



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2021 30 stp
Fakultetet for realfag og teknologi

Modellering i fysikk: et bidrag til utdanning for bærekraftig utvikling? En kvalitativ studie av fysikklæreres refleksjoner

Modelling in Physics: A Contribution to Education
for Sustainable Development?
A Qualitative Study of Physics Teachers' Reflections

Silje Synøve Johansen
Lektorutdanning i realfag

Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på en fin studietid. Gjennom fem år som lektorstudent ved Norges Miljø- og Biovitenskaplige Universitet (NMBU) har jeg fått god faglig- og pedagogisk kunnskap. Nå blir det spennende å bringe med meg erfaringene i en ny og annerledes hverdag.

En stor takk går til fysikklærerne som stilte opp i studien. Det betyr mye at dere ville sette av tid til intervju i en travel lærerhverdag. Denne masteroppgaven ville ikke vært mulig å gjennomføre uten dere! Videre fortjener min veileder, Gerd Johansen, en stor takk.

Tilbakemeldinger fra deg har jeg verdsatt høyt. Det har vært utfordrende å skrive masteroppgave under en pandemi, men takket være dine støttende og oppmuntrende ord har jeg kommet meg i mål.

Takk til gode venner, familie og samboer for hjelp og motiverende samtaler gjennom denne tiden.

Ås, juni 2021

Silje Synøve Johansen

Sammendrag

Denne masteroppgaven søker å besvare forskningsspørsmålet: «*Hvilke refleksjoner gjør fysikklærere seg om hva modellering kan bidra med i utdanning for bærekraftig utvikling?*». Som en følge av fagfornyelsen har bærekraftig utvikling blitt et av tre tverrfaglige temaer som skal inn i flere fag, deriblant i fysikk. Utdanning som tar sikte på å forberede elever på å leve bærekraftige liv kan karakteriseres som Utdanning for Bærekraftig Utvikling (UBU). Ved å studere læreplanen i fysikk kommer det frem at modellering har en sentral plass i faget. Aktualiteten til UBU og modellering er bakgrunnen for at denne studien vil fremheve sammenhenger mellom temaene, med utgangspunkt i fysikklæreres refleksjoner. For å begrense oppgaven har jeg valgt å undersøke om nøkkelkompetansene systemforståelse og kritisk tenkning kan øves gjennom modellering. Innenfor UBU-litteraturen er begrepet nøkkelkompetanser ansett som viktige kompetanser for å handle bærekraftig.

For å besvare forskningsspørsmålet har studien hatt en kvalitativ tilnærming i form av intervjuer med fem fysikklærere fra ulike videregående skoler. Deres refleksjoner rundt tematikken har blitt analysert ved hjelp av en tematisk analysestrategi.

Som et resultat av masteroppgavens drøftinger kommer det frem at modellering i fysikk kan være et bidrag til UBU gjennom mulighetene for å øve systemforståelse og kritisk tenkning. Fysikklærerne ser nemlig flere muligheter for at arbeidsmåten kan øve nøkkelkompetansene. Elementer ved systemforståelse kan øves gjennom modellering av ordnede systemer. Dette er systemer som særlig vektlegges gjennom fysikkundervisning i dag. Likevel fremhever lærerne at denne nøkkelkompetansen tilrettelegges bedre ved modelleringer av systemer med høyere kompleksitet. Den nye læreplanen i fysikk kan trolig være et bidrag til å undersøke slike systemer. Kritisk tenkning fremstår å kunne øves gjennom elevenes planlegging av modelleringen, samt refleksjoner rundt datainnsamlingen. Derimot er det særlig gjennom vurderingen av utarbeidede modeller nøkkelkompetansen synliggjøres. Lærerne reflekterer likevel over at denne kompetansen blant annet er tidkrevende å øve, samt at for mye tilrettelegning kan begrense den kritiske tenkningen hos elevene. Både systemforståelse og kritisk tenkning kan benyttes på temaer i undervisning som ikke omhandler bærekraftig utvikling. Til tross for dette kan kompetansene tenkes å overføres til å forstå slike dagsaktuelle problemstillinger senere.

Abstract

This master thesis seeks to answer the research question: «What are physics teachers' reflections on how modelling can contribute to education for sustainable development?». As a result of the renewal of the curriculum, called “fagfornyelsen”, sustainable development has become one of three interdisciplinary topics that will be incorporated in several subjects, including physics. Education that aims to prepare students to live sustainable lives can be characterized as Education for Sustainable Development (ESD). The curriculum in physics shows that modelling has a central role in the subject. The relevance of ESD and modelling is the background for this research project. It will highlight connections between these two topics, based on physics teachers' reflections. To limit the thesis, I have chosen to assess if the key competencies system thinking and critical thinking can be practiced through modelling.

To answer the research question, the study has had a qualitative approach. Five physics teachers from different upper secondary schools have been interviewed, and their reflections have been analyzed with a thematic analysis.

This thesis argues that modelling in physics can be a contribution to ESD by facilitating system thinking and critical thinking. The physics teachers see several opportunities for the chosen key competencies to be exercised through modelling. By modelling ordered systems, elements of system thinking can be practiced. Ordered systems are particularly emphasized through physics instruction today. Nevertheless, several teachers emphasize that this key competence is better facilitated by modelling systems with higher complexity. The new curriculum in physics can presumably be a contribution to examining such systems. Critical thinking can be exercised through the students' preparations of the modelling, as well as reflections on the data collection. However, it is particularly practiced through the assessment of prepared models. Nevertheless, the teachers reflect on the fact that this key competence is time-consuming to practice, and that too much assistance can limit the students' critical thinking. Both system thinking and critical thinking can be used in topics that do not deal with sustainable development. However, these competences can conceivably be transferred to understand such current issues later.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn og motivasjon for valg av tema og aktualitet	1
1.2	Avgrensning og forskningsspørsmål	3
1.3	Oppgavens oppbygning og struktur	4
2	Teori	5
2.1	Utdanning for Bærekraftig Utvikling (UBU)	5
2.1.1	Implementeringen av UBU i skolen og fysikkfaget	6
2.1.2	Nøkkelpotensialer for bærekraftig utvikling	8
2.2	Modellering	16
2.2.1	Modeller i fysikkundervisning	16
2.2.2	Modellering og læreplanene i fysikk	17
2.2.3	Modellering i naturvitenskapen	18
2.2.4	Modellering i undervisning	19
2.2.5	Modelleringskompetanse	22
3	Metode	25
3.1	Forskningstilnærming og forskningsstrategi	25
3.2	Utvalg av informanter	26
3.3	Det semistrukturert dybdeintervjuet som forskningsmetode	27
3.3.1	Utforming av intervjuguide	28
3.3.2	Gjennomføring av intervjuer	29
3.4	Analysestrategi	30
3.5	Vektleggingen og bruk av sitater i studien	34
3.6	Forskningens kvalitet	34
3.6.1	Reliabilitet (pålitelighet)	34
3.6.2	Validitet (gyldighet)	35
3.7	Etiske betraktninger	36
4	Resultater og diskusjon	38
4.1	Fysikklærernes forståelse og bruk av modellering i undervisning	38
4.1.1	Fysikklærernes forståelse av modellbegrepet	39
4.1.2	Fysikklærernes forståelse og bruk av modellering	41
4.2	Muligheter og begrensninger for å øve systemforståelse gjennom modellering	46
4.2.1	Muligheter og begrensninger på ordnede systemer	47
4.2.2	Muligheter og begrensninger på komplekse systemer	57
4.3	Muligheter og begrensninger for å øve kritisk tenkning gjennom modellering	63

4.3.1	Muligheter for kritisk tenkning under planlegging og datainnsamling	64
4.3.2	Muligheter for kritisk tenkning i den avsluttende fasen	65
4.3.3	Begrensninger for kritisk tenkning i modellering	66
4.3.4	Diskusjon	68
5	Systemforståelse og kritisk tenkning i modellering - sett i lys av UBU	71
5.1	Avsluttende konklusjon og videre forskning	74
Vedlegg		79
Vedlegg 1 – Intervjuguide		79
Vedlegg 2 - Samtykkeskjema		81

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og motivasjon for valg av tema og aktualitet

Gjennom videregående og tiden på lektorstudiet har matematikk og fysikk vært givende og inspirerende fag. Fysikk har utmerket seg spesielt da det har gitt meg utfordringer i arbeidsmåter og tankesett, men også mestringsfølelse. I tillegg har faget gitt innsikter i hvordan verden rundt meg fungerer. På bakgrunn av dette har det vært lettere å forstå, ta stilling til, og se løsninger på utfordringer i samfunnet. Da tiden nærmet seg for å peile ut en retning for masteroppgaven i fysikkdidaktikk, hadde jeg flere runder med meg selv og samtaler med veileder. Etter hvert ble veien tydeligere - fagets rolle i å kunne utdanne elever for å møte framtidens utfordringer ble en motivasjon!

Vitenskapelig evidens og argumentasjon ligger bak mange avgjørelser som blir tatt i dagens samfunn. Elever bør igjennom fysikkfaget få grunnleggende kunnskap om naturvitenskap som gjør de i stand til å forstå og være delaktige i samfunnsaktuelle beslutninger (Angell et al., 2019, s. 19). De allmenndannende sidene ved fysikkfaget skal ifølge gjeldende læreplan i fysikk vektlegges (Utdanningsdirektoratet, 2006, s. 2). Det er en pågående prosess for å fornye læreplanene i skolen, kalt fagfornyelsen. I den nye læreplanen i fysikk, som innføres fra høsten 2021, står det også at faget skal gi innsikter i argumentasjoner og hvordan fysiske prinsipper kan være med å bedre klimasituasjonen (Utdanningsdirektoratet, 2021, s. 3). Klimaproblematikk og miljøutfordringer er høyst samfunnsaktuelle temaer, og noe vi til stadighet hører om i mediene. Det er slike samfunnsaktuelle temaer, der det kreves et spesielt engasjement fra enkeltmennesker, som er bakgrunnen for de tverrfaglige temaene som blir presentert i den nye overordnede delen av fagfornyelsen. Bærekraftig utvikling er et av disse og har fått en plass i flere fag, deriblant da i fysikk 1 og fysikk 2. Aktualiteten til bærekraftig utvikling i fagfornyelsen, og den eksplisitte implementeringen av tematikken i fysikkfaget, oppleves for meg veldig interessant.

En tanke med innføringen av bærekraftperspektivet i skolen, som Sinnes (2015, s. 39) skriver om, er at kunnskap om bærekraftige temaer alene ofte ikke er nok. Elevene må også utvikle kompetanser som gjør de i stand til å ta stilling til og forstå komplekse problemstillinger, samt handle bærekraftig. Slike kompetanser kan være systemforståelse og kritisk tenkning (s. 41-42). Fokuset på kompetanser, som det er skrevet mye om innenfor litteraturen i utdanning for bærekraftig utvikling, gjorde at jeg begynte å trekke linjer til hvordan fysikkfaget og dens egenart kan legge til rette for dette.

Fysikkfagets egenart kan gå under naturvitenskapens egenart, ofte forkortet NOS (Nature of Science), og inneholder flere perspektiver. McComas (2020, s. 40) presenterer tre hovedperspektiver, nemlig verktøy og produkter i vitenskapen, vitenskapelig kunnskap og dens begrensninger, samt de menneskelige elementene av vitenskapen (egen oversettelse). Under verktøy og produkter i vitenskapen blir det å modellere sett på som en akseptabel og nødvendig aktivitet av mange vitenskapsmenn (s. 46). Fra dagligtalen kjenner vi til modellbegrepet i flere sammenhenger. På museum kan vi se modeller av kjente bygninger, eller vi kan stå modell for en fotograf. En vitenskapelig modell blir derimot beskrevet av Oh og Oh (2011, s. 1113) som en representasjon av et fenomen og fungerer som en sammenkobling mellom teorien og fenomenet. Siden 1980-tallet har vitenskapelige modeller også fått en mer sentral rolle. Modeller ble da virkelig ansett som relevante for vitenskapelige funn, og dermed fikk funksjonene til modeller et økende fokus i forskningsprosesser (Upmeier zu Belzen et al., 2019, s. 3). I dag anser mange forskere det å lage modeller, modellering, som selve ryggraden i kunnskapsbygging av systemer og fenomener av virkeligheten (Constantinou et al., 2019, s. 39). At modellering har en sentral og viktig del også i fysikkfaget, ser vi igjen i fagets læreplan. Det står skrevet at «programfaget skal bidra til å vise fysikkfagets bruk av matematikk og hvordan matematikken brukes til å modellere virkeligheten» (Utdanningsdirektoratet, 2006, s. 2). I den nye læreplanen legges det også vekt på at elever generelt skal lage modeller til å beskrive og forutsi fysiske fenomener (Utdanningsdirektoratet, 2021, s. 5).

På bakgrunn av modelleringens sentrale rolle i fysikken, og det økende fokuset på å legge til rette for kompetanser for bærekraftig utvikling, ble jeg nysgjerrig på om modellering i fysikk har et potensial til å bygge opp under slike kompetanser. Denne masteroppgaven belyser refleksjoner fra et utvalg fysikklærere om modellering i fysikk for å fremme noen såkalte nøkkelkompetanser innenfor utdanning for bærekraftig utvikling. Studien vil være et bidrag til hvordan fysikkfaget kan omfavne dette. På den måten ønsker jeg å presentere kunnskap som kan gi meningsfull og givende fysikkundervisning, og som frembringer kompetente elever i møte med nåtidens og fremtidens utfordringer.

1.2 Avgrensning og forskningsspørsmål

Studiens hensikt er å undersøke hvilke refleksjoner fysikklærere gjør seg om modellering i fysikk som bidragsyter til utdanning for bærekraftig utvikling. **Forskningsspørsmål** er:

Hvilke refleksjoner gjør fysikklærere seg om hva modellering kan bidra med i utdanning for bærekraftig utvikling?

Med dette forskningsspørsmålet er formålet å få et overblikk over modellering- og bærekrafts tematikken blant fysikklærere. For å kunne danne et godt grunnlag for å besvare forskningsspørsmålet, er det hensiktsmessig å undersøke hvordan fysikklærere forstår og bruker modellering i undervisning i dag. Deres forståelse og gjennomføring av modellering vil trolig også legge føringer for hvilke muligheter og begrensninger de ser for implementeringen av utdanning for bærekraftig utvikling ved bruk av denne arbeidsmåten. For å avgrense masteroppgaven fokuserer jeg på lærernes refleksjoner rundt systemforståelse og kritisk tenkning som sentrale nøkkelkompetanser for å ruste elevene for fremtiden. Dette har gjort at følgende underspørsmål til forskningsspørsmålet er formulert:

- 1) *Hvordan forstår fysikklærere modellering og hvordan brukes det i undervisning i dag?*
- 2) *Hvilke muligheter og begrensninger ser fysikklærere for at nøkkelkompetansen systemforståelse kan øves gjennom modelleringsarbeid i fysikk?*
- 3) *Hvilke muligheter og begrensninger ser fysikklærere for at nøkkelkompetansen kritisk tenkning kan øves gjennom modelleringsarbeid i fysikk?*

I selve forskningsspørsmålet benyttes verbet «å reflektere». Det er derfor hensiktsmessig å legge frem hva jeg legger i begrepet. Å kunne reflektere er et viktig grunnlag for profesjonelle læreres læring, samt nødvendig for endring i pedagogisk praksis (Klemp, 2013, s. 50).

Bærekraftig utvikling som tverrfaglig tema i fagfornyelsen er en endring, og derfor noe det kan anses som hensiktsmessig å reflektere rundt. Men hva innebærer det egentlig å reflektere? I fysikken kjennes begrepet igjen som når en lys- eller lydbølge kommer tilbake i møte med et annet stoff eller grenseflate. Det at refleksjon handler om at noe vender eller snur kommer fra det etymologiske opphavet til begrepet. Refleksjon brukes også om noe vi mennesker gjør. Ifølge Klemp (2013, s. 43) kan det også her være interessant å se på den etymologiske betydningen. Det at noe kommer tilbake kan handle om å se eller gå inn i noe på nytt, og at vi trenger å speile eller bryne tankene mot noe. I tillegg kan det forstås som noe vi kan endre ved å bøye og bende, samt plukke fra hverandre. Refleksjonsbegrepet i form av «å tenke» er mye brukt i undervisningssammenheng, men det kan derimot oppleves som lite konkret (s. 43).

Klemp (2013, s. 45) viser til at refleksjon er «noe som skjer i bevisstheten i et dialogisk møte med verden som skal gi nye erfaringer og ny kunnskap». En refleksjonsprosess har ingen forhåndsbestemte resultater. Det er en situasjonsbestemt og autonom prosess ettersom vi sanser og tolker ulikt i ulike kontekster (s. 45).

For forskningsspørsmålet er det hensiktsmessig å bruke refleksjonsbegrepet, da spørsmålet er lite utforsket tidligere og har ingen forhåndsbestemte svar. Gjennom lærernes dialogiske møte med sine egne sanser vil nye erfaringer og kunnskap kunne frembringes.

Videre i denne masteroppgaven vil også begrepene *fenomen* og *system* brukes løpende. Det kommer av at den fysikkdidaktiske litteraturen om modellering i stor grad bruker begrepet fenomen, mens litteraturen om systemforståelse rimelig nok benytter seg av begrepet system. I fysikken er det essensielt å forstå elementer og interaksjoner i fenomener som skal modelleres. Nettopp elementer og interaksjoner er noe systemlitteraturen kaller et system, i tillegg til at systemet bør ha en hensikt (Arnold & Wade, 2015; Meadows, 2008). Begrepene kan altså forstås som til dels overlappende. For oppgavens praktiske formål er det lite hensiktsmessig å gjøre et skille her. Jeg velger hovedsakelig å benytte meg av begrepene slik de er brukt i litteraturen, men vil være tydelig når det gjøres en sammenkobling.

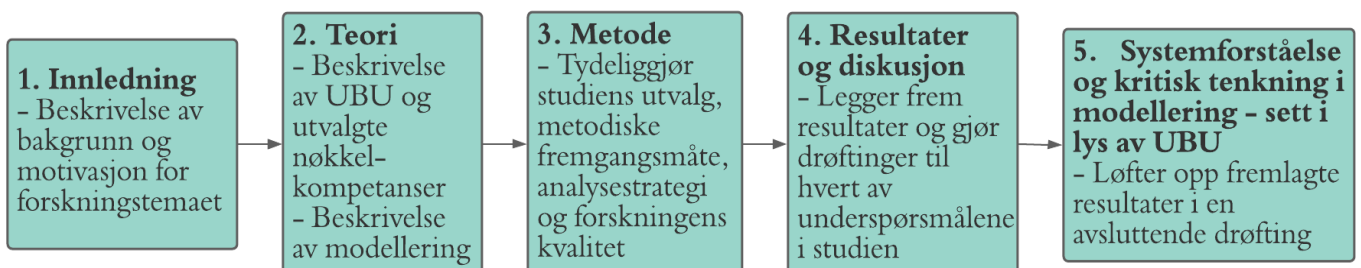
1.3 Oppgavens oppbygning og struktur

Utarbeidelsen av masteroppgaven har overordnet sett hatt en abduktiv tilnærming.

Begrunnelsen for dette er at intervjuguiden i studien er utformet med bakgrunn i litteratur.

Derimot har litteraturutvalget senere blitt finjustert etter det empiriske materialet.

Strukturen i oppgaven er fremstilt i figur 1. Gjennom kapittel 1 har jeg introdusert forskningstema. Videre vil kapittel 2 danne det teoretiske grunnlaget for oppgaven. Her vil Utdanning for Bærekraftig Utvikling (UBU) og modellering bli presentert. Videre tar kapittel 3 for seg metodikken. Her forklares det også hvordan innsamlede data har blitt analysert. I kapittel 4 legges resultatene frem og diskuteres. Kapittel 5 vil være en avsluttende drøfting av forskningsspørsmålet, samt tanker om videre forskning på området.



Figur 1: Denne figuren viser overordnet oppgavens oppbygning og struktur.

2 Teori

I dette kapittelet vil det teoretiske grunnlaget for å kunne belyse forskningsspørsmålet legges frem. Kapittel 2.1 vil ta for seg UBU fra et overordnet perspektiv i skolen og i fysikkfaget. Her vil også begrepet nøkkelkompetanser bli presentert. Kapittel 2.2 konsentrerer seg om modeller og modellering i naturvitenskap og fysikk.

2.1 Utdanning for Bærekraftig Utvikling (UBU)

Den 1. september 2017 ble det vedtatt ny overordnet del av læreplanen. Den ble innført i skolen fra høsten 2020, hvor bærekraftig utvikling er presentert som et tverrfaglig tema. Kunnskapsdepartementet (2017, s. 14) skriver at «bærekraftig utvikling handler om å verne om livet på jorda og ta vare på behovene til menneskene som lever i dag, uten å ødelegge framtidige generasjoners mulighet til å dekke sine behov». Denne definisjonen av bærekraftig utvikling er i overensstemmelse med beskrivelsen i rapporten «vår felles fremtid» fra 1987 (WCED, 1987). Det var igjennom denne rapporten begrepet ble introdusert for første gang, som et resultat av at FN i 1987 dannet en Verdenskommisjon for miljø og utvikling. Etter denne innføringen har begrepet blitt mye brukt, men definisjonen kan likevel oppleves lite konkret. I 2015 ble derimot 17 såkalte bærekraftsmål omfavnet av FNs generalforsamling.

Dette er satte mål som fungerer som en pekepinn for å bekjempe fattigdom og ulikheter, samt stoppe klimaendringer innen 2030 (FN-sambandet, 2021). Gjennom disse målene, som er presentert i figur 2, synliggjøres det hva som bør jobbes med for å nå en bærekraftig utvikling.



Figur 2: FNs 17 bærekraftsmål for bekjempelse av fattigdom, ulikheter og klimaendringer innen 2030. Hentet fra FN-sambandet (2021).

Bærekraftsmål nummer 4 er god utdanning. Rieckmann, Mindt og Gardiner (2017, s. 7) fremhever gjennom sin artikkel skrevet for UNESCO, om utdanningens viktige rolle i veien mot en bærekraftig utvikling. Grunnen til dette er at individer må få kunnskap, ferdigheter, verdier og holdninger som kan styrke oss som bidragsyttere i denne dagsaktuelle problematikken, og dette er noe utdanning kan støtte opp under. Målet om at elever gjennom utdanningen skal forberedes og utrustes på å leve bærekraftige liv, samt bidra slik at nålevende og framtidige generasjoner kan få gode levevilkår, kalles Utdanning for Bærekraftig Utvikling (UBU) (Sinnes, 2015, s. 13). Rieckmann et al. (2017) skriver også at

UBU sikter på å fremme utvikling av kompetanser som kan bevege samfunnet i en mer bærekraftig retning. Gjennom en slik kompetanseinnføring vil utdanningen være en viktig del for å nå de 16 andre bærekraftsmålene (s. 8).

UBU handler altså blant annet om å utvikle og fremme spesifikke kompetanser hos elevene, slik som Rieckmann et al. (2017) skriver. Derfor er underspørsmålene til mitt forskningsspørsmål spesifisert til hvorvidt modellering i fysikk kan være et bidrag til å støtte opp under slike kompetanser. Jeg vil utdype nærmere hva som inngår i disse kompetansene, men først se nærmere på UBU fra et mer overordnet perspektiv i skolen og fysikkfaget.

2.1.1 Implementeringen av UBU i skolen og fysikkfaget

Innføringen av bærekraftig utvikling som et tverrfaglig tema i fagfornyelsen er en fremmede faktor for UBU i norsk skole (Bjønness & Sinnes, 2019). Bjønness og Sinnes (2019) har igjennom en kvalitativ studie i Norge kommet frem til ni faktorer som hemmer og/eller fremmer UBU. Det viser seg at mange av aktørene i skolen er positive til innføringen, men flere sitter og venter på hverandre. Lærere er en aktør som blir fremhevet som både en fremmede og hemmende faktor. Eksempelvis kan de være fremmede for UBU ved at de har egen autonomi og kan drive frem et personlig UBU – engasjement, men samtidig kan dette også føre til at enkelte lærere blir sittende med mye ansvar (s. 11).

Forskning synliggjør at lærere og skoleledelse ikke bør være bekymret for en satsing på UBU. Laurie, Nonoyama-Tarumi, Mckeown og Hopkins (2016) presenterer en forskning som viser at innføring av UBU bidrar til kvalitet i utdanningen. Studien tar utgangspunkt i rapporter fra 18 forskjellige land. Rapportene bygger igjen på intervjuer med utdanningsledere og de som har praktisert UBU. Laurie et al. (2016) påpeker derimot at konseptet kvalitet i utdanning er i stadig endring, og at det er liten enighet om hva begrepet egentlig innebærer. De viser til en definisjon av UNESCO som vektlegger to grunnleggende aspekter. Det første aspektet er at kognitiv utvikling er sentralt, og det andre er at utdanning skal fremme verdier, holdninger, kreativitet og emosjonell utvikling (s. 228). I studien deres har de valgt at innhentede rapporter skal bygge på refleksjoner rundt spørsmål fra tre andre prinsipper for kvalitet i utdanningen. Kort fortalt er det et økonomisk aspekt som vektlegger målbare prestasjoner. Et annet aspekt som setter studentens utvikling i sentrum, og til slutt et syn hvor kunnskap og tidsaktuelle problemstillinger må knyttes sammen. Studien avslører at innføringen av UBU gir elever som opplever meningsfull læring (s. 234), og fremmer kunnskaper, ferdigheter, perspektiver og verdier som er viktig for et bærekraftig samfunn (s. 240).

I fysikkfagets læreplan som innføres fra høsten 2021, står det følgende om bærekraftig utvikling:

I fysikk handler det tverrfaglige temaet bærekraftig utvikling om forståelse av fysiske sammenhenger som er sentrale for å forstå klimautfordringene. Videre handler det om hvordan innsikt i fysiske prinsipper kan bidra til løsninger som kan bedre klimasituasjonen og møte framtidens behov for bærekraftig energi.
(Utdanningsdirektoratet, 2021, s. 3).

At fysikk er et viktig fag for å legge til rette for bærekraftig utvikling er det trolig få som vil argumentere imot. Som fremhevet i fagets læreplan er forståelse av fysiske prinsipper viktig i klimadebatten. Ifølge Doscher, Hazari, Potvin og Klotz (2015, s. 99) gir fysikkfag også gode muligheter for å forstå problemer knyttet til bærekraft. De gjorde derimot en spørreundersøkelse i USA hvor et av flere mål var å finne ut hvor ofte bærekrafttemaer, som blant annet klimaendringer og vanntilførsel, ble tatt opp i fysikk, samt om inkludering av bærekraft kunne fremme elevens egen tro på at de kan påvirke verden gjennom vitenskapelig kunnskap. Dette kalte de «science agency belief». Studien bygger på erfaringer studenter på høyere utdanning har fra vitenskapsfagene på videregående. Det viser at bærekrafttemaer hovedsakelig sjeldnere blir tatt opp i fysikk enn i biologi og kjemi. Innføring av visse bærekrafttemaer i fysikk antas derimot å kunne ha en positiv effekt på elevenes tro på å påvirke verden (s. 102). Selv om studien er gjort i USA, anser jeg den som overførbar til at fysikkfaget generelt har et potensial til å omhandle bærekraftig utvikling. Det kan likevel, ut ifra studien til Doscher et al. (2015), virke som at fagets potensial ikke blir utnyttet.

I en UBU-sammenheng er det viktig at elever får kunnskap *om* bærekraftig utvikling. Dette kan tenkes å være teoretisk informasjon tilknyttet eksempelvis klimaendringer. Sinnes (2015, s. 51) vektlegger at UBU i tillegg bør synliggjøre undervisning *i*, *som*, og *for* bærekraftig utvikling. Undervisning *i* og *som* bærekraftig utvikling handler henholdsvis om å få erfaringer utenfor klasserommet og at elever lærer bærekraft i praksis. Eksempler på dette kan være å dra på ekskursjoner og lære søppelhåndtering. Til slutt er læring *for* en bærekraftig utvikling ofte sett i lys av å fremme nøkkelkompetanser, og derfor preposisjonen denne masteroppgaven vektlegger. Elevene bør utvikle sentrale kompetanser som er viktig for bærekraftig utvikling. I den overordnede delen av fagfornyelsen står det at bærekraftig utvikling handler om at elever skal utvikle kompetanser slik at de kan utføre etiske og miljøbevisste handlinger (Kunnskapsdepartementet, 2017, s. 13). Om fysikkfaget har et potensial til å fremme dette gjennom modellering, vil være det videre fokuset i oppgaven.

2.1.2 Nøkkelkompetanser for bærekraftig utvikling

Begrepet nøkkelkompetanser er gjennomgående i litteraturen om UBU. Før en beskrivelse av dette begrepet synliggjøres, er det hensiktsmessig å belyse kompetansebegrepet. I fagfornyelsen blir det lagt vekt på at kompetansebegrepet bygger på følgende definisjon:

Kompetanse er å kunne tilegne seg og anvende kunnskaper og ferdigheter til å mestre utfordringer og løse oppgaver i kjente og ukjente sammenhenger og situasjoner. Kompetanse innebærer forståelse og evne til refleksjon og kritisk tenkning (Kunnskapsdepartementet, 2017, s. 11).

Wiek, Withycombe og Redman (2011, s. 204) definerer begrepet som «et funksjonelt koblet kompleks av kunnskaper, ferdigheter og holdninger som muliggjør oppgaveutførelse og oppgaveløsning». Denne beskrivelsen er i stor overenstemmelse med Glasser og Hirsh (2016, s. 126) sin forståelse av kompetanser.

Felles for definisjonene er at kompetanse krever kunnskaper og ferdigheter for å muliggjøre oppgaveutførelse. Kunnskapsdepartementet (2017, s. 11) beskriver kunnskap som å kjenne til og forstå eksempelvis fakta og teorier. Ferdigheter fremstår som handlinger eller prosedyrer som er nødvendig for å gjøre oppgaver, eller løse problemer. Det kan blant annet være praktiske og sosiale ferdigheter.

Begrepet nøkkelkompetanser er derimot noe som tydeliggjøres av Wiek et al. (2011, s. 204). De påpeker at nøkkelkompetanser er spesielt viktig at elevene tilegner seg for innsats mot en bærekraftig utvikling. Videre i oppgaven velger jeg å bruke begrepet nøkkelkompetanser for de kompetansene som anses spesielt viktig innenfor bærekraftig utvikling.

Flere forfattere har forsøkt å belyse hva som er de sentrale nøkkelkompetansene. Glasser og Hirsh (2016, s. 129) foreslo gjennom sitt forskningsprosjekt fem nøkkelkompetanser, som er «affinity for all life», «state of the planet knowlage», «wise decision making», «modeling sustainable behavior» og «transformative social change». Wiek et al. (2011) har også gjort en litteraturgjennomgang hvor nøkkelkompetansene systemtenkning, normative kompetanse, mellommenneskelig kompetanse, forutseende kompetanse og strategisk kompetanse synliggjøres. Disse sees i sammenheng med hverandre og danner grunnlaget for bærekraftsforskning og problemløsning. Wiek et al. (2011) gjør denne tilnærmingen ettersom de kritiserer mye av litteraturen om nøkkelkompetanser for å være oppramsende lister uten fremheving av sammenhenger. De kritiserer i tillegg litteraturen om nøkkelkompetanser for å blant annet være lite operasjonalisert. Dette grunner i at det ikke blir vektlagt hva elevene

faktisk skal lære innenfor kompetansene, eller hvordan kompetansene skal vurderes (s. 121). Rieckmann et al. (2017, s. 10) har, i tillegg til nøkkelkompetansene til Wiek et al. (2011), beskrevet kritisk tenkning, selvbevissthet og problemløsning som sentrale nøkkelkompetanser.

Ut ifra dette er det tydelig at enkelte nøkkelkompetanser går igjen, mens andre ikke nevnes like ofte. For å gjøre en avgrensning har jeg i denne oppgaven valgt ut to nøkkelkompetanser til nærmere undersøkelse. Disse nøkkelkompetansene er valgt med bakgrunn i at de oppleves som sentrale i et UBU-perspektiv, i tillegg til at de kan identifiseres med viktige kompetanser i fysikkfaget. Fysikk skal bidra til utvikling av en kritisk tenkemåte (Utdanningsdirektoratet, 2021, s. 2), men vi vet også at forståelse av ulike systemer er sentralt i faget. Eksempelvis har arbeid med mekaniske systemer en viktig plass. Jeg anser derfor systemforståelse og kritisk tenkning gjenkjennelig med kjernen av faget, og har derfor valgt å rette søkelyset på disse to nøkkelkompetansene. Valgte nøkkelkompetanser løftes også frem, gjennom et forskningsprosjekt av Rieckmann (2012), som to av de tre viktigste nøkkelkompetansene innenfor UBU på høyere utdanning.

2.1.2.1 Systemforståelse

Systemforståelse, eller systemtenkning, er en av nøkkelkompetansene som er mye nevnt i UBU-litteraturen, deriblant både av Rieckmann et al. (2017), Sinnes (2015) og Wiek et al. (2011). De beskriver alle en nøkkelkompetanse som handler om å analysere komplekse systemer. Det er ikke til å legge skjul på at problemstillingene innenfor bærekraftig utvikling kan være sammensatte og komplekse, og ved å øve systemforståelse etablerer elevene et grunnlag for å kunne forstå slike problemer. Wiek et al. (2011) har beskrevet nøkkelkompetansen som:

Systems-thinking competence is the ability to collectively analyze complex systems across different domains (society, environment, economy, etc.) and across different scales (local to global), thereby considering cascading effects, inertia, feedback loops and other systemic features related to sustainability issues and sustainability problem-solving frameworks (s. 208).

I Rieckmann et al. (2017) sin artikkel publisert av UNESCO fremlegges systemtenkning som:

The abilities to recognize and understand relationships; to analyse complex systems; to think of how systems are embedded within different domains and different scales; and to deal with uncertainty (s. 10).

Fra beskrivelsene over ser vi at systemforståelse innebærer å etablere et holistisk overblikk av systemet, da systemer må analyseres over ulike domener og skalaer innenfor bærekraftig utvikling. Dette kommer av at problemstillinger innenfor bærekraftig utvikling ofte må ta sosiale forhold, miljø og økonomi i betraktning. Sinnes (2015, s. 42) skriver at økonomiske, samfunnsmessige og naturvitenskaplige problemer kan være sammenvevede. Hun fremhever at hvilket perspektiv man velger å ta utgangspunkt i, kan gi ulikt svar på en og samme problemstilling. Ettersom bærekraftig utvikling må ta flere elementer i betraktning, er det å øve systemforståelse essensielt. Derimot er det slik at nøkkelkompetansen ikke bør knyttes opp mot bærekraftig utvikling for å øves av elever. Cloud (2005, s. 225) skriver nemlig at systemforståelse kan læres uten at bærekraftig utvikling innlemmes, men bærekraft kan ikke læres uten å tilegne seg systemforståelse. Det betyr i teorien at nøkkelkompetansen kan øves under flere temaer i fysikk, og er derfor noe faget har et klart potensial for å kunne legge til rette for. Jeg tenker at dette fremhever at nøkkelkompetansen kan øves i ulike situasjoner, nødvendigvis ikke bare tilknyttet bærekraftige temaer. Derimot kan kompetansen tenkes å overføres til slike situasjoner senere. Systemforståelse er en kompetanse som er viktig i mange kontekster, som i eksempelvis ingeniør prosjekter, og forståelse av skolesystemet og økonomi. Meadows (2008, s. 11-12) skriver at det meste rundt oss er systemer, og systemer kan være underdeler av enda større systemer. Dette sier noe om viktigheten av å kunne analysere og forstå dette.

Hva som ligger i begrepet systemer og systemforståelse ser ut til å være et stort felt i litteraturen. Arnold og Wade (2015) fremhever gjennom sin forskning på systemforståelse at det finnes mange definisjoner på begrepet, og at en felles forståelse er mangelfull. På bakgrunn av dette vil det i denne oppgaven være hensiktsmessig og legge frem hva som kjennetegner systemer og systemforståelse for å kunne danne et grunnlag for å forstå fysikklærernes refleksjoner av nøkkelkompetansen opp mot modellering.

Et system består av elementer, interaksjoner og en funksjon eller hensikt (Arnold & Wade, 2015; Meadows, 2008). Ser vi på varmestyring i en bygning kan det forstås som et system. Varmestyringen består av varmeelementer og temperatursensorer som interagerer med hverandre for å holde temperaturen på et bestemt nivå. I fysikkundervisning er også begrepet system mye brukt. Her brukes begrepet ofte om en avgrenset del av universet vi ønsker å undersøke. Vi kan eksempelvis se på et system bestående av klosser som blir dratt bortover på et bord. Her kan vi undersøke hvordan disse elementene interagerer med hverandre, og da gjerne i form av krefter. Dette systemets funksjon eller hensikt er mer utfordrende å fastsette

enn større systemer, som et varmestyringssystem. Å fremheve hensikten ved et system er også ifølge Meadows (2008) vanskelig. Det kan likevel argumenteres for at hensikten med et system bestående av eksempelvis klosser i fysikkundervisning, er å forstå fysiske fenomener. Det kan derfor, i enkelte deler av fysikken, oppleves som at systemer ikke har en hensikt eller funksjon i seg selv, men at vi velger et system med hensikten å undersøke noe.

Zeyer et al. (2019) skiller derimot hovedsakelig mellom ordnede og komplekse systemer. Ordnete systemer er nokså forutsigbare, og systemet kan for eksempel fremstilles som en lineær differensiallikning. Dermed er etablerte teorier i fysikk, slik som i mekanikken og relativitetsteoriene, ordnede systemer (s. 5-6). Ut ifra dette kan det derfor argumenteres for at elever som undersøker eksempelvis krefter på bevegende klosser i mekanikk undersøker ordnede systemer, da de bruker etablerte teorier på et system som er nokså forutsigbart. Mye av arbeidet i fysikkundervisning i dag kan derfor tenkes å være på ordnede systemer.

De store spørsmålene i vår tid, som eksempelvis problemstillinger knyttet til klima, energiproduksjon og -forsyning, er derimot å anse som mer komplekse systemer. For at eksempelvis en energikilde skal anses som bærekraftig, kan argumenter ikke bare grunne i vitenskapelige funn. Økonomi og samfunn må også tas i betraktning. Dette øker kompleksiteten, og hva som anses som en god løsning kan inneholde en viss usikkerhet. Zeyer et al. (2019, s. 5) definerer et komplekst system som at det ikke kan fremstilles med en lineær likning. De skriver også at slike systemer ofte gjør at vi må håndtere usikkerheter og se etter tilpasningsstrategier. I definisjonen på systemforståelse som nøkkelkompetanse for bærekraftig utvikling av Wiek et al. (2011) og Rieckmann et al. (2017), er det fremhevet at elever skal kunne analysere komplekse systemer.

Det finnes flere studier som har prøvd å fremheve hva systemforståelse innebærer ved å presentere ulike ferdigheter som bør ligge til grunne. Det kan tenkes at denne synliggjøringen kan brukes til å forstå hvordan systemforståelse kan operasjonaliseres i fysikk-klasserommet, og at fragmenteringen gjør at enkeltferdigheter som bygger opp under kompetansen kan øves på mer ordnede systemer. Arnold og Wade (2017, s. 10) legger vekt på at en systemtenker må ha evner til å få innsikt i systemet, samt bruke denne innsikten til å forstå og påvirke systemet. De synliggjør fire ulike domener bestående av flere ferdigheter som skal støtte systemforståelse. For det første må det tilegnes et **tankesett** om hvordan man skal tilnærme seg systematiske problemer. Det må også etableres en forståelse av **innhold** og **strukturer** i systemet, samt systemets **atferd**. Oversikt over domenene og inneholdende ferdigheter for systemforståelse, vist i tabellen 1.

Tabell 1: De sentrale domenene og tilhørende underferdigheter for systemforståelse. Det er også kort beskrevet hva ferdighetene innebærer. Tabellen er laget med utgangspunkt i artikkelen til Arnold og Wade (2017) og deres beskrivelser.

Domener	Ferdigheter til domenene	Beskrivelse
<u>Tankesett</u> <i>Hvordan tilnærme seg systematiske problemer?</i>	Utforske flere perspektiver	Må kunne se et problem fra forskjellige perspektiver. Det kan være å utforske perspektiver som ikke er åpenbare, og kanskje noen som også er i konflikt med egne tanker.
	Tenke på helheten og elementene	Kunne vurdere systemet helhetlig, samt vurdere viktigheten av delene det består av.
	Reagere effektivt på usikkerhet og tvetydighet	Til tross for systemer med stor usikkerhet og tvetydighet, må en systemtenker ikke la seg stoppe opp i søken etter gode løsninger.
	Vurdere problemer på riktig måte	Kunne jobbe med kompleksiteten til systemet, ikke bare finne raske løsninger. Prøve ulike løsninger og problematisere.
	Bruke mental modellering og abstraksjon	Må kunne utarbeide mentale modeller for systemer. Dette er for å skape mening til det vi erfarer. Modeller er forenklet abstraksjon og kan inneholde feilaktigheter. Derimot kan de være nyttige til visse formål.
<u>Innhold</u> <i>Hva er i systemet?</i>	Gjenkjenne systemer	Kunne anerkjenne et problem som et systematisk problem.
	Opprettholde grenser	Forså elementene systemet består av, da dette utgjør systemet grenser. Dette er en ferdighet som må brukes kontinuerlig, da grensene kan endre seg over tid.
	Differensiere og kvantifisere elementer	Det å forstå og skille mellom elementene i systemet.
<u>Struktur</u> <i>Hvordan er systemet organisert?</i>	Identifisere forhold	Forstå at systemets elementer interagerer med hverandre.
	Karakterisere forhold	Se karakteristikk i intrigeringen mellom elementene i systemet.
	Identifisere tilbakevendingsløkker	Intrigeringer mellom elementer kan danne tilbakevendingsløkker (forsterke eller svekke endringer). Det er sentralt å kunne identifisere disse.
	Karakterisere tilbakevendingsløkker	Forstå hvordan tilbakevendingsløkkene fungerer.
<u>Atferd</u> <i>Hva skjer når innhold og struktur interagerer?</i>	Beskrive tidligere systematferd	Å kunne beskrive tidligere systematferd krever evnen til å forstå hvordan systemet har fungert.
	Forutse systematferd	Å forutse hvordan systemet vil oppføre seg er vanskeligere enn å forstå tidligere atferd. Krever en forståelse av systemet over tid.
	Svare på endringer over tid	En systemtenker må kunne reagere på endringer i systemet.
	Utnytte deler av systemet for å produsere effekter	Må kunne endre systemet for å kunne få det til å fungere som ønsket.

På en annen siden kan vi se til Schuler et al. (2018) sin studie. Forfatterne bruker en heuristisk fremstilling om systemforståelse for å måle lærerstudenter i biologi og geografi sin evne til systemforståelse før og etter ulike undervisningsopplegg. De undersøkte i tillegg kunnskapen lærerstudentene hadde om hvordan undervise i nøkkelkompetansen. I deres heuristiske fremstilling, som er vist i figur 3, ser vi at systemforståelse deles i fire dimensjoner. Den første dimensjonen er kunnskap og kjennetegn ved systemer. Deretter omhandler neste dimensjon å kunne modellere systemer. Senere i denne masteroppgaven vil det legges frem litteratur som synliggjør at modelleringsbegrepet brukes vidt, men at det overordnet kan anses som en forenkling. Schuler et al. (2018) bruker her modellering som utarbeidelse av blant annet et innflytelsesdiagram, noe de også kaller kvalitativ system-modell. Forfatterne eksemplifiserer dette i form av en modell som beskriver med ord og piler hvordan ulike komponenter, som eksempelvis økonomi, biosfære og atmosfære, påvirker hverandre som følge av overfiske. De skriver også at dimensjonen handler om å forstå og lage kvantitative system-modeller. Eksempelvis kan det lages simuleringer som brukes til å forutsi et systems oppførsel. Det kan derav gjøres beregninger, slik som å beregne en fiskekvote for bærekraftig fiske. Dimensjon tre innebærer nettopp å kunne løse problemer ved bruk av system-modeller. Til slutt handler dimensjon fire om evaluering av system-modellen.

Competence dimensions	Sub-capability 1	Sub-capability 2	Sub-capability 3	Sub-capability 4
<i>Dimension 4:</i> Evaluation of system models	Determining the structural validity of system models	Determining the performance validity of system models	Determining the validity for the application	Determining the uncertainty of a forecast
<i>Dimension 3:</i> Solving problems using system models	Assessing the need for using a system model for processing the present problem	Assessing the type of system model (e.g. quantitative vs. qualitative) which is required to process a problem	Giving explanations, making predictions, and designing technologies based on qualitative system models	Giving explanations, making predictions, and designing technologies based on quantitative system models
<i>Dimension 2:</i> Modelling systems	Determining system elements, interactions, subsystems, system boundaries, system hierarchies and the model purpose	Understanding and reflecting on a complex system with the help of a text field or a word model	Reading and understanding qualitative system models. Constructing influence diagrams	Reading and constructing quantitative system models
<i>Dimension 1:</i> Declarative/conceptual systems knowledge	Basic knowledge of systems theory (system concept, system structure, system behaviour, sub-systems)	Knowledge of areas that can be considered as systems (also knowledge of simple and complex systems)	Knowledge of system hierarchies (e.g. cell, tissue, organ, organism, population, biocenosis, eco-system, biosphere)	Knowledge of properties of complex systems (structural and dynamic complexity, non-linearity, emergence, ...)

Figur 3: Heuristisk modell hvor systemforståelse inndeles i fire dimensjoner. Hver dimensjon er igjen beskrevet tydeligere med hva som inngår i hver dimensjon. Figur hentet fra Schuler, Fanta, Rosenkraenzer og Riess (2018, s. 195).

Denne inndelingen av de ulike dimensjonene tilknyttet systemforståelse, samt Arnold og Wade (2017) sin synliggjøring av innholdet i nøkkelkompetansen, kan tenkes å være et hjelpemiddel til å forstå hva som bør legges til rette for i undervisning. I tillegg kan de muligens brukes til å måle hvor godt elever har tilegnet seg systemforståelse. Disse

fragmenteringene av nøkkelkompetansen kan videre også hjelpe meg i søken etter sammenhenger til modelleringsarbeid i fysikk.

Som nevnt over handler definisjonen til nøkkelkompetansen om å kunne analysere og forstå komplekse systemer. Derimot ser vi at både Arnold og Wade (2017) og Schuler et al. (2018) fragmenterer hva systemforståelse innebærer. Dette kan bety at enkelte deler av ferdigheten trolig kan øves på mindre komplekse systemer. Breil (2018, s. 74) skriver nemlig at en utfordring med å øve systemforståelse er at det nettopp ofte sees i sammenheng med komplekse systemer. Hun hevder dermed at ved å bruke systemforståelse på enklere systemer, kan elevene få ferdigheter de senere kan bruke på mer komplekse systemer. Hun har derfor studert et opplegg hvor elever undersøker energikonvertering gjennom blant annet å finne ut hvorfor en ball faller, spretter og etter hvert stopper. Opplegget går over flere undervisningstimer, men grunnmuren er hele tiden å opparbeide systemforståelse. Det gjøres ved å legge til rette for ferdigheter som blant annet Arnold og Wade (2017) har synliggjort. Elevene må eksempelvis eksplisitt forklare delene i systemet og interaksjonene. Hovedfunnene til Breil (2018) er at ved å bruke enkle rammeverk basert på hva systemforståelse innebærer i undervisning, kan egenskaper til nøkkelkompetansen opparbeides. Dette kan elevene trolig senere bruke på å forstå og løse problemer til mer komplekse systemer (s.82). Ut ifra dette forstår jeg det som at systemforståelse også kan øves gjennom å undersøke mer ordnede systemer.

Oppsummert viser dette delkapittelet om systemforståelse at det er et felt som enda er i utvikling. En felles samkjøring er å anse som mangelfull. Det viser seg at systemforståelse som nøkkelkompetanse for bærekraftig utvikling handler om å få en holistisk forståelse av komplekse systemer. Systemene må analyseres over ulike domener (eks. samfunn, økonomi, miljø) og skalaer (lokale og globale) (Wiek et al., 2011). Det er viktig å forstå elementer og interaksjoner i systemet. Flere av systemene som undersøkes i fysikkundervisningen, eksempelvis i mekanikken, kan argumenteres for å være på mer ordnede systemer. Disse systemene har en lavere kompleksitet enn problemstillinger innenfor bærekraftig utvikling. På ordnede systemer kan det tenkes at det er færre og mindre elementer som interagerer med hverandre. På enkelte mekaniske systemer kan vi eksempelvis kun konsentrere oss om variablene fart og masse, og undersøke sammenhengen mellom dem. At ordnede systemer kan øve enkelte ferdigheter for å opparbeide seg systemforståelse for komplekse systemer, kan likevel forskningen til Breil (2018) viser tendenser til.

2.1.2.2 Kritisk tenkning

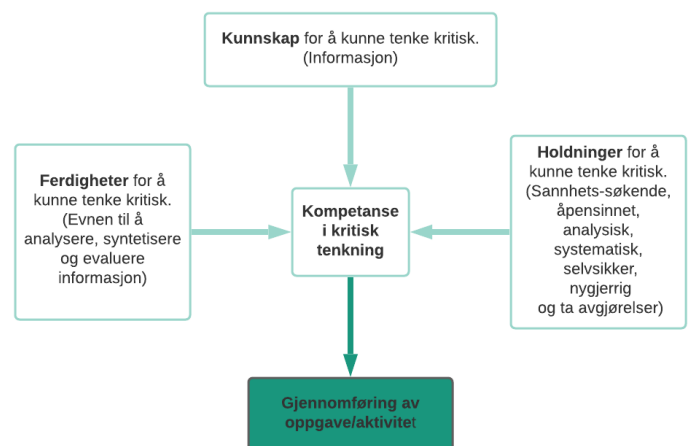
Kritisk tenkning er en annen nøkkelkompetanse som elever bør øve for å kunne legge til rette for en bærekraftig utvikling. Rieckmann et al. (2017, s. 10) skriver at kritisk tenkning er «the ability to question norms, practices and opinions; to reflect on own one's values, perceptions and actions; and to take a position in the sustainability discourse». I Taimur og Sattar (2019, s. 1) sin artikkel om nøkkelkompetansen beskriver de kritisk tenkning som «the individual's ability to apply higher-order, rational thinking skills such as analysis, synthesis, problem recognition and problem-solving, inference, and evaluation». Nøkkelkompetansen handler altså om å bruke en rasjonell tankegang til å gjøre gode vurderinger. Vi lever i en tid med informasjonsteknologi og mengder tilgjengelig informasjon. Den tilgjengelige informasjonen vil fortsette i tiden fremover, og det blir derfor viktig å tilegne elever kunnskap om å tenke kritisk for å danne passende vurderinger og avgjørelser (s. 1). Ifølge Sinnes (2015, s. 41) er kritisk tenkning også en viktig nøkkelkompetanse for å kunne vurdere ulike bærekraftsinitiativer i en endrende verden, samt informasjon knyttet til bærekraftsspørsmål og det å leve bærekraftig.

Som nevnt tidligere har Wiek et al. (2011) definert kompetanser som å ha visse ferdigheter, holdninger og kunnskaper. Figur 4 viser en reprodusert illustrasjon hentet fra Taimur og Sattar (2019, s. 4) som synliggjør hvordan nøkkelkompetansen kritisk tenkning bygges opp av disse komponentene. Jeg vil nå beskrive hva som inngår i hver komponent.

En kjent inndeling av ulike nivåer i læringsprosessen er Blooms taksonomi. Den første kognitive prosessen i denne taksonomien handler om å gjenkalle fakta, før det øker i kompleksitet til å kunne forstå, anvende,

analysere, syntetisere og evaluere (Taimur & Sattar, 2019, s. 2). For å tenke kritisk er det viktig å ha *ferdigheter* til å kunne analysere, syntetisere og evaluere informasjon, noe som kjennetegnes som de tre høyeste kognitive ferdighetene i Blooms taksonomi. Når elever behersker disse ferdighetene, kan de ta stilling til informasjon og gjøre bedømmelser. Taimur og Sattar (2019, s. 2)

fremhever også at evnen til å tenke kritisk krever visse *holdninger*. Et eksempel som blir



Figur 4: For å kunne tenke kritisk kreves det visse ferdigheter, kunnskaper og holdninger. Figuren er fra Taimur og Sattar (2019, s. 4) med egen oversettelse.

nevnt er det å være åpensinnet eller fordomsfri, da nye synspunkter kan skape bredere vurderingsgrunnlag før en avgjørelse tas, eller en mening dannes. Til sammen nevnes sju holdninger: sannhets-søkende, åpensinnet, analytisk, systematisk, selvsikker, nysgjerrig, og å kunne ta avgjørelser (*maturity of judgment*). I tillegg til disse ferdighetene og holdningene må elevene ha *kunnskap* for å kunne tenke kritisk (s. 4). Det tenker jeg henger sammen med at elevene må ha visse kunnskaper om det de skal studere for å i det hele tatt kunne være kritiske. Disse tre aspektene kombineres i søken på å løse problemstillinger som krever denne kompetansen.

Hvordan Taimur og Sattar (2019) har valgt å vise kritisk tenkning som en samling av kunnskap, ferdigheter og holdninger kan tyde på at alle delene er viktig for å øve kompetansen. Av den grunn kan det tenkes at undervisning som fokuserer på enkeltdelene vil fungere som et grunnlag for tilrettelegging av kompetansen.

Videre vil nå modellering belyses nærmere. Det er denne arbeidsmåten jeg ønsker å undersøke om kan være et bidrag til å øve systemforståelse og kritisk tenkning.

2.2 Modellering

Modellering kan forstås som en prosess for å lage og bruke modeller. Prosessen kan i tillegg inkludere bearbeiding av modeller (Gilbert & Justi, 2016, s. 24). Egnetheten til å bruke modellering i fysikk som en vitenskapelig arbeidsmåte for å legge til rette for å øve UBU-kompetanser, er til nå ikke særskilt vurdert i den fagdidaktiske litteraturen. For å kunne undersøke denne tematikken nærmere er det derfor behov for et teoretisk rammeverk om modeller og modellering. Det vil komme frem gjennom denne delen av oppgaven. Ettersom modeller og modellering brukes gjennomgående i naturvitenskapelig undervisning, er en del av teorien hentet fra en generell forståelse av begrepene.

2.2.1 Modeller i fysikkundervisning

Litteraturen viser at modeller har en viktig rolle i naturvitenskapen, og derav også i fysikkfaget. Fra artikkelen til Oh og Oh (2011) synliggjøres modellenes viktige rolle i vitenskapelig forståelse. De beskriver at modeller kan anses som en bro som binder teori og fenomen sammen (s. 1113). Fysikklærere og bøker benytter seg eksempelvis jevnlig av modeller for å beskrive og forklare fagstoff. Denne bruken vil ifølge Upmeier zu Belzen et al. (2019, s. 5) alltid være viktig i undervisning. Med dette til grunn forstås nødvendigheten av modeller for kunnskapsbygging hos fysikkelever. De modellene som brukes i fysikkundervisning er vanligvis skala-, analogi- og matematiske modeller (Angell et al., 2019,

s. 189-190). Til tross for denne inndelingen av modeller, fremhever Angell et al. (2019, s. 189) at enkelte modeller kan være vanskelig å plassere i en av de bestemte kategoriene. Dette kan komme av at det ikke er noen felles definisjon på hva en modell faktisk er.

Til tross for modellenes viktige rolle i naturvitenskapen og positiv læringseffekt beskriver litteraturen altså likevel begrepet ulikt. Oh og Oh (2011) tar for seg flere definisjoner beskrevet i forskningslitteraturen og konkluderer med følgende:

To sum up, although definitions of a model may diverse, a model is understood as a representation of a target. The target represented by models can various entities, including objects, phenomena, processes, ideas and their system. A model is also considered a bridge or mediator connecting theory and a phenomenon, for it helps in developing a theory from data and mapping a theory onto natural world (s. 1114).

Oh og Oh (2011) mener dermed at en modell er en representasjon av et *target*. Jeg forstår et target som et aspekt eller en del av virkeligheten. Det er viktig å merke seg betydningen av begrepet representasjon, da det ikke betyr likhet eller kopi (Oh & Oh, 2011, s. 1113). Til tross for modellenes representative funksjon, er modeller i seg selv ikke en representasjon av virkeligheten (Gilbert & Justi, 2016, s. 33). Dette kan oppfattes bedre ved å se til hva Oh og Oh (2011, s. 1113) skriver om modellererens hensikt med modellen. Avhengig av hva modellerer ønsker å oppnå, fokuseres det kun på visse aspekter ved virkeligheten (the target). Som et resultat av dette kan det tyde på at en modell er en forenkling. Dette er i overensstemmelse med hva Etkina, Warren og Gentile (2006, s. 15) skriver i sin artikkel om modeller i fysikkundervisning, nemlig at vi bruker «models or *simplifications* to describe and explain observed physical phenomena and to predict the outcomes of new phenomena». Etkina et al. (2006) og Constantinou et al. (2019, s. 40) kan se ut til å bruke begrepet fenomen om et target. Sistnevnte skriver at en modell i tillegg til å representere et fenomen, viser mekanismene bak hvordan fenomenet fungerer og har en prediktiv funksjon da den kan si noe om fremtiden til fenomenet.

En modell kan ha ulike representasjonsformer. Gilbert og Justi (2016, s. 33) skriver at de vanligste representasjonsformene til en modell er to dimensjonale, eksempelvis i form av tegninger eller diagrammer, tredimensjonale, virtuelle, gestikulerte, matematiske eller verbale.

2.2.2 Modellering og læreplanene i fysikk

Selv om det ifølge Upmeier zu Belzen et al. (2019, s. 5) alltid vil være betydningsfullt at lærere bruker modeller til å forklare og forstå fenomener, påpeker de en skepsis ved denne

bruken når kompetanse i vitenskapelig tenke- og arbeidsmåte skal innarbeides hos elevene. Jeg tolker det dit at læring ikke bare handler om å tilegne seg kunnskap, men ferdigheter må også ligge til grunne. Dette beveger oss i retningen av modellering. Angell et al. (2019, s. 187) skriver:

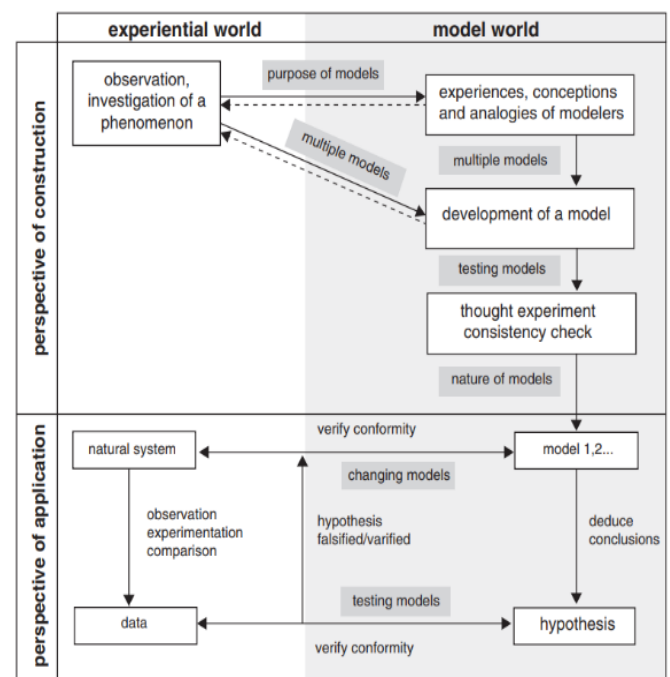
Fysikk dreier seg om å lage (matematiske) modeller av virkeligheten, både generelle modeller og modeller for konkrete situasjoner. Å arbeide med fysikk dreier seg i økende grad om å utvikle, teste og bruke *modeller*, og det bør reflekteres over i fysikkfaget.

Fra sitatet over ser vi at modellering i fysikk handler om å utvikle og bruke modeller. Dette kommer også frem i den nye læreplanen i fysikk som skal tre i kraft for fysikk 1 høsten 2021, og for fysikk 2 høsten 2022. Videre kan vi se til et kompetansemål i fysikk 1 som beskriver at eleven skal kunne «vurdere, bruke og lage modeller for å beskrive og forutsi fysiske fenomener» (Utdanningsdirektoratet, 2021, s. 5). I likhet med dette er det også beskrevet i fysikk 2 at de skal kunne «bruke numeriske metoder og programmering til å utforske og modellere fysiske fenomener» (Utdanningsdirektoratet, 2021).

Gjennom denne masteroppgaven skal det undersøkes om modellering er en arbeidsmåte for å øve kompetanser for bærekraftig utvikling. Hvordan lærere forstår og bruker modellering vil derfor være essensielt. Videre vil det presenteres hvordan modellering forstås fra et naturvitenskaplig perspektiv.

2.2.3 Modellering i naturvitenskapen

Naturvitenskaplig modellering fremstår å være en syklisk prosess for å undersøke eller forklare et fenomen i den virkelige verden. Dette ser vi gjennom rammeverket for modelleringsprosessen vist av Upmeier zu Belzen et al. (2019, s. 9) i figur 5. Ut ifra dette rammeverket er min tolkning at modelleringsprosessen starter med en observasjon og/eller undersøkelse av et fenomen. Videre ser vi at modellererens erfaringer, forestillinger og analogier iverksettes. Dette steget kan sees i likhet med



Figur 5: Rammeverk over modelleringsprosessen hentet fra Upmeier zu Belzen et al. (2019, s. 9)

hva Gilbert og Justi (2016, s. 33) beskriver som opprettelsen av proto-modell. Dette er en modellutvikling som foregår på et mentalt nivå. Videre utvikles en modell for fenomenet og det gjøres en mental vurdering.

Gjennom denne delen av prosessen er det etablert en modell *av noe* (perspective og construction). I neste steg kan modellen sees på en modell *for noe* (perspective of application) og bør etterprøves. Gjennom hypoteser kan modellen testes opp imot innhentede data fra det naturlige systemet og falsifiseres eller verifiseres. Avhengig av resultat vil trolig modellen måtte revideres. Videre utarbeides nye hypoteser fra den reviderte modellen som må testes. Her ser vi hvordan naturvitenskapelig modellering krever en syklisk prosess for å komme frem til en god beskrivelse av fenomenet modellen skal representere.

Modellering er en naturvitenskapelig arbeidsmetode (inquiry practice) på lik linje med observasjon, sammenlikninger og eksperiment (Upmeier zu Belzen et al., 2019, s. 4). Dette er vist i figur 6. Derimot kan modellering også knyttes til de andre arbeidsmetodene (s.10). Fra figur 5 ser vi at modelleringsprosessen innebærer å teste hypoteser fra en modell mot innhentede data fra det opprinnelige systemet. Det kan forstås at hypotesene som utarbeides kan kreve observasjon,

sammenlikninger eller et eksperiment for å kunne verifiseres eller falsifiseres. Det er denne stadige utarbeidelsen av hypoteser fra modellen, opp imot data fra den fysiske verden, som fremhever modellering som viktig for å frembringe vitenskapelig kunnskap (s. 10).

Scientific thinking Inquiry practice	Observing	Comparing/Classifying	Experimenting	Modeling
Research question on ...	... functional relationships between systems (e.g. structure and function)	... criteria, categories, orders	... causes and effects	... modeling variables of phenomena
Hypothesis on ...	... relations	... differences	... causes and effects	... all kinds of hypotheses
Investigation as ...	... systematic observations of features with feature types or over time	... comparisons, categorizations, systematizations	.. controlled experiments	... all kinds of investigations
Results in terms of ...	... correlations between variables, descriptions of features, structures, and systems, possibly over time	... categories and category systems, possibly hierarchical, matrices of objects and superior comparison criteria	... relations between causes and effects, causal explanations	... findings about a phenomenon or changing of the model

Figur 6: Her tydeliggjøres det at modellering kan anses som en eksplisitt utforskende arbeidsmetode, samt at modelleringspraksiser implisitt kan ta del i andre utforskende arbeidsmetoder. Figur hentet fra Upmeier zu Belzen et al. (2019, s. 5).

2.2.4 Modellering i undervisning

Når modelleringen trekkes inn i klasserommet kan det få en mer pedagogisk vinkling. I naturvitenskapelig undervisning skiller Oh og Oh (2011) mellom fem ulike modelleringsaktiviteter. De beskriver det som aktiviteter som bistår til å gi refleksjon over hvordan vitenskapen bruker modeller for å undersøke den virkelige verden, og bør derfor vektlegges likt i undervisning (s. 1125). Det skilles mellom undersøkende-, uttrykksfull-, utforskende-, evaluerende- og syklisk modellering. Beskrivelser kommer frem i tabell 2.

Syklisk modellering er den modelleringsaktiviteten som benyttes minst ifølge Upmeier zu Belzen et al. (2019, s. 5). Dette til tross for at naturvitenskapen ser ut til å fremstille arbeidsmåten slik. Forskningen til Gyllenpalm og Wickman (2011, s. 922) viser at det ofte kan bli en forskjell mellom metoder i skolevitenskap og naturvitenskapen. Gyllenpalm og Wickman (2011) viser til at naturvitenskaplige arbeidsmåter, som eksperiment og hypotese, ofte kan få en annen betydning i undervisning, en mer pedagogisk vinkling. At det blir en parallell diskurs mellom begreper i skolesammenheng og vitenskapelig forskning kan være en utfordring når elever ikke bare skal lære om produkter av vitenskapen, men også hvordan kunnskap blir til (s. 924).

Tabell 2: Ulike modelleringsaktiviteter i undervisning fremstilt i en tabell. Informasjonen er hentet fra Oh og Oh (2011, s. 1122-1125)

Modelleringsaktivitet	Beskrivelse
Undersøkende modellering (Exploratory modelling)	Undersøker egenskapene til modeller ved å endre parametere og observere effekter av endringer.
Uttrykksfull modellering (Expressive modelling)	Lager modeller for å uttrykke egne ideer om fenomener.
Utforskende modellering (Enquiry modelling)	Studenter lager modeller som kan forklare resultater etter å eksperimentere med et fenomen.
Evaluerende modellering (Evaluating modelling)	Studenter sammenlikner ulike modeller for samme fenomen eller problem. De forklarer fordeler og begrensinger og velger den som passer best.
Syklisk modellering (Cyclic modelling)	Studenter engasjeres i prosessen med å utvikle, evaluere og forbedre modeller i lengre vitenskapsprosjekter.

Videre vil litteratur som omhandler matematisk modellering i fysikkundervisning presenteres.

2.2.4.1 Matematisk modellering

Fysikere utvikler, tester og anvender matematiske modeller. En av grunnene til å fokusere på modellering i fysikkundervisning er ifølge Wells, Hestenes og Swackhamer (1995, s. 4) at faget bringes nærmere den vitenskapelige praksisen. Et mer pedagogisk argument er at modellering hjelper elever i en sammenhengende og fleksibel forståelse av fysikk.

Fysikkfaget kan nemlig oppleves som fragmentert og diffust, men med fokus på modellering synliggjøres det at et sett med grunnleggende modeller kan brukes på en rekke nye situasjoner (s. 4). Jeg forstår det som at elever kan forklare et nytt fenomen ved å anvende allerede kjente kunnskaper og modeller, noe som gir en mer helhetlig forståelse av fysikken. Angell et al. (2019, s. 187) påpeker at det kan være mye å forvente at elever skal finne og oppdage kjente

lover og teorier selv, men de kan motiveres til å forklare spesifikke fenomener ut ifra kjente prinsipper.

Fra sitatet til Angell et al. (2019, s. 187) ovenfor, fremheves det at elever i økende grad bør utvikle, teste og bruke modeller. Modeller i fysikk er hovedsakelig matematisk formulerte. En matematisk modell betyr at de fysiske egenskaper er representert av kvantitative variabler i modellen (Hestenes, 1987, s. 4).

Utover dette knytter Hestenes (1987, s. 8) modellering spesielt til det å arbeide med matematisk problemløsning i fysikk. Det kan eksempelvis være når studentene løser oppgaver fra bøkene sine. Gilbert og Justi (2016, s. 31) sammenfatter de fire stegene som Hestenes (1987) fremhever at modelleringsprosessen består av. Det begynner med et beskrivende steg som i all hovedsak handler om å beskrive problemet og forstå relevante variabler, samt valg av teoretisk forståelsesmåte. I steg to kommer et formulerende steg hvor likninger for problemet utarbeides. Neste steg forstår jeg som at likningene løses og en modell for problemet presenteres, før resultatene fra modellen til slutt vurderes i steg fire.

I motsetning til modelleringsprosessen i naturvitenskapen beskrevet av Upmeier zu Belzen et al. (2019), er Hestenes (1987) sin prosedyre av mer lineær karakter. I tillegg er fokuset på modellering gjennom problemløsning av oppgaver. Wells et al. (1995, s. 8) viser derimot til et syn på modellering i fysikkfaget hvor det vektlegges praktisk arbeid hos elevene. De viser til det å bruke modellering for å beskrive og forklare observerte fenomener, fremfor å bruke det til å løse oppgaver i faget. Denne prosessen har en mer syklisk tilnærming. Gjennom laboratorieaktivitet utarbeider elevene en modell som skal presenteres. Presentasjonen skal vektlegge designet på utforskningen, analysemåte av data, og den utarbeidede modellen skal forklares (s. 27). Videre skal elevene bruke modellen i ulike kontekster. Det kan være for å forklare eller forutsi andre situasjoner, eller for å designe en ny utforskning. Dette kan sammenliknes mer med den naturvitenskapelige modelleringen hvor hypoteser utarbeides fra en konstruert modell, for deretter å undersøkes (se figur 5).

Modelleringsprosessen beskrevet av Wells et al. (1995) anses som tidskrevende da den kan vare over to til tre uker. Derimot beskriver Angell, Henriksen og Kind (2012) erfaringer fra et prosjekt med fokus på empirisk-matematisk modellering. Modelleringsøvelsene elevene fikk her var et praktisk arbeid, og har derfor noen likhetstrekk med Wells et al. (1995) som vil aktivisere elever i modellering. Derimot oppfatter jeg at øvelsene til Angell et al. (2012) ikke var like tidskrevende. Det ble vektlagt at elever skulle lage og vurdere matematiske modeller

gjennom forsøk og bruke ulike representasjoner i prosessen. På den måten kunne de hjelpe elevene i å veksle mellom representasjonsformer. Elevene skulle forstå at fysikk er modeller av naturlige fenomener som kan representeres på flere måter, men hovedsakelig matematisk (Angell et al., 2012, s. 87). En av Angell et al. (2012) sine erfaringer fra prosjektet er likevel at elever nødvendigvis ikke får en bedre forståelse av modeller gjennom en aktiv deltagelse i modelleringsprosessen dersom det ikke eksplisitt omtales og belyses (s. 91). Det kan tyde på at læreren bør tydeliggjøre modeller og modelleringsprosessens rolle i naturvitenskapen.

2.2.5 Modelleringskompetanse

Vi ser fra den didaktiske litteraturen at modellering i undervisning kan fremstås noe forskjellig. Det viser seg at det er laget flere rammeverk på hva som bør ligge til grunn for å frembringe kompetente modellerere, ofte beskrevet som å ha god modelleringskompetanse. Disse rammeverkene kan tenkes å være nyttig for lærerne under tilrettelegging av modelleringsaktiviteter. Et rammeverk av Upmeier zu Belzen et al. (2019) og Constantinou et al. (2019) vil nå bli presentert.

Rammeverket til Upmeier zu Belzen et al. (2019) har delt modelleringskompetanse inn i fem ulike aspekter. Det innebærer at elever skal ha forståelse om modellens egenart (nature of models), modellens multiplisitet (multiple models), hensikten med modeller (purpose of models), testing av modeller (testing models) og endring av modeller (changing models). Disse aspektene er igjen delt inn i tre ulike nivåer. Se figur 7.

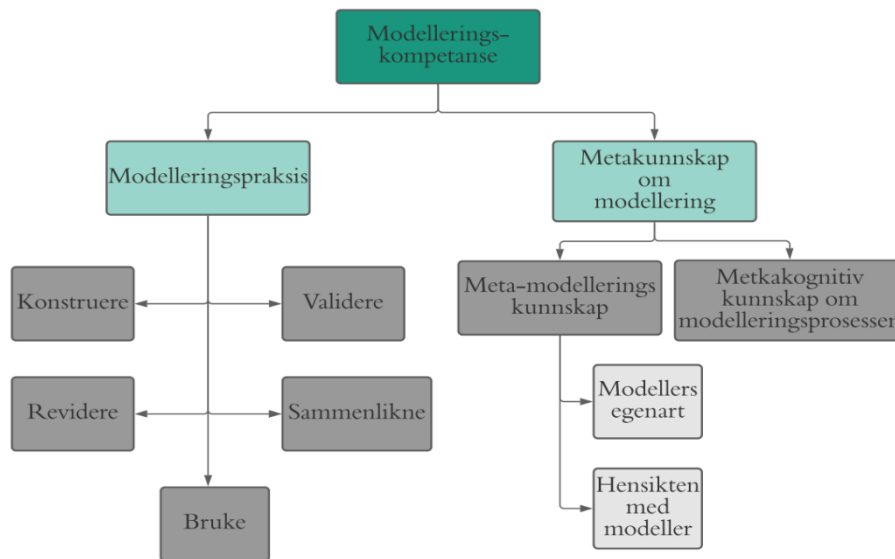
Aspects	Level I	Level II	Level III
Nature of Models	Replication of the phenomenon	Idealized representation of the phenomenon	Theoretical reconstruction of the phenomenon
Multiple Models	Different model objects	Different foci on the phenomenon	Different hypotheses about the phenomenon
Purpose of Models	Describing the phenomenon	Explaining the phenomenon	Predicting something about the phenomenon
Testing Models	Testing the model object	Comparing the model and the phenomenon	Testing hypotheses about the phenomenon
Changing Models	Correcting defects in the model object	Revising due to new insights	Revising due to the falsification of hypotheses about the phenomenon

Figur 7: Rammeverk over modelleringskompetanse hentet fra Upmeier zu Belzen, Driel og Krüger (2019, s. 13).

I motsetning til neste presenterte rammeverk av Constantinou et al. (2019) (figur 8), fokuserer Upmeier zu Belzen et al. (2019) hovedsakelig på de kognitive refleksjonene over modeller, ikke på selve modelleringsprosessen. Ettersom det legges vekt på at elever skal praktisere modellering i fysikk, oppleves komponentene i neste presenterte rammeverk som mer relevante. Derfor vil jeg bruke deler av dette rammeverket i diskusjonen av empirien i studien. Constantinou et al. (2019, s. 42) presenterer de ulike komponentene i et rammeverk (se figur 8). Det handler om at elevene skal praktisere modellering, samtidig som de skal få en epistemologisk forståelse av modellers natur og hensikt (s. 51). De ser på modellering overordnet som en kompetanse ettersom det handler om mer enn bare kunnskap. De definerer

modellering som det å mestre ulike oppgaver, problemer og mål som er relatert til samfunnsinteresser (s. 42). Deres rammeverk av modelleringskompetanse tydeliggjør hva elevene skal kunne gjøre og sitte igjen med etter arbeid med modellering.

Komponentene elevene bør tilegne seg innenfor modellering er delt i to hovedkomponenter: (1) modelleringspraksiser, og (2) metakunnskap om modellering. Det som ligger til grunn bak dette designet er at modelleringskompetanse oppstår ved aktiv deltagelse i modelleringspraksiser, samtidig som metakunnskap om modellering er viktig (s. 43).



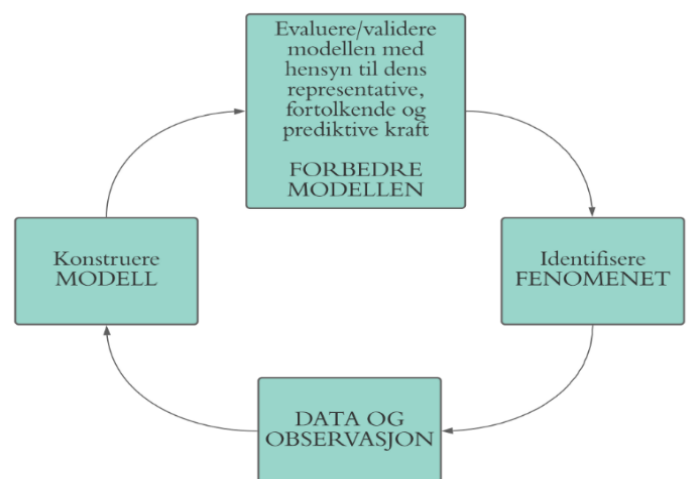
Figur 8: Komponentene innen modelleringskompetanse. Figur fra Constantinou et al. (2019, s. 43) med egen oversettelse.

Modelleringspraksiser er igjen delt inn i fem underkomponenter. Disse underkomponentene er å konstruere, bruke, sammenlikne, revidere og validere modeller. Det å *konstruere modeller* er elevens evne til å lage en representasjon av et fenomen, system eller objekt som har en representerende, fortolkende og prediktiv kraft. Når modellen inneholder objekter, variabler og prosesser beskriver Constantinou et al. (2019, s. 44) det som en modell med representerende kraft. Objekter, eller enheter, forstår jeg som elementene modellen gjelder for. Variabler er det som endrer seg i modellen, eksempelvis i form av temperatur. Prosesser er beskrevet som det som gir forandring, slik som en varmestrøm. Den fortolkende kraften til modellen kommer til syne når forholdet mellom objekter, variabler og prosesser tydeliggjøres. Til slutt bør modellen ha en prediktiv kraft. Det betyr at modellen kan brukes til å teste nye aspekter ved fenomenet, eller fremtidige utfall (s. 45).

Det å *bruke modeller* handler om at elever skal benytte den til å si noe om hvordan forståelse de har av hele, eller deler av fenomenet. Ved bruk av modellen skal de også kunne formulere nye spørsmål og tolkninger, samt kommunisere ideer til andre. Gjennom denne prosessen blir

den vitenskapelig kunnskap mer meningsfull (Constantinou et al., 2019, s. 45). Elever må også kunne *sammenlikne modeller* for å velge den mest hensiktsmessige. Grunnen til dette er at flere modeller kan lages på grunnlag av en og samme hypotese. Til slutt er det også sentralt å kunne *revidere* og *validere* modeller. Ved en revidering må elevene kunne sammenlikne modellen med fenomenet og vurderer eventuelle avvik. Elever må tolke og kritisere resultater, samt foreslå og søke etter løsninger. Ut ifra funn gjøres det en revidering av modellen (s. 45). Validering er ikke det samme som å evaluere eller revidere modeller. Det går ut på at å abstrahere modellen du har laget for et fenomen, og bruke den på en ny situasjon i samme klasse som det tidligere fenomenet. Det kan i fysikksammenheng handle om å bruke en modell laget for et elastisk støt mellom en kule i fart og en kule i ro, og se om den også stemmer for to kuler i fart (s. 46). Stemmer ikke modellen overens med det liknende fenomenet, kreves det reformulering av modellen. Constantinou et al. (2019, s. 46) viser til litteratur som fremhever at validering gir mulighet for å praktisere kritisk tenkning.

Den andre hovedkomponenten i modelleringskompetanse er metakunnskap om modellering (Constantinou et al., 2019, s. 47). *Metakognitiv kunnskap om modelleringsprosessen* blir beskrevet som en viktig underkomponent hvor elever skal kunne reflektere og beskrive sentrale deler av det å modellere et fenomen. Constantinou et al. (2019, s. 47) skriver viktigheten av å forstå modelleringsprosessen som en syklisk prosess, slik de har vist det i figur 9. Sammenliknet med



Figur 9: Modellering fremstilt som en syklisk prosess. Figur fra Constantinou, Nicolaou og Papaevripidou (2019, s. 41) med egen oversettelse.

den sykliske fremstillingen av modelleringsprosessen av Upmeier zu Belzen et al. (2019) i figur 5, er denne noe forenklet. Likevel legger begge vekt på at modeller skal evalueres og forbedres. Den andre komponenten under metakunnskap om modellering er *meta-modellerings kunnskap*. Det handler om at elever skal forstå hensikten med modeller og hvorfor vi bruker vitenskapelig modellering, altså skal de få epistemologisk forståelse (s. 47).

Gjennom denne delen har modellering blitt belyst. I kapittel 2.1 ble UBU og nøkkelkompetanser trukket frem. Videre i empirien vil målet være å få en sammenkobling mellom disse temaene.

3 Metode

I dette kapittelet vil metoden som er benyttet for å besvare forskningsspørsmålet legges frem. Underveis vil begrunnelse for valg og fremgangsmåte i studien gjøres transparent. Kapittel 3.1 tar for seg den overordnede forskningstilnærmingen og forskningsstrategien for studien. Kapittel 3.2 ser på utvalgsstrategien, mens kapittel 3.3 presenterer hvordan empirien har blitt innhentet ved hjelp av semistrukturerte dybdeintervjuer. Videre vil kapittel 3.4-3.5 ta for seg analysen og beskrive hvordan sitater vil bli brukt til å presentere funn. Til slutt fremhever kapittel 3.6 og 3.7 forskningens kvalitet og etiske betraktninger.

3.1 Forskningstilnærming og forskningsstrategi

Målet med denne oppgaven er å frembringe fysikklæreres refleksjoner om hva modellering i fysikk kan bidra med i utdanning for bærekraftig utvikling. Det er med bakgrunn i forskningsspørsmålet det bør avgjøres om studien skal ha en kvalitativ eller kvantitativ tilnærming (Postholm & Jacobsen, 2018, s. 101). For denne utforskningen er det naturlig å ha en kvalitativ tilnærming. Dette grunner i at formålet med en slik tilnærming er «å beskrive og forstå *den andre*» (Postholm & Jacobsen, 2018, s. 95). Ved å se til denne studien vil *den andre* kjennetegnes som fysikklæreren. Dette er forankret i at jeg vil sette meg inn i hvordan fysikklærerne tenker og reflekterer over den bestemte tematikken. Innenfor kvalitativ forskning finnes det også flere metoder som frembringer kvalitative data, deriblant semistrukturerte intervjuer. Dette er metoden jeg har benyttet meg av. Bakgrunnen for valget kommer frem i kapittel 3.3.

Forskningsstrategien kan kjennetegnes som en casestudie. En casestudie er ifølge Yin (2018, s. 15) dyptgående utforskning av et fenomen i dens kontekst, da konteksten og fenomenet kan være vanskelig å skille fra hverandre. Denne formen for forskningsstrategi er fordelaktig da fysikklærernes refleksjoner om nøkkelkompetanser og modellering kan betraktes som fenomenet. Refleksjonene må sees i sammenheng med fysikkfaget, og kan derfor betraktes som studiens kontekst. Denne casestudien er visuelt fremstilt i figur 10, med inspirasjon fra Miles og Huberman (1994, s. 25) sin illustrasjon på strategien. Her kan man se at casestudien har et fokusområde, eller hjerte, med en ytre grense. Denne ytre grensen studeres ikke eksplisitt, men kan være bestemt av setting, konsepter og utvalg (s. 25). Jeg betrakter denne ytre grensen i likhet med Yin (2018) sin forklaring på viktigheten av en tydelig kontekst til fenomenet.

I figur 10 er derfor fysikkfaget bestemt som en ytre grense for studien, da fysikklærernes refleksjoner skal sees i lys av faget. Den ytre grensen er i tillegg bestemt av utvalgsstrategien. Denne strategien vil bli grundig beskrevet i kapittel 3.3.



Figur 10: Kjernen og casen i studien er fysikklærernes refleksjoner over modellering og bærekraftig utvikling, da spesifikt rettet mot nøkkelkompetanser. En grense for studien er at refleksjonene skal sees i lys av fysikkfaget. Figuren er reprodusert fra Miles og Huberman (1994, s. 25), hvor de presenterer casen i hjertet med en ytre grense.

3.2 Utvalg av informanter

Hvilke informanter som skal inngå i forskningsprosjektet bør reflekteres over før det iverksettes kontakt med interessante deltagere. Bryman (2012, s. 416) skiller mellom tilfeldige og strategiske utvalg, hvor strategisk utvalg er mest brukt i kvalitativ forskning. Det handler om å velge et relevant utvalg slik at forskningsspørsmålet kan belyses på en god måte (s. 418). Rekrutteringen av informanter til dette forskningsprosjektet er valgt på en strategisk måte. Kriteriene bak utvalget grunner i to punkter. Det første, og mest åpenbare, er at informantene er eller har vært fysikklærere på videregående skoler. Det betyr at informanten nødvendigvis ikke må undervise i fysikk perioden hvor intervjuet foregår, men at personen må ha gjort dette tidligere. At lærerne har kjennskap til den videregående skolen vil være viktig for kunnskap om bærekraftig utvikling som innlemmelse i fagfornyelsen. For det andre er det ønskelig med en viss innsikt eller forpliktelse til bærekraftig utvikling. Gjennom rekrutteringen har det derfor blitt vektlagt at informanten jobber, eller har jobbet, på en skole hvor bærekraftig utvikling står sentralt. Eventuelt om informanten gjennom utdanningen, eller egen interesse, har kunnskap om dette. Disse kriteriene mener jeg danner et godt grunnlag for datainnsamling tilknyttet forskningsspørsmålet, og da spesielt det siste kriteriet. Det kommer av at fysikklærere med innsikt i bærekraftig utvikling antageligvis har lettere for å forstå og bidra med egne refleksjoner rundt forskningsspørsmålet.

For å finne et utvalg som kunne fylle kriteriene var jeg i kontakt med veileder og mitt eget nettverk. Gjennom dette arbeidet ble jeg klar over relevante informanter til min studie. Denne formen for strategisk utvalg kan ifølge Bryman (2012, s. 424) kalles snøballutvalg. Det kommer av at relevante informanter gir forslag til andre relevante informanter. Etter gjennomført utvalgsprosess sto jeg i igjen med fem fysikklærere. Dette var Jakob, Filip, Emma, Nora og Lukas (pseudonymer). De var alle fra ulike videregående skoler.

En utfordring med å finne utvalg til et forskningsprosjekt er å bestemme antallet personer som bør delta for å belyse forskningsspørsmålet på en god måte. Bryman (2012, s. 425-427) skriver om dette uten at det fastsettes noe fasitsvar. Det beste er at forskeren har reflektert og er bevisst sin egen utvalgsstrategi, samt at man har tenkt over hvorfor utvalgsstørrelsen anses som hensiktsmessig (s. 426). I min studie anså jeg utvalget på fem fysikklærere som forsvarlig. Det var bredt nok til å få frem flere refleksjoner og meninger opp mot mitt forskningsspørsmål, og lite nok med tanke på tidsperioden for utarbeidelsen av masteroppgaven. Utvalgsstørrelsen gjorde også at det var mulig å avsette relativt god tid til dypgående intervjuer og en grundig analyseprosess.

3.3 Det semistrukturert dybdeintervjuet som forskningsmetode

Ettersom forskningsspørsmålet har en naturlig kvalitativ tilnærming, valgte jeg å benytte meg av intervjuer som forskningsmetode. Dunn (2016, s. 149) beskriver intervju som en metode for datainnsamling hvor det er «en muntlig veksling av informasjon». Denne definisjonen virker derimot lite konkret ettersom hverdagen kan være preget av informasjonsutveksling over en uformell prat. Det som i motsetning skiller et forskningsintervju fra en hverdagslig samtale, er intensjonen om å frembringe dypere kunnskap om et spesifikt fokusområde (Postholm & Jacobsen, 2018, s. 117). I denne studien var det ønskelig å få innadgående informasjon og kunnskap som kunne danne et grunnlag for å besvare forskningsspørsmålet. I tillegg ble intervjuene gjennomført enkeltvis for å få dypere innsikt i lærernes refleksjoner og individuelle meninger. Ettersom lærerne reflekterte over meninger og erfaringer innenfor en relativ god tidsramme, kan denne metodikken karakteriseres som et dybdeintervju (Tjora, 2017, s. 113).

I denne studien har jeg følgelig valgt å benytte en semistrukturert intervjutilnærming. Det betyr at informantens perspektiver blir belyst ved at forsker har forberedt spørsmål, samtidig som det er fleksibilitet til å stille nye spørsmål underveis (Postholm & Jacobsen, 2018, s. 121). Ettersom intervjuene består av refleksjoner om et lite belyst tema, ble det viktig å kunne

stille oppklarings- og oppfølgingsspørsmål for å få god innsikt. For at lærerne skulle åpne seg, ønsket jeg også at de skulle føle et eierskap til intervjuet. Den semistrukturerte tilnærmingen gjorde at spørsmål som underveis opplevdes som besvart, kunne droppes for å unngå gjentakelse. Dermed kunne intervjuet bære preg av å være en samtale, og lærerne unngikk på denne måten å repetere seg selv. Dette var også noe jeg som intervjuer og forsker ble jeg bedre på underveis i prosessen. Den semistrukturerte tilnærmingen gjorde at jeg var åpen for at intervjuet kunne ta enkelte uforutsette vendinger. Dermed ble det svært viktig å være en god lytter og henge med på informantenes resonnementer. Det å være en aktiv lytter beskriver Kvale og Brinkmann (2018, s. 170) som «intervjuers evne til å lytte til hva intervjupersonen sier». Caspersen og Halland (2015, s. 26) skriver at lytting er en psykologisk tilstand, og for å få tak i hva andre sier må vi være oppmerksomme og interesserte. Dette ble praktisert ved at jeg viste oppmerksomhet i form av å stille oppfølgingsspørsmål, holde god blikkontakt og utførte bekræftende nikk mens informantene reflekterte.

Videre finnes det flere fordeler ved intervjuer som har vært viktig i denne studien. Det ble tidligere beskrevet at jeg ville intervjuere lærere enkeltvis for å danne dypere forståelse av deres refleksjoner. Dunn (2016, s. 150) skriver at en styrke ved intervju er muligheten det gir for nettopp dypere innsikt i forskningen enn ved gjennomføring av observasjon eller spørreundersøkelse. Intervjuet kan fylle et gap som andre forskningsmetoder ikke klarer i like stor grad. I lys av forskningsspørsmålet var det hensiktsmessig å være i dialog med fysikklærere ettersom andre metoder kunne gjøre det vanskelig å synliggjøre refleksjoner. Det kan tenkes at et spørreskjema ikke ville gitt lærerne et like stort spillerom til å uttrykke sine meninger, og mulighet for oppklaringssspørsmål ville vært umulig. Dybdeintervju blir også av Tjora (2017, s. 114) beskrevet som meningsfullt «der man vil studerer meninger, holdninger og erfaringer». Dette opplevdes relevant for mitt forskningsspørsmål ettersom jeg ønsket å få frem refleksjoner, noe som er preget av både meninger, holdninger og erfaringer.

3.3.1 Utforming av intervjuguide

Dunn (2016, s. 152) tydeliggjør at det ikke kan forventes at en forsker gjennom et intervju husker alle spørsmål det er ønskelig å stille. Det var derfor fordelaktig å utforme en intervjuguide (se vedlegg 1, Intervjuguide). Jeg valgte å lage en intervjuguide med fullstendige hovedspørsmål, ikke bare stikkord. Dette ga meg som forsker en trygghet i at alle viktige elementer ble inkludert i de fem intervjuene. Strukturen bar preg av å være slik Tjora (2017, s. 145) eksemplifiserer oppbygningen av et dybdeintervju med de tre overordnede fasene: oppvarming, refleksjon og avrundning. Tjora (2017, s. 145) beskriver at spørsmålene i

begynnelsen krever liten grad av refleksjon, deretter øker dette kravet før det igjen avtar. Jeg valgte i tillegg å plassere spørsmålene under de ulike temaene introduksjon, fysikkfaget og modellering, kompetanser for bærekraftig utvikling og modellering, bærekraftig utvikling og avslutning. Ved å gjøre en slik kategorisering ble det lettere for meg og intervjupersonen å holde orden og gi rammer for tematikken (Tjora, 2017, s. 157). I intervjusammenheng var jeg derfor tydelig når vi skulle gå over til et annet fokusområde. Dermed sikret intervjuguiden struktur og retning i intervjuprosessen, men som følge av den semistrukturerte tilnærmingen var det også åpenhet for å stille andre spørsmål som opplevdes som hensiktsmessige underveis.

Det å utforme en intervjuguide har vært en tidskrevende og viktig prosess. Prosessen ble gjort grundig ved at jeg tok utgangspunkt i teori og underspørsmålene til studiens forskningsspørsmål for å formulere relevante spørsmål. Videre tok jeg også med meg erfaringer fra et prøveintervju i et metode-fag våren 2020. Her opplevde jeg viktigheten av å stille åpne spørsmål som ikke virket ledende for informantene. Dette ble sikret i denne intervjuguiden ved flere runder med tilbakemeldinger fra min veileder. På den måten ble intervjuguiden utformet i henhold til god forskningspraksis.

3.3.2 Gjennomføring av intervjuer

Grunnet koronapandemien som foregikk i løpet av studien ble det viktig å være løsningsorientert da endringer brått kunne oppstå. I startfasen av planleggingen var ønsket å gjennomføre flere av intervjuene ansikt-til-ansikt. Det oppsto derimot strengere smittevernstiltak i perioden hvor forespørsel om deltagelse til studien foregikk. For å ivareta lærernes sikkerhet opplevdes det derfor forsvarlig å gi alle informantene tilbud om digitale intervjuer. Dette resulterte i at fire av fem intervjuer ble gjennomført ved hjelp av digitale verktøy. For å bevare forskningens etiske betraktninger var dette en endring som også ble meldt inn til Norsk senter for forskningsdata (NSD). Det ble i tillegg tatt lydopptak fra alle intervjuene med en ekstern diktafon.

De fire digitale intervjuene foregikk over kommunikasjons- og samhandlingsverktøyet Microsoft Teams. Denne intervjuformen kan ha noen svakheter fremfor intervjuer ansikt-til-ansikt. Tjora (2017, s. 169) beskriver at dybdeintervjuer hovedsakelig bør skje som et møte i virkeligheten og at telefonintervju bør unngås. Det kommer av at muligheten til å se hverandres kroppsspråk forsvinner, noe som er et viktig aspekt ved et godt intervju. Gjennomføring av videointervju gjorde derimot ikke at alt kroppsspråk forsvant. Som intervjuer ble det fortsatt mulig å uttrykke oppmerksomhet til informanten ved å opprettholde

blikkontakt og nikke bekreftende. Det gjorde at videointervju opplevdes som et godt alternativ til fysiske intervjuer. En svakhet ved å gjennomføre digitale intervjuer var dårlig lyd kvalitet. Et av intervjuene i studien ble særlig preget av dette, noe som resulterte i en krevende transkripsjonsprosess i etterkant.

Imidlertid er en styrke ved gjennomføring av videointervjuer fleksibiliteten for lærerne. Jeg opplevde at informantene syntes det var en god ordning i en stressende lærerhverdag. Min erfaring var at videointervjuene fungerte tilnærmet like godt som det ene fysiske intervjuet. Derimot kunne det oppleves mer hyggelig å hilse på informanten ansikt-til-ansikt, både for å bli kjent, men også for å skape tryggere omgivelser i intervjusituasjonen.

Uavhengig om det var fysisk intervju, eller videointervju, opplevde jeg at min manglede erfaring som intervjuer kunne være en utfordring. Dette medførte at enkelte deler av intervjuene ble ledet bort fra oppgavens forskningsspørsmål mot sin hensikt. Likevel reduserte jeg denne utfordringen ved å benytte meg av oppfølgingsspørsmål for å føre intervjuet tilbake i riktig retning. I tillegg ble det etter hvert enkelt intervju gjennomført selvstendige refleksjoner rundt min rolle som forsker, og eventuelle forbedringer som kunne implementeres til neste intervju.

I tabell 3 er en oversikt over rekkefølge og varigheten på de gjennomførte intervjuene.

Tabell 3: Oversikt over rekkefølge, pseudonymer på informanter og varigheten til intervjuene.

Nummer	Pseudonym	Skole	Varighet på dybdeintervju
1	Filip	A	1 time og 44 minutter
2	Emma	B	56 minutter
3	Jakob	C	1 time
4	Nora	D	48 minutter
5	Lukas	E	1 time og 16 minutter

3.4 Analysestrategi

Ifølge Tjora (2017, s. 195) har «den kvalitative analysen som mål å gjøre det mulig for en leser av forskningen å få økt kunnskap om saksområdet det forskes på, uten selv å måtte gå igjennom de data som er generert i løpet av prosjektet». Selv om analyseprosessen ofte blir beskrevet som hvordan rådata kan brytes ned og senere bygges opp til meningsskapende sammenhenger, er det interessant å tenke over Anker (2020) sin vide forståelse av analysebegrepet. Allerede når du går inn i valg av tema starter en form for analyserende prosess (Anker, 2020, s. 17-18). I denne forarbeiderfasen er derimot analysen mer implisitt. Analysen blir derimot eksplisitt i analysefasene materialeinnsamling, kondensering, koding og

kategorisering, selve skrivingen av analysen, og drøfting og teoretisering (s. 20-21). I denne delen av oppgaven vil den eksplisitte analysemetoden for studien beskrives. Resultater og drøftinger kommer frem i kapittel 4 og 5.

Det eksplisitte analysearbeidet ble gjort på transkripsjonene. For å behandle mengdene med kvalitative data ble det benyttet en tematisk analysestrategi. Denne metoden betraktes som en strategi hvor forskeren kan være nært knyttet til empirien (Anker, 2020, s. 40), og den kan brukes ved identifisering, analysing og gjenkjenning av mønstre i datamaterialet (Braun & Clarke, 2006, s. 79). Ettersom tematikken i denne studien ikke er undersøkt i større grad tidligere, anser jeg en tematisk analyse som hensiktsmessig for å frembringe ny kunnskap tilknyttet forskningsspørsmålet.

Jeg startet analysearbeidet med transkribering, noe som ga meg oversikt og et førsteinntrykk av datamaterialet. Transkriberingsprosessen er en oversettelse fra talespråk til skriftspråk (Kvale & Brinkmann, 2018, s. 205). Kvale og Brinkmann (2018, s. 204-205) beskriver likevel ikke transkripsjonsprosessen som uproblematisk. Det innebærer en abstraksjon der elementer hvor blant annet stemmeleiet og kroppsspråket til intervjupersonen går tapt. Til tross for at transkripsjonsprosessen kan være utfordrende, finnes det ingen «oppskrift» på hvordan transkripsjonene skal være. Det er likevel noen valg som skal tas (s. 208). Tjora (2017, s. 173) kommer med en anbefaling om fullstendig transkripsjon ved gjennomføring av dybdeintervju. På bakgrunn av dette er alle de fem intervjuene transkribert fra start til slutt. Dette var en tidkrevende prosess da detaljnivået ble høyt. Likevel er det i transkriberingsfasen utfordrende å se alt som vil være av betydning i analysen, og derfor opplevdes det som hensiktsmessig å være ekstra detaljert. Av den grunn prøvde jeg også å legge meg nært opp til den faktiske ordlyden i intervjuene. Hvor nøyaktig en bør være vil trolig avhengig av hva det som er transkripsjonens hensikt. Ettersom jeg er interessert i tematikken i intervjuet, og ikke har utført en språk- eller konversasjonsanalyse, tok jeg bort noen pauser og ord som «ehh». Dette ga meg transkripsjoner med noe bedre flyt.

Videre analysearbeid var avhengig av underspørsmålet til forskningsspørsmålet.

Underspørsmål nr. 1 ble behandlet noe ulikt analytisk i forhold til underspørsmål nr. 2 og 3. Det første underspørsmålet omhandler hvordan fysikklærere forstår og bruker modellering, og danner et bakteppe for de to andre empiriske spørsmålene. De delene fra transkripsjonene som omhandlet hvordan hver enkelt lærer forsto begrepet modell, modellering og hvordan de bruker modellering i fysikkundervisning, ble markert med markeringstusj. Anker (2020, s. 73) påpeker at en måte å få oversikt over datamaterialet på er å kondensere det ned, gjerne i form av

en kort tekst som forteller hva som er hovedinnholdet. Jeg gjorde ikke dette på hele datamaterialet, men derimot på de lengre utsnittene jeg markerte. Bakgrunnen for dette var at jeg anså markeringene som interessant for underspørsmålet, og en kondensering av hele datamaterialet opplevdes ikke hensiktsmessig. I kondenseringen ble ord og begreper fra det opprinnelige utdraget gjenbrukt for at kondenseringen skulle være nær empirien. Kondenseringene av lærernes forståelse av modell, modellering og bruk av modellering i undervisning ble plassert i en tabell. På den måten ble likheter, og eventuelle forskjeller, tydelige. Denne tabellen brukte jeg som utgangspunkt for å skrive resultatene til det første underspørsmålet til forskningsspørsmålet, og vil komme frem i del 4.1.

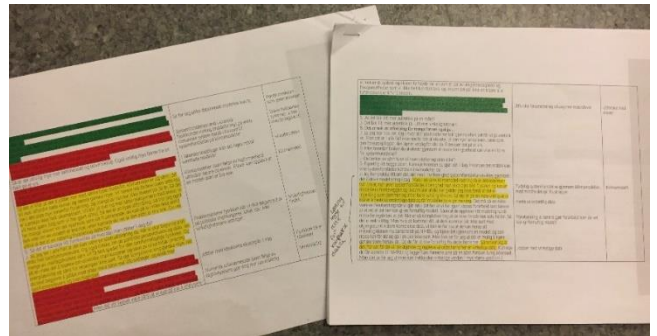
Videre startet jeg en grundig koding og kategorisering til underspørsmålene som omhandler muligheter og begrensninger for å øve systemforståelse og kritisk tenkning (underspørsmål nr. 2 og 3). Dette gjorde jeg med utgangspunkt i Braun og Clarke (2006) sin disposisjonsguide av den tematiske analysen (tabell 4). At det er en disposisjonsguide betyr at stegene de beskriver er retningslinjer og ikke regler (s. 86). Dette er altså en analysetilnærming som er fleksibel for å kunne tilpasses hver studie avhengig av forskningsspørsmål og forskningsdata. Hva jeg gjorde under hvert enkelt steg kommer overordnet frem i tabell 4.

Tabell 4: En tabell som viser disposisjonsguide for den tematiske analysen beskrevet av Braun og Clarke (2006). I tillegg inneholder den kort hva jeg gjorde eksplisitt under stegene.

	Stegene beskrevet av Braun og Clarke (2006)	Hva gjorde jeg?
1	Bli kjent med datamateriale	<ul style="list-style-type: none"> - Transkribering av intervjuer - Gjennomlesning av transkripsjoner - Små kommentarer til interessant innhold
2	Lage de første kodene	<ul style="list-style-type: none"> - Starter med å kondensere ned aktuelle deler av det empiriske materialet. Lagde deretter koder
3	Lete etter kategorier (temaer)	<ul style="list-style-type: none"> - Samlet kodene fra alle intervjuene og lette etter kategorier
4	Kritisk gjennomgang av kategorier	<ul style="list-style-type: none"> - Vurderte kategorier opp mot koder og empirisk materialet
5	Definere og gi alle kategoriene navn	<ul style="list-style-type: none"> - Siste gjennomsjekk. Bli bevisst hva de hensiktsmessige kategoriene innebar, samt vurderte kategoriernes navn
6	Skrive analysen	<ul style="list-style-type: none"> - Kommer i kapittel 4

Etter transkripsjonene (steg 1) startet altså koding og søken etter kategorier for å belyse lærernes refleksjoner rundt muligheter og begrensninger for å øve systemforståelse og kritisk tenkning gjennom modellering (steg 2-5). Her begynte jeg med å markere lengre utsnitt som var relevant for underspørsmålene med en enkel fargekoding (se figur 11). Det som opplevdes som en mulighet ble markert i en farge, mens begrensning i en annen. I tillegg brukte jeg en farge for å markere utsnitt som jeg var usikker på. Deretter foregikk kondenseringen før jeg

lagde koder (steg 2). Kondenseringen kan sees på som et tillegg i Braun og Clarke (2006) sitt andre steg, som egentlig går rett til koding. Et eksempel på prosessen er vist i tabell 5. Ut ifra kodene fra alle intervjuene lagde jeg grupperinger, altså kategorier (steg 3). Dette gjorde jeg med tabeller i Word. På den måten fikk jeg et helhetlig perspektiv av datamaterialet. Kategoriene krevde en kritisk gjennomgang for å vurdere at de faktisk var i overensstemmelse med det empiriske materialet og kodene (steg 4). Til slutt vurderte jeg hvilke kategorier som ble ansett som hensiktsmessig å presentere i analysen, samt vurderte om de hadde gode navn (steg 5).

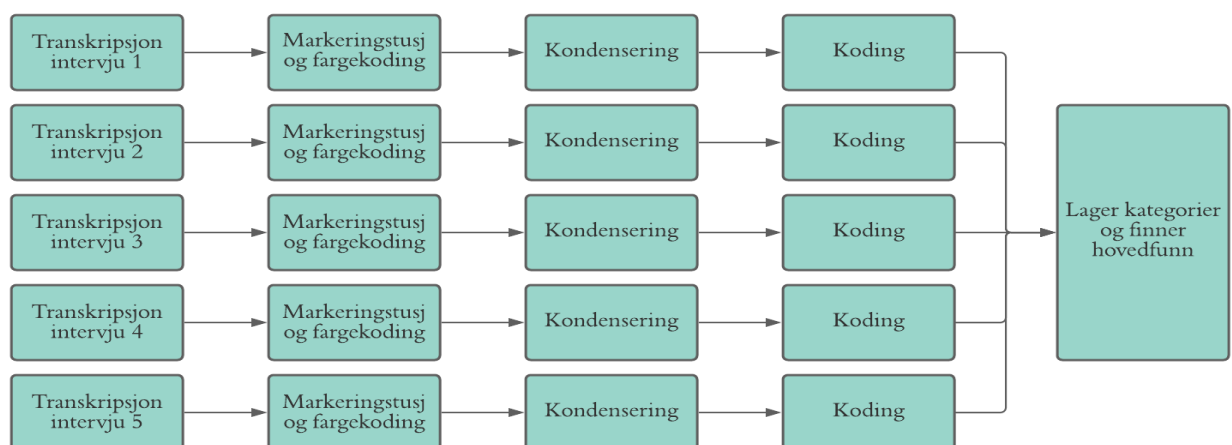


Figur 11: Bilde som eksemplifiserer hvordan jeg jobbet med fargekoding av det empiriske materialet. Transkripsjonen er i kolonnen til venstre, kondenseringen i midterste kolonne og koden i siste kolonne til høyere. Se også tabell 5 for konkret eksempel.

Tabell 5: Et eksempel på hvordan jeg kunne kondensere ned det empiriske materialet og lage en kode. Denne koden ble til slutt samlet under en kategori kalt representasjonsformer.

<i>Utdrag fra det empiriske materialet</i>	<i>Kondensering</i>	<i>Koding</i>
F: (...) Men skal vi jobbe på noe konkret modellering som gir systemforståelse, det er jo litt det vi snakka om i starten å se sammenhenger mellom ulike ting da. Ulike ting som viser, forteller den samme historien. Om det er en graf, formel, tabell, forsøk eller tegning. Det er bare ulike måter å modellere den samme tingen på. Og det kan være en nyttig ting innen systemforståelse. Å vite at du kan ha ulike framstillinger av den samme situasjonen (...)	Modellering for systemforståelse er å se sammenhenger mellom eksempelvis graf og formel. At det er ulike måter å modellere en ting på er nyttig for systemforståelse.	Se sammenhenger

En enkel skisse på hvordan prosessen foregikk kan overordnet vises i figur 12.



Figur 12: Overordnet skisse av analyseprosessen tilknyttet underspørsmålene om systemforståelse og kritisk tenkning.

3.5 Vektleggingen og bruk av sitater i studien

Dybdeintervjuene resulterte i et omfattende empirisk materiale som inneholdt mengder med forskjellige refleksjoner. For å eksemplifisere var det noen lærere som reflekterte over muligheter eller begrensinger for å øve systemforståelse gjennom modellering, som andre ikke gjorde. Dermed er det viktig å påpeke at det har vært lærernes samlede refleksjoner om tematikken som er viktig. Av den grunn presenteres resultatene fra et helhetlig perspektiv i denne masteroppgaven.

Videre til resultatene vil funnene argumenteres for med henvisning til utvalgte sitater. Sitatene er valgt på bakgrunn av at jeg opplever de som hensiktsmessig for funnene tilknyttet forskningsspørsmålet. Det må også fremheves at sitatene kan være et utdrag fra lengre refleksjoner fra lærerne. Dette ble ansett som hensiktsmessig å gjøre da sitatene ellers ville blitt lange, og ettersom alle utsagn ikke var av betydning for forskningsspørsmålet.

3.6 Forskningens kvalitet

Kvaliteten til forskningsstudier handler ikke bare om resultatene av studien, men det er også viktig hvordan disse resultatene og kunnskapene har blitt til (Postholm & Jacobsen, 2018, s. 219). Gjennom dette kapitlet har jeg derfor synliggjort studiens bakenforliggende metodikk. Videre i masteroppgaven vil det også være viktig å forankre resultatene i relevant teori. For Postholm og Jacobsen (2018, s. 221-222) handler nemlig mye av kvaliteten i et studie om at forskeren må være i dialog med nettopp annen teori og forskning. Denne studien bærer preg av å utforske en tematikk som er lite forsket på fra før, og jeg anser det derfor spesielt viktig å drøfte funnene i lys av teori gjennom denne masteroppgaven. Videre vil jeg reflektere over hvordan jeg har ivaretatt studiens kvalitet gjennom pålitelighet og gyldighet.

3.6.1 Reliabilitet (pålitelighet)

Kvale og Brinkmann (2018, s. 276) beskriver reliabilitet som andre forskeres mulighet til å reprodusere liknede resultater. Postholm og Jacobsen (2018, s. 224) stiller seg derimot noe kritisk til denne beskrivelsen tilknyttet kvalitative studier. Dette kommer av at det som frembringes er kontekstuell kunnskap, og at det derfor vil være vanskeligere å reprodusere en slik studie. Reliabiliteten bør derfor knyttes til påliteligheten til empirien som har blitt innsamlet (s. 222-224). For å gjøre en reliabel studie må forskningsprosessen synliggjøres, samt at forskeren selv må reflektere over egen påvirkning (s. 224). I dette kapitlet har jeg forsøkt å synliggjøre forskningsprosessen og gi begrunnelser for utvalg og metodisk fremgangsmåte. På den måten kan leseren ta stilling til de valg som er gjort underveis.

Som nevnt er kvalitative studier vanskelig å reprodusere. Det kommer blant annet av at forskere bringer med seg en subjektive forståelser inn i undersøkelsen (Postholm & Jacobsen, 2018, s. 224). I denne studien har jeg tolket lærernes refleksjoner for å kategorisere og skape sammenhenger fra empirien. Dette kan være noe som har svekket studiens reliabilitet.

Derimot har jeg tatt høyde for å øke reliabiliteten ved å dokumentere og begrunne stegene i analyseprosessen, og vil senere også presentere funn med henvisning til sitater. Leseren kan dermed følge mine resonnementer, men også selv ta et standpunkt med utgangspunkt i sitatet.

En kjent forekomst ved intervjuer er at informanter tilpasser seg det de tror forsker vil høre (Postholm & Jacobsen, 2018, s. 225). Dette er en form for refleksivitet som Yin (2018, s. 114) nevner er en svakhet ved intervju som metode. Selv om det var vanskelig å ta høyde for at dette ble fullstendig utelukket, gjorde jeg flere tiltak som kan ha vært av betydning. I utarbeidelsen av intervjuguiden fikk jeg flere runder med tilbakemeldinger fra veileder, både for å unngå ledende og lukkede spørsmål. Dette medførte at reliabiliteten til intervjuguidens spørsmål i større grad ble ivaretatt. I tillegg forsøkte jeg gjennom intervjuprosessene å stille spørsmål som åpnet for refleksjon, hvor ingen svar ble ansett som «rette» eller «gale».

Det er også sentralt å nevne reliabilitet i forhold til transkripsjonene. Ovenfor har jeg skrevet hvordan dette ble gjennomført. At jeg valgte å legge meg nært opp til det talte ord styrker transkripsjonene. Det er likevel slik at mine tolkninger kan være deltagende i arbeidet. Kvale og Brinkmann (2018, s. 211) fremhever fordelene med at to personer transkriberer samme intervjuene for en kvantifisert reliabilitetsjekk, noe jeg ikke hadde mulighet til. Likevel valgte jeg å lytte på deler av intervjuene flere ganger for kvalitetssikring.

Videre til presentasjon av funn og diskusjon kan jeg vektlegge elementer fra teorien som lærerne ikke fremhevet gjennom intervjuene. Eksempelvis kan det være deler av modelleringsprosessen de ikke eksplisitt uttrykte at de vektla i undervisning. For studiens reliabilitet opplever jeg det sentralt å påpeke at dette ikke bør bety at fysikklærerne aldri har tenkt på disse elementene, eller aldri har gjort visse prosesser i sin undervisning. Derimot kom det ikke tydelig frem fra det empiriske materialet. Fra denne refleksjonen kan det tenkes at et forbedringspotensial i denne studien hadde vært gjennomføring av oppfølgingsintervjuer.

3.6.2 Validitet (gyldighet)

Validitet, også beskrevet som studiens gyldighet, handler om hvilke slutninger som kan trekkes ut fra innhentede data (Postholm & Jacobsen, 2018, s. 222). Forskningsmetodikken til en studie kan være reliabel, men betyr derimot ikke at den er valid. For å ha en valid studie

må metoden kunne gi svar på problemstillingen (Anker, 2020, s. 109). Denne formen for validitet er hva Postholm og Jacobsen (2018, s. 223) fremhever som indre validitet.

Indre validitet handler om konklusjonene som fremlegges er gyldige (Postholm & Jacobsen, 2018, s. 223). Etersom denne studien har et søkelys på lærernes refleksjoner, har jeg tidligere argumentert for at dybdeintervju som metode ble ansett som hensiktsmessig. Jeg tenker at refleksjoner er vanskelig å belyse ved bruk av eksempelvis spørreskjema eller observasjon, og mener derfor at metodevalget har bidratt til å styrke studiens validitet. En annen viktig del for å styrke en studies indre validitet er å redegjøre for alle valg som tas (Tjora, 2017, s. 234). Derfor har jeg gjennomgående begrunnet for metode- og analysevalg. På den måten kan leseren selv velge å stille seg kritisk til forskningen og dens endelige resultater (s. 234).

Ytre validitet handler på den andre siden om studien er generaliserbar til andre kontekster (Postholm & Jacobsen, 2018, s. 238). Som nevnt over er det i denne studien gjort et strategisk utvalg. Et strategisk utvalg lar seg derimot ikke generalisere til en hel populasjon ifølge Bryman (2012, s. 418). Generalisering til en hel populasjon er hva Postholm og Jacobsen (2018, s. 240) kaller statistisk generalisering. I motsetning til denne formen for generalisering legger denne studien vekt på såkalt naturalistisk generalisering. Det handler om at forskningen skal være nøye beskrevet slik at leseren selv kan overføre studien til liknende situasjoner (s. 238). Dette betyr at fremlagt kunnskap likevel kan være av interesse for andre. Hensikten gjennom denne studien er å synliggjøre om det er en mulighet å bruke modellering for å legge til rette for å øve sentrale nøkkelkompetanser innenfor bærekraftig utvikling. Det er derimot ikke slik at fremlagte resultater skal kunne generaliseres til å være alle fysikklæreres refleksjoner om tematikken. Resultatene kan i motsetning synliggjøre om en grunnleggende arbeidsmåte i fysikk kan være et bidrag for tilrettelegging av to spesifikke nøkkelkompetanser. Ved å fremlegge funnene innhentet fra de fem dybdeintervjuene, er målet at andre fysikklærere skal kunne motiveres til å operasjonalisere kunnskapen i klasserommet.

3.7 Ethiske betraktninger

Forskere har et ansvar i å gjennomføre et godt etisk arbeid. Etersom denne studien innebærer innhenting av enkelte personopplysninger, ble prosjektet meldt til Norsk Senter for Forskningsdata (NSD). Ifølge NSD (u.å) regnes eksempelvis lydopptak som en personopplysning, og gir derfor meldeplikt (NSD, u.å). Denne søknaden krevde utfylling av flere områder, deriblant en generell beskrivelse av prosjekt og intervjuguide, samt hvilke og hvordan personopplysninger skal behandles. Dette forskningsprosjektet ble godkjent før

innhenting av det empiriske materialet startet. Godkjenningen tilsier da at NSD har vurdert at prosjektet er i tråd med dere retningslinjer, og at personopplysninger blir behandlet på en forsvarlig måte.

Til tross for den formelle godkjenningen fra NSD, er det flere etiske prinsipper som må tas stilling til underveis i forskningsprosjektet. Postholm og Jacobsen (2018, s. 247) beskriver tre aspekter: informert samtykke, krav på privatliv og korrekt gjengivelse.

Det første aspektet omhandler informert samtykke. Her fremhever Postholm og Jacobsen (2018, s. 247-249) at informantene må kunne være kompetente til å vurdere prosjektet og gjøre et eget valg om å delta. Videre må undersøkelsen også bygge på tydelig informasjon om hensikten med prosjektet, og hvordan data skal benyttes. På mange måter ble dette med informert samtykke allerede tatt i betraktning gjennom meldeplikten til NSD. Her ble det utarbeidet et samtykkeskjema til informantene (se vedlegg 2, samtykkeskjema). Skjemaet inneholdt en kort beskrivelse av formålet med studien, og hva det innebar å delta. I tillegg ble det synliggjort hvordan data skulle behandles og deltagerens rettigheter. Informantene fikk tilsendt samtykkeskjemaet på e-post, og det ble hovedsakelig bekreftet med underskrift. En alternativ løsning var muntlig godkjenning gjennom lydopptak.

Det andre aspektet som Postholm og Jacobsen (2018, s. 249-251) fremhever er krav til privatliv. Hovedpoenget her er at enkeltpersoner ikke skal kunne identifiseres av utenforstående gjennom datamaterialet. Derfor ble det tydeliggjort gjennom samtykkeskjemaet at anonymiteten til informantene ville være sikret gjennom pseudonymer. Pseudonymene brukte jeg allerede ved gjennomføringen av transkripsjonene, så vel som i skrivingen av masteroppgaven. Skolene til informantene er også anonymisert.

Det siste aspektet som blir omhandlet av Postholm og Jacobsen (2018, s. 251-252), er krav til riktig presentasjon av data. Det innebærer blant annet å gjengi resultater riktig. I denne studien tenker jeg dette handler om at transkripsjonene har blitt utført nøyaktig. På den måten blir utvalgte sitater en nær likhet til informantens talte ord. I tillegg vil det være de hensyn jeg tar når sitater til presentasjon av funn velges ut. Sitatene velges for å belyse resultatene jeg har tolket, ikke for å stille informantene i et spesielt godt eller dårlig lys. Analysen er også preget av mine tolkninger av lærernes refleksjoner. Dermed kan det tenkes at det kan finnes flere forståelser av det empiriske materialet. For at leseren skal kunne vurdere mine tolkninger er det hensiktsmessig å vise til sitater fra intervjuene.

4 Resultater og diskusjon

I dette kapittelet vil funnene basert på den tematiske analysen av de fem transkriberte intervjuene bli presentert. Kapittelet tar for seg å belyse de tre underspørsmålene til det overordnede forskningsspørsmålet i studien. Det betyr at delkapittel 4.1 har hovedvekt på hvordan lærere forstår og bruker modellering. Delkapittel 4.2 og 4.3 tar henholdsvis for seg muligheter og begrensinger for å øve systemforståelse og kritisk tenkning gjennom denne arbeidsmåten.

En sentral del for å belyse funnene er å vise til sitater fra fysikklærerne og hvordan disse har blitt analysert og tolket. Sitatene vil være markert med forbokstaven på pseudonymet til informanten. I noen tilfeller har jeg uttalt meg, og da er det markert med min forbokstav (S). Andre markeringer som kan være brukt i selve sitatene, samt hva de betyr, er vist under.

(...) Viser at segmenter av lærernes refleksjoner er utelatt. Dette er gjort hvis noe ikke er av betydning for det presenterte funnet, eller det er en gjentakelse av hva læreren har uttrykt tidligere i sitatet.

[tekst] Klammeparenteser med inneholdende tekst er brukt hvis det er nødvendig å tydeliggjøre hva læreren uttrykker seg om, da det ikke er eksplisitt. På den måten blir utdraget lettere for leseren å sette i en kontekst.

... I intervjusammenheng var det ofte at lærernes refleksjoner ikke ble uttrykt i fullstendige setninger. Dette er markert som tre punktumer i utdragene.

(noe utydelig) Lydopptakene fra intervjuene kunne i enkelte tilfeller være utydelige. Dersom det var vanskelig å forstå hva lærerne sa, ble det markert i transkripsjonen.

4.1 Fysikklærernes forståelse og bruk av modellering i undervisning

For å kunne presentere og forstå fysikklærerens refleksjoner rundt modellering for å øve sentrale nøkkelkompetanser for bærekraftig utvikling (4.2 og 4.3), er det aktuelt å kartlegge hva lærerne legger i modellering og hvordan det brukes i undervisning. Dette er presentert som et underspørsmål i studien. Funnene vil komme frem i 4.1.2, og diskuteres i 4.1.2.1.

Derimot vil gjeldende delkapittel begynne med å beskrive generelt hvordan lærere forstår begrepet modell. Dette vil fungere som et viktig grunnlag i studien ettersom Gilbert og Justi (2016) fremhever at modellering er forstått som en prosess for å lage og bruke modeller. Litteraturen viser også at begrepet kan forstås med enkelte variasjoner (Oh & Oh, 2011). Derfor oppleves det som hensiktsmessig å begynne med å synliggjøre fysikklærerens refleksjoner rundt modellbegrepet i lys av teorien (4.1.1). Jeg velger her å diskutere

resultatene opp imot teori underveis, ettersom det kun er et grunnlag for å forstå senere refleksjoner fra lærerne. Videre vil derimot funnene og tolkninger direkte tilknyttet underspørsmålene i studien legges frem først, før en sammenfattende drøfting med teori skjer til slutt.

4.1.1 Fysikklærernes forståelse av modellbegrepet

Fysikklærerne har overlappende forståelser av modellbegrepet. Vi kan se til følgende sitater:

1. J: Vi tenker jo veldig fort da på en matematisk modell, men det er klart at helt prinsipielt sett kan du si at en modell er en eller annen representasjon, en forenklet representasjon av virkeligheten (...).
2. N: (...) Også da hvis du spør meg om modell da, hva modell er for noe. Da tenker jeg litt på dette med representasjonsformer (...). Fordi en modell er en forenkla måte å se virkeligheten på. Så jeg tenker, en modell kan da være en figur. For eksempel atommodellen, som er en modell som passer ganske godt til å forklare fysiske fenomener, men det er jo ikke sånn det er i virkeligheten. Så en figur og en tegning, og på samme måte en graf vil jeg si, formel – alt dette er ulike modeller for fysiske fenomener.
3. E: Ordet modell bruker vi litt bredt (...). Hvis vi tar det mest overordnede så er det jo det at alt vi gjør i fysikk er en modell, fordi du har virkeligheten der ute, så forsøker vi å trekke ut essensen og de tingene av den vi trenger til å forstå hvorfor verden oppfører seg som den gjør ... eller forutse hva som vil skje. Det er det vi vil bruke en modell til, til å forstå og forutsi. Og da trekker man ut visse deler av virkeligheten, observasjoner som man gjør, fordi det må man alltid gjøre. Så det er da kanskje en form for forenkling som er nyttig for oss da. Med matematikk som regel.

Vi ser at Jakob beskriver en modell som en *forenklet representasjon av virkeligheten* (sitat 1). Dette gjentar seg hos alle fysikklærerne, noe som tyder på at de har likheter i forståelsen av begrepet. Til tross for at Oh og Oh (2011) tydeliggjør at modelldefinisjonene i litteraturen varierer, fremhever de fellestrekket med at det er en «representation of a target» (s. 1114). Et «target» kan eksempelvis være et objekt, fenomen, prosess eller ide. Jeg tenker at alle disse elementene er deler av virkeligheten, og det kan derfor tolkes at lærernes forståelse viser et moment som også Oh og Oh (2011) fremhever.

Nora trekker frem eksempler på ulike representasjonsformer til modeller. En figur, tegning, graf eller formel kan alle være representasjoner av modeller for et fysiske fenomen (sitat 2). At modeller kan uttrykkes på flere måter, er kanskje noe Emma legger i det at ordet modell brukes bredt (sitat 3). Det fremstår at lærerne reflekterer over en modell som en uttrykksform for å vise og konkretisere en forenkling av verden. Gilbert og Justi (2016) skriver at modeller kan uttrykkes på flere måter, altså ha ulike representasjonsformer. En modell vil derfor alltid være en representasjon av virkeligheten. Derimot tenker jeg at en representasjonsform nødvendigvis ikke alltid er en modell. Emma sier at for å forstå verden må vi trekke ut essenser fra virkeligheten og forenkle. Det tyder på at representasjoner som ikke bygger på en forenkling av virkeligheten, ikke er en modell. Av den grunn kan det tenkes at et fotografi/bilde av naturen er en representasjonsform, men ikke en modell. Naturen fremstilles som den er gjennom bildet.

Til tross for at fysikklærerne fremhever at modeller kan ha ulike representasjonsformer, viser både Jakob (sitat 1) og Emma (sitat 3) til særlig matematiske modeller. Det kan tyde på at matematiske formler er en viktig representasjonsform av modeller i fysikkundervisning.

Enkelte lærere snakker også om modellenes rolle i faget. Emma sier at de brukes til å forstå og forutsi hvordan verden oppfører seg (sitat 3). Dette fremhever at modeller er et hjelpemiddel for forståelse. Denne bruken av modeller tydeliggjør også Filip:

4. F: (...) Det er en viktig ting for elever som skal ha realfag, at de lærer seg modelltenkning. Det kommer av at ting nødvendigvis ikke er konkret å ta på. Se for eksempel på atomer og molekyler. De må ha et bilde i hode sitt på hva det er for noe, og det gjør modeller i realfag, og særlig i fysikk og kjemi, ekstremt viktig. Så det er noe jeg bruker vesentlig tid på i timene mine, å gi elevene en forenkling. Det å få bilder på hvordan ting fungerer. Jeg bruker det for forståelse (...). Mye i fysikk 1 og fysikk 2 er jo forenklinger av hvordan ting faktisk er. Vi dropper mange vanskeligheter som egentlig er der, vi later som det ikke er der (...) det kjempeviktig for forståelse.

På bakgrunn av dette vektlegger Filip at modeller er viktig for forståelse da det gir elever et tenkt bilde på et abstrakt fenomen, som eksempelvis atomer og molekyler. Oh og Oh (2011) beskriver også at modeller er en viktig del av vitenskapelig forståelse. De fungerer som en bro som binder teori og fenomen sammen.

Fra hvordan Filip uttrykker seg kan det forstås at modeller særlig benyttes for å gi elevene en forenkling som bidrar til forståelse (sitat 4). At modeller nettopp er forenklinger, kan tenkes å være en begrunnelse for deres positive bidrag til forståelse. Fenomener kan nemlig ofte være sammensatte. Ved derimot å lage modeller som trekker ut essenser som er viktig for hva elevene skal lære, kan trolig fenomenet oppleves som mer konkret.

Gjennom denne delen har lærernes forståelse av modellbegrepet blitt belyst. Dette danner en viktig kontekst for resten av kapittelet. Videre vil det nå legges frem funn tilknyttet det første underspørsmålet: «*Hvordan forstår fysikklærere modellering og hvordan brukes det i undervisning i dag?*». En sammenfattende diskusjon legges frem til slutt (4.1.2.1).

4.1.2 Fysikklærernes forståelse og bruk av modellering

På spørsmålet om hva Emma legger i modellering svarer hun følgende:

5. E: Modellering er jo egentlig noe man gjør i skolen. Fordi ... altså ja okay, jeg antar at modellering vil jo da være er å lage og bruke en modell. Joda, man gjør det andre steder også, men ordet modellering er mye mer skoleorientert da (...).

Emma ser modellering spesielt som en arbeidsmåte i skolen, og beskriver det som *å lage og bruke modeller*. Denne forståelsen av begrepet fremstår som vid. Derimot kan senere uttalelser tyde på at matematiske modelleringer fremheves i hennes fysikkundervisning. At modelleringer i fysikk ofte vektlegger å *utvikle matematiske modeller*, kan sees igjen hos flere av fysikklærerne. Nora legger eksempelvis følgende i modellering:

6. N: (...) Det jeg legger i modellering er å bruke punkt, altså først data som en samler inn selv med forsøk eller målinger man har gjort, også at man plotter det som punkt. Og dermed, modellering vil da si, at man får en funksjon som passer til punktene, og dermed et uttrykk for en graf. Et funksjonsuttrykk. Og på samme måte så vil dette her da være en formel, ja det funksjonsuttrykket man har. Så det er det jeg legger i det å modellere, rett og slett å bruke regresjon.

Nora forstår dermed modellering som at et praktisk arbeid for å samle inn data. Med praktisk arbeid mener jeg at elevene er delaktige i datainnsamlingene gjennom forsøk. Måledataene brukes videre til å gjøre en regresjon for å finne en matematisk sammenheng. Nora sin forståelse av modellering er i overensstemmelse med de andre lærerne. Funnene fra analysen viser nemlig at modelleringsprosessene i fysikkundervisning ofte fremstår som *et praktisk arbeid*. Elevene aktiviseres i en undersøkelse for å lage en matematisk formel som kan

beskrive fenomenet. Filip har flere likhetstrekk i forståelsen av modellering som Nora. Han vektlegger også gjennomføring av forsøk, grafiske fremstillinger og det å finne matematiske sammenhenger.

7. F: Modellering, da tenker jeg mer grafiske framstillinger kanskje. Modellering handler om at elever jobber med å få frem sammenhenger, og kanskje på den måten at man viser det på en matematisk måte (...). Også at vi gjør forsøk. Her kommer jo dette med logging inn. Det at, når de måler hastighet for eksempel, så får de jo en graf som de da skal koble til den bevegelsen de ser (...).

Filip nevner her bruken av logging. Logging kan dermed se ut til å ha en viktig rolle for datainnsamling til modelleringer. Det kan tenkes at Filip mener at loggingen fører til en grafisk fremstilling av ønsket situasjon, og denne fremstillingen kan videre brukes i å utvikle en modell. Generelt fremstår bruken av digitale verktøy sentralt i arbeidsmåten. Lukas uttrykker seg om bruken av programvaren LoggerPro og sensorer for å hente ut data til analyse. Sitatet under viser hva han tenker om modellering.

8. L: Da tenker jeg, og det er jo sikkert (*noe utydelig*) et snevert syn, holdt jeg på å si. Men modellering da (*noe utydelig*) veldig over til at det blir noe digitalt (...).

Her bærer sitatet preg av et utydelig lydopptak, men det kommer frem at Lukas gjerne knytter modellering opp mot noe digitalt.

Videre vil jeg vise til noen konkrete eksempler på hvordan fysikklærerne bruker modellering i undervisning. Analysen viser at lærerne gjerne bruker modellering der *elever skal finne sammenhenger de ikke kjenner til fra før*. Emma og Nora sier:

9. E: Vel vi har vel gjort noen sånne runder hvor vi har gjort måledata. Jeg har jo gjort dette her muffinsforsøket for eksempel (...). Du slipper først en muffinsform, så to muffinsformer, også tre muffinsformer. Også ser du på terminalhastighet som funksjon av masse da, for å se om du kan finne en sammenheng. For det er noe som elevene ikke vet, det er jo noe av poenget der da, at du vil ta noe som de i utgangspunktet ikke vet hva svaret er, også skal de prøve å finne en matematisk sammenheng (...).
10. N: (...) hvis du skal vise en ny formel, for eksempel om fjærstivhet, da kan modellering være en måte hvor elevene selv kommer frem til formelen på. Så istedenfor at jeg som lærer skriver formelen på tavla først, også lærer vi å regne

med den. Så er modellering her en måte hvor de selv kommer fram til formelen. For da kan vi for eksempel gjøre forsøk med fjærstivhet. Det er der jeg har brukt det mest. Og da plotter dem sin egen graf og finner ut at sammenhengen er sånn og sånn, da kan det her være en formel som vi kan bruke. Så jeg syntes det er en interessant læringsmetode da, for å gå den andre veien, at de selv finner formelen.

Fra datamaterialet kommer det frem at Emma har gjennomført en modelleringsoppgave hvor elevene skal lage en modell knyttet til et spesifikt fenomen som fallende muffinsformer (sitat 9). Nora viser til et annet eksempel hvor jeg forstår det som at elevene skal modellere seg frem til Hooks lov (sitat 10). Jakob beskriver også i intervjuet at han har brukt modellering som en inngang til eksempelvis pensum i mekanikk. Gjennom analysen av det empiriske materialet fremstår det altså at lærerne ofte bruker modellering som introduksjon til temaer, gjerne for å finne sammenhenger elevene ikke kjenner til fra før.

4.1.2.1 Diskusjon

Gjennom denne delen av oppgaven vil jeg presentere en sammenfattende drøfting av lærernes forståelse og bruk av modellering i fysikk. Dette er med på å underbygge studiens første underspørsmål.

Emma beskriver modellering som å lage og bruke modeller (sitat 5). Dette er i overensstemmelse med hvordan Gilbert og Justi (2016) beskriver begrepet. I tillegg er det å konstruere og bruke modeller ansett som viktige komponenter innenfor modelleringspraksis av Constantinou et al. (2019) (se figur 8).

Fra analysen fremstår det at lærerne ser modellering som et praktisk arbeid. Gjennom arbeidet utvikler elevene en modell, og for å få til dette er innsamling av data fra fenomenet som skal modelleres essensielt (sitat 6). Til datainnsamlingen ser det ut til at digitale hjelpemidler benyttes (sitat 7 og 8). Hestenes (1987) er en av forfatteren som særlig knytter modellering i fysikk til problemløsning av oppgaver. Lærerne i denne studien knytter derimot begrepet tydeligere til noe praktisk som aktiviserer elevene. Deres forståelse har dermed klarere likhetstrekk med Wells et al. (1995) sin elevaktive beskrivelse av modellering. Der fremstår modellering som en praktisk utførelse som handler om å beskrive og forstå et fenomen. Av de fem ulike modelleringsaktivitetene som Oh og Oh (2011) skiller mellom i undervisning (tabell 2), opplever jeg at lærernes beskrivelser passer best overens med såkalt utforskende modellering. Dette innebærer nettopp at elever konturerer modeller som kan forklare resultater fra undersøkelser på et fenomen.

Lærerne fremhever at elevenes utforskning hovedsakelig resulterer i en matematisk modell. At elever bruker empiriske målinger til å lage modeller som viser matematiske sammenhenger, kan tenkes å være bakgrunnen for det Angell et al. (2012) kaller empirisk-matematisk modellering. Det er flere som fremhever at det hovedsakelig er matematiske modeller som utarbeides i fysikk. Hestenes (1987) knytter som sagt særlig matematiske modeller til problemløsning av oppgaver i faget, og Angell et al. (2019, s. 187) beskriver at «fysikk dreier seg om å lage (matematiske) modeller av virkeligheten (...)». Selv om lærerne i denne studien forstår modellering spesielt som å lage matematiske modeller, viser de en bredere forståelse av selve modellbegrepet. Tidligere funn viser at lærerne overordnet fremhever en modell som en forenklet representasjon av virkeligheten (eks. sitat 1). Angell et al. (2019) beskriver eksempelvis at både skala- og analogimodeller brukes i fysikkundervisning. Derimot kan det forstås, ut ifra lærernes refleksjoner, at slike modeller i større grad ikke utarbeides gjennom elevaktiv modellering i faget. Her fremstår det mer essensielt å forklare fenomener gjennom matematiske sammenhenger.

Lærerne uttrykker ikke eksplisitt at de har en syklisk tilnærming til modelleringsprosessen i undervisning. Litteraturen viser derimot at naturvitenskapen beskriver prosessen slik (Upmeier zu Belzen et al., 2019). Hvorfor sykliske modelleringsprosesser ser ut til å ikke bli vektlagt, kan diskuteres. En årsak kan være at dette er en arbeidsmåte som benyttes på lengre vitenskapsprosjekter (Oh & Oh, 2011), og det fremstår derfor som en tidskrevende prosess. Hvis elevene i tillegg skal modellere noe veletablert i faget, slik som Hooks lov, tenker jeg også at lærerne kan se det som unødvendig å tilrettelegge flere iterasjoner.

Gyllenpalm og Wickman (2011) har tatt opp at vitenskapelige arbeidsmetoder i skolesammenheng kan få en pedagogisk vinkling. Naturvitenskapelig modellering blir beskrevet som en syklisk prosess i litteraturen. Derimot ser det ut til at lærerne ikke vektlegger prosessen slik i undervisning. Dette kan tenkes å utgjøre en forskjell mellom modellering i fysikkfaget og autentisk modellering. Til tross for at lærerne ikke eksplisitt sier at de tilrettelegger for flere iterasjoner der elevene kan videreutvikle modeller, opplever jeg at de gjerne vil påpeke at prosessen optimalt sett burde vært syklisk. Senere funn viser nemlig at fysikklærerne fremhever at elevene skal vurdere og reflektere rundt egenlagde modeller. Kanskje gjør lærerne dette for å vise elevene at forbedringer ofte bør iverksettes dersom det er tid og mulighet til å gjennomføre undersøkelsen igjen. På den måten kan det tenkes at elevene indirekte får en opplevelse av at autentisk modellering foregår syklisk. Jeg undrer om det å

vurdere utviklede modeller derfor kan være nøkkelen til at elever likevel får en forståelse av denne arbeidsmåtenes sykliske aspekt, til tross for at det ikke tilrettelegges for direkte.

Det er andre aspekter med hvordan lærerne bruker modellering i undervisning som kan sees i sammenheng med mer autentisk modellering. Lærerne uttrykker at de ofte bruker modellering som introduksjon til nye temaer eller mer ukjente fenomener for elevene (sitat 9, 10). I figur 5 viser nettopp Upmeier zu Belzen et al. (2019) at modelleringsprosessen starter med en utforskning av et fenomen i den virkelige verden. Det kan tenkes å være aspekter ved fenomenet som er ønskelig å forstå, og som enda ikke har et kjent svar. Etersom lærerne vektlegger modelleringer på mer ukjente fenomener i undervisning, kan det tyde på at de gjerne vil at arbeidsmetoden skal oppleves autentisk for elevene. Angell et al. (2019) fremhever derimot at det kan være for mye å forvente at elever skal finne og oppdage kjente lover og teorier selv. Likevel kan de bruke kjente sammenhenger på helt spesifikke fenomener. Når Emma aktiviserer elever i modellering rundt fallende muffinsformer (sitat 10), bruker de antageligvis prinsipper de kjenner til fra Newtons mekanikk.

Ved å bruke modellering som introduksjon til nye temaer eller ukjente fenomener, tenker jeg det også kan gi elevene en større metakunnskap om modelleringsprosessen. Dette er en viktig modelleringskompetanse ifølge Constantinou et al. (2019). For det første tenker jeg at når elevene utforsker det som for de er ukjente fenomener, gir det metakunnskap ved at de får et innblikk i hvordan naturvitenskapen benytter seg av modellering. Her kan det tenkes at elevene tydeligere ser hvorfor modellering brukes, og hva som er målet med arbeidsmåten. For det andre er det en rimelig antagelse at elever som er med på å utarbeide modeller selv, også får en større forståelse av hensikten med modeller.

Til nå har jeg beskrevet at modellering i fysikkundervisning er av fenomener. Bakgrunnen for dette er at modelleringslitteraturen ofte beskriver at prosessen starter med en observasjon eller undersøkelse av et fenomen (figur 5,6). Nora sier også at modeller passer til å forklare fysiske fenomener (sitat 2). Til tross for at modelleringer ofte beskrives til å være av fenomener, opplever jeg at det også kan sammenliknes med at elevene modellerer systemer. Det kan tenkes at fenomener ofte er systemer. Ifølge Arnold og Wade (2015) og Meadows (2008) består et system av elementer, interaksjoner og en hensikt. Både fallende muffinsformer og undersøkelser av fjærstivet består av elementer og interaksjoner. Hensikten til større systemer er nok klarere enn hensikt til systemer på dette nivået, derimot kan det tenkes at systemet velges med hensikt på å undersøke et fysisk fenomen.

Hvilke systemer elevene modellerer er en viktig diskusjon for videre forståelse av masteroppgaven. Lærernes eksempler kan tyde på at elevene modellerer mindre komplekse systemer, slik som luftmotstand på fallende muffinsformer og fjærstivhet. Det kan sammenliknes med hvordan Zeyer et al. (2019) beskriver et ordnet system, nemlig at systemet har en grad av forutsigbarhet og kontroll. Systemet kan anses som enklere enn komplekse systemer. Når lærerne setter i gang med modelleringsaktiviteter som dette, er det rimelig å anta at de har en klar tanke og forståelse om hva elevene skal komme frem til. På den andre siden har vi komplekse systemer som inneholder større grad av usikkerhet (Zeyer et al., 2019). Et eksempel kan være større klimasystemer. Resultatene tyder på at en del av modelleringene i fysikkundervisningen i dag, slik som på mekaniske systemer, er ordnede. Denne forskjellen blir viktig når jeg videre vil presentere funnene rundt underspørsmålet: «Hvilke muligheter og begrensninger ser fysikklærere for at nøkkelkompetansen systemforståelse kan øves gjennom modellering i fysikk?» (4.2).

4.2 Muligheter og begrensninger for å øve systemforståelse gjennom modellering

Over ble det argumentert for at modelleringer i fysikkundervisning ofte er på ordnede systemer. Derimot vil videre funn vise at noen av lærerne reflekterte over systemforståelse opp imot den nye læreplanen i faget, en læreplan som i tillegg ser ut til å legge mer til rette for undersøkelser på systemer med høyere kompleksitet. Min opplevelse er at lærerne gjorde et skille mellom refleksjoner på systemforståelse gjennom modelleringer av ordnede og komplekse systemer. Gjennom analysen endte jeg derfor opp med dette som to overordnede kategorier. Under hver av disse kategoriene ble det identifisert underkategorier hvor muligheter og begrensninger for å øve systemforståelse ble omfavnet. Funnene av underkategorier er vist i tabell 6. Hva som inngår i kategoriene, vil bli videre utdypet i dette delkapittelet.

Tabell 6: Hovedkategorier og underkategorier etablert fra analysen om muligheter og begrensninger for å øve systemforståelse gjennom modellering.

Systemforståelse	
Ordnete systemer	Komplekse systemer
<i>Modellering er reduksjonistisk</i>	<i>Kompleksiteten og virkelighetsnær fysikk</i>
<i>Fremheve vurderingen av modeller</i>	
<i>Representasjonsformer</i>	
<i>Forstå modellen som generaliserbar</i>	
<i>Modellering av lav kompleksitet</i>	

Delkapittelet vil først ta for seg systemforståelse på ordnede systemer (4.2.1), og deretter på komplekse systemer (4.2.2). Jeg velger å gjøre en drøfting i lys av teorien under hver av disse hovedkategoriene (altså i 4.2.1.1 og 4.2.2.1). Begrunnelsen for å legge inn en sammenfattende drøfting under hver hovedkategori, er for å tydeliggjøre skillet mellom systemforståelse på ordnede og komplekse systemer.

4.2.1 Muligheter og begrensninger på ordnede systemer

Fra diskusjonen i 4.1.2 kommer det frem at lærerne i dag hovedsakelig fremhever modelleringer på ordnede systemer. Det kommer av at systemene er nokså forutsigbare. Dette står i motsetning til et komplekst system (Zeyer et al., 2019). Eksempelvis kan det tenkes at elever som gjør modelleringer på enkle mekaniske systemer, jobber med ordnede systemer. Ut ifra lærernes refleksjoner har jeg tolket ulike muligheter og begrensninger for å øve systemforståelse på slike systemer. Disse funnene vil videre bli presentert.

Modellering er reduksjonistisk

Fra det empiriske materialet kommer det frem at modellering i fysikk ofte er *reduksjonistisk*. Dette fremstår som en mulighet for å øve systemforståelse. For å synliggjøre dette kan vi se til et sitat av Filip. På oppfølgingsspørsmålet: «Så ut ifra hva du sier, oppfatter jeg det som at du ser muligheten for at systemforståelse kan øves gjennom modellering?», svarer han:

11. F: Ja, det tror jeg (...). Vi snakker jo for eksempel om systemer i fysikken også, om krefter på et tog for eksempel. Så da snakker man om systemet hvor man deler det i biter og ser på de hver for seg, og så senere skjønne koblinga på hele systemet. Så det er såne ting også. Det er også en form for modellering, at man peller fra hverandre toget og ser på ting hver for seg. Det er en forenkling. Det er en slags modellering (...).

Dette utdraget viser tegn på at modellering i fysikk er reduksjonistisk. Et system brytes ned, for så å bygges opp igjen. Her opplever jeg at Filip går noe bort fra modellering i form av et praktisk arbeid hvor elevene innhenter måledata. Dette til tross for at han tidligere har knyttet modellering til forsøk (sitat 7). Jeg tolker at han her tenker mer på modellering i form av problemløsning av oppgaver, noe Hestenes (1987) skriver om. Det kan eksempelvis være at elever skal finne en modell for en gitt problemsituasjonen for tog-systemet. Da må elever benytte seg av modeller de allerede kjenner til, for så å beskrive den nye situasjonen. Det kan derimot også tenkes at elever i et praktisk modelleringsarbeid gjør liknende reduksjoner av systemet for å forstå helheten. Ved å innhente empiriske data fra systemet gjøres det allerede

en reduksjon av det som er observert. Jeg tolker det som at Filip mener at reduksjonen av systemet er viktig for å øve systemforståelse. Etter nedbrytningen må elevene «senere skjønne koblingen på hele systemet». At modellering kan aktivisere elevene i en reduksjon av systemet, for senere å bruke dette til å opparbeide en bedre forståelse av hele systemet, forstår jeg som en mulighet for å øve nøkkelkompetansen på mer ordnede systemer.

Fremheve vurderingen av modeller

En annen mulighet for å øve systemforståelse, er at *vurderingen av modellene* må komme tydelig frem. Her vil jeg vise til et sitat fra Emma:

12. E: (...) Jeg tenker systemforståelse, hvis du skal vise det ... (...), så må du jo på en måte ha et system som i utgangspunktet er litt komplekst. Og er litt stort. Og da vet jeg ikke om jeg ville ha valgt det å lage en matematisk modell som et utgangspunkt, fordi poenget er litt å skrelle bort disse bitene. Det er klart du kan lage en, altså du kan ha noe med sånn at du vurderer, hvor den vurderingsbiten kommer veldig fram (...).

Utdraget viser en skepsis ved bruk av matematiske modeller for å øve systemforståelse, da det bør være et system som i utgangspunktet er litt komplekst. Dette er med på å underbygge at matematiske modelleringer i fysikk ofte er på ordnede systemer. Skepsisen Emma uttrykker vil belyses nærmere under overskriften «*modellering av lav kompleksitet*». Derimot kommer det frem at dersom slike modeller skulle blitt brukt til å øve systemforståelse, måtte vurderingsbiten kommet tydelig frem (sitat 12). Jeg tenker at Emma da kan mene vurderingen av modellen opp mot det fenomenet modellen skal representere.

Representasjonsformer

Gjennom analysen har representasjonsformer i sammenheng med modellering fremstått som en mulighet for å øve systemforståelse. Før jeg viser til sitater som belyser dette, vil jeg begynne med å friske opp noen av resultatene og drøftingen fra 4.1.1, samt noen tanker jeg har om sammenhengen mellom representasjonsformer og modellering.

Delkapittel 4.1.1 omhandler hvordan lærerne forstår modellbegrepet. Her fremstår det at modeller kan ha ulike representasjonsformer. Det ble argumentert for at dette nødvendigvis ikke betyr at alle representasjonsformer er modeller. I løpet av modelleringsprosessen kan det tenkes at elevene utarbeider representasjoner av systemet som ikke er modeller. Nora nevner eksempelvis i sitat 6 at elevene plotter målinger de har gjort. Dette kan tenkes å være mer en ordning av målte data heller enn en modell. Derimot legger hun vekt på at modellering er når

du finner en funksjon som passer til disse punktene. Denne funksjonen blir modellen, og kan også representeres gjennom en matematisk formel. Jeg tenker at representasjonsformer som systematiserer målte data kan fungere som et hjelpemiddel i utviklingen av en modell. I intervjuene kommer det ikke tydelig frem om lærerne skiller mellom representasjonsformer av selve systemet (systematisering av målte data), eller representasjonsformer av modellen, når de henviser til ulike representasjoner.

Funn viser likevel at læreren ser en sammenheng mellom representasjonsformer gjennom modellering og systemforståelse. Vi kan se til følgende sitat av Filip.

13. F: (...) Men skal vi jobbe på noe konkret modellering som gir systemforståelse, det er jo litt det vi snakka om i starten, å se sammenhenger mellom ulike ting da. Ulike ting som viser, forteller den samme historien. Om det er en graf, formel, tabell, forsøk eller tegning. Det er bare ulike måter å modellere den samme tingen på. Og det kan være en nyttig ting innen systemforståelse. Å vite at du kan ha ulike framstillinger av den samme situasjonen (...).

Vi ser her at Filip betrakter det å se sammenhenger mellom ulike representasjoner som en form for systemforståelse. Her kan det først se ut til at han mener representasjonene til modellen, da han sier «det er bare ulike måter å modellere samme tingen på». Derimot fremhever han representasjonsformen tabell. Dette tenker jeg kan være en modell, men ofte fremstår det bare som en presentasjon av målepunkt. Jeg opplever at dette kan tyde på at modelleringsprosessen kan lage ulike representasjoner av systemet, men også ulike representasjoner av modeller for systemet. Det kan dermed forstås at evnen til å se sammenhengen mellom alle representasjonsformer som prosessen bringer frem, er viktig for systemforståelse. Dette gjelder både representasjonene av systemet, og representasjoner av modellen for systemet.

Fra sitat 13 kan det se ut til at Filip mener at alle representasjonsformer forteller det samme. Senere sier han derimot følgende:

14. F: (...) Du må ha en forståelse av det å kunne koble sammen de tingene [de ulike representasjonsformene] og se hva som forteller deg hva. Se hva som er sammenhengen mellom formelen og grafen. Hvilke ting i formelen er hvilke ting i grafen. Og det er en form for systemforståelse (...).

Her tolker jeg det som at Filip mener at det er summen av representasjonsformer som utfyller hverandre, og dermed gir en helhetlig forståelse av systemet.

Nora er også en av fysikklærerne som støtter opp under at de mange representasjonsformene kan være et hjelpemiddel for systemforståelse. På spørsmålet som omhandler om hun ser noen forskjell mellom modellering og systemforståelse svarer hun:

15. N: Jeg vil heller si at modellering inngår som en del av systemforståelsen. Eller for å få god systemforståelse så kan modellering være et hjelpemiddel. For modellering kan jo være så mange forskjellige ting, så ved å bruke forskjellige sider å angripe et tema på, så vil de få en bedre systemforståelse da. Det tror jeg.

Nora ser modellering som et hjelpemiddel for å opparbeide god systemforståelse. Det begrunner hun med at modellering kan være mye forskjellig. Dette tenker jeg kan henge sammen med at modelleringsprosessen frembringer flere ulike representasjonsformer.

Jakob trekker også frem dette med representasjonsformer for systemforståelse i modellering. Med dette vektlegger han også viktigheten av at elever øves til å se på fenomener fra ulike perspektiv.

16. J: (...) Fordi du [må] på en måte øves til å se på fenomener med ulike briller. Så du kan på en måte se på noe med grafiske briller, ikke sant prøve å se for deg en graf. Eller du kan se på det med kraftbrillene, du kan prøve å se etter kreftene. Og det å stimulere elevene til å på en måte skifte fokus på den måten da, det tenker jeg er en form for systemforståelseskompetanse som er verdifull sånn utover den mekanikken du holder på den. Eller så ... ja, det er klart at en modell den må jo kunne fungere med forskjellige typer datainnputt, og det i seg selv handler jo og om å se for seg ulike type data du kunne fått inn da (...).

På bakgrunn at dette ser vi at lærerne må stimulere elevene til å studere fenomener med ulike hensyn. Det fremstår at det er spesielt evnen til å skifte fokus mellom ulike måter å se et fenomen på, som er viktig for systemforståelseskompetansen. Jakob mener at denne evnen også er verdifull i andre sammenhenger, ikke bare i fysikk. Det kan tenkes at i et UBU-perspektiv er det generelt viktig å se problemstillinger fra ulike sider. Spesielt ettersom det ofte ikke finnes en klar løsning på problemet.

Forstå modellen som generaliserbar

Noen av lærerne fremhever at en annen mulighet for å bruke modellering for systemforståelse, er at elevene må jobbe med å forstå modellen som *generaliserbar*. I sitat 16 uttrykker Jakob at en modell skal fungere med ulike datainnputt. Det kan tolkes at Jakob mener at elever som evner å se for seg ulike data som en modell kan brukes på, øver systemforståelse. På mange måter kan dette også omhandle å se modellens overføringsverdi. På spørsmål om hvordan Lukas tenker at elever eventuelt kan vise systemforståelse gjennom modelleringsarbeid, uttrykker han:

17. L: Det måtte jo ha vært at de nesten evnet å ... (*noe utydelig*) dem holder på med noe modellering og klarer å se overføringsverdier. Da tenker jeg at den der overføringsverdien, fra et fenomen til et helt annet ukjent fenomen, det blir for meg kanskje litt sånn systemtenkning da (...).

Her uttrykker Lukas at evnen til å se overføringsverdier er en form for systemforståelse. En modell som utarbeides for et fenomen bør kunne sees i sammenheng med et annet liknende fenomen.

Modellering av lav kompleksitet

Emma uttrykker en skepsis på sammenhengen mellom modellering og systemforståelse (sitat 12). Ut fra det empiriske materialet fremkommer det at fire av fem lærere reflekterer over at måten de praktiserer modellering på i dag, trolig ikke er mest gunstig for å øve systemforståelse. Til tross for at noen generelle muligheter har blitt presentert, kan det virke som de tenker at et nytt syn på modelleringsprosessen er nødvendig. Vi kan se til følgende uttalelse fra Jakob.

18. J: (...) Eller så tenker jeg at den systemforståelsen vi har øvd på i klassisk fysikkundervisning med enkle mekaniske systemer ikke sant, den er likevel ganske banal når vi skal begynne å jobbe med systemforståelsen innen klimamodeller. Så det er utrolig mye mer sammensatt og uoversiktlig. Også veldig mye fjernere fra en fasit på et vis. Du kan alltid forbedre en klimamodell på en måte, men du kan sannsynligvis, i alle fall i mange sammenhenger knyttet til enkle laborariesettinger, lage enkle modeller som er ganske vannfast (...).

Jakob uttrykker i sitat 18 at systemforståelsen i klassisk fysikkundervisning er banal i forhold til den systemforståelsen som kommer til syne med klimamodeller. Det kan altså se ut til at systemene som undersøkes i dag *er av for lav kompleksitet*. Systemene er vannfaste. Med det

tror jeg Jakob mener at modellene elevene oppmuntres til å lage har en tilnærmet fasit. Dette anses som en begrensende faktor for å øve systemforståelse. Det kan underbygges av blant annet Emma som sier at vi bør ha et system som i utgangspunktet er litt komplekst (sitat 12). Filip sier også i intervjuet at for å øve nøkkelkompetansen, «må vi nok på mer kompleks modellering enn å krasje to biler i hverandre». Klimamodeller er derimot modeller av mer komplekse systemer, og noe jeg vil komme tilbake til i kap. 4.2.3. Ut ifra dette resultatet kan det derfor tyde på at nøkkelkompetansen øves bedre gjennom mer komplekse systemer.

Følgelig vil jeg nå trekke ut et lengre utdrag fra intervjuet med Emma. Her begrunner hun hvorfor ordnede systemer nødvendigvis ikke støtter opp under systemforståelse i like stor grad.

19. S: Ja, du tenker litt på at modellering i fysikk er litt ...

20. E: smalt. Ja nettopp fordi det du gjør når du lager en matematisk modell er jo at du prøver å luke bort alle tingene som kan forstyrre modellen din for at du ikke skal få ... Altså det gjør man jo gjerne, altså jeg har aldri bedt elevene finne en problemstilling selv (...). jeg sier aldri finn en eller annen ting å se på. Det går ikke. Nei. Og da har du jo allerede lukket det ganske mye. Fordi når du som lærer velger ut ... [du] velger ut noe som du vet gir ganske greier resultater, slik at du vet at elevene kommer noen vei. Og da er på en måte noe av dette komplekse, at det er flere forskjellige steder å se på og sånn. Det tar du jo litt bort, nettopp for at de skal føle mestringen da. På en måte.

Ut ifra sitat 20 tolker jeg det slik at Emma er usikker på om enkelte matematisk modellering øver systemforståelse. Lærere luker bort forstyrrelser for at elever skal få resultater og føle mestring, og dermed reduseres kompleksiteten. Det kan derimot tolkes at Emma tenker at en mulighet for å legge til rette for systemforståelse er om elevene finner problemstillinger selv.

At fysikken kan ha godt av å undersøke systemer av litt høyere kompleksitet, kommer frem i følgende sitat.

21. J: (...) Samtidig så her jeg i alle årene jeg har jobbet med fysikkundervisning i skolen gått med en litt sånn flau smak i munnen på at vi lurer dem litt, og at vi bare driver med sånne idealiserte eksempler og sånn. Og når vi nå i enda større grad skal jobbe numerisk [som følge av ny læreplan], ikke sant, med å faktisk hente ut virkelige data og modellere ting derifra så vil vi ... ja, ting vil være mere uoversiktlig og mindre clean cut liksom (...).

Her ser vi at Jakob trekker frem at den nye læreplanen fremhever mer numerisk arbeid med elevene. Det kan tolkes at læreplanen legger til rette for undersøkelser på mer komplekse systemer, noe som kan være en løsning på hvordan systemforståelse bedre kan øves gjennom modellering. Videre vil dette belyses nærmere på i delkapittel 4.2.2.

4.2.1.1 Diskusjon

En sammenfattende diskusjon tilknyttet funnene i 4.2.1 vil nå bli presentert.

Det kommer frem fra analysen at modellering er reduksjonistisk. Dette kan sees i sammenheng med at modeller fokuserer på sentrale aspekter ved fenomenet (Oh & Oh, 2011). Fra litteraturen ser vi også at modeller er forenklinger (Etkina et al., 2006). Filip uttrykker seg om modellering av et sammensatt tog-system (sitat 11). Han beskriver hvordan et sammensatt system brytes ned ved å undersøke bitene systemet består av. Hestenes (1987) har beskrevet bruken av modellering i fysikk til problemløsning av oppgaver. Fra oppgaveløsning i fysikk kan vi gjenkjenne hvordan sammensatte systemer brytes ned, for så å lage en modell for den gitte problemsituasjonen. Derimot ser vi at lærerne også beskriver den praktiske modelleringsprosessen hvor elevene innhenter empirisk materiale, som en prosess for å luke vekk forstyrrelser (sitat 20). Funn viser at modelleringens reduksjonistiske aspekt kan være en mulighet for å øve systemforståelse (sitat 11). Dette er i tråd med Arnold og Wade (2017) som påpeker at en ferdighet innenfor systemforståelse er evnen til å se helheten, men også elementene systemet består av. Når systemet brytes ned kan det tenkes at elever tydeligere ser elementene i systemet. En lav ferdighet innenfor nøkkelkompetansen er når elever ikke ser systemet som holistisk (Arnold & Wade, 2017). Dermed kan det tenkes at modelleringens reduksjonistiske aspekt også kan være en begrensning dersom elementene i systemet ikke sees i sammenheng. Interaksjonene mellom elementene må forstås. Dette kan være grunnen til at Filip vektlegger at reduksjonen må gjøres for å «senere skjønne koblinga på hele systemet» (sitat 11).

I tillegg kommer det frem at en mulighet for å øve systemforståelse gjennom enklere systemer, er at vurderingen av modellene bør komme frem (sitat 12). Det å vurdere om utarbeidet modell stemmer overens med systemet som er ønskelig å beskrive, er trolig viktig for systemforståelse. Dette kommer av det øverste nivået i Schuler et al. (2018) sin heuristiske modell for nøkkelkompetansen. Nivået handler blant annet om å kunne vurdere om en har en rett forståelse av systemet. Skal systemforståelse øves gjennom ordnede systemer, kan vurderingsaspektet av modellen derfor være viktig å vektlegge.

Fysikklærerne knytter sammen modellering og representasjonsformer. Angell et al. (2012) beskriver gjennom sin forskning at de har brukt empirisk-matematisk modellering og vektlagt bruk av flere representasjonsformer i prosessen. Dette viser at lærerne har gode grunner til å knytte sammen modellering og representasjonsformer. I lys av systemforståelse er det noe utydelig om det er sammenhengen mellom representasjonene til selve systemet, eller representasjonene til modellen av systemet, som fremkommer som viktig hos lærerne. Det kan derimot tyde på at det er evnen til å se sammenhenger mellom alle representasjonsformer gjennom modelleringsprosessen, både på systemet og modellen, som er essensielt.

Som sagt viser lærernes refleksjoner at modellering og representasjonsformer fremstår å gi en mulighet for å øve systemforståelse. Ettersom modelleringsprosessen vil frembringe flere representasjonsformer, kan det også være lettere for elevene å se sammenhengene mellom dem. Filip nevner at systemforståelse blant annet er når elevene ser «hvilke ting i formelen [som] er hvilke ting i grafen» (sitat 14). Innenfor litteraturen om systemforståelse kommer ikke dette eksplisitt til uttrykk som viktig. Derimot kan det tenkes at dersom lærere gjennom modelleringsaktiviteter klarer å øve elevene på å se sammenhenger mellom representasjonsformene i prosessen, får elevene et større overblikk og forståelse av systemet de undersøker. En ferdighet innenfor systemforståelse som kan sammenliknes med å vurdere systemet helhetlig (tabell 1) (Arnold & Wade, 2017).

Et annet aspekt som kan tenkes å øve systemforståelse gjennom modellering, er å kunne se systemet som skal modelleres fra ulike perspektiv. Det kommer frem i sitat 16 hvor Jakob viser til at elever bør kunne se fenomener med ulike briller. Ifølge Arnold og Wade (2017) er en ferdighet innenfor systemforståelse nettopp det å kunne utforske flere perspektiver av et problem. Det er viktig for å tilegne seg et tankesett for systemforståelse. Jakob forteller at elever eksempelvis bør kunne skifte fokus mellom å se fenomener med kraft-briller og grafiske briller. At det er viktig å skifte fokus, kan også være overførbart til problemstillinger innenfor bærekraftig utvikling. Det er nemlig tenkelig at dersom elever klarer å se systemer fra ulike perspektiver, kan det også opparbeides en bredere forståelse av selve systemet. Dette funnet kan også sees i sammenheng med Schuler et al. (2018) sin heuristiske modell (figur 3). Den første dimensjonen omhandler kunnskap om systemer. Dette er nødvendig for senere å bygge videre på de neste dimensjonene. Når elever har fått en bred forståelse av systemet ved å studere det fra ulike perspektiver, kan det tenkes at de jobber seg oppover på deres heuristiske fremstilling.

Fysikklærerne uttrykker også at elever som evner å se modeller de utarbeider som generaliserbare, utvikler en form for systemforståelse. Lukas beskriver det som evnen til å se overføringsverdier til modeller (sitat 17). Det å kunne abstrahere en modell for et fenomen over på et liknede fenomen, er en modelleringspraksis Constantinou et al. (2019) beskriver som validering av modeller (figur 8). Forfatterne fremhever at validering ofte blir nedprioritert. Ut ifra lærernes beskrivelse av modellering i denne studien, får jeg heller ikke inntrykket av at denne modelleringspraksisen prioriteres. Dette til tross for at de fremhever det som en mulighet for å øve nøkkelkompetansen gjennom modellering. Fra litteraturen kan det være noe utfordrende å finne likhetstrekk mellom det å se generaliserbarheten til modeller, og systemforståelse. Det er likevel en rimelig antagelse at dersom elever klarer å generalisere modeller til liknende systemer, har de en god forståelse av systemets struktur. For å øve systemforståelse, og for å tilegne elevene en viktig modelleringspraksis, kan det derfor tenkes at fysikklærere bør vektlegge validering av modeller i undervisning.

Enkelte fysikklærere uttrykker at modellering er en del av systemforståelsen (sitat 15). At disse elementene henger sammen kan vi først og fremst se igjen som en ferdighet ved systemforståelse hos Arnold og Wade (2017). De fremhever at mental modellering og abstraksjon er viktig for å gi mening til det observerte systemet. Denne prosessen foregår derimot på et mentalt nivå og er hele tiden under oppdatering. For det andre kan vi se sammenhengen i systemforståelsens heuristiske fremstillingen av Schuler et al. (2018). Dimensjon to omhandler modelleringen av systemet. Her opplever jeg derimot at det er en ting som er viktig å problematisere. Vi har tidligere sett at modellering er et vidt begrep, deriblant er det beskrevet som en forenkling av virkeligheten. Når Schuler et al. (2018) skriver at systemforståelse innebærer å kunne modellere systemet, kan det tyde på de vektlegger en illustrasjon som viser hvordan større komponenter, som miljø og økonomi, henger sammen. Grunnen til dette er at de ser systemforståelse opp mot temaer innenfor bærekraftig utvikling. Derimot viser funn at det hovedsakelig er matematiske modelleringer på mindre systemer som foregår i fysikkundervisning. Ettersom noen av lærerne trekker frem en sammenheng mellom modellering og systemforståelse, kan det likevel tenkes at det er en sammenheng mellom systemforståelse og de matematiske modelleringene på ordnede systemer. I motsetning til at elevene ser hvordan økonomi og klima påvirker hverandre, kan de studere hvordan de mindre variablene i modellen påvirkes av endringer. Til tross for at enkelte lærere ser denne sammenhengen, vil videre funn også problematisere arbeidet med å modellere ordnede systemer for å øve systemforståelse.

Flere fysikklærere reflekterer over at elever som arbeider med ordnede systemer, ikke har muligheten til å øve systemforståelse i like stor grad som når de jobber med systemer av høyere kompleksitet. Det kan diskuteres hvorfor lærerne reflekterer over dette. For det første beskrives systemforståelse i UBU-litteraturen som evnen til å analysere komplekse systemer (Rieckmann et al., 2017; Wiek et al., 2011). For det andre skriver Zeyer et al. (2019) også at komplekse systemer krever håndtering av usikkerhet. Det virker derfor logisk at lærere reflekterer over at arbeid med enkle systemer, som å undersøke fjærstivhet og luftmotstand på fallende muffinsformer, ikke øver nøkkelkompetansen i stor grad. Her kan det tenkes at det er færre elementer som inngår, samt at systemet ofte er forutsigbart. Problemstillinger innenfor bærekraftig utvikling er ofte innlemmet i større systemer bestående av mange elementer og mer usikkerhet. Det har likevel blitt belyst gjennom denne delen av oppgaven at enkelte elementer ved ordnede systemer gir muligheter for å øve systemforståelse. Grunnen til at enkelte muligheter på ordnede systemer trekkes frem av lærerne, kan være at de ser utfordringer med å kun øve systemforståelse på komplekse systemer. Breil (2018) beskriver nettopp at systemforståelse i undervisning er en utfordring på grunn av kompleksiteten til systemene de brukes på. Ved å legge til rette for systemtenkningsferdigheter på enklere systemer, slik som ferdighetene beskrevet av Arnold og Wade (2017), kan det være at elever senere overføre de til systemer av høyere kompleksitet (Breil, 2018).

Gjennom dette delkapittelet har jeg belyst muligheter og begrensinger for å øve systemforståelse gjennom modelleringer av ordnede systemer. Dette er gjort med utgangspunkt i lærernes refleksjoner. En begrensning er at systemene kan være av for *liten kompleksitet*. Likevel kommer enkelte muligheter frem. Det kan dermed tenkes at lærerne bevisst må gå inn for å tilrettelegge for disse mulighetene for å øve systemforståelse. De bør vektlegge modelleringens *reduksjonistiske aspekt* ved å bevisstgjøre elementer systemet består av, samt hvordan disse intrigerer med hverandre. I tillegg bør det avsettes tid til å *vurdere modellen* som er utarbeidet, samt se hvordan den kan *generaliseres*. Et annet viktig funn som kommer frem, er at modelleringsarbeidet bør benytte seg av flere *representasjonsformer* og fremheve sammenhengene mellom disse. På den måten kan det være at elevene får en mer helhetlig forståelse av et ordnet systemet. Videre vil jeg nå presentere funn som viser muligheter og begrensinger for systemforståelse gjennom arbeid med modellering av systemer med høyere kompleksitet.

4.2.2 Muligheter og begrensinger på komplekse systemer

I perioden hvor intervjuene med fysikklærerne foregikk, lå et høringsutkast til den nye læreplanen i faget ute. Jeg vil vise til et lengre sitat fra intervjuet med Jakob som fremhever hans refleksjoner om dette.

22. J: Men det som da har skjedd i fysikken er at de har tatt bort en del elementer (...). Så har de tatt inn numerisk metode og programmering som de nå knytter opp til mekanikk (...). Også har de fått inn to sånne politiske, om de vil, samfunnsrelevante kompetansemål. Hvor det ene handler om strålingsbalanse, og liksom det å jobbe med klimamodeller (...). Også er det det andre. Et mål som åpner opp for utforskning, og det handler da om å vurdere ulike påstander og argumenter om energi og klima i samfunnsaktuelle problemstillinger. Det her siste syntes jeg er veldig spennende, og særlig hvis en da kan med utgangspunkt i det arbeidet de har gjort tidligere da, for eksempel med modeller og klima og sånn. Kan gå inn og gjøre fordypningsoppgaver som handler ... kan knyttes videre til hva som blir løsningen på dette her. Hvordan kan vi for eksempel da jobbe med fornybar energi på en ny måte, så kan de velge ulike retninger å gå i det. De kan velge å gå i retning av kjernefysikk for eksempel, så kan de se på thorium og ulike mulige løsninger rundt fusjon [Informanten kommer også med andre eksempler] (...). Så det å jobbe med denne typen problemstillinger som forlengelsen av det å først modellert og forstått et komplekst problem og lete etter løsninger, det tenker jeg vil kunne ... for det første bidra til å kunne at fysikkutdanningen allerede på videregående blir veldig mye mere tydelig relevant, samfunnsrelevant for elevene. Men også at det kan bidra til å gi dem en opplevelse av håp og mestring i møte med verdens problem og sitt eget liv.

Det kan forstås at Jakob ser at modellering kan få en sentral plass i den nye læreplanen. Det nevnes at numerisk metode og programmering knyttes opp til mekanikken. Han fremhever derimot også den mer samfunnsrelevante biten i fysikken, og ser for seg å bruke modellering i mer åpne utforskninger rundt dagsaktuelle problemstillinger. Det kan tenkes at dette er problemstillinger som ikke har en bestemt løsning, og derfor er mer komplekse. Det empiriske materialet viser noen forskjeller på å øve systemforståelse gjennom modellering av ordnede og komplekse systemer. Videre vil jeg presentere hvilke muligheter og begrensinger som kommer frem ved å øve systemforståelse gjennom arbeide på mer komplekse systemer.

Kompleksiteten og virkelighetsnær fysikk

Studien finner at det kan være nødvendig å gå inn i å modellere mer komplekse systemer dersom elever skal øve systemforståelse.

23. J: Jeg har snakka litt om det, det med i hvilken grad systemforståelse utvikles gjennom det å drive modellering i dag. Men i en sånn klimamodell-setting så er det ikke noen tvil om at man øver systemforståelse, i den grad man ikke bare blir frustrert og kaster modellen i femteveggen, og liksom sier at det her gidder jeg ikke fordi at det er ingenting som stemmer og alt er bare synsing liksom. Så det er på en måte viktig at vi klarer å hente ut ordentlige data og får modeller som gir mening. Det må på en måte være en forutsetning når vi går inn i det her at vi har gjort såpass forarbeid som lærere at vi vet at det her kan gi en fornuftig modell. Sånn at de [elevene] opplever litt mestring rundt modelleringsbiten, at det ikke er så komplekse ting at de ikke forstår noe selv heller. Så det er nok viktig (...).

Jakob fremhever her at «i en sånn klimamodell-setting er det ikke noen tvil om at man øver systemforståelse». Det kommer ikke tydelig frem fra det empiriske materialet nøyaktig hvorfor eksempelvis klimamodeller øver systemforståelse. Jeg tolker derimot at det grunner i at systemene som undersøkes er mer komplekse og sammensatte enn eksempelvis undersøkelser på systemer i mekanikken. Blant annet kan det tenkes at det å studere temperaturøkningen i lokalsamfunnet og forutsi fremtidige scenarier inneholder større usikkerhet ettersom mange faktorer som kan påvirke temperatur. I intervjuet reflekterer også Jakob rundt tanken om å hente ut virkelige metrologidata fra forskningsfelt til modellering. Det kan tenkes å bli brukt til å diskutere samfunnsaktuelle problemstillinger.

Samfunnsaktuelle problemstillinger er ofte sammensatte, noe som kan tyde på at det å jobbe med *virkelighetsnære situasjoner i fysikk* er en mulighet for bruk av modellering til systemforståelse.

Når læreren her nevner klimamodeller, tenker jeg at han mener modeller med enkelte klimavariabler. Omfattende klimamodeller som tar hensyn til mange variabler, er noe erfarne forskere bruker mye tid og teoretiske kunnskaper på å utvikle. Derimot kan det være at det å la elever jobbe med enkelte klimavariabler i modellutvikling kan danne et grunnlag for å forstå prinsipper i modellering, samt hvorfor modeller brukes i samfunnet i dag. Kanskje kan det også danne et grunnlag for å forstå fremstillinger av mer omfattende publiserte klimamodeller senere, eksempelvis de som blir presentert i FNs klimarapporter.

Selv om det å la elevene jobbe med mer komplekse systemer er en mulighet for å øve systemforståelse i fysikk, kommer det også frem at dette også kan ha noen begrensninger. Det kan være *en utfordring for lærere og elever*. For elevene kan kompleksiteten være en utfordring da det kan gi frustrasjon (sitat 23). Frustrasjonen kan komme av at elevene aldri vet om modellen er bra nok (sitat 24). Det grunner i at modellene nødvendigvis ikke har noen fasit og til en viss grad alltid kan forbedres. Dette utfordrer også lærerne da god planlegging er en forutsetning.

24. J: (...) Så det er klart at det å jobbe mer med sånne type modeller, klimamodeller og sånn, det vil nok utfordre både elever og lærere ganske mye. Vi lærere må da hele tiden sette oss inn i det siste nye innenfor forskning, og mange av oss har ikke studert på 30 år. Så det er kanskje ikke helt ukomplisert. Vi blir jo mer og mer sånn reaksjonære med årene, vi vil helst gjøre ting som vi har gjort alltid. Så det er en type utfordring. Så tror jeg også for mange elever vil det oppleves som litt frustrerende, du kan på en måte ikke alltid helt vite om en modell er bra nok, eller kanskje du vet at den aldri er bra nok. Du vet alltid at det er en latterlig forenkling dette her.

Her tenker Jakob at en utfordring med å tilrettelegge mer for komplekse systemer i undervisning er at lærere kan være reaksjonære. Det kan tenkes at det er utfordrende å bryte godt tilrettelagte vaner som lærer.

Tilrettelegging for komplekse systemer

Jakob, Emma og Filip reflekterer særlig over dette med mer komplekse systemer i fysikkundervisningen. De ser at en slik innføring kan by på enkelte utfordringer. Nora og Filip fremhever derimot noen tanker om hvordan de mener dette kan tilrettelegges for. Filip reflekterer særlig rundt bruken av *enklere modeller på mer komplekse systemer*.

25. F: (...) Jeg tenker at det som er litt utfordringen med modellering i forhold til klimaendringer er at en klimamodell er fryktelig kompleks. Vi kan ikke gjøre det reelt i en fysikktime, men jeg ser for meg at man kan lage enklere modeller, som ja koblingen mellom CO₂ i atmosfæren og infrarød stråling [henviser til tidligere forslag om modellering av hvordan mengden CO₂ påvirker hvor mye infrarød stråling som slippes gjennom atmosfæren]. Men jeg tror elever må bevisstgjøres systemforståelse i modellering (...).

I dette sitatet kommer det frem at Filip ser utfordringer med å realisere klimamodeller i undervisning. Her ser nok Filip for seg de større klimamodellene enn modeller som kun inneholder enkelte klimavariabler. Derimot tyder det på at han ser for seg at elever kan lage enklere modeller som tydeliggjør nettopp hvordan ulike klimavariabler henger sammen, slik som hvordan mengden CO₂ påvirker hvor mye infrarød stråling som slippes gjennom atmosfæren. Systemet er likevel sammensatt og komplekst. Jeg tenker at det er naturlig at elever må utfordres til å se konsekvensene av modellen de har laget. Hva sier modellen om temperaturutviklingen på jorden? Bør vi redusere mengden CO₂ i atmosfæren? Hvordan skal det gjøres? Dette kan være hva Filip mener med å bevisstgjøre systemforståelse i modellering. Han påpeker nemlig senere i intervjuet at bevisstgjøring kan fremheves ved å pirre elevene med spørsmål, han sier «så det er viktig at lærer går rundt å pirre litt. Hvorfor ble det sånn når du gjorde sånn?». Elever ser ikke alltid koblinger selv, og da kan lærer tenkes å være en viktig støtte.

En annen mulighet for tilrettelegging av systemforståelse gjennom modellering på mer komplekse systemer er å *velge modeller med omhu*. På den måten kan utviklet modell synliggjøre at det vil være nødvendig med flere innfallsvinkler:

26. S: Så det å modellere en fallende muffinsform er ikke noe som kan øve den forståelsen i større grad mener du?
27. E: Jeg tror kanskje det er det jeg mener. Men hvis du velger modeller med omhu så kanskje du kan få inn den følelsen av at vi kort med bare dette synet på en måte. Vi er nødt til å se det fra en annen vinkel samtidig for at vi skal få en løsning. Assa det er gjerne snakk om å løse et eller annet problem eller finne ut av noen ting, så trenger vi flere innfallsvinkler. Eller det er flere hensyn å ta som kanskje var litt overraskende, uventa eller ... Du kan ikke lukke deg inne i din egen lille boble, det holder ikke. Sånn som man gjerne gjør i fysikk. For det gjør man jo gjerne. Jeg kunne tenkt meg at man kanskje kunne brukt modellering inn i et sånn opplegg da, hvor man først kjører noen vindmøller eller noe, så finner du optimale vindmølle. Så innser du at den optimale vindmøllen har mega rotor. Også kan du begynne å tenke på at hvis du putter det ut i naturen, det er ikke noen god ide. Så her er det andre faktorer som må være med da.

På denne måten reflekterer Emma rundt tanken om at modellering kan brukes til å vise at det er behov for flere innfallsvinkler. Et undervisningsopplegg hvor elevene skal bruke modellering til å finne den optimale vindmøllen blir eksemplifisert. Det kan være at de kan

finne ut hvordan en vindmølle optimalt burde se ut, eksempelvis med tanke på rotor. Derimot kan elevene senere utfordres til å se for seg problemer ved å plassere denne vindmøllen i naturen. Her kan det være naturlig å se på økonomiske og samfunnsmessige konsekvenser. Dette kan tenkes å synliggjøre hvor mange perspektiver som burde ha blitt tatt i betraktning for å finne gode løsninger på eksempelvis fornybare energikilder.

4.2.2.1 Diskusjon

Videre vil jeg presentere en sammenfattende diskusjon fra funnene i 4.2.2.

Tidligere funn viser at modelleringer bør være på noe komplekse systemer for å øve systemforståelse. Dette delkapittelet påpeker at undersøkelser på klimasystemer og mer dagsaktuelle problemstillinger, kan anses som mer komplekse systemer. Bakgrunnen er at utarbeidede modeller nødvendigvis ikke har noen fasit. At systemer krever håndtering av mer usikkerhet, er ofte noe som karakteriserer et komplekst system (Zeyer et al., 2019). Det kan tenkes å være i kontrast til fysikkens modelleringer av ordnede systemer.

Bakgrunnen for at systemer med høyere kompleksitet øver systemforståelse, kan tolkes til å være nettopp kompleksiteten (sitat 23). Dette støttes i definisjonene av nøkkelkompetansen til både Wiek et al. (2011) og Rieckmann et al. (2017). De beskriver begge at kompetansen handler om evnen til å analysere komplekse systemer. Det er da rimelig at elevene også bør undersøke systemer med nettopp kompleksitet. At systemforståelse ikke har ideelle forhold til å øves under modelleringer av ordnede systemer, kan underbygges ved å se til summen av alle ferdighetene Arnold og Wade (2017) legger til grunn for kompetansen. Det er nok umulig å tilrettelegge for alle disse ferdighetene når eksempelvis en fallende muffinsform skal modelleres. Arnold og Wade (2017) beskriver blant annet at evnen til å identifisere og karakterisere tilbakevendingsløkker er essensielt, samt beskrive systemets tidligere og fremtidige atferd. Dette er ferdigheter som kan tenkes å være mer sentrale ved komplekse systemer. Jakob er en av lærerne som nettopp trekker frem at elever i en klimamodell-setting øver systemforståelse (sitat 23). Grunnen til dette kan altså være en større kompleksitet og uforutsigbarhet, noe som tilsier at flere av ferdighetene til Arnold og Wade (2017) kan aktiviseres. I lys av den nye fagfornyelsen ser Jakob også muligheten for å rette fokuset mer mot denne type modelleringer, og at elever eksempelvis kan bruke virkelige meteorologidata. For å eksemplifisere dette, kan det tenkes at elever kan innhente data og konstruere modeller for utviklingen av mengden CO₂ i atmosfæren. Eller kanskje bruke satellittdata fra nettet til å modellere reduksjonen av havisen på Arktis. I begge disse tilfellene kan fysiske prinsipper trekkes inn, og systemene anses som komplekse. Her er det flere elementer som kan påvirke,

og det å identifisere tilbakevendingsløkker som kan forsterke eller svekke endringer vil være essensielt. I tillegg er det mer hensiktsmessig å dra inn fremtidsatferden til systemet.

Det å benytte seg av mer virkelighetsnære og komplekse systemer i fysikkundervisning kommer frem som en mulighet for å øve systemforståelse. Dette er derimot ikke helt uproblematisk. Lærerne fremhever at kompleksitet kan gi utfordringer for både lærere og elever. For det første krever det at lærerne er villige til å sette seg inn i ny forskning og utfordre seg selv (sitat 24). Lærerne må nemlig tørre å gjennomføre modelleringsaktiviteter med elevene som nødvendigvis ikke har en klar fasit. Dette står i motsetning til de mer mekaniske systemene. For det andre kan slikt arbeid være frustrerende for elevene da det er vanskelig å vite om utviklet modellen er bra nok (sitat 24). Her kan det tenkes at lærere må planlegge godt slik at elevene opplever mestring.

For å tilrettelegge til utforskninger på mer komplekse systemer, kan det tenkes at elevene likevel kan utarbeide enklere modeller. I etterkant bør derimot modellene brukes til å vise at flere innfallsvinkler kunne vært nødvendig. Dette er et resultat av at Emma nevner at modeller må velges med omhu for å tilrettelegge for systemforståelse (sitat 27). Jeg forstår det som at læreren kan tilrettelegge for modelleringer som er overkommelige for elevene, men etterpå må modellen løftes opp og diskuteres. Hva er eksempelvis konsekvensene av det modellen forteller oss? Filip ser for seg at elever kan modellere hvordan mengden CO₂ påvirker hvor mye infrarød stråling som slippes gjennom atmosfæren (sitat 25). Her velges det ut to variabler som studeres mot hverandre. For å trekke inn mer kompleksitet i undervisningen, kan det være at læreren bør invitere til diskusjoner rundt svarene fra modellen. Det handler om å bevisstgjøre systemforståelse for elevene.

Lærerne ser ikke ut til å ha vektlagt modelleringer på mer komplekse systemer i undervisning i dag. Derimot tyder funnene på at dette kan trekkes mer inn i undervisning som følge av samfunnsaktuelle kompetansemål i ny læreplan (sitat 22). Et eksempel kan være et nytt kompetansemål i fysikk 1 som sier at elevene skal «vurdere ulike påstander og argumenter om energi og klima i samfunnsaktuelle problemstillinger» (Utdanningsdirektoratet, 2021, s. 5). Den nye læreplanen har også redusert antall kompetansemål, noe jeg tenker kan åpne opp for å drive lengre utforskninger med elevene.

Gjennom dette delkapittelet har jeg belyst muligheter og begrensinger for å øve systemforståelse på modelleringer av mer komplekse systemer, med utgangspunkt i lærernes refleksjoner. Bakgrunnen for å bruke slike systemer er trolig at nøkkelkompetansen ofte sees i

sammenheng med noe komplekst, og derfor at systemet i utgangspunktet også bør være mer komplekst. Komplekse systemer er nært tilknyttet samfunnsaktuelle problemstillinger, og derfor noe som kan trekkes inn for mer *virkelighetsnære problemer* i faget. At lærere skal bruke komplekse systemer i undervisning fremstår dermed også å ha noen begrensninger. For det første må lærere være oppdaterte på hva som foregår i samfunnet for å legge opp til dagsaktuelle problemstillinger. For det andre kan kompleksiteten gi elever en følelse av håpløshet og frustrasjon. I motsetning til systemene av mindre kompleksitet kan utarbeide modeller ikke alltid sees i lys en tilnærmet fasit. Dette indikerer at lærerne også må planlegge godt for å få motiverte elever. Eksempelvis fremhever Filip og Nora henholdsvis muligheter ved å ta utgangspunkt i noe komplekst, men likevel lage enklere modeller med få variabler, eller velge modeller med omhu. Dette kan belyse at flere synsvinkler burde vært tatt i betraktning. Videre vil jeg presentere funnene tilknyttet underspørsmålet: «Hvilke muligheter og begrensninger ser fysikklærere for at nøkkelkompetansen kritisk tenkning kan øves gjennom modelleringsarbeid i fysikk?».

4.3 Muligheter og begrensninger for å øve kritisk tenkning gjennom modellering

Lærernes refleksjoner fremhever ikke et tydelig skille på muligheter og begrensninger for å øve kritisk tenkning på modelleringer av ordnede og komplekse systemer. Derfor vil dette delkapittelet ta for seg kritisk tenkning generelt opp mot modellering, uavhengig av systemet som modelleres. Gjennom analysen endte jeg opp med følgende kategorier for kritisk tenkning gjennom modellering (tabell 7).

Tabell 7: Kategorier om kritisk tenkning i modellering som følge av analysen.

Kritisk tenkning
<i>Muligheter for kritisk tenkning under planlegging og datainnsamling</i>
<i>Muligheter for kritisk tenkning i den avsluttende fasen</i>
<i>Begrensninger for kritisk tenkning i modellering</i>

Først vil jeg ta for meg muligheter for kritisk tenkning innenfor modellering i kategoriene planlegging og datainnsamling (4.3.1) og vurderinger av modeller (4.3.2). Analysen fremhever også noen begrensninger for å øve kritisk tenkning gjennom modellering. Dette vil presenteres i 4.3.3. Diskusjon i lys av teori vil bli presentert samlet i 4.3.4. Bakgrunnen for en samlet diskusjon til slutt er min tolkning om at lærerne ikke tydeliggjør et skille mellom kritisk tenkning på modelleringer av ulike systemer.

4.3.1 Muligheter for kritisk tenkning under planlegging og datainnsamling

En modell representerer visse aspekter ved et system (Oh & Oh, 2011). Dette betyr at flere modeller kan være modellert for et og samme system, men at de samtidig kan fortelle ulike historier. I startfasen av en modelleringsprosess reflekterer noen lærere rundt at elever må gjøre en *vurdering av hvordan modell som skal utarbeides*. Dette er for å beskrive ønsket aspekt ved det observerte systemet. Dette underbygges av Emma (sitat 28), og er noe jeg har tolket som en mulighet for å øve kritisk tenkning gjennom modellering.

28. E: (...) du må velge hva det er du vil modellere, eller hvilket fenomen du har lyst til å se på, også må du velge modeller som passer. At det ikke er noe fasitsvar på hva som er riktig eller galt, men at det hele tiden er en vurdering. Og noen ganger kan du velge en modell som passer, også har du et gyldighetsområde ikke sant, som passer her, men den passer ikke der ute. Og det tenker jeg, det er en sånn kritisk sans, kritisk vurdering, som er veldig sentral. Altså det gjelder i fysikk, men det kan du bruke over alt da.

Når Emma i sitatet benytter seg av «du», er det nok elevene hun henviser til. Likevel kan prinsippene som fremheves tenkes å være viktig for alle som gjør modelleringer. Det kan tolkes at Emma henviser til at elever generelt må vurdere modeller de jobber med, spesielt med tanke på modellens gyldighetsområde. Derimot sier hun at de også må velge modeller som passer til det som skal modelleres. Dette tenker jeg handler om at elever i planleggingen av modelleringen må vurdere representasjonsformen til modellen, men også hvilke variabler som skal inngå. At lærere legger til rette for at elevene kan vurdere hvordan modell som skal utvikles, fremstår som en mulighet for å øve kritisk tenkning. Gode vurderinger er viktig ettersom valgene de gjør kan påvirke gyldighetsområdet til modellen de skal utvikle.

Videre kommer det frem at en annen mulighet for å øve kritisk tenkning gjennom modellering *refleksjoner rundt datainnsamlingen*. Emma sier at det under datainnsamling tas flere avgjørelser. Jakob fremhever også dette i sitatet under:

29. J: Det er jo på et vis hele veien [at kritisk tenkning i modelleringsprosessen kommer inn]. For det er både i planleggingen av forsøkets-oppsettet, der du skal hente inn data, så er det jo veldig viktig at du har et kritisk blikk til hva slags data du vil få inn her, hva slags feilkilder er det du vil få. Hva slags ting mer enn det vi leter etter er det som vil påvirke disse dataene. Også er det jo viktig å planlegge forsøket slik at du får optimalisert dette her, med minst mulig feilmargin. Og da å

kunne etterpå vurdere datasettet ditt kritisk (...). Også er det jo til slutt en sånn vurdering i relasjon til modeller, og da som sagt syntes jeg det er viktig å få framelska en sånn der holdning hos elevene om at det er datasettet ditt som er det du fant. Og det er helt uomtvistelig at det var dette her du observerte. Også må du prøve å forklare eventuelt hvorfor det ikke stemmer overens med en generell modell da, eller formel.

Fra sitat 29 reflekterer Jakob rundt kritisk tenkning i modelleringsprosessen. Det tydeliggjøres at kritisk tenkning allerede er viktig under planleggingen av hvordan empirisk materiale skal innhentes. Jeg tolker det som at læreren tenker elever bør vurdere både feilkilder og andre faktorer som kan påvirke de innhentede dataene. Feilkilder kan eksempelvis være feil eller unøyaktigheter på utstyr som benyttes. Det finnes også faktorer som kan påvirke resultatet negativt, slik som eksempelvis vind. Det kan tolkes at Jakob mener det er viktig at elevene tenker kritisk over dette for å gjøre vurderinger som optimaliserer forsøket. Da minimerer de feilmarginene i de innhentede dataene. Dette viser at kritisk tenkning før modelleringsprosessen iverksettes er viktig. Jakob uttrykker også det å være kritisk til datasettet, samt at datasettet må vurderes mot en egenprodusert eller generell modell. Mulighetene for å øve kritisk tenkning på de utarbeidede modellene vil videre bli presentert.

4.3.2 Muligheter for kritisk tenkning i den avsluttende fasen

Studien finner at alle fysikklærerne fremhever kritisk tenkning opp imot det å vurdere modellen som er utviklet. Dette kan forstås som en del av den avsluttende fasen av modelleringsprosessen. For å synliggjøre at vurderinger av den utviklede modellen er viktig, kan vi se til et svar fra Nora tilknyttet spørsmålet om hva hun tenker om kritisk tenkning i forhold til modellering.

30. N: Det blir litt som jeg sa at en må vurdere i hvor stor grad den modellen her er en god modell. En god modell på fenomenet eller virkeligheten da, som vi har. Så det at elever må være kritiske til sine svar, og modellene som de bruker, det er jo viktig. Det blir litt som kildekritikk som de lærer i andre mer skrive-fagene, det å være kritisk til kilden dem får informasjon fra. Og nå får de jo informasjon fra en modell de har valgt. Så jeg tror absolutt ved å øve på kritisk tenkning ja, så får man en bedre forståelse og bruk av modellen.

Nora henviser ikke til en spesifikk modell når hun sier «i hvor stor grad denne modellen her er en god modell». Det kan tolkes som at hun generelt mener en modell elevene har utviklet. Fra

sitatet fremheves det at å *vurdere modellen* med virkeligheten er en måte å være kritisk på, og derfor en mulighet for å øve nøkkelkompetansen. Jeg opplever at Nora tenker det er en allmenndannende viktig kompetanse og være kritisk til informasjonskilder. I tilfeller hvor elever utvikler modeller er det derfor naturlig å hjelpe de å utvikle et kritisk blikk på modellen, da det kan sammenliknes som en informasjonskilde. Dette er med på å gi bedre forståelse og bruk av modellen.

Filip fremhever, i likhet med Nora, at modellen må vurderes opp mot virkeligheten. Han uttrykker også at dersom elevene ser større avvik, må dette vurderes.

31. F: (...) Da må du begynne å tenke kritisk på det du har gjort, den modellen du har, hvorfor er den feil? Hva må jeg endre på her for at det skal bli mere riktig? Vi får jo aldri riktig, men mere riktig (...). Du kan ta feil, men du kan aldri ha rett – litt grovt da, men det er jo den tankegangen der. Nei, det er veldig viktig med kritisk tenkning og modellering, hvis du ikke gjør det er du ute å kjøre med en gang.

Her tolker jeg det som at Filip mener at modellen er «feil» dersom den ikke stemmer godt overens med det observerte fenomenet. Skulle elevene oppleve slike uoverensstemmelser, kan det forstås at de må vurdere hva de eventuelt kunne ha endret for at modellen skal stemme mer med virkeligheten. Det kan også tolkes at Filip mener kritisk tenkning er viktig uansett hvor godt en utviklet modell beskriver et observert fenomen. Dette indikerer at det alltid vil være et forbedringspotensial.

4.3.3 Begrensninger for kritisk tenkning i modellering

Til tross for at lærerne ser viktigheten av kritisk tenkning i modellering, som eksempelvis vist i sitat 31, kommer også noen begrensninger til uttrykk.

Ut fra lærernes refleksjoner har jeg tolket at en begrensning for å øve kritisk tenkning gjennom modellering *er for mye tilrettelegging*.

32. E: (...) Også er det ... det at som lærer tilrettelegger du ofte, slik at en del av problemene er skuffet vekk da. De vurderingene av hva du [eleven] skal ha med, hvilke målinger du skal gjøre for eksempel, har man jo ofte sagt på forhånd. Hvis man skal diskutere fram det også blir man jo aldri ferdig.

Emma uttrykker at man som lærer har en tendens til å ta bort noen «problemer». Jeg tolker at problemene er elementer som elevene kan bruke mye tid på å vurdere, slik som hvordan de skal gjøre modelleringen, eller hvilke variabler som skal måles. Når lærere gjør disse

vurderingene for elevene, kan det tenkes at den kritiske sansen ikke aktiviseres i like stor grad. Det kan derimot fremstå at en grunn for at lærerne tilrettelegger er av hensyn på tid. Noe som tyder på at *tid* også kan være en begrensning for kritisk tenkning. Emma uttrykker at hvis elever skal gjøre vurderinger på mange elementer, «blir man jo aldri ferdig» (sitat 32). Funn viser likevel at det er en avveining. Hun reflekterer rundt muligheter for å bedre legge til rette for kritisk tenkning i modellering:

33. E: (...) Men samtidig må man [som lærer] kanskje innimellom innse at det er verdt å kunne det bedre med litt færre ting. Og jeg tror kanskje at hvis man skal oppøve denne kritiske sansen trengs det litt tid hvor man bare snakker (...). Hvor man blir vant til hvilke typer spørsmål man kan stille seg selv. Og hvordan ... og å ta den tiden har jeg vel aldri gjort tror jeg.

I datamaterialet kommer det frem at Emma til tider har mye hun vil lære elevene, da det er mye hun anser som spennende og gøy for elevene. Fra sitatet over fremstår det likevel å være en balanse. Ved å vektlegge mindre pensum i løpet av undervisningen kan det tenkes at den kritiske sansen kan aktiveres, og dette kan trolig gi en bedre forståelse. Det kan tolkes at hun nettopp mener dette skjer ved å sette av tid til samtaler i klasserommet, og ved å lære elevene å stille seg de kritiske spørsmålene.

Det å tilrettelegge for kritisk tenkning er altså tidskrevende. En annen utfordring som kommer frem ved å bruke modellering til kritisk tenkning, er at *fysikkelever foretrekker fasit*. Jeg tolker lærernes refleksjoner rundt dette som en begrensning rundt muligheten for kritisk tenkning. Filip sier

34. F: Så det er sånn ... det å være kritisk til modeller man selv lager og til modeller vi får frem også, det kan være en utfordring med fysikkelever. For man velger jo realfag fordi man tror det er to streker under svaret og ting er veldig greit. Følge ordre og gjør oppgavene, og ferdig med det, de er ikke veldig sånn [kritisk] i utgangspunktet (...). Så det å få frem den ... Det er en positiv greie, det at man er kritisk til ting. Og også i fysikken (...).

Her ser vi at Filip reflekterer over at elever tror resultater de får ofte er rette eller gale, noe som begrenser den kritiske vurderingsevnen. Det kan tenkes at lærerne har en sentral rolle i å oppmuntre elever til å forstå at fysikken ikke alltid har et fasitsvar.

4.3.4 Diskusjon

Gjennom denne delen vil en sammenfattende drøfting fra funnene presentert i 4.3 drøftes i lys av teorien fra kapittel 2.

Filip uttrykker at kritisk tenkning har en viktig rolle i modellering (sitat 31). Andre lærere fremhever også eksplisitt at kritisk tenkning bør komme inn gjennom hele modelleringsprosessen (sitat 29). Med bakgrunn i hvordan lærerne snakker om betydningen av kritisk tenkning i modellering, har jeg tolket at nøkkelkompetansen kan øves uavhengig av hvordan system som skal modelleres. Dette er grunnen til at jeg ikke har valgt å skille mellom kritisk tenkning på modelleringer av ordnede og komplekse systemer.

Lærerne uttrykker flere muligheter for å øve kritisk tenkning gjennom modelleringsprosessen. At de tydelig ser sammenhenger mellom kritisk tenkning og modellering kan være i tråd med at prosessene har likhetstrekk. Funn viser at læreres modelleringspraksis har kjennetegn med den empirisk-matematiske modelleringsprosessen, eller det Oh og Oh (2011) beskriver som utforskende modellering. Oh og Oh (2011) fremhever at slik modellering handler om å lage modeller fra undersøkelser på et fenomen. Her oppfatter jeg det naturlig at elevene må kunne analysere fenomenet og innhente data. Dette ligger til grunn for å kunne syntetisere en modell som kan beskrive fenomenet, samt videre vurdere modellen. På den andre siden beskriver Taimur og Sattar (2019) nøkkelkompetansen kritisk tenkning som å ha ferdigheter til å analysere, syntetisere og evaluere informasjon. Dette er ferdigheter jeg ser i sammenheng med modelleringsprosessen. Av den grunn kan det argumenteres for at modellering som prosess i seg selv gir gode muligheter for kritisk tenkning.

Funn har vist at det å vurdere modellen fremstår som en mulighet for å øve kritisk tenkning. Nora viser til at modellen må vurderes mot virkeligheten (sitat 30). Filip beskriver at elevene må tenke kritisk på modellen og viser til spørsmålet «Hva må jeg endre for at det [modellen] skal bli mer riktig?» (sitat 31). Hvordan lærerne beskriver vurdering av modeller kan sammenliknes med hvordan Constantinou et al. (2019) beskriver deler av revideringselementet, en viktig del av modelleringspraksisen (se figur 8). Her må elevene gå tilbake til det observerte fenomenet og identifisere avvik. De bør finne måter å intrigere eller fjerne deler av modellen for å gjøre den enda bedre (s. 45). Derimot uttrykker ikke lærerne eksplisitt at de vektlegger en modellvurdering som resulterer i en ny runde med utforskninger for å forbedre modeller i undervisning. Jeg opplever mer at lærerne vil oppmuntre elevene til å vurdere hva de kunne gjort annerledes hvis de fikk muligheten til å gjøre en ny iterasjon. At dette underbygger kritiske vurderingsevner hos elevene, er en rimelig antagelse. Elevene kan

bli engasjert til å være sannhetssøkende og nysgjerrig, noe som er viktige holdninger innenfor kritisk tenkning (se figur 4). Ferdigheter som å analysere og vurdere informasjon er også rimelig å anta at kan opparbeides. For å tilegne seg kompetanse i kritisk tenkning er dette viktige elementer som kan føre til at elever ser løsninger på problemer (Taimur & Sattar, 2019). I et bærekraftperspektiv er det viktig at kritisk tenkning fører til problemløsninger av dagsaktuelle utfordringer.

Studien viser at startfasen av modelleringsprosessen bærer preg av at enkelte lærere ser muligheter for å øve kritisk tenkning. De viser til at det må gjøres vurderinger rundt hvordan modell som skal utarbeides for fenomenet. Det må velges en modell som passer (sitat 28). Ettersom det i fysikkundervisning oftest lages matematiske modeller, tenker jeg at dette i stor grad handler om vurderinger av hvilke variabler som skal inngå i modellen. En modell representerer visse aspekter ved fenomenet (Oh & Oh, 2011), og i fysikk beskriver Etkina et al. (2006) det som en forenkling. Hvis elevene får muligheten til å gjøre en del av disse vurderingene selv, er det rimelig å anta at de opparbeider en evne til kritisk tenkning.

En annen mulighet for å øve nøkkelkompetansen gjennom modellering er at elevene må kunne gjøre kritiske refleksjoner rundt datainnsamling. Det nevnes at det er viktig å ha et kritisk blikk til hvilke data som kommer frem av forsøksoppsettet, og spesielt hva som kan påvirke dataene (sitat 29). Jakob viser til at forsøket bør planlegges for å optimaliseres til minst mulig feilmarginer. Dette kan bygge opp under en holdning som er viktig for kritisk tenkning, nemlig å være sannhetssøkende (Taimur & Sattar, 2019). Det kan tenkes at elever som jobber kritisk før selve modelleringen, lager en mer nøyaktig modell for ønsket situasjon.

Validering av modeller, slik det er beskrevet av Constantinou et al. (2019), er en modelleringspraksis som kan anses å øve kritisk tenkning. Lærerne nevner derimot ikke dette i samtaler omkring nøkkelkompetansen. På den andre siden fremhevet lærerne dette som en indirekte mulighet for å øve systemforståelse i modellering (generalisering fra 4.2.1.1).

Validering er noe som bør vektlegges i undervisning (Constantinou et al., 2019), men det kommer ikke tydelig frem at det prioriteres i denne studien. Modelleringspraksisen handler om å bruke utarbeidet modell på et annet fenomen innenfor samme kategori, og forfatteren påpeker at denne praksisen ofte nedprioriteres. På den andre siden viser de til at denne delen kan gi muligheter for kritisk tenkning (s.46). Grunnen til dette kan være grunnlaget det gir for elevene til å gjøre en mengde vurderinger, slik som å vurdere likheter/ulikheter mellom fenomenene innenfor samme kategori. De eksemplifiserer validering ved at en modell som er laget for et elastisk støt mellom en bevegende og stillestående kule, bør undersøkes på et

fenomen med to kuler i fart, kanskje også med kuler av ulik masse. Fra litteraturen fremstår det altså at validering av utarbeidet modell kan iverksette kritisk tenkning. Jeg tenker at bakgrunnen til at validering kanskje ikke blir prioritert, er at denne modelleringspraksisen kan være tidskrevende.

Til tross for funnene som viser muligheter ved kritisk tenkning gjennom modellering, ser lærerne også noen begrensinger. Et eksempel er at lærerne kan tilrettelegge for mye (sitat 32). Tilretteleggingen handler her om at de gjør en del av valgene for elevene. Som nevnt tidligere er en viktig del av kritisk tenkning evnen til å analysere og vurdere informasjon (Taimur & Sattar, 2019). Derimot kan det tenkes at når lærere forenkler situasjoner elevene skal modellere, tar de bort elementer som krever kritisk vurdering. Emma sier eksempelvis at hun på forhånd ofte bestemmer målinger de skal gjøre (sitat 32). Videre kan det tyde på at tid er en begrensning. Enkelte lærere reflekterer over at kritisk tenkning er tidskrevende (sitat 32 og 33). Dette tenker jeg gjør at nøkkelkompetansen kan bli nedprioritert i modellering. Emma nevner likevel at hun innimellom må innse at kritisk tenkning bør prioriteres (sitat 33). For å tilrettelegge for kritisk tenkning gjennom modellering viser funn at lærere må sette av tid, samt kanskje legge mer til rette for modelleringer med mindre føringer. Dette kan tenke seg å bli gjennomførbart med den nye læreplanen som har redusert antall kompetansemål.

Gjennom dette delkapittelet har jeg presentert muligheter og begrensinger for å øve kritisk tenkning gjennom modellering. Det fremstår muligheter gjennom både *planlegging*, *datainnsamling* og selve *vurderingen av modellen*. Lærerne uttrykker at dette er elementer av modelleringsprosessen hvor elevene må gjøre en rekke kritiske vurderinger. Jeg opplever at lærerne ser kritisk tenkning som essensielt i modellering. Likevel har det vist seg å være noen begrensinger. Dette tenker jeg kan være begrensinger som har gjort at mulighetene som synliggjøres i denne studien, nødvendigvis ikke alltid prioritets gjennom modellering. Blant annet kommer frem at lærerne har en tendens til å *tilrettelegge for mye*, i tillegg fremstår kompetansen *tidskrevende* å vektlegge i undervisning.

5 Systemforståelse og kritisk tenkning i modellering - sett i lys av UBU

I dette kapittelet vil jeg presentere hvordan resultatene diskutert over besvarer oppgavens overordnede forskningsspørsmål: *Hvilke refleksjoner gjør fysikklærere seg om hva modellering kan bidra med i utdanning for bærekraftig utvikling?* Dermed fungerer dette kapittelet som en avsluttende drøfting og konklusjon til oppgaven. Kapittel 4 har søkt å besvare de tre underspørsmålene til det overordnede forskningsspørsmålet. Studien viser at lærerne forstår modellering som at elever skal aktiviseres i å lage modeller, og at de ofte bruker det når elevene skal undersøke fenomener de enda ikke har fått innføring i. Det fremkommer at systemforståelse og kritisk tenkning har en del muligheter for å øves gjennom modellering, men noen begrensninger har også blitt belyst. I denne delen ønsker jeg å trekke sterkere linjer mellom funnene opp mot modellering som et bidrag til utdanning for bærekraftig utvikling.

Det å bruke modellering i fysikk som et grunnlag for å bidra til utdanning for bærekraftig utvikling er ikke særskilt vurdert i den fagdidaktiske litteraturen. Derimot hevder litteraturen at faget har gode muligheter til å legge til rette for å forstå utfordringer knyttet til bærekraft (Doscher et al., 2015). Studiens resultater viser at fysikkfaget har et potensial til å trekke inn bærekraftige temaer i modelleringsøvelser. Emma eksemplifiserer et tenkt undervisningsopplegg med å finne en optimal vindmølle, mens Filip ser for seg modelleringer av hvordan CO₂ i atmosfære påvirker infrarød stråling. Som en følge av det tverrfaglige temaet bærekraftig utvikling i fagfornyelsen, leker altså flere av lærerne med tanker om ulike undervisningsopplegg omhandlende tematikken. Jakob ser for seg mulighetene til å drive lengre fordypningsoppgaver opp imot bærekraftige temaer. Hvordan disse lærerne fremhever muligheter er med på å vise at lærere kan bidra til å fremme UBU i skolen. Egen autonomi gjør at de kan bringe frem et personlig UBU-engasjement (Bjønness & Sinnes, 2019).

Målet med utdanning for bærekraftig utvikling er at elever skal forberedes og utrustes på å leve bærekraftige liv, samt bidra slik at nåværende og fremtidige generasjoner får gode levevilkår (Sinnes, 2015). Dette er et stort mål. For å oppnå dette kan det å fremme nøkkelkompetanser i klasserommet anses å være et bidrag til UBU. Rieckmann et al. (2017) skriver at UBU blant annet innebærer å fremme kompetanser. Gjennom denne oppgaven vises det til refleksjoner som synliggjør flere muligheter for å øve både systemforståelse og kritisk tenkning gjennom modellering.

Hvorvidt modellering i fysikk kan være et bidrag til å øve nøkkelkompetansen systemforståelse har blitt belyst på bakgrunn av analysen i delkapittel 4.2. Systemforståelse blir fremhevet som en nøkkelkompetanse da systemer innenfor bærekraftig utvikling må kunne analyseres over ulike domener, og over ulike skalaer (Rieckmann et al., 2017; Wiek et al., 2011). Lærerne ser for seg at systemforståelse henger nært sammen med modelleringer av komplekse systemer. Det nevnes at systemforståelsen i mekanikken er banal i forhold til systemforståelse innenfor eksempelvis klimamodeller (sitat 18). Flere av lærerne reflekterer derfor rundt mulighetene for å inkludere elevene i modelleringer av mer komplekse systemer. Dersom elever skal inkluderes i utvikling av klimamodeller er det klart at lærerne ikke mener store og omfattende klimamodeller, slik som eksempelvis modellene i rapporter fra FNs klimapanel. Klimamodeller i fysikkundervisning fremstår derimot å være modeller som utvikles med utgangspunkt i enkelte klimavariabler, noe jeg tenker kan være CO₂-konsentrasjoner, og lokale og globale temperaturer. Dette er variabler som kan ha en større uforutsigbarhet enn mange andre variabler som ofte måles i fysikk, slik som fart og masse. Kanskje gir arbeid med klimamodeller elevene innblikk i hvor sammensatte enkelte systemer kan være. Ettersom det også er en naturlig begrensning i hvor komplekse systemer elever kan klare å modellere, kan det tenkes at Emma viser til en interessant løsning på dette. Hun fremhever at lærere muligens må velge modelleringer med omhu for å synliggjøre at flere innfallsvinkler kan være nødvendig, og eksemplifiserer med et tenkt opplegg rundt vindmøller (sitat 27). Videre kan det tenkes at elever lager modeller og legger frem resultater som tilsier hva en god løsning er, basert på vitenskapelige funn. Derimot kan læreren bringe frem diskusjoner som problematiserer funnene i et samfunnsmessig og økonomisk perspektiv. Kanskje tydeliggjør det for elevene at flere perspektiver bør tas i betraktning hvis vi skal finne gode løsninger på samfunnsaktuelle problemstillinger. Muligens kan dette være en løsning for å trekke inn kompleksitet i fysikkundervisning.

Det kan på den andre siden være at modelleringer av komplekse systemer ikke alltid er nødvendig i tilrettelegging av systemforståelse. Funnene viser nemlig at lærerne reflekterer rundt muligheter for at sentrale aspekter ved kompetansen kan fremheves på systemer av lavere kompleksitet, ofte betegnet som ordnede systemer. Både det å studere ulike perspektiver av et system, redusere systemet for å tydeliggjøre elementene det består av, fremheve vurdering av modeller og vektlegge sammenhenger mellom representasjonsformer, er eksempler denne studien kommer frem til. Breil (2018) er en av de som ser utfordringer med at systemforståelse ofte sees i lys av komplekse systemer. Hun fremhever nettopp at ved

å legge til rette for enkelte ferdigheter, som eksempelvis de Arnold og Wade (2017) viser til i tabell 1, kan disse senere overføres til å forstå mer komplekse systemer. Cloud (2005) poengterer at systemforståelse er en ferdighet som også kan tilrettelegges uten å innlemme bærekraftige temaer. Dermed kan det tenkes at viktige ferdigheter innenfor systemforståelse kan øves gjennom ordnede systemer, uten fokus på bærekraftige temaer. Det kan likevel diskuteres om tilrettelegging av kun enkelte ferdigheter innenfor nøkkelkompetansen (se tabell 1) helhetlig sett gir god systemforståelse hos elevene. Jeg vil anta at dette trolig vil avhengig av hvor mange av ferdighetene det tilrettelegges for.

Kritisk tenkning er en av nøkkelkompetansene som godt kan tilrettelegges for både gjennom planlegging, gjennomføring og i vurderingen av utarbeidede modeller gjennom modelleringsprosessen. Det å være kritisk i modelleringsprosessen kan tenkes å ha overføringsverdier til temaer rundt bærekraftig utvikling. Det å oppfordre elever til et kritisk blikk er generelt viktig i samfunnsdebatten. Det anses som en viktig nøkkelkompetanse blant annet for å kunne vurdere informasjon knyttet til bærekraftsspørsmål, samt det å leve bærekraftig (Sinnes, 2015, s. 41). Funn fra denne studien viser at det å være kritisk til modeller har en sammenheng med det å generelt være kritisk til informasjon (sitat 30). På mange måter er en modell en informasjonskilde. Det er en informasjonskilde som skal si oss noe om et fenomen i den virkelige verden. På samme måte kan det tenkes at informasjon fra samfunnsdebatter og aviser må vurderes. Filip nevner at elevene må stille seg de kritiske spørsmålene til modellen. Det kan tenkes å ha overføringsverdi til at elever kan klare å stille seg de kritiske spørsmålene til samfunnsaktuelle debatter. Et kritisk blikk er viktig for å kunne ta gode samfunnsaktuelle beslutninger. Dette kan trolig øves gjennom modellering. Lærerne uttrykker derimot at kritisk tenkning er tidskrevende. Kanskje kan den nye læreplanen i faget, som reduserer antall kompetansemål kraftig, gi bedre tid til å tilrettelegge for nøkkelkompetanser.

En refleksjon jeg har gjort meg gjennom arbeidet med denne masteroppgaven er koblingen mellom nøkkelkompetansene systemforståelse og kritisk tenkning. På en måte kan det virke unaturlig å skille disse to kompetansene. Kan man egentlig øve systemforståelse uten å tenke kritisk? Jeg tenker at dette kan være en liten «cliffhanger» for videre forskning. Likevel kan det fremheves at jeg ut ifra teorien tenker at koblinger kan trekkes. Ferdighetene til Arnold og Wade (2017) innenfor systemforståelse, slik som eksempelvis å undersøke ulike perspektiver til et system og systemets tilbakevendingsløkker, vil jeg tro krever en form for å kunne

analysere, syntetisere og evaluere systemet. Ferdigheter som også er viktig innenfor kritisk tenkning (Taimur & Sattar, 2019).

I tillegg har jeg også reflektert over at selv om lærerne ser muligheter for at både systemforståelse og kritisk tenkning kan øves gjennom modellering, er det ikke sikkert det er like lett å gjennomføre i praksis. Wiek et al. (2011) kritiserer blant annet litteraturen om nøkkelkompetanser for å være lite operasjonalisert. Dette tydeliggjør at det nødvendigvis ikke er lett å vite hvordan kompetansene skal iverksettes i undervisningen, eller hvordan lærerne skal vurdere de hos elevene. Kanskje er det behov for å utarbeide klare eksempler på undervisningsopplegg som kan anses å øve kompetansene. Her kan det tenkes at mulighetene som er belyst i denne studien kan brukes som et bakteppe i planleggingen. Det er heller ikke gitt at man må bruke modellering for at elevene skal øve nøkkelkompetansene. Kanskje er det andre arbeidsmåter i fysikken som gir et like godt, eller bedre, bidrag til UBU.

5.1 Avsluttende konklusjon og videre forskning

Denne masteroppgaven har tatt for seg forskningsspørsmålet «*Hvilke refleksjoner gjør fysikklærere seg om hva modellering kan bidra med i utdanning for bærekraftig utvikling?*». Det er gjort en avgrensning med underspørsmål som vektlegger om modellering kan øve sentrale nøkkelkompetanser innenfor UBU. Funnene viser at lærerne ser flere muligheter for at både systemforståelse og kritisk tenkning kan øves gjennom modellering. Både under planlegging og datainnsamling i modelleringsprosessen ser lærerne muligheter for å øve kritisk tenkning, men det er særlig gjennom vurderingen av utarbeidede modeller nøkkelkompetansen kommer til syne. Lærerne ser derimot at begrensninger kan være tidsbruk og for mye tilrettelegging rundt hvordan modelleringsoppgavene skal utføres. På den andre siden reflekterer de rundt muligheter for å øve systemforståelse gjennom modellering. Her tilsier funn at lærerne ser enkelte muligheter for å øve nøkkelkompetansen gjennom ordnede systemer, men de ser også at disse systemene kan bli av for lav kompleksitet. Innføringen av ny læreplan i fysikk ser derimot ut til å åpne opp for å undersøke mer komplekse systemer.

Videre kunne det vært spennende med forskning som undersøkte modellering i fysikk opp imot andre aspekter ved UBU, eksempelvis ved å se på flere nøkkelkompetanser. På en annen side vektlegger denne masteroppgaven kun lærernes refleksjoner om muligheter og begrensninger for å øve de to nøkkelkompetansene. Det betyr at videre studier som faktisk undersøker hvordan funnene kan operasjonaliseres i klasserommet er nødvendig. I tillegg ville

det vært interessant med forskning for å undersøke om mulighetene som synliggjøres gjennom studien, faktisk gir elevene økt systemforståelse eller kritisk vurderingsevne.

Dette masterarbeidet har gitt meg innsikter i det å gjennomføre en didaktisk forskning. Fra forskningstemaet sitter jeg igjen med interessante erfaringer. Jeg håper og tror jeg kan dra nytte av dette som fremtidig lærer. Gjennom studien har intervjuene med fysikklærerne vært spesielt givende. Deres engasjement for god fysikkundervisning og bærekraftig utvikling er noe jeg ser opp til.

Referanser

- Angell, C., Bungum, B., Henriksen, E. K., Kolstø, S. D., Persson, J. & Renstrøm, R. (2019). *Fysikkdidaktikk* (2. utg.). Oslo: Cappelen Damm.
- Angell, C., Henriksen, E. & Kind, P. (2012). FYS21 - et prosjekt om modellering og vitenskapelig arbeids- og tenkemåte i fysikkundervisningen. *Nordina: Nordic Studies in Science Education*, 3, 86-92. <https://doi.org/10.5617/nordina.516>
- Anker, T. (2020). *Analyse i praksis. En håndbok for masterstudenter*. Oslo: Cappelen Damm.
- Arnold, R. & Wade, J. (2015). A Definition of Systems Thinking: A Systems Approach. *Procedia Computer Science*, 44, 669-678. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.050>
- Arnold, R. & Wade, J. (2017). A Complete Set of Systems Thinking Skills. *INSIGHT*, 20(3), 9-17. <https://doi.org/10.1002/inst.12159>
- Bjønness, B. & Sinnes, A. T. (2019). Hva hemmer og fremmer arbeidet med utdanning for Bærekraftig Utvikling i videregående skole? *Acta Didactica Norge*, 13(2), 20 sider. <https://doi.org/10.5617/adno.6474>
- Braun, V. & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Breil, B. (2018). Using a system thinking approach to figure out why a ball drops, bounces, and stops. *Science Scope*, 42(4), 74-83. Hentet fra <https://www.jstor.org/stable/10.2307/26611895>
- Bryman, A. (2012). *Social Research Methode* (4. utg.). New York: Oxford University Press Inc.
- Caspersen, K. & Halland, G. (2015). *Veiledning som praksis* (2. utg.). Trondheim: VeiVis.
- Cloud, J. (2005). Some Systems Thinking Concepts for Environmental Educators during the Decade of Education for Sustainable Development, 4(3), 225-228. <https://doi.org/10.1080/15330150591004625>
- Constantinou, C. P., Nicolaou, C. T. & Papaevripidou, M. (2019). A Framework for Modeling-Based Learning, Teaching, and Assessment. I A. Upmeier zu Belzen, D. Krüger & J. van Driel (Red.), *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education* (s. 39-58). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30255-9_3
- Doscher, J. C., Hazari, Z., Potvin, G. & Klotz, L. (2015). Sustainability Topics in Physics Education, Science Agency Beliefs and Physics Identity. I *Physics Education Research Conference 2015* (s. 99-102). College Park Maryland. <https://doi.org/10.1119/perc.2015.pr.020>
- Dunn, K. (2016). Interviewing. I I. Hay (Red.), *Qualitative Research Methods in Human Geography* (s. 149-202). Canada: Oxford university press.
- Etkina, E., Warren, A. & Gentile, M. (2006). The Role of Models in Physics Instruction. *The Physics Teacher*, 44, 34-39. <https://doi.org/10.1119/1.2150757>
- FN-sambandet. (2021, 4. april). FNs bærekraftsmål. Hentet 30.4.2021 fra <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>
- Gilbert, J. K. & Justi, R. (2016). Models of Modelling. I J. K. Gilbert & R. Justi (Red.), *Modelling-based Teaching in Science Education* (s. 17-40). Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3>
- Glasser, H. & Hirsh, J. (2016). Toward the Development of Robust Learning for Sustainability Core Competencies, 9(3), 121-134. <https://doi.org/10.1089/sus.2016.29054.hg>
- Gyllenpalm, J. & Wickman, P. O. (2011). "Experiments" and the inquiry emphasis conflation in science teacher education. *Science Education*, 95(5), 908-926. <https://doi.org/10.1002/sce.20446>

- Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55(5), 440-454. <https://doi.org/10.1119/1.15129>
- Klemp, T. (2013). Refleksjon – hva er det, og hvilken betydning har den i utdanning til profesjonell lærerpraksis? *Uniped*, 36(1), 42-58. <https://doi.org/10.3402/uniped.v36i1.20957>
- Kunnskapsdepartementet. (2017). *Overordnet del - verdier og prinsipper for grunnopplæringen*. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/verdier-og-prinsipper-for-grunnopplaringen/id2570003/>
- Kvale, S. & Brinkmann, S. (2018). *Det kvalitative forskningsintervju* (3. utg.). Oslo: Gyldendal akademiske.
- Laurie, R., Nonoyama-Tarumi, Y., Mckeown, R. & Hopkins, C. (2016). Contributions of Education for Sustainable Development (ESD) to Quality Education: A Synthesis of Research. *Journal of Education for Sustainable Development*, 10(2), 226-242. <https://doi.org/10.1177/0973408216661442>
- McComas, W. F. (2020). Principal Elements of Nature of Science: Informing Science Teaching while Dispelling the Myths. I W. F. McComas (Red.), *Nature of Science in Science instruction*. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_3
- Meadows, D. H. (2008). *Thinking in Systems. A Primer*. London: Chelsea Green Publishing.
- Miles, M. B. & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook* (2. utg.). London: Sage Publications.
- NSD. (u.å). Fylle ut meldeskjema for personopplysninger. Hentet 11.05.2021 fra <https://www.nsd.no/personverntjenester/fylle-ut-meldeskjema-for-personopplysninger>
- Oh, P. S. & Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>
- Postholm, M. B. & Jacobsen, D. I. (2018). *Forskningsmetode for masterstudenter i lærerutdanning*. Oslo: Cappelen Damm.
- Rieckmann, M. (2012). Future-oriented higher education: Which key competencies should be fostered through university teaching and learning? *Futures*, 44(2), 127-135. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2011.09.005>
- Rieckmann, M., Mindt, L. & Gardiner, S. (2017). Education for sustainable development goals: learning objectives. Hentet fra https://www.researchgate.net/publication/314871233_Education_for_Sustainable_Development_Goals_Learning_Objectives
- Schuler, S., Fanta, D., Rosenkraenzer, F. & Riess, W. (2018). Systems thinking within the scope of education for sustainable development (ESD) – a heuristic competence model as a basis for (science) teacher education. *Journal of Geography in Higher Education*, 42(2), 192-204. <https://doi.org/10.1080/03098265.2017.1339264>
- Sinnes, A. T. (2015). *Utdanning for bærekraftig utvikling*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Taimur, S. & Sattar, H. (2019). Education for Sustainable Development and Critical Thinking Competency. I W. Leal Filho, A. M. Azul, L. Brandli, P. G. Özuyar & T. Wall (Red.), *Quality Educatio. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals* (s. 1-11). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69902-8_64-1
- Tjora, A. (2017). *Kvalitative forskningsmetoder i praksis* (3. utg.). Oslo: Gyldendal.
- Upmeier zu Belzen, A., Driel, J. v. & Krüger, D. (2019). Introducing a Framework for Modeling Competence. I A. Upmeier zu Belzen, D. Krüger & J. van Driel (Red.), *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education* (s. 3-19). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30255-9_1
- Utdanningsdirektoratet. (2006). Læreplan i fysikk (FYS1-01). Hentet fra <https://www.udir.no/kl06/FYS1-01>

- Utdanningsdirektoratet. (2021). Læreplan i fysikk (FYS01-02). Hentet fra <https://www.udir.no/lk20/fys01-02/kompetansemaal-og-vurdering/kv466>
- WCED. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Hentet fra <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- Wells, M., Hestenes, D. & Swackhamer, G. (1995). A modeling method for high school physics. *American Journal of Physics*, 63, 606-619. <https://doi.org/10.1119/1.17849>
- Wiek, A., Withycombe, L. & Redman, C. L. (2011). Key competencies in sustainability: a reference framework for academic program development. *Sustainability science*, 6(2), 203-218. <https://doi.org/10.1007/s11625-011-0132-6>
- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6. utg.). Los Angeles: Sage.
- Zeyer, A., Álvaro, N., Arnold, J., Benninghaus, J. C., Hasslöf, H., Kremer, K., ... Keselman, A. (2019). Addressing Complexity in Science|Environment|Health Pedagogy. I E. McLoughlin, O. E. Finlayson, S. Erduran & P. E. Childs (Red.), *Bridging Research and Practice in Science Education: Selected Papers from the ESERA 2017 Conference* (s. 153-170). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17219-0_10

Vedlegg

Vedlegg 1 – Intervjuguide

INTERVJUGUIDE
Intervjuperson:
Tid/sted:
Temaer/spørsmål/notater: <u>Informasjon fra meg før selve intervjuet:</u> Takke for at informanten tar seg tid, og vil stille til intervju. Fortelle om forskningsprosjektet. Si litt om oppbygningen av intervjuet og at de gjerne må knytte svarene opp imot egen undervisning. <u>Introduksjon:</u> <ol style="list-style-type: none">1. Kan du fortelle litt om din utdanning- og lærerbakgrunn?2. Hvorfor valgte du å bli fysikklærer? <u>Fysikkfaget og modellering:</u> <ol style="list-style-type: none">1. Når bruker du modeller i undervisning, og til hva? Hva vil du si er en modell?2. Hva legger du i modellering i fysikk?3. Modellering er et tema som sees igjen i gjeldene læreplanen i FY1 og FY2, og i utkastet til den nye læreplanen i fagene. Hva tenker du om modelleringens plass i fysikkfaget?4. Hva mener du kjennetegner elever med god modelleringskompetanse?5. Hvordan brukes modellering i din undervisning i dag? Kan du komme med noen konkrete eksempler?6. Ifølge didaktisk litteratur kan det se ut til at det legges vekt på en stegvis tilnærming eller å dele modelleringsarbeid inn i ulike deler når elever jobber med dette. Hva tenker du om det? Har du noen steg eller ting du legger vekt på under modelleringsarbeid i din undervisning? Hva er det viktig å legge vekt på? Eventuelle oppfølgingsspørsmål: Hva tenker du om revidering i denne biten? <u>Kompetanser for bærekraftig utvikling og modellering:</u> <p>Systemforståelse og kritisk tenkning er to såkalte nøkkelkompetanser for bærekraftig utvikling. Disse anses å være sentrale at elever tilegner seg for kunne ta stilling til og forstå komplekse problemstillinger, samt handle bærekraftig, i dag og i framtiden.</p> <ol style="list-style-type: none">7. Systemforståelse handler om å få en helhetsforståelse av komplekse problemer og systemer, og fokuserer særlig på samspillet og interaksjonene mellom komponentene i systemet. Innenfor bærekraftig utvikling kan komplekse problemer måtte analyseres på tvers av ulike felt (sosiale forhold, miljø og økonomi) og over ulike nivåer (globalt, lokalt), samt over tid. I hvilken grad ser du noen sammenheng mellom kompetansen systemforståelse og modellering i fysikk? Eventuelt hva er forskjellene?8. Hvordan tenker du elever eventuelt kan vise systemforståelse gjennom modelleringsarbeid?9. I forhold til hvordan du bruker modellering i undervisning i dag. Hvorvidt ser du noen endringer som kan gjøres for å legge mer til rette for å øve nøkkelkompetansen systemforståelse hos elevene?10. Kritisk tenkning er en nøkkelkompetanse for bærekraftig utvikling. Hva tenker du om kritisk tenkning i forhold til modellering?

11. Når tenker du det kan passe å koble inn kritisk tenkning i løpet av modelleringsarbeidet? Har du noen konkrete eksempler på at du har gjort det i undervisning?
12. I forhold til hvordan du bruker modellering i undervisning i dag. Ser du noen endringer som kan gjøres for å legge mer til rette for å øve kompetansen kritisk tenkning?
13. Hva tenker du om å bruke modellering for at elever skal øve nøkkelkompetansene systemforståelse og kritisk tenkning?
14. Hva tenker du at modellering kan tilføre kritisk tenkning og systemforståelse, og motsatt?
Eventuelle oppfølgingsspørsmål: Har du noen mer generelle tanker om hva arbeid med modellering kan bidra til med tanke på bærekraftig utvikling? Hva tenker du om å bruke modellering for at elever skal øve nøkkelkompetansen systemforståelse/kritisk tenkning?

Bærekraftig utvikling generelt:

15. Bærekraftig utvikling har blitt et tverrfaglig tema som blant annet skal inn i fysikk, hva tenker du om dette?
16. Er det noe annet enn hva vi har snakket om de nå du tenker at fysikkfaget kan bidra med i utdanning for bærekraftig utvikling?
Eventuelle oppfølgingsspørsmål: Hva er utdanning for bærekraftig utvikling for deg?

Avslutning:

17. Er det noe mer du vil tilføye?
18. Er det greit om meg tar kontakt senere dersom noe skulle dukke opp?

Vedlegg 2 - Samtykkeskjema

Vil du delta i forskningsprosjektet *”Hvilke refleksjoner gjør fysikklærere seg om hva modellering kan bidra med i utdanning for bærekraftig utvikling?”*

Dette er et spørsmål til deg om å delta i et forskningsprosjekt hvor formålet er å studere hvilke refleksjoner fysikklærere gjør seg om hva modellering i fysikk kan bidra med i utdanning for bærekraftig utvikling. I dette skrevet gir vi deg informasjon om målene for prosjektet og hva deltakelse vil innebære for deg.

Formål

Dette er et forskningsprosjekt for min masteroppgave hvor formålet er å undersøke om modellering i fysikk kan være en bidragsyter for å trene nøkkelkompetanser innenfor bærekraftig utvikling, og eventuelt hvordan. På den måten håper jeg å tydeliggjøre fysikkfagets rolle inn mot bærekraftig utvikling som tverrfaglig tema i Fagfornyelsen.

Hovedsakelig vil fysikklærernes egne refleksjoner om tematikken være i fokus, samt tanker og erfaringer fra deres egen undervisningspraksis.

Hvem er ansvarlig for forskningsprosjektet?

Norges miljø- og biovitenskaplige universitet (NMBU), fakultet for realfag og teknologi – seksjon for lærerutdanningen, der veileder Gerd Johansen er ansvarlig for prosjektet.

Hvorfor får du spørsmål om å delta?

Du får forespørsmål om å delta på dette fordi du er fysikklærer. Du er derfor egnet til å gi svar på spørsmål som omhandler modellering som en sentral og viktig del av fysikkfaget, samt reflektere rundt bærekraftig utvikling.

Hva innebærer det for deg å delta?

Hvis du velger å delta i dette forskningsprosjektet innebærer det at du vil stille til intervju. Det vil ta deg ca. 45-60 minutter. Under intervjuet vil jeg ta notater fra samtalen og lydopptak. Lydopptaket transkriberes og lagres elektronisk. Det kan også være at jeg etter intervjuet tar kontakt for et eventuelt nytt intervju med oppfølgingsspørsmål og for å snakke om tolkninger av de tidligere svarene.

Det vil ikke være aktuelt å snakke om konkrete elever under intervjuet, da det ikke er interessant i henhold til tematikken.

Ditt navn og arbeidsplass kommer til å bli anonymisert i masteroppgaven. På den måten vil det ikke være mulig å spore dataene tilbake til deg.

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. Dette skjer skriftlig på e-post til meg, Silje Synøve Johansen (silje.synove.johansen@nmbu.no) eller min veileder, Gerd Johansen (gerd.johansen@nmbu.no). 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.

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.

- *Det er kun jeg, Silje Synøve Johansen, og min veileder Gerd Johansen som vil ha tilgang til og behandle dataene som samles inn.*
- *Jeg vil erstatte navnet ditt med et pseudonym som lagres på en egen navneliste adskilt fra øvrige data. Datamaterialet skal lagres på en forskningsserver (OneDrive) tilknyttet NMBU.*

Du som deltaker kommer ikke til å kunne kjennes igjen i publikasjonen.

Hva skjer med opplysningene dine når vi avslutter forskningsprosjektet?

Planen er at masteroppgaven leveres og vurderes våren 2021. Når oppgaven er godkjent, vil lydopptak slettes og transkripsjoner vil bli anonymisert. Dette vil senest være den 01.01.2022. De anonymiserte transkripsjonene kan senere bli brukt til å skrive noe relevant på bakgrunn av materialet.

Dine rettigheter

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

- innsyn i hvilke personopplysninger som er registrert om deg, og å få utlevert en kopi av opplysningene,
- å få rettet personopplysninger om deg,
- å få slettet personopplysninger om deg, og
- å sende klage til Datatilsynet om behandlingen av dine personopplysninger.

Hva gir oss rett til å behandle personopplysninger om deg?

Vi behandler opplysninger om deg basert på ditt samtykke.

På oppdrag fra *Norges miljø- og biovitenskaplige universitet (NMBU), fakultetet for realfag, seksjon for læring og lærerutdanning* har NSD – Norsk senter for forskningsdata AS vurdert at behandlingen av personopplysninger i dette prosjektet er i samsvar med personvernregelverket.

Hvor kan jeg finne ut mer?

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

- Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, fakultet for realfag og teknologi, seksjon for læring og lærerutdanning ved Gerd Johansen på e-post (gerd.johansen@nmbu.no) eller telefon: 91605552.
- Vårt personvernombud: Hanne Pernille Gulbrandsen på e-post (personvernombud@nmbu.no) eller telefon: 40281558

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

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

Med vennlig hilsen

Gerd Johansen
Prosjektansvarlig
(Førsteamanuensis/veileder)

Silje Synøve Johansen
Masterstudent
(Telefon: 97411915)

Samtykkeerklæring

Jeg har mottatt og forstått informasjon om prosjektet «*Hvilke refleksjoner gjør fysikklærere seg om hva modellering kan bidra med i utdanning for bærekraftig utvikling*», og har fått anledning til å stille spørsmål. Jeg samtykker til:

- å delta i *intervju(er) med lydopptak*.

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

(Signert av prosjektdeltaker, dato)



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway