-Boltzmanns konstant
8.
9. #Konstanter Sola
10. T_s = 5770 #Temperaturen til sola i Kelvin
11. r_s = 696340000 #Radius Sola
12.
13. #Konstanter jorda
14. a_js = 1.49*10**11 #Avstand mellom jorda og sola
15. r_j = 6371000 #Radius Jorda
16. albedo_j = 0.3 #Jordas anslåtte albedo
17. T_j = 290.05 #Faktisk gjennomsnittstemperatur på jorda
18.
19. #Konstanter Rigil Kentaurus
20. a_jrk = 4.125*10**16 #Avstand mellom jorda og Rigil Kentaurus
21. r_rk = r_s #Radius, ca lik størrelse som sola
22. T_rk = 5790 #Temperatur [K]
23.
24. #Konstanter månen
25. a_ms = a_js #Avstand mellom månen og sola (samme som jorda)
26. r_m = 1737.4*10**3 #Radius månen
27. albedo_m = 0.14 #Albedo månen
28.
29. #-----
30.
31.
32. def AlbedoModell(r_kilde, T_kilde, avstand, albedo):
33.     M_kilde = SB*T_kilde**4
34.     M_d = M_kilde*(r_kilde/avstand)**2
35.     T_legeme = (M_d*(1-albedo)/(4*SB))**(1/4)
36.     return T_legeme, M_d
37.
38. a = 0.3 #Albedo
39.
40. T, M = AlbedoModell(r_s,T_s,a_js,a)
41. print('Albedo: ', a)
42. print('Innstrålingstetthet: ', M)
43. print('Overflatetemperatur: ', T-273.15, 'grader Celsius')
```

Vedlegg 7: Pythonkode til oppgave 3

```
1. import numpy
2. import math
3. import matplotlib.pyplot as plt
4.
5. #-----Konstanter-----
6.
7. SB = 5.67*10**(-8) #Stefan-Boltzmanns konstant
8.
9. #Konstanter Sola
10. T_s = 5770 #Temperaturen til sola i Kelvin
11. r_s = 696340000 #Radius Sola
12.
13. #Konstanter jorda
14. a_js = 1.49*10**11 #Avstand mellom jorda og sola
15. r_j = 6371000 #Radius Jorda
16. albedo_j = 0.3 #Jordas anslåtte albedo
17. T_j = 290.05 #Faktisk gjennomsnittstemperatur på jorda
18.
19. #Konstanter Rigil Kentaurus
20. a_jrk = 4.125*10**16 #Avstand mellom jorda og Rigil Kentaurus
21. r_rk = r_s #Radius, ca lik størrelse som sola
22. T_rk = 5790 #Temperatur [K]
23.
24. #Konstanter månen
25. a_ms = a_js #Avstand mellom månen og sola (samme som jorda)
26. r_m = 1737.4*10**3 #Radius månen
27. albedo_m = 0.14 #Albedo månen
28.
29. #-----
30.
31. #Oppgave 3
32.
33. #Funksjon som returnerer temperatur og innstrålingstetthet
34. def DrivhusModell(r_kilde, T_kilde, avstand, albedo, emissivitet):
35.     M_kilde = #FYLL INN HER
36.     M_d = #FYLL INN HER
37.     T = #FYLL INN HER
38.     return T, M_d
39.
40. #Funksjon som plotter en graf med temperatur og emissivitet som funksjonsverdier
41. def EmissivitetBeregner(r_kilde, T_kilde, avstand, albedo):
42.     e = #Fyll inn startverdi for emissivitet. Hva gir mening? Hvordan kan du lese av best resultat?
43.     while e <= ??? : #FYLL INN SLUTTVERDI FOR EMISSIVITET
44.         T,M = DrivhusModell( ??? ) #FYLL INN INPUT VERDIER FOR FUNKSJONEN
45.         plt.plot(e, T, '.') #plotter temperaturen for emissiviteten
```

```

46.     e = e + 0.001 #For hvert steg i løkken øker emissiviteten med 0.001 helt til den når sluttverdien
47.     #Her plottes grafen
48.     plt.title('Overflatetemperatur ved emissivitet')
49.     plt.xlabel('Emissivitet')
50.     plt.ylabel('Temperatur')
51.     plt.show()
52.     return 0
53.
54. EmissivittBeregner(r_s,T_s,a_js,albedo_j)
55.
56. #Fjern hashtaggene på hver linje under for å få output etter
57. #at du har funnet en verdi for emissiviteten
58. #-----
59. #a      = ???
60. #emissivitet = ???
61. #T,M = DrivhusModell( ??? )
62. #print('Albedo: ', a)
63. #print('emissivitet: ', emissivitet)
64. #print('Innstrålingstetthet: ', M)
65. #print('Overflatetemperatur: ', T, 'grader Celsius')

```

Vedlegg 8: Pythonkode til oppgave 3 [Løsningsforslag]

```
1. import numpy
2. import math
3. import matplotlib.pyplot as plt
4.
5. #-----Konstanter-----
6.
7. SB = 5.67*10**(-8) #Stefan-Boltzmanns konstant
8.
9. #Konstanter Sola
10. T_s = 5770 #Temperaturen til sola i Kelvin
11. r_s = 696340000 #Radius Sola
12.
13. #Konstanter jorda
14. a_js = 1.49*10**11 #Avstand mellom jorda og sola
15. r_j = 6371000 #Radius Jorda
16. albedo_j = 0.3 #Jordas anslåtte albedo
17. T_j = 290.05 #Faktisk gjennomsnittstemperatur på jorda
18.
19. #Konstanter Rigil Kentaurus
20. a_jrk = 4.125*10**16 #Avstand mellom jorda og Rigil Kentaurus
21. r_rk = r_s #Radius, ca lik størrelse som sola
22. T_rk = 5790 #Temperatur [K]
23.
24. #Konstanter månen
25. a_ms = a_js #Avstand mellom månen og sola (samme som jorda)
26. r_m = 1737.4*10**3 #Radius månen
27. albedo_m = 0.14 #Albedo månen
28.
29. #-----
30.
31. def DrivhusModell(r_kilde, T_kilde, avstand, albedo, emissivitet):
32.     M_kilde = SB*T_kilde**4
33.     M_d = M_kilde*(r_kilde/avstand)**2
34.     T = (M_d*(1-albedo)/(4*SB*(1-emissivitet/2)))**(1/4)
35.     return T, M_d
36.
37.
38. def EmissivitetBeregner(r_kilde, T_kilde, avstand, albedo):
39.     e = 0.75 #startverdi for emissivitet
40.     while e <= 0.78:
41.         T,M = DrivhusModell(r_s,T_s,a_js,albedo_j,e)
42.         plt.plot(e, T-273.15,') #plotter temperaturen for emissiviteten
43.         e = e + 0.001 #For hvertsteg i løkken øker emissiviteten med 0.001 helt til den når sluttverdien
44.     #Her plottes grafen
45.     plt.title('Overflatetemperatur ved emissivitet')
```

```
46. plt.xlabel('Emissivitet')
47. plt.ylabel('Temperatur')
48. plt.show()
49. return 0
50.
51. EmissivitetBeregner(r_s,T_s,a_js,albedo_j)
52.
53. #Fjern hashtaggene på hver linje under for å få output etter
54. #at du har funnet en verdi for emissiviteten
55. #-----
56. a      = 0.3
57. emissivitet = 0.77
58. T,M = DrivhusModell(r_s, T_s, a_js, a, emissivitet)
59. print('Albedo: ', a)
60. print('emissivitet: ', emissivitet)
61. print('Innstrålingstetthet: ', M)
62. print('Overflatetemperatur: ', T-273.15, 'grader Celsius')
```

Diskusjonsspørsmål til strålingsbalanse

(Husk at kodene inneholder en rekke konstanter dere kan bruke til å diskutere disse oppgavene)

1. Hva er forskjellen på innstrålingstetthet og innstrålt effekt?
2. I disse modellen antar vi at sola som eneste strålingskilde. Diskuter denne antagelsen blant annet ved å se på en av jordas nærmeste stjerner (som også har nærliggende masse som sola), Rigil Kentaurus, som ligger 4.3 lysår fra jorda. Forsøk spesifikt å se på innstrålingstettheten Rigil Kentaurus har på jorda i forhold til det sola har.
3. Diskuter hvordan dere kunne programmert en modell som tar høyde for strålingen jorda mottar fra flere strålingskilder? Hva slags begrensinger vil en slik modell ha?
4. En konsekvens av høyere gjennomsnittstemperatur på jordkloden kan blant annet være at ismasser smelter som kan redusere jordens albedo, samt en økning av drivhusgasskonsentrasjon i atmosfæren etter frigitte drivhusgasser fra opptining av nedkjølt jordgrunn (permafrost).
 - Hva vil en slik økning av jordens albedo og konsentrasjon av drivhusgasser medføre? Kan de sees i sammenheng?
 - Tar vår modell høyde for dette?
 - Hva vil utfordringene med å programmere en slik modell være? Forslag?
5. Hvilken av modellene vil fungere best til å beregne temperaturen på månen?
6. Hvordan opplevde dere å kombinere fysikk og programmering?

Diskusjonsspørsmål til strålingsbalanse

(Husk at kodene inneholder en rekke konstanter dere kan bruke til å diskutere disse oppgavene)

1. Hva er forskjellen på innstrålingstetthet og innstrålt effekt?
2. Vi skal nå se nærmere på hvorfor modellen vår kun mottar stråling fra én strålingskilde.
 - Betrakt en av jordens nærmeste stjerner, Rigil Kentaurus. Relevante konstanter for denne stjernen finnes i koden. Hvor stor innstrålingstetthet vil denne stjernen ha på jorda i forhold til sola?
 - Rigil Kentaurus er en av de nærmeste og samtidig mest sammenlignbare stjernene til sola. For jordas strålingsbalanse, bør vi konstruere en ny modell som tar høyde for flere strålingskilder enn bare sola, eller vil den nåværende modellen være tilstrekkelig?
 - Diskuter hvordan dere kunne programmert en modell som tar høyde for strålingen jorda mottar fra flere strålingskilder? Hva slags begrensinger vil en slik modell ha?
3. En konsekvens av høyere gjennomsnittstemperatur på jordkloden kan blant annet være at ismasser smelter. Dette kan redusere jordens albedo, samt øke konsentrasjonen av drivhusgassene i atmosfæren som følge av frigitte drivhusgasser fra opptining av nedkjølt jordgrunn (permafrost).
 - Hva vil en slik økning av jordens albedo og konsentrasjon av drivhusgasser medføre? Kan de sees i sammenheng?
 - Tar vår modell høyde for dette?
 - Hva vil utfordringene med å programmere en slik modell være? Forslag?
4. Hvilken av modellene vil fungere best til å beregne temperaturen på månen?
5. Hvordan opplevde dere å kombinere fysikk og programmering?

Vil du delta i forskningsprosjektet

Modeller og programmering i fysikk

Dette er et spørsmål til deg om å delta i et forskningsprosjekt hvor formålet er å undersøke hvordan programmering og fysikk kan kombineres for å støtte opp under den nye læreplanen i Fysikk 1. I dette skrevet gir vi deg informasjon om målene for prosjektet og hva deltakelse vil innebære for deg.

Formål

Dette forskningsprosjektet blir gjort i forbindelse med en masteroppgave i fysikkdidaktikk ved NTNU. I dette forskningsprosjektet ønsker vi å utforske undervisningsmetoder tilpasset den nye læreplanen i fysikk 1. Mer spesifikt vil vi fokusere på det nye kompetansemålet «bruke modeller av strålingsbalansen til jorda til å gjøre beregninger, og vurdere hvordan endringer på jordoverflaten og i atmosfæren påvirker denne balansen». Nærmest tilsvarende kompetansemål ved forrige læreplan fokuserte kun på bruk av Stefan-Boltzmanns lov, mens det nye målet fokuserer i større grad på et mer helhetlig bilde hvor Stefan-Boltzmanns lov inngår.

I dette prosjektet vil vi knytte nevnt kompetansemål til læreplanens kjerneelement om praksiser og tankemåter i fysikk som forteller at eleven skal lære om hvordan naturvitenskapelige metoder og modeller blir utviklet og brukt. I tillegg til hvordan (blant annet) programmering og modeller kan bli brukt for å forstå fysiske sammenhenger og fenomener.

Formålet i prosjektet blir å utforske hvorvidt eller i hvilken grad programmering og numerisk fysikk kan bli brukt som et verktøy for å gi eleven et større innblikk i naturvitenskapens egenart ved å bruke en arbeidsmetode som kan være mer tro til en fysikers arbeidsmetode.

Hvem er ansvarlig for forskningsprosjektet?

Professor ved NTNU, Berit Bungum, er ansvarlig for prosjektet.

Hvorfor får du spørsmål om å delta?

Din faglærer i Fysikk 1 har gitt tillatelse til at undervisningsøkten 21.10.21 blir avholdt av en lektorstudent i fysikk ved NTNU. Dette er den eneste klassen som blir brukt i dette forskningsprosjektet.

Hva innebærer det for deg å delta?

Hvis du velger å delta i prosjektet innebærer det at du deltar i undervisningstimen som du ville gjort ellers. Du vil bli bedt om å besvare oppgaver numerisk ved hjelp av programmering, samt enten skriftlig eller ved egenprodusert lydopptak. Innlevering av eventuelt arbeid til prosjektet vil være frivillig. Om ønskelig er det også mulighet for å delta i et frivillig gruppeintervju etter undervisningstimen. Det vil bli tatt lydopptak av gruppeintervjuet.

Foreldre til elever under 18 år kan få se intervjuguiden på forhånd ved å ta kontakt med prosjektansvarlig.

Det er frivillig å delta

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

Om du velger å ikke delta i forskningsprosjektet vil du fortsatt få mulighet til å delta i undervisningen uten at noe informasjon om deg samles inn til forskningsprosjektet. Datamateriale du leverer inn til forskningsprosjektet vil ikke ha noen innvirkning på din karakter.

Ditt personvern – hvordan vi oppbevarer og bruker dine opplysninger

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

- Masterstudent og prosjektansvarlig vil ha tilgang til datamaterialet som blir samlet inn.

- Navnet og kontaktopplysningene dine vil jeg erstatte med en kode som lagres på egen navneliste adskilt fra øvrige data. Navn ved transkribering vil få ulike alias. Eventuelle lydfiler og oppgavebesvarelser vil bli kryptert.

I publikasjonen av masteroppgaven vil det ikke bli oppgitt noen opplysninger som vil kunne knytte deg til prosjektet.

Hva skjer med opplysningene dine når vi avslutter forskningsprosjektet?

Alt av datamateriale slettes/makuleres når prosjektet avsluttes/oppgaven er godkjent, noe som etter planen er 30.06.22.

Hva gir oss rett til å behandle personopplysninger om deg?

Vi behandler opplysninger om deg basert på ditt samtykke.

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

Dine rettigheter

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

- innsyn i hvilke opplysninger vi behandler om deg, og å få utlevert en kopi av opplysningene
- å få rettet opplysninger om deg som er feil eller misvisende
- å få slettet personopplysninger om deg
- å sende klage til Datatilsynet om behandlingen av dine personopplysninger

Hvis du har spørsmål til studien, eller ønsker å vite mer om eller benytte deg av dine rettigheter, ta kontakt med:

- NTNUs institutt for fysikk ved Berit Bungum, berit.bungum@ntnu.no (prosjektansvarlig) eller Johan Fredrik Berthling Herberg, johanfhe@stud.ntnu.no (masterstudent).
- Vårt personvernombud: Thomas Helgesen, thomas.helgesen@ntnu.no

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

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

Med vennlig hilsen

Berit Bungum
(Forsker/veileder)

Johan Fredrik Berthling Herberg
(Masterstudent)

Samtykkeerklæring

Jeg har mottatt og forstått informasjon om prosjektet Modeller og Programmering i Fysikk, og har fått anledning til å stille spørsmål. Jeg samtykker til:

- Oppgavebesvarelsene mine kan samles inn
- å delta i innsamling av egenprodusert lydopptak av gruppediskusjon
- å delta i gruppeintervju med lydopptak etter undervisningstimen

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

(Signert av prosjektdeltaker, dato, fødselsdato)

Intervjuguide

Det andre eventuelle intervjuet vil være et «klassisk» gruppeintervju:

Gruppestørrelse: 3-5 elever + masterstudent (intervjuer)

Lydopptak: ja

Fokusspørsmål

- Elevenes generelle opplevelse av undervisningstimen
- Hvordan opplevde elevene den numeriske delen av oppgaven
 - Vanskelighetsgrad?
 - Følte dere at programmering kan være relevant for fysikken?
 - Hvordan fungerte det å kombinere fysikk og programmering?
- Hva tenker dere om dette opplegget som en mer realistisk måte å jobbe med fysikk på?
 - Anvendbart?
 - Tro til en fysikers arbeidshverdag?
 - Relevant utenfor skolehverdagen?
- Elevenes opplevelse av modeller i fysikk
 - Hvordan bruker vi modeller i fysikk?
 - Hvordan opplever dere å knytte teori til matematikk/formler?
 - Måtte dere angripe problemene annerledes med tanke på at dere skulle konstruere en modell ved hjelp av programmering?

